

РАДИАЦИЯ, ЖИЗНЬ, РАЗУМ

*В.А.Бейлин
А.С.Боровик
В.С.Мальшевский*



MBC 2001

2001

РАДИАЦИЯ, ЖИЗНЬ, РАЗУМ

**Ростов-на-Дону
2001**

ББК 22.5
Р 74

Региональное общественное движение «Экологический конгресс»

Авторский коллектив

Кандидат физико-математических наук **В.А.Бейлин**

Кандидат физико-математических наук **А.С.Боровик**

Доктор физико-математических наук **В.С.Малышевский**

Р 74 Бейлин В.А., Боровик А.С., Малышевский В.С.

Радиация, жизнь, разум: Научно-популярное издание, Ростов-на-Дону, 2001 – 66 с. илл.

Мы хорошо и отчетливо понимаем то, что можем увидеть и пощупать руками. Мы не видим атомов и молекул, но со школьной скамьи знаем, что они есть. Мы, наверно, никогда не увидим более фундаментальных частиц, таких как протон или электрон, но всегда будем уверены, что они существуют и являются неотъемлемой частью нашей жизни. Иногда этот невидимый, неосознаваемый мир пугает и вызывает у людей необоснованный страх. Тревожное слово "радиация". Что стоит за этим словом? Какие невидимые процессы ее порождают? Почему в наш просвещенный век это слово часто ассоциируется с любым практическим применением атомной энергии как с неизбежным злом и опасностью? В книге подробно рассматриваются эти проблемы сквозь призму исторического опыта и дается аргументированный ответ на вопрос, не преувеличиваем ли мы степень той опасности, которая связана с радиацией? Книга рассчитана на широкий круг читателей, а также на специалистов, студентов, учителей.

© В.А.Бейлин, А.С.Боровик, В.С.Малышевский, 2001

© Оформление «Студия «Князь Гвидон», 2001

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ИЗ ЖИЗНИ АТОМОВ И ЯДЕР | 5 |
| РАДИОАКТИВНОСТЬ КАК ФИЗИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ | 12 |
| ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — ОТКУДА? | 17 |
| СУДЬБА ИЗЛУЧЕНИЯ | 20 |
| ЧЕМ ИЗМЕРЯТЬ ЛУЧИ? | 22 |
| РАДИАЦИЯ КАЧАЕТ КОЛЫБЕЛЬ | 25 |
| ОТКУДА ОНИ — РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ? | 29 |
| ОПАСНЫЙ СОСЕД ИЛИ СТАРЫЙ ПРИЯТЕЛЬ? | 30 |
| ЧЕЛОВЕК И ЭНЕРГИЯ..... | 34 |
| ОБЛУЧЕНИЕ — РЕАЛЬНОСТЬ И ДОМЫСЛЫ..... | 39 |
| КАК УКРОТИТЬ НЕВИДИМКУ? | 45 |
| ЧЕРНОБЫЛЬ: ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ | 47 |
| ЩИТ ОТ ИЗЛУЧЕНИЯ | 56 |
| РАДИОФОБИЯ — И СЛЕДСТВИЕ, И ПРИЧИНА..... | 58 |
| АЭС И ТЭС — СРАВНИМ ЧЕСТНО | 63 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 65 |

***«...власть человека над вещами целиком
зависит от успехов науки и знания, ибо
мы можем управлять природой, лишь
повинуясь ей».***
(Ф.Бэкон)

ИЗ ЖИЗНИ АТОМОВ И ЯДЕР

Как и зачем создан Мир, порождающий жизнь? Какое место в нем занимает человек? Исполнитель он чьего-то замысла, идущий по предначертанному пути, или сам творец своей судьбы? Способен ли он постигнуть принципиальные основы устройства Мира? Зависят ли тело и душа человека, как части Вселенной, от физических деталей мирового механизма и таинственных сил, приводящих его в действие? Одинакова ли структура Вселенной на больших и малых пространственных масштабах? Возможно ли познание материи, может ли человек познать сам себя? Множество подобных вопросов задавали (и по-прежнему задают) люди во все эпохи и времена, размышляя над событиями и тайнами материального и духовного мира, созерцая, экспериментируя и сопоставляя свои размышления с результатами экспериментов. Так происходит отделение истинного знания от шелухи ложных представлений, так человек неустанно накапливает все новые сведения о природе и о себе, как части природы, теоретически осмысливает их и практически применяет, отодвигая все дальше границы непознанного и расширяя сферу человеческой цивилизации.

История развития человечества, по сути дела, это история тех природных процессов и сил, которые человеку со временем удалось поставить себе на службу. Конечно, предварительно изучив на бумаге и в лаборатории условия их возникновения, возможности и особенности. Правда, «на бумаге» и «в лаборатории» — это несколько условно. Когда-то одной из первых сил, которые открыл и начал использовать человек, стала сила огня. Изучение этого процесса в различных его формах (взрыв — тоже огонь, только очень быстро распространяющийся) продолжается уже более 20 веков. И успехи человечества в исследовании различных форм процесса окисления элементов, т.е. огня, очень велики — от костра, факела или лучины мы дошли до выплавки металлов, паровых двигателей, печей-обогревателей и т.д. Иногда, впрочем, огонь применяли и для «горячего» увещания инакомыслящих, но что взять со средневековых монахов-инквизиторов!

В процессе окисления — горения — выделяется энергия в форме теплоты. Огонь есть механизм создания энергии, которую можно использовать для нагревания. Нагрев воду и превратив ее в пар, заставим пар давить на поршень. Вот готов уже и двигатель! Конечно, не всегда сила огня абсолютно покорна, выходя из-под контроля, она способна не только создать ожог, но и уничтожить целые города. Однако, несмотря на опасности, огонь привычен и давно знаком! Что-то, наверное, в нас осталось от тех древних охотников, для которых костер в пещере или в лесу был не только теплом и светом, но самой Жизнью.

Человек пришел к реке — и поставил на ней водяную мельницу. Сначала механическая энергия падающей воды помогала превращать зерно в муку и крупы, потом стала вращать электромагниты и превратилась в энергию электрического тока. Похожим

образом стала работать на человека и сила ветра. Но возможности всех этих природных сил несравнимо малы по сравнению с энергетическими запасами внутри ядер атомов. Выяснилось это, как мы уже знаем, сравнительно недавно, лишь около 100 лет тому назад. А с чего началась вся эта история, как человек добрался до атомной сердцевины? Как вообще узнали о существовании атомов?

Говоря коротко, сначала (т.е. примерно около 20 тысячелетий назад!) человек научился добывать пищу и строить жилище. Затем он усовершенствовал способы добычи, а впоследствии и производства пищи, изменил свой внешний вид и сделал удобным свой дом. При этом человек непрерывно находил и изучал все новые области для жизни на планете, уже не только наблюдая за природой, но даже изменяя ее. Человек освоил и, как мог, обустроил пространство вблизи себя, своего дома, поселения. Затем он начал осваивать Землю, учась осознавать себя в пространстве и во времени.

Вначале человека интересовало лишь то, как использовать, приспособливать и переделывать для практических нужд окружающие его предметы, вещество, материю. Затем он задумался, что это вообще такое — материя? Что кроется внутри нее, есть ли что-либо под поверхностью вещей? Практика жизни показывает, что из большого, разделив его на части, можно сделать меньшее, из твердого, нагрев его, — жидкое. Материя изменяема, если воздействовать на нее, а степень этого изменения зависит от количества энергии, которую затратит на это преобразование человек. Конечно, при помощи тех самых сил природы — огня, воды, ветра. Но это теперь мы знаем, что такое энергия, в каких процессах она освобождается и в каких условиях способна превращаться в полезную работу. А давно ли человечество узнало о том, как устроен материальный мир, в глубинах которого спрятана энергия?

Еще в пятом веке до нашей эры греческие мыслители *Левкипп и Демокрит* сформулировали результаты своих размышлений о структуре материи в виде атомистической гипотезы: вещество невозможно бесконечно делить на все более мелкие части, существуют «окончательные», неделимые частицы вещества. Все материальные предметы состоят из разнообразных атомов (от греческого *atomos* — неделимый, неразрезаемый); соединяясь, различные типы атомов образуют все новые вещества.

По легенде, Демокрит, сидя у моря на камне, держал в руке яблоко и размышлял: «Если я буду резать это яблоко ножом на все более мелкие части, всегда ли у меня в руках будет оставаться часть, которая все еще имеет свойства яблока?» Обдумав эту гипотезу, Демокрит пришел к следующим выводам: «Начало вселенной — атомы и пустота, все же остальное существует лишь во мнении. Миров бесчисленное множество, и они имеют начало и конец во времени. И ничто не возникает из небытия, не разрешается в небытие. И атомы бесчисленны по величине и множеству, носятся же они во вселенной, кружась в вихре, и таким образом рождается все сложное: огонь, вода, воздух, земля... Атомы же не поддаются никакому воздействию и неизменяемы вследствие твердости». Впрочем, есть сведения, что уже в 7 веке до н.э. в системе знаний индийского мудреца Канады материальная субстанция строилась из атомов, которые соединялись попарно. В качестве связующих сил предполагалось наличие «воли Бога или еще чего-либо». Очень интересно, что о существовании атомов мудрец считал возможным узнать «не восприятием, а рассуждением».

Проверке экспериментом данная гипотеза не подлежала, ввиду явной невозможности его осуществления в то время, и более двух тысячелетий она пылилась на полках мирового хранилища знаний. Но разве истина, рано или поздно, не становится известной?

Когда вдумываешься в даты жизни тех, кто выдвинул и развивал концепцию материалистического атомизма, поражаешься прозорливости этих мудрецов: ведь их идеи были подтверждены экспериментами лишь в недавнее время с помощью весьма не простой экспериментальной техники.

В литературной форме атомистическая гипотеза была сформулирована в знаменитой поэме римского поэта и философа Лукреция Кара «О природе вещей», опубликованной в Европе в конце 15 века, но созданной еще во времена Римской империи в 1 веке до н.э. Был ли он гениальный провидец, сам ли дошел до глубочайших научных истин, или только высказал известные в его время представления о мире,

точно неизвестно. Но содержатся в его поэме сведения о мире, открытые и изученные лишь через века и тысячелетия.

Вслушаемся в слова одного из создателей атомистической гипотезы, Тита Лукреция Кара, вчитаемся в строки его поэмы. Стройное учение об атомах, или, как он их называл, первоначалах вещей, Лукреций развивает, обращаясь к явлениям общеизвестным, а его умозаклучениям присуща та простота, которой отличается народная мудрость - глубокая и общепонятная одновременно.

*Если не будет, затем, ничего наименьшего,
Будет из бесконечных частей состоять и мельчайшее тело:
У половины всегда найдется своя половина.
И для деленья нигде не окажется вовсе предела.
Чем отличишь ты тогда наименьшую часть от Вселенной?*

.....
*Первоначала вещей сначала движутся сами,
Следом за ними тела из малейшего их сочетанья,
Близкие, как бы сказать, по силам к началам первичным,
Скрыто от них получая толчки, начинают стремиться
Сами к движенью, затем понуждая тела покрупнее.*

Характерно: если обратиться к фольклору, мы найдем там сходные примеры такого же подхода к вопросу о природе вещей. Вот один из таких примеров - старая татарская байка.

“Вот эту кадку я могу наполнить три раза подряд, ни разу не опорожняя”, - сказал один. Другой не поверил. “Не веришь? Смотри !” - и говоривший так, наполнил кадку камнями. “Наполнилась?” “Наполнилась”, - согласился другой. В эту же кадку между камнями первый насыпал песок: “Снова наполнилась?” “Да”, - сказал другой. “А теперь смотри, наполнится и в третий раз!” - продолжал первый, заливая кадку водой.

В этой цепочке наглядных демонстраций остается сделать лишь вполне логичный мысленный шаг в невидимое: предположить, что и вода, на взгляд сплошная, обладает пустотами. А чтобы продолженная таким образом цепочка не была бесконечной, можно предположить, что мельчайшие, невидимые поры представляют собой уже совершенную пустоту, разделенные же ею частицы имеют предельно высокую плотность и неделимы на части.

Это умозаклучение и делает Лукреций. “Первоначала вещей, таким образом,

просты и плотны”, - несколько раз рефреном звучит в его поэме. Лукреций размышляет о форме атомов (у прочных тел они должны быть шершавыми и даже крючковатыми, у жидких - круглыми), о том, что Вселенная беспредельна и число атомов в ней бесконечно, что атомы могут быть различными, но их разнообразие ограничено, что они лишены цвета, вкуса, тепла и так далее - все эти качества веществ обусловлены формой, расположением и движением атомов. По ходу разговора встречается много интереснейших замечаний - о том, что во Вселенной вероятны миры, подобные нашему, что в пустоте все тела должны “равную скорость иметь, несмотря на различие в весе”, что время “никем ощущаться не может само по себе вне движения тел и покоя”.

Позже, уже в середине 17 века, идеи атомного строения материи обсуждались в философском труде Пьера Гассенди. В начале же 17 века представления об атомном устройстве материи были официально запрещены церковью.

Однако наука не может опираться на умозрительные построения. Наблюдения над природой, познание ее путем созерцания и проникновения в истину через размышление постепенно сменялись ее экспериментальными исследованиями, количественным анализом результатов целенаправленного воздействия. Эксперимент над явлениями материального мира, повторение в лаборатории природных феноменов, а затем математическая формулировка полученных данных — вот что пришло на смену умозрительным рассуждениям о природе материи.

Всерьез ученые вернулись к атомистической гипотезе только в 1803 году, когда английский химик и физик Джон Дальтон обратился вновь к представлениям о дискретной структуре материи для объяснения химических свойств газов. Он пришел к выводу, что наиболее экономное и логически непротиворечивое объяснение этих свойств вытекает из предположения о строении всех химических элементов из мельчайших неделимых компонент одного типа — атомов.

Сам Дальтон представлял атомы в виде упругих шариков и настолько верил в их реальное существование, что даже рисовал на бумаге атомы кислорода, азота, водяного пара. Впрочем, результаты экспериментов Дальтона и других исследователей для многих ученых еще долгое время не являлись убедительными. Даже в начале 20 века известный физик и философ Эрнст Мах с издевкой спрашивал у приверженцев атомной теории: «А вы видели хоть один атом?» Нужно, однако, отметить, что и для последователей атомной гипотезы, и для ее противников, существование атомов, не подтверждаемое и не опровергаемое опытом, являлось, скорее, вопросом веры. Исаак Ньютон писал: «Мне кажется вероятным, что Бог вначале создал материю в виде сплошных, массивных, твердых, непроницаемых, движущихся частиц таких размеров и форм, и с такими другими свойствами, и в таких пропорциях к пространству, которые наилучшим образом служат той цели, для которой Он их создал, и что эти простейшие частицы, будучи твердыми, несравненно прочнее, чем любые другие тела, составленные из них; даже настолько прочны, что никогда не изнашиваются и не разбиваются на куски; никакие обычные силы не в состоянии разделить то, что Бог создал сам в первый день творения...».

Исследовав простейшие, механические свойства материи, человек обратился к более сложным. 19-й век в истории науки стал эпохой изучения электрических явлений. После того, как революция в физике и технике была подготовлена, благодаря, в первую очередь, трудам Майкла Фарадея и Джеймса Максвелла, перед учеными вновь встал вопрос об атомной структуре материи — происхождение электричества стало увязываться с существованием атомов. В 1891 году Джордж Стони ввел понятие электрона, как элементарной частицы электричества, имеющей минимальный электрический заряд,

необходимый для выделения из раствора (ученый изучал явление электролиза) одного атома водорода. Но еще за десять лет до него, Герман Гельмгольц впервые четко сформулировал следующую мысль: «Если мы примем гипотезу, что простые вещества состоят из атомов, мы не можем избежать заключения, что электричество, как положительное, так и отрицательное, разделяется на определенные элементарные порции, которые ведут себя подобно атомам электричества».

Электрон был зарегистрирован как самостоятельная частица лишь в 1897 году в экспериментах Джозефа Дж. Томсона. Он обнаружил, что от атомов под действием сильного электрического поля отрываются заряженные частицы. По его оценкам, масса «атома электричества» примерно в тысячу раз меньше массы атома водорода, а заряд точно совпадает с зарядом иона водорода. Позднее, уже в 1910 и 1913 годах Роберт Милликен намного повысил точность измерений заряда и массы электрона. Впрочем, и по отношению к электрону находились скептики. Знаменитый физик Оливер Лодж говорил в 1902 году: «Электрон — это чисто гипотетический заряд, изолированный от атома». Так, несмотря на отдельные мнения, к концу 19-го века стало понятно, что частицы, еще меньшие, чем атомы, существуют реально, что, скорее всего, они входят в состав атомов и являются переносчиками некоторого наименьшего количества электричества.

Важно, однако, то, что только через 100 лет после воскрешения атомных представлений, **Уильям Томсон** создает первую модель атома, в которой предполагается, что электроны занимают внешнюю часть атома. **Дж. Дж. Томсон**, развивая модель У.Томсона, предлагает модель атома, в которой внутри положительно заряженного шара — атома — отрицательные электроны вращаются вокруг центра по концентрическим орбитам. Полный заряд атома равен нулю. Но насколько однороден этот атомный шарик, это действительно нечто вроде кекса, где в положительно заряженном «тесте», движутся «изюминки»- электроны, или есть какая-нибудь структура, что-то находится в сердцевине атома?

В физике начала 20-го века присутствовали различные, подчас удивительные, с точки зрения современной науки, представления об устройстве атома. Известный ученый Ф.Линдеман, например, полагал, что «атом кислорода имеет форму кольца, а атом серы — форму лепешки». Согласно вихревой атомной теории Томсона, атомы подобны кольцам дыма, находящимся в постоянном вращении для поддержания устойчивости.

Начатые в конце 19-го века исследования атомных ядер привели к великому открытию — Антуан А.Беккерель обнаружил, что ядра атомов некоторых химических элементов (в данном случае это была соль урана) испускают невидимые лучи неизвестной природы с уникальной проникающей способностью. Ниже мы подробнее поговорим об этом открытии и о том, что было сделано учеными в области изучения этого явления, названного радиоактивностью.

По латыни спица в колесе называется «радиус». Тем же словом называли отрезок прямой, соединяющий центр шара и какую-либо точку на окружности. Отсюда и слово «радиаре» — испускать лучи, и «радиацию» — лучеобразное распространение чего-либо от некоего центра.

Вернемся к структуре атома. Ответ на вопрос о его сердцевине был экспериментально получен Эрнестом Резерфордом в 1911 году. После ряда опытов, в которых изучалось рассеяние пучка тяжелых заряженных частиц на металлической фольге, Резерфорд пришел к выводу: в центре атома находится массивное, положительно

заряженное ядро! Ученый заключил, что атомное ядро состоит из тяжелых (почти в 2000 раз тяжелее электрона) положительно заряженных частиц, названных им протонами. Масса ядра практически равна массе всего атома, а вокруг него непрерывно движутся легкие, отрицательно заряженные электроны, занимая в своем движении почти весь объем атома и образуя электронную оболочку. Теперь эти представления были доказаны экспериментом.

Нужно, впрочем, добавить, что еще в 1908 году А.Пуанкаре писал в своей статье: «Все опыты над проводимостью газов... дают нам основание рассматривать атом, как состоящий из положительно заряженного центра, по массе равного приблизительно самому атому, причем вокруг этого центра вращаются, тяготея к нему, электроны». Но это был вывод теоретика, вывод аналитический и непроверенный. Доказательство же физических законов и принципов организации материи способен дать лишь эксперимент. Именно поэтому отцом планетарной модели атома — первой правильной по сути модели — считается Резерфорд.

Все обычные химические реакции (горение, окисление, восстановление) происходящие в окружающем мире, в неорганической и органической природе, связаны с изменениями в структуре электронных атомных оболочек. При этом выделяется определенная, вообще говоря, небольшая энергия. В некоторых условиях атомы могут испускать и мощные электромагнитные сигналы, обнаруженные в 1895 году Вильямом Рентгеном и названные им *X-лучами*. Однако главный запас энергии атома не связан с энергией электронных оболочек, он находится в его ядре.

Рентген обнаружил свечение экрана, помещенного случайно за катодной трубкой — вакуумной трубкой с впаянными электродами, и, желая защитить экран, поставил перед ним толстую книгу. Однако свечение экрана продолжалось! Оно «глушилось» только пластинками свинца и платины, легко проникая сквозь стекло, бумагу, живую ткань. Позднее стало понятно, что X-лучи Рентгена — это поток высокоэнергетических электромагнитных квантов — фотонов. Менее чем за два месяца ученым были изучены практически все основные свойства открытых им лучей, включая также их применение в медицине. За свое открытие Рентген получил в 1901 году самую первую в истории науки Нобелевскую премию.

После открытия *Джоном Чедвиком* в 1930 году нейтронов — электрически незаряженных частиц с массой, почти точно равной массе протона — резерфордская планетарная модель ядра была усовершенствована. Выяснилось, что в состав ядра входят и протоны, и нейтроны, связанные вместе мощными ядерными силами. Сильное взаимодействие внутриядерных частиц и обеспечивает огромный запас энергии в ядрах атомов. Именно ядра не только хранят всю энергию, но и определяют химическую индивидуальность атомов. Итак, вокруг ядра атома вращается Z штук электронов, в ядре же находится ровно Z протонов (так что полный электрический заряд атома равен нулю) и N нейтронов. Полная масса атома, тем не менее, меньше суммы масс $Z+N$ штук нуклонов (так вместе называют и протоны, и нейтроны — сильное внутриядерное взаимодействие их не отличает друг от друга). Дело в том, что определенную часть внутриядерной энергии представляет собой энергия взаимодействия нуклонов. Сильное взаимодействие, сцепливающее нуклоны, быстро спадает с ростом расстояния между ними и почти незаметно на расстояниях, больших 10^{-13} см. Внутри же ядра сильное взаимодействие

(притяжение) намного интенсивнее электромагнитного отталкивания одноименно заряженных протонов. К концу 40-х годов стало понятно, что сильное межнуклонное взаимодействие по своему характеру является обменным: быстро движущиеся нуклоны непрерывно обмениваются пи-мезонами, примерно в 7 раз более легкими, чем нуклоны, микрочастицами (эта разновидность «жителей» микромира была также непосредственно обнаружена экспериментально, пи-мезоны существуют нейтральные и электрически заряженные). Так совершенствовались наши представления об устройстве атомного ядра.

В науке нет разделения на периоды изучения природы только экспериментальными методами, и периоды, специально отведенные для работы ученых-теоретиков, когда полученные результаты подвергаются анализу и осмыслению. Эффективное исследование природы возможно лишь при сочетании и взаимодополнении инструментов экспериментатора и формул теоретика. Проникновение вглубь материи, в структуру атома, а затем и атомного ядра, потребовало значительных усилий физиков, химиков, инженеров, математиков, как лабораторных экспериментов, так и размышлений над листом бумаги, исписанным математическими символами. Плодом всех этих усилий в начале 20-го века стало создание теории микромира — квантовой механики, позволяющей вычислять вероятности различных исходов в процессах с участием микрочастиц. Для микрообъектов могут быть рассчитаны только вероятности иметь, в результате измерения с помощью макроскопического прибора, определенные значения физических характеристик, например, энергии или импульса. Информацию другого рода в процессах с участием микрочастиц, в частности, электронов и нуклонов, получить невозможно — это запрещено фундаментальными принципами квантовой теории микрочастиц, полностью подтвержденной экспериментальными данными.

Термин «квантовая» здесь означает, что на уровне микромира энергия электромагнитных волн не только излучается, но и поглощается отдельными порциями — квантами.

Гипотеза о квантовом (отдельными энергетическими порциями) характере равновесного излучения абсолютно черного тела была выдвинута Максом Планком в 1900 году. Оказалось, что его формула абсолютно точно описывает экспериментально измеренный спектр излучения во всем интервале энергий. Для самого ученого, однако, его собственная идея всю жизнь казалась или слишком радикальной, или слишком наивной. Но именно Планк первым ввел в науку понятие о квантах, оказавшееся не просто плодотворным, но фундаментальным в новой физике микромира.

Благодаря же работам Альберта Эйнштейна, объяснившим на основе квантовых представлений явления фотоэффекта — закономерности, которым подчиняются электроны, вырывающиеся светом из вещества — стало понятно, что квантовую природу носит и процесс поглощения излучения. Эти результаты ученого по достоинству были отмечены Нобелевской премией по физике.

В дальнейшем стало ясно, что в микромире каждая частица представляет собой отдельный квант специфического поля, которое не является непрерывной средой, а разделено на отдельные порции — кванты. Так, фотон есть квант (иногда говорят «гамма-квант») электромагнитного поля, он переносит, как обычная и привычная частица, энергию и импульс. Пи-мезон — это квант пионного поля, посредством которого и осуществляется связь нуклонов в ядре. (Нужно сказать, что на сегодняшнем уровне знаний такое описание сильных взаимодействий является приближенным — дело в том, что протоны и нейтроны также представляют собой составные объекты, и взаимодействие

между их элементами не так-то просто. Хотя квантово-полевой подход и в этом случае является главным инструментом теории. Это, впрочем, тема для другой книги.)

Однако и эксперименты по изучению структуры вещества никогда не прерывались. В том же начале 20-го века в исследованиях радиоактивных ядер было обнаружено явление радиоактивного распада — испускание ядром нескольких типов лучей. Поместив препарат радия в магнитное поле, излучение удалось разделить на несколько компонент. Часть исходного пучка отклонялась в одну сторону, часть в другую, таким образом, эти компоненты, названные альфа- и бета-излучением, имели различные электрические заряды. Затем Полем Вилларом в 1900 году была обнаружена и третья компонента излучения, не чувствующая магнитное поле. Ее назвали гамма-излучением.

Впервые эти опыты провели в 1900 году супруги Кюри, пытаясь найти отличия между рентгеновскими лучами и радиоактивным излучением. Первый этап эксперимента состоял в помещении пробирки с радием между полюсами магнита, затем на пути лучей ставилась тонкая алюминиевая пластина. Часть лучей задерживалась преградой, часть легко проходила сквозь нее. Оказалось, что альфа-компонента излучения, положительно заряженная, сильно поглощается веществом, вторая — бета-компонента — имеет значительно более высокую проникающую способность. Именно Мария и Поль Кюри установили, что бета-компонента излучения отрицательно заряжена и представляет собой поток чрезвычайно быстрых электронов — их скорость была близка к скорости света.

Позднее, к 1909 году, **Резерфорд** с сотрудниками экспериментально доказали, что альфа-излучение представляет собой поток ионов гелия, т.е. атомов гелия, у которых полностью удалены внешние электронные оболочки (кстати, в последующих опытах Резерфорда, в которых было фактически открыто существование ядер атомов, на очень тонкую золотую фольгу направлялся именно пучок альфа-частиц). Гамма-излучение оказалось потоком электромагнитных квантов очень высокой энергии, их проникающая способность еще выше, чем у рентгеновских лучей, энергия которых ниже энергии гамма-лучей.

Природа радиоактивного излучения сразу же заинтересовала исследователей, раскрыть ее удалось, однако, лишь к концу 20-х годов уже прошлого века. Вернемся, впрочем, ко времени открытия самого явления радиоактивности.

РАДИОАКТИВНОСТЬ КАК ФИЗИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ

Дадим вначале научное определение: радиоактивность — это процесс самопроизвольного выделения энергии с постоянной скоростью, присущей данному виду ядер (радионуклидов, т.е. ядер, способных к радиоактивному распаду). Термин «радиоактивность» был предложен Марией Кюри, одной из первых начавших исследования этого природного явления, великим человеком и талантливым физиком.

История открытия явления радиоактивности вкратце такова. В 1896 году Анри Пуанкаре выдвинул предположение, что Х-лучи, открытые Рентгеном, могут самопроизвольно испускаться некоторыми природными фосфоресцирующими веществами. Рассуждения Пуанкаре были логичны и просты: рентгеновское излучение, по-видимому, возникает на том конце вакуумной трубки, куда попадают катодные лучи и где светится стекло трубки. Но тогда, может быть, светящиеся (люминесцирующие) вещества могут и сами испускать лучи, наподобие рентгеновских?

Доклад Пуанкаре произвел большое впечатление на *Антуана Беккереля*, потомственного физика и химика, специалиста по фосфоресценции (этот процесс отличается от флуоресценции длительностью — он не затухает мгновенно, после устранения возбудителя свечения, а продолжается некоторое время, поскольку фосфоресцирующие вещества запасают впрок большее количество энергии). Идея Беккереля сводилась к тому, чтобы обнаружить засвечивание фотопластинок X-лучами даже через плотную обертку, например, через несколько слоев черной бумаги. Невидимые же лучи должны были, по мысли ученого, испускаться подходящими минералами после выдержки их на свету — для того, чтобы в них накопилась энергия, и мог начаться процесс, похожий на процесс фосфоресценции.

Беккерель взял несколько кристалликов одной из солей урана (это вещество фосфоресцировало особенно интенсивно) и поместил на окне, подложив под них фотопластинку, завернутую в плотную черную бумагу. На фотопластинке лежала еще и фигурная металлическая прокладка — медный крестик, — чтобы на негативе отпечаталось ее изображение, создаваемое X-лучами. Гипотеза подтвердилась: фотопластинка, на которой лежали кусочки урана, исправно засвечивалась неким излучением. То есть, соединение урана испускало лучи неизвестной (как считал Беккерель тогда, те самые лучи Рентгена) природы. Доклад об обнаружении X-лучей, испускаемых самопроизвольно природными веществами, был сделан. «Облученные солнечным светом соли урана испускают рентгеновскую радиацию» — заявил на заседании Французской академии Беккерель. Однако истина оказалась другой — к счастью для науки и цивилизации Беккерель, как настоящий ученый, проводил опыты аккуратно и последовательно. В столе он обнаружил фотопластинку, которая не подвергалась действию солнечных лучей, поскольку один из дней выдался несолнечным, но решил и ее проявить. Ученый с удивлением обнаружил, что фотопластинка опять засвечена — на ней имелся четкий отпечаток крестика. Вывод ученого был однозначен: уран излучал независимо от воздействия на него солнечного света!

Таким образом, в конце 19-го века было установлено, что соли урана самопроизвольно, без предварительного воздействия на них света, испускают лучи неизвестного происхождения. Содержащее уран вещество, положенное на фотографическую пластинку, обернутую в черную бумагу, воздействует на пластинку и на бумагу. Эти лучи способны разряжать электроскоп, превращая окружающий воздух в проводник электричества. А.Беккерель убедился, что эти свойства урана не зависят от предварительного облучения, а неизменно проявляются даже тогда, когда урансодержащее вещество долго выдерживают в темноте. Именно он открыл то явление, которое впоследствии от Марии Кюри получит название «радиоактивность».

Мария Склодовская-Кюри, делающая лишь первые шаги в науке, активно включилась в только-только зарождающуюся область исследований. Уже ее первый научный результат чрезвычайно интересен: интенсивность таинственного (рентгеновского?) излучения пропорциональна количеству урана в образцах, на характер излучения не влияют ни состояние химических соединений урана, ни освещенность, ни температура. Похоже, что непонятное излучение имеет атомное происхождение — только так можно объяснить данные опытов. Такой же радиационный эффект был обнаружен химиком Эрхардом Шмидтом и у соединений тория. Явление в целом получило название радиоактивности, а уран и торий были названы радиоэлементами (испускающими лучи). Дальнейшие исследования *Марии и Пьера Кюри* показали, что некоторые соединения

урана имеют активность гораздо более высокую, чем у урана и тория. Так готовилось открытие радия.

Кстати, уран, как металл, был известен химикам еще с 18-го века, его изучали и в чистом виде, и в соединениях. На первый взгляд в нем нет ничего необыкновенного. По виду он похож на серебро, по тяжести - на платину, химические свойства у него почти такие же, как у вольфрама. Химики всегда были твердо убеждены, что уран — самый заурядный металл. Использовали его, главным образом, для окрашивания стекол и керамики в желто-зеленый цвет.

Ученые-химики утверждали, что нет никаких новых радиоактивных веществ, кроме уже известных — урана и тория. Чтобы доказать скептикам их неправоту, выделить новые элементы и измерить их атомные веса («Нет атомного веса, нет и радия. Покажите нам радий, и мы поверим» — так говорили химики), супругам Кюри понадобится четыре года упорного труда. Собственными руками Кюри перерабатывают 8 тонн урансодержащей руды и выделяют из нее 0,4 грамма (!) радия.

Вот что писала М.Кюри о том времени первых открытий, о годах работы в старом сарае (там была оборудована их лаборатория), когда они химически выделяли радий и полоний, измеряли их атомные веса и интенсивность излучения: «У нас не было ни денег, ни лаборатории, ни помощи, чтобы хорошо выполнить эту важную и трудную задачу. Требовалось создать нечто из ничего, ...я могу сказать без преувеличений, что этот период был для меня и моего мужа героической эпохой в нашей совместной жизни, ...мы с головой ушли в новую область, которая раскрылась перед нами благодаря неожиданному открытию».

Вскоре Анри Дебьерн, сотрудник супругов Кюри, выделил еще один элемент, обладающий свойством радиоактивности. Элемент был назван просто — актиний. После этого поиски новых радиоактивных элементов пошли быстрее — сразу в нескольких странах обнаруживают мезоторий, радиоторий, ионий, протактиний, радиосвинец. Человек с изумлением обнаруживает, как много радиоактивных веществ его окружает. Все они существуют в природе и могут быть не только твердыми, но и газообразными — Резерфорд и Содди наблюдают испускание радием радиоактивного газа, названного ими эманацией радия (сейчас его называют радон).

В 1903 году Уолтер Рамзай и Фредерик Содди обнаруживают, что радий непрерывно выделяет также небольшое количество газа гелия. Так был обнаружен первый пример ядерного превращения. Позднее, уже работая в Англии, Резерфорд и Содди, опираясь на гипотезу, высказанную Марией Кюри, публикуют «Теорию радиоактивных превращений», в которой утверждают, что радиоактивные элементы, даже когда кажутся неизменными, находятся в состоянии самопроизвольного распада: чем быстрее процесс их превращения, тем больше их активность. Определение, данное Резерфордом и Содди, таково: радиоактивность есть не что иное, как распад атома на заряженную частицу (именно она и представляет собой радиоактивное излучение) и атом другого элемента, по своим химическим свойствам отличный от исходного. Образовавшийся атом также может испытать радиоактивный распад. Следствием этого утверждения является вывод о существовании целых радиоактивных семейств, первый элемент которых радиоактивен, а последний стабилен.

После знакомства с этой теорией Пьер Кюри заявил: «Это настоящая теория превращения простых тел, но не такого, как мыслили алхимики. Неорганическая материя будет веками непреложно эволюционировать по неизблемым законам».

Изучая радиоактивность, ученые наблюдали превращение одних химических элементов в другие, которые также могли быть радиоактивными. Оптимизм этого периода «описательного» изучения природы, когда эксперименты проводились над различными естественными веществами и их соединениями, обладающими свойством радиоактивности, в конце концов сменился некоторым недоумением: когда новых радиоактивных элементов стало достаточно много, неожиданно выяснилось, что всех их невозможно распределить по еще остающимся свободным местам в периодической таблице элементов. Новые элементы отличались по атомному весу, имели часто и различия в характеристиках радиоактивного распада, однако их химические свойства были совершенно одинаковы, из чего следовало, что все они должны быть помещены в одну клеточку таблицы элементов. Таких новых элементов было выявлено почти 40. Было, например, обнаружено, радиоактивное вещество, которое называли «радий G». Химически оно было тождественно свинцу, но обычный свинец не радиоактивен. Места для этого нового элемента в таблице Менделеева не было. Затем были обнаружены три газообразных продукта радиоактивного распада, для которых также не было места в таблице (см. цветную вкладку).

Совершенствование измерительной аппаратуры позволило получить точные данные для атомных весов этих новых элементов. Оказалось, что дробные значения, которые обычно указываются в периодической таблице в качестве атомных весов элементов, являются лишь средними арифметическими атомных весов всех *изотопов* данного элемента. Точный же атомный вес каждого изотопа оказался кратен атомному весу водорода.

Гипотеза подобного содержания была высказана английским врачом и химиком У.Праутом еще в начале 19-го века: если полагать, что мир построен из атомов, то разумно также считать, что все атомы сконструированы из вполне определенных унифицированных деталей. В качестве такой детали Праут предлагал принять наиболее легкий и простой атом — атом водорода. Дальнейшие измерения атомных весов химических элементов показали, что эти атомные веса имеют дробные значения, так что гипотеза Праута на время — примерно один век — была отвергнута. Предположение о том, что в природе существуют разновидности химических элементов с разными атомными весами и несколько отличающимися физическими свойствами, высказал Фредерик Содди уже в начале 20-го века. Эти разновидности и должны занимать одно и то же место в периодической системе элементов. Они получили название изотопов.

Разные изотопы имеют равные количества протонов, а, следовательно, и электронов на околоядерных орбитах (напомним, что полный электрический заряд ядра равен нулю). Именно поэтому химические свойства изотопов одинаковы — ведь они определяются именно этими, заряженными, компонентами атомов, затрагивают только их электронные оболочки. Это касается всех основных химических реакций — горения, окисления, восстановления. Однако количество нейтронов в ядрах изотопов различно, что и приводит к различиям в атомных весах и в физических свойствах. Если мы вспомним, что масса нейтрона практически точно равна массе протона, то нам станет ясно, почему гипотеза Праута вернулась к жизни — масса атома водорода крайне мало отличается от массы протона (лишь на малую величину массы электрона).

Мы уже говорили, что радиоактивные элементы образуют семейства, каждый из его членов рождается в результате самопроизвольного распада материнского вещества: радий — потомок урана, полоний — потомок радия.

Каждый радиоактивный элемент теряет половину своей массы за одно и то же время – период полураспада (за это время половина ядер претерпевает радиоактивный распад, превращаясь в другой химический элемент). Масса урана уменьшится наполовину за несколько миллиардов лет, радия – за 1600 лет, масса газа радона — за 4 дня, "потомкам" эманации радия, для того, чтобы распалась половина радиоактивных атомов, нужно всего несколько секунд. В таблице приведены некоторые сведения о периодах полураспада для наиболее распространенных природных изотопов (характеризовать радиоактивные свойства ядер временем, за которое распадается половина имеющихся в наличии ядер, было предложено Резерфордом).

Из всего множества радиоактивных элементов, пожалуй, самый заметный вклад в развитие фундаментальной науки и техники внес радий — химический элемент, открытый супругами Кюри. Соединение радия с хлором в чистом состоянии представляет собой белый тусклый порошок, похожий на обычную поваренную соль. Но излучение радия в 2 миллиона раз сильнее, чем излучение урана. Именно излучение радия было разложено в эксперименте на три компоненты и установлено, что эти лучи способны проходить сквозь самые светонепроницаемые материалы. Лишь толстый свинцовый экран оказался способен остановить поток невидимых лучей, испускаемых радием.

Радий светоносен, излучаемый небольшим количеством радия свет имеет достаточную силу, чтобы читать в темноте. Радий заставляет фосфоресцировать многие тела, сами по себе неспособные излучать свет. Увидев свечение радия, Пьер Кюри сказал друзьям: «Вот свет будущего!» Ученый оказался прав — открытие радиоактивности изменило не только наши представления об устройстве материального мира, но и наши возможности обеспечивать процесс его познания и реализации гуманитарных планов человеческой цивилизации. Проще говоря, у человека появилась возможность добывать энергию из атомных глубин и использовать ее во благо.

Таблица основных физических характеристик естественных радионуклидов.

| Название | Символ | Число протонов (Z) | Число нуклонов (Z+N) | Период полураспада | Вид излучения |
|-------------|--------|--------------------|----------------------|-------------------------|------------------|
| Уран | U | 92 | 235 | $7 \cdot 10^8$ лет | α, γ |
| Протактиний | Pa | 91 | 231 | $3,4 \cdot 10^4$ лет | α, γ |
| Торий | Th | 90 | 232 | $1,4 \cdot 10^{10}$ лет | α, γ |
| Актиний | Ac | 89 | 227 | 22 года | β, γ |
| Радий | Ra | 88 | 226 | 1860 лет | α, γ |
| Радон | Rn | 86 | 222 | 3,8 суток | α |
| Полоний | Po | 84 | 210 | 138 суток | α |
| Свинец | Rb | 82 | 210 | 22 года | β, γ |
| Калий | K | 19 | 40 | $4,5 \cdot 10^8$ лет | β, γ |
| Уран | U | 92 | 238 | $4,5 \cdot 10^9$ лет | α |

Как-то Фредерик Содди взял стеклянную трубочку с радием и фотопластинку в светонепроницаемой кассете и стал водить трубочкой, как карандашом, по кассете. Лучи радия прошли сквозь кассету и на фотопластинке отпечатались слова «Writing radium» — «Написано радием».

Но нельзя было оставить рядом с пробиркой какой-либо предмет, растение, животное или человека, чтобы на них тотчас же и заметно не повлияла активность радия.

Из записей Марии Кюри: «При исследовании сильно радиоактивных веществ надо принимать особо тщательные предосторожности, если хочешь ставить продолжительные тонкие опыты. Различные предметы, употребляемые в химической лаборатории и те, которые необходимы для физических экспериментов, незамедлительно сами становятся радиоактивными и начинают действовать на фотографические пластинки сквозь черную бумагу. Пыль, воздух в комнате, сама одежда делается радиоактивными. Воздух превращается в проводник электричества. В той лаборатории, где мы работаем, эта напасть приобрела такую остроту, что мы уже не в состоянии иметь ни одного вполне приличного изолированного аппарата». Даже через 30-40 лет после смерти супругов Кюри их записные книжки все еще будут проявлять живую активность и действовать на измерительные приборы.

В 1934 году **Ирен и Фредерик Жолио-Кюри** открывают явление **искусственной радиоактивности**: определенные вещества, например, алюминий, подвергнутые облучению альфа-частицами, превращаются в новые, неизвестные в природе радиоактивные изотопы, которые сами становятся источниками излучения.

Особую роль при получении искусственных изотопов сыграли нейтроны. Причина особой роли и возможностей нейтронов понятна: электрически незаряженные частицы могут эффективнее проникать в положительно заряженное ядро. На сегодня известно около 1700 искусственных радионуклидов, получаемых при действии нейтронов на ядра стабильных элементов. Сравните — естественных радиоактивных элементов всего около 300.

Так через 40 лет после своего открытия уникальность естественной радиоактивности потеряла свое значение — человек научился превращать стабильные вещества в радиоактивные, бомбардируя их альфа-частицами и нейтронами.

Добавим еще вот что. Наука описывает наблюдаемые события — процессы, реакции, эффекты, происходящие в пространстве и времени, как соотношения между числами и символами. Эти формулы, как мы надеемся и как показывает проверка экспериментом, правильно отражают причины и следствия процессов в физическом мире, окружающем человека. Однако в эти соотношения должен быть заложен верный масштаб, который определяет истинную значимость эффекта (или скорость реакции, или величину взаимодействия) по отношению к некоторой выбранной для данной изучаемой области явлений единице измерения. Так, для измерения способности вещества проявлять свою радиоактивную природу, выбрана величина, названная активностью. Активность — всего лишь число радиоактивных распадов в секунду. Естественно, это число пропорционально количеству (массе) имеющегося радиоактивного вещества.

За единицу измерения активности ранее принималась величина в 1 Кюри (Ки). 1 Ки соответствует 37 миллиардам распадов в секунду (именно такую активность имеет 1 г радия). Сейчас представляется более удобным использовать намного меньшую величину — беккерель (Бк). 1 Бк — это 1 распад в секунду, т.е. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$. Почему беккерели удобнее кюри (хотя и несколько маловаты для реальных измерений) — это станет ясно, когда мы будем обсуждать радиоактивность окружающей среды.

ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — ОТКУДА?

Вновь дадим строгое научное определение: **ионизирующее излучение** — это любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию в ней электрических зарядов разных знаков. Какие же детали в устройстве атома ответственны

за появление излучения? В чем принципиальное отличие механизмов возникновения рентгеновского и радиоактивного излучения?

Вернемся к основным положениям квантовой механики, теории, сформулированной в начале 20-го века и надежно проверенной экспериментально, описывающей движение и взаимодействие микрочастиц. Вообще говоря, последовательность шагов в научных исследованиях была следующей: после доказательств того факта, что атом действительно существует, выяснилось, что состоит он из ядра и электронов. Кроме того, было доказано, что атом способен испускать лучи разной энергии, а эти лучи как-то связаны с разными типами движения электронов в атоме. Вот для объяснения, как движутся и взаимодействуют электроны в атоме и как математически описывать это движение, и была создана квантовая механика. Одним из фундаментальных ее постулатов является принцип квантования движений микрообъектов в замкнутом пространстве.

Исходно этот постулат был высказан **Нильсом Бором** в 1913 году: электрон, вращающийся около атомного ядра, может иметь лишь вполне определенные, дискретные (квантованные) значения энергии и момента количества движения. Эти значения зависят от заряда ядра и определяют набор разрешенных для движения электрона орбит.

В соответствии с принципом запрета Вольфганга Паули — в природе нет двух абсолютно тождественных микрочастиц (иначе говоря, в состояниях с одинаковой энергией может находиться не более двух электронов, отличающихся проекцией спина — некоторой специфической характеристики микрообъектов), на ближайшей к ядру орбите может находиться не более двух электронов, на следующей — не более 8, на третьей орбите — 18 электронов и т.д. Именно такое распределение электронов по орбитам вокруг ядра объясняет структуру периодической таблицы элементов Менделеева и разнообразные химические свойства элементов.

Количество электронных орбит (их принято называть оболочками) и степень их заполненности определяются типом ядра, интенсивностью создаваемого им физического поля. Атомное ядро непрерывно испускает и поглощает кванты различных физических полей, поскольку внутриядерные частицы есть непреременные участники нескольких различных типов взаимодействий: сильного, электромагнитного и слабого (именно это взаимодействие ответственно за бета-распад ядра, при котором из него, а не из электронной оболочки, испускается электрон). Квантовый характер микромира означает, что энергия атома не произвольна, а принимает дискретные, отдельные значения, набор этих значений образует энергетический спектр атома. Переход между двумя энергетическими уровнями в спектре сопровождается поглощением или излучением строго фиксированной порции энергии — кванта энергии. Величина этой порции равна расстоянию между ступеньками-уровнями «энергетической лестницы» микрочастицы. Переходы же со ступеньки на ступеньку неизбежно происходят, поскольку атомы взаимодействуют с внешней средой, обмениваясь энергией.

Чем на более высокой орбите, т.е. чем дальше от ядра, находится электрон, тем слабее он связан с ядром. При получении атомом дополнительной энергии (например, при электромагнитном его облучении) электрон с нижней орбиты, получив порцию энергии, переходит на орбиту, более удаленную от центра атома — ядра. Теперь у него появляется возможность оторваться от ядра. И если энергия, полученная электроном, превысит энергию его связи с ядром, атом лишается одного электрона, превращаясь в положительно заряженную частицу — положительный ион (это положительно заряженный «остаток» атома, в котором положительный заряд ядра теперь не полностью компенсируется отрицательным зарядом электронной оболочки). Масса такого иона практически точно

равна массе исходного нейтрального атома. Напомним, что альфа-частица — это результат двукратной ионизации атома гелия, когда оба электрона отрываются от первоначального атома.

Точно так же, как атом в целом или его ядро могут поглощать энергию отдельными порциями, двигаясь при этом вверх по «энергетической лестнице» — спектру энергий, квантовая микросистема — атом при переходе с верхнего энергетического уровня на более низкий — излучает порцию энергии. Электромагнитное излучение атома оказывается квантованным, проявляющим в определенных условиях свойства потока частиц. Кванты электромагнитного излучения называют **фотонами или гамма-квантами**.

Поскольку мы все время говорим об энергетических характеристиках атома или его излучения, давайте пользоваться специальной единицей измерения энергий: 1 электрон-Вольт — это энергия, получаемая электроном, когда он проходит ускоряющую разность потенциалов в 1 Вольт. Теперь можно сравнить возможности ионизации различных атомов. Так, для того, чтобы ионизовать атом цезия, достаточно придать электрону на его внешней оболочке энергию в 3,9 эВ. Для ионизации же атома гелия необходимо, как минимум, 24,6 эВ. Ионизация различных газов требует еще большей энергии: от 26 эВ для метана до 34 эВ для воздуха.

Каковы же энергии излучения атомов? Напомним, что переходить со ступеньки на ступеньку в спектре энергий могут как электроны, распределенные по оболочкам в соответствии с принципом Паули, так и само атомное ядро, как система сильно взаимодействующих микрочастиц — нуклонов. При перестройке внешних электронных оболочек атомов образуются фотоны с небольшой энергией. Так, например, рождается видимый солнечный свет, кванты которого имеют энергии примерно 1,8 – 3 эВ. Понятно, что энергии такого излучения недостаточно, чтобы сорвать электроны (ионизировать) с внешних оболочек любых атомов (для ионизации требуются энергии, как минимум, больше 3,9 эВ). Но может быть переход атомного ядра между возбужденным и основным (наинизшим энергетическим) состоянием сопровождается излучением более высокой энергии? Именно так: характерные энергии такого излучения лежат в интервале от 1 до 3 МэВ ($1\text{МэВ} = 10^6\text{ эВ}$). А какова же энергия рентгеновских всепроникающих X-лучей?

Теперь мы точно знаем механизм возникновения излучения, открытого Рентгеном. Ускоряясь в вакуумной трубке под действием электрической разности потенциалов, электроны врезаются на огромной скорости в положительно заряженный анод и резко тормозятся атомами анода. В результате этого процесса возникает целых два типа рентгеновского излучения: тормозное и характеристическое. Первое появляется за счет потери энергии быстро движущимся электроном при его резком торможении в поле ядра (атома анода). Поскольку тормозится свободный, не связанный внутри атома, электрон, то энергетический спектр его излучения непрерывен, не имеет дискретного характера. **Характеристическое же, дискретное излучение** возникает в результате того, что налетающие на атомы анода электроны могут выбить электроны из оболочек этих атомов. Причем выбивание электрона из низколежащей, близкой к ядру орбиты, означает появление на его месте «дырки», которая тут же занимает какой-нибудь электрон с более высокой орбиты. Такой переход электрона с верхней энергетической орбиты на нижнюю сопровождается излучением, имеющим четкую квантованную природу. Энергии рентгеновских квантов могут достигать десятков (почти до 100) кэВ ($1\text{ кэВ} = 10^3\text{ эВ}$), так что ионизация атомов внешней среды этим излучением вполне возможна. Именно поэтому гамма- и рентгеновское излучения называют **ионизирующими излучениями**.

Теперь нам понятно, что отличает рентгеновское излучение от излучения, открытого Беккерелем: радиоактивное излучение трехкомпонентно, наряду с гамма-компонентой в нем присутствуют бета-электроны (продукты перехода нейтрона в протон,

обусловленного так называемым слабым взаимодействием нуклонов) и альфа-частицы (также результат слабых взаимодействий групп нуклонов внутри ядра). Кроме того, гамма-кванты радиоактивного распада имеют более высокие энергии, чем рентгеновские фотоны, поскольку их порождают переходы самого ядра между его энергетическими уровнями, тогда как **рентгеновское излучение** — это излучение электронов.

СУДЬБА ИЗЛУЧЕНИЯ

Что происходит в дальнейшем с вырвавшимся из заточения внутри атома сгустком энергии — излучением? Поток энергии, переносимой различными компонентами излучения, движется во внешней среде и взаимодействует с ней. Как? Альфа-частицы несут на себе заряд, равный двум зарядам электрона. Поэтому им приходится с большим трудом протискиваться сквозь чашу атомов вещества, на которое налетает этот поток ионов гелия. Взаимодействуя с атомами, альфа-частицы быстро раздают свою энергию на освобождение электронов из атомов среды, т.е. на многократные акты ионизации. Поэтому пробеги ионов гелия в среде очень малы — даже в воздухе при нормальном атмосферном давлении они пробегают не более 10 см.

Бета-частицы — электроны — реже взаимодействуют с атомами среды, их электрический заряд меньше, они намного легче, так что пробег в воздухе для них возможен около метра. Еще меньше вероятность столкновения с атомами среды и потеря энергии на их ионизацию у гамма-квантов, они пробегают в воздухе десятки метров, пока не растратят всю свою энергию. Поэтому это излучение и называют проникающим. Приведем сравнительную таблицу свойств радиоактивного природного излучения, указывая заодно, какие возможны способы защиты от такого типа излучения (см. также цветную вкладку).

| Тип излучения | Состав излучения | Ионизирующая способность | Проникающая способность |
|---------------|----------------------------|--------------------------|--|
| α | Ионы He^{++} | Очень высокая | Низкая. Защита: 0,1 мм воды, лист бумаги |
| β | Электроны | Высокая | Высокая. Защита: слой алюминия до 0,5 мм. |
| γ | Электromагнитное излучение | Низкая | Очень высокая. Защита: слой свинца до нескольких см. |

Практически все природные радиоактивные вещества распадаются с излучением гамма-квантов. Исключением являются только распады стронция-90 и трития, в которых эта компонента излучения отсутствует (эти распады происходят только благодаря бета-переходу, при котором нейтрон внутри ядра превращается в протон, электрон и (анти) нейтрино). Фотоны рентгеновских и гамма-лучей достаточно сложно взаимодействуют со средой. Важно, что характер процесса такого взаимодействия зависит и от типа (заряда) ядер среды, и от энергии фотонов.

Наиболее известен процесс фотопоглощения, или **фотоэффект**, при котором фотон, имеющий достаточно большую энергию (больше энергии связи электрона в атоме), выбивает один из внешних электронов из атома. Получивший от фотона большую энергию быстрый электрон покидает свое место в атоме, а его место занимает другой электрон из внешней электронной оболочки, который излучает характеристические

рентгеновские гамма-кванты при переходе с одного (более высокого) энергетического уровня на другой. Эксперимент показывает, что фотоэффект — это основной процесс взаимодействия гамма-квантов с веществом, если их энергия составляет величину порядка 0,1 - 100 кэВ, т.е. превышает энергию ионизации (энергия солнечного излучения имеет именно такой порядок величины).

Коэффициент фотопоглощения (отношение количества поглощенных веществом фотонов к общему их количеству в потоке) заметно увеличивается при переходе к более тяжелым элементам и с уменьшением энергии падающих фотонов. Обнаружено, что при одной и той же энергии гамма-квантов массовый (отнесенный к одному грамму вещества) коэффициент фотопоглощения в свинце почти в 250 раз больше, чем в алюминии, и примерно в 23 раза больше, чем в меди.

Для более энергичных гамма-квантов, с энергиями порядка 1 МэВ, основным является иной процесс — упругое рассеяние на электронах внешних оболочек атомов. Нужно сказать, что фотоны с такими энергиями рождаются именно при радиоактивном распаде как естественных, так и искусственно созданных радионуклидов.

Эффект упругого рассеяния фотонов на почти свободных электронах (электроны внешних слоев наиболее далеки от ядра и слабо с ним связаны) изучался в 20-х годах прошлого века Артуром Комптоном и носит его имя. При **комптон-эффекте** часть энергии налетающего гамма-кванта передается рассеиваемому электрону, который исходно считается почти покоящимся. Получив от фотона энергию, электрон вылетает под некоторым углом к направлению движения первичного фотона, одновременно рождается и фотон с энергией меньшей, чем первичный. Насколько сильно отличается энергия вторичного фотона по сравнению с первичным — это зависит от угла отклонения (рассеяния) электрона. Если угол рассеяния мал, энергия фотона почти не изменяется. Лишь в том случае, когда электрон вылетает в направлении, почти противоположном направлению падающего фотона, энергия вторичного оказывается намного меньше энергии первичного фотона. В этом случае результатом процесса рассеяния становится быстрый электрон и малоэнергетичный гамма-квант, который теперь вполне способен осуществить фотоэффект.

Поскольку угол рассеяния электрона определяет долю переданной ему фотоном энергии, при не слишком высоких энергиях фотонов (в частности, в области рентгеновского излучения) изменение энергии фотона оказывается не очень большим, т.е. он сохраняет способность активного воздействия на среду. Поэтому и рентгеновское излучение также относится к типу проникающих. Конечно, еще более энергичное гамма-излучение обладает и более высокой проникающей способностью.

Вероятность комптон-эффекта практически не зависит от энергии фотонов и от типа атомов среды, на которых рассеивается поток фотонов. Можно определенно сказать, что при энергиях фотонов от 0,3 - 0,5 до 3 - 5 МэВ основным процессом их взаимодействия со средой является комптоновское рассеяние. Если энергии фотонов меньше указанной величины, при их попадании в среду более вероятен фотоэффект, если выше — происходит рождение пар электронов и **позитронов**. Позитрон — это положительно заряженный «двойник» электрона в микромире. Существование таких античастиц было предсказано Полем Дираком при построении квантовой теории релятивистских (движущихся со скоростями, близкими к скорости света) электронов.

Решая полученную им совокупность уравнений, описывающих быстро движущуюся и взаимодействующую с электромагнитным полем заряженную микрочастицу (электрон), Дирак получил для функции, представляющей микрочастицу, решения двух типов — с положительными и отрицательными массами. Первые соответствовали обычным электронам, но что означало существование еще одного решения с противоположным знаком массы? Этим решениям Дирак сопоставил

энергетические уровни с отрицательными значениями энергии и предположил, что все эти уровни заполнены обычными электронами, которые не наблюдаемы, поскольку имеют отрицательную энергию. Чтобы возник «реальный» электрон, нужно сообщить такому состоянию положительную энергию, достаточную для образования двух электронов. Тогда из «дираковского моря» отрицательных энергетических уровней (его еще называют электрон-позитронным вакуумом) появится обычный электрон, а на том месте, которое он занимал в совокупности заполненных энергетических уровней, останется «дырка» — физическая наблюдаемая микрочастица, имеющая ту же массу, что и электрон, но положительно заряженная. Этот партнер электрона, возникающий из вакуума вместе с электроном, был назван позитроном и обнаружен К.Андерсоном в составе космических лучей в 1932 году. Кстати, такие партнеры, античастицы, существуют у всех известных элементарных частиц. Иногда, правда, античастица совпадает с частицей. Таков фотон — сам себе античастица.

Нужно сказать, что процесс рождения пар «частица-античастица» из вакуума совершенно не противоречит закону сохранения энергии — он полностью согласуется принципом эквивалентности массы и энергии, сформулированным великим Альбертом Эйнштейном. То же самое относится, кстати, и к процессу радиоактивного распада, когда масса дочернего ядра оказывается меньше массы исходного радиоактивного материнского ядра. Разность их масс в точности равна полной энергии, уносимой всеми компонентами радиоактивного излучения.

Процесс рождения электрон-позитронных пар в электромагнитном поле атомного ядра, где происходит своеобразное превращение энергии в массу, также представлялся теоретически возможным и был экспериментально обнаружен. Как и процесс аннигиляции — взаимного уничтожения электрона и позитрона — с выделением электромагнитного излучения.

Если энергия фотона в поле ядра больше полной массы пары «электрон + позитрон», то излишек энергии фотона остается у пары в виде кинетической энергии, так что электрон и позитрон разлетаются в противоположных направлениях. С ростом энергии фотонов вероятность образования пар быстро растет, кроме того, эта вероятность растет и с увеличением заряда ядра. Например, у свинца линейный коэффициент поглощения за счет образования пар в 22 раза больше, чем у алюминия. Это значит, что в свинцовом покрытии толщиной 1 см из каждых 100 гамма-квантов 22 превращаются в электрон-позитронные пары, отдавая им свою энергию, тогда как в алюминиевом покрытии той же толщины такой процесс рождения пары осуществляет только 1 фотон.

В любом случае, при всех возможных вариантах взаимодействия излучения со средой — фотоэффект, комптон-эффект, рождение пар — возникает большое число быстро движущихся электронов. Значительная часть родившихся электронов имеет энергию, достаточную для ионизации атомов вещества.

ЧЕМ ИЗМЕРЯТЬ ЛУЧИ?

Итак, теперь мы знаем, что происходит, когда образующееся в радиоактивном распаде излучение (конечно, это относится и к излучениям, источником которых являются какие-либо другие процессы) взаимодействует с веществом. Одним словом, не конкретизируя детали, процесс взаимодействия излучения со средой называют **облучением**.

В мире существует далеко не только ионизирующее излучение, энергии которого достаточно для образования ионов в облучаемой среде, гораздо чаще вещество находится под воздействием иных типов радиации. Как действует на кожу человека привычная

солнечная радиация, мы хорошо знаем. Стоит только подольше побыть на открытой местности в жаркое время года, и можно получить весьма серьезное подтверждение «горячей» дружбы верхнего слоя кожи с солнечным инфракрасным излучением. Вплоть до ожога 2-й степени. Если же загорать постепенно — дольше, но при менее интенсивном облучении, можно приобрести красивый смуглый оттенок кожи и избежать появления ожога. Это уже результат воздействия ультрафиолетовой компоненты солнечной радиации. Она проникает более глубоко и влияет на пигмент подкожной клетчатки.

А чем, как вы думаете, объясняют ученые снижение слуха у значительной части молодого населения? Воздействием на слуховой аппарат человека акустического излучения многочисленных магнитофонов, плееров, проигрывателей. Акустическое переоблучение «суперзвуком» в дискотеках и шоу не проходит бесследно для организма человека. Телевизионные экраны, мониторы компьютеров, вездесущие мобильные телефоны — постоянные спутники современного цивилизованного человека и весьма интенсивные источники высокочастотного электромагнитного излучения. Есть у биофизиков даже такая интересная и небезосновательная гипотеза: современная акселерация обусловлена в значительной степени тем, что, начиная, примерно с середины 20-го века, человечество Земли находится под резко возросшим воздействием электромагнитного излучения в радиодиапазоне.

Чтобы лучше понимать, как радиация влияет на органическую и неорганическую природу, нужно выбрать определенные единицы измерения радиационного воздействия. Конечно, выбор единиц определяется физическими эффектами, которые производит радиация. Во всяком случае ясно, что наиболее заметные эффекты должны измеряться в таких единицах, с помощью которых удобно было бы описывать и влияние этих радиационных эффектов на человека.

Когда только начиналось изучение радиоактивных излучений естественных элементов и проникающих X-лучей Рентгена, самой заметной характеристикой их воздействия на окружающее вещество была степень ионизации.

Количественной мерой ионизирующей способности проникающего излучения принималось количество пар ионов (ведь в процессе ионизации на две части разделяется изначально нейтральная система и образуется пара ионов разного знака), которое порождает данный тип излучения в 1 см³ сухого воздуха, находящегося при комнатной температуре (+18° С) и нормальном атмосферном давлении. Условная единица измерения ионизирующих возможностей излучения была названа рентгеном и ей соответствовала такая интенсивность излучения, при которой в 1 см³ образуется примерно два миллиарда пар ионов (более точно, $2,08 \cdot 10^9$). Как только введена количественная характеристика поля ионизирующего излучения, можем присвоить ей имя: экспозиционная доза. Единицей ее измерения является рентген: $1P = 2 \cdot 10^9$ пар ионов/см³ воздуха.

По сути дела, экспозиционная доза определяет энергетические возможности ионизирующего излучения. Когда эта единица вводилась в обиход, ее использовали для оценки эффективности генератора рентгеновского излучения. Но эта мера ионизирующего излучения перестала быть удобной, когда применение рентгеновских лучей в медицинской практике стало повсеместным. Дело в том, что понятие экспозиционной дозы опирается на способность ионизировать сухой воздух. На практике же понадобилась характеристика, показывающая насколько эффективно излучение ионизирует ткани человеческого организма. Поэтому было предложено измерять степень воздействия проникающего излучения на вещество количеством энергии, поглощаемой облучаемым материалом.

Таким образом, **поглощенная доза** — это количество энергии, поглощаемое единицей массы облучаемого вещества. Конечно, эта величина характеризует не только способность излучения переносить энергию, но одновременно и способность вещества отбирать ее у излучения. Нужно, впрочем, сказать, что ионизация воздуха рентгеновским излучением очень мало отличается от ионизации мягких тканей организма. Результаты процессов комптоновского рассеяния гамма-квантов и фотоэффекта для обеих этих сред очень близки количественно — конечно, только для умеренных энергий фотонов, в рентгеновском диапазоне. Так что необходимость введения новой единицы в дозиметрии стала явной, когда повысилось напряжение на рентгеновских трубках и, соответственно, энергия и проникающая способность рентгеновских квантов. В плотной среде ионизирующая способность излучения оказалась иной, чем в воздухе. Вот почему была предложена новая, более универсально характеризующая процесс облучения вещества, единица измерений.

Поглощенная доза измеряется в радах (рад.). Однако в Международной системе единиц для поглощенной дозы есть более удобная единица — Грей (Гр): $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} = 10^4 \text{ эрг/г}$. Радиационный эффект, т.е. мера того, насколько сильным оказывается воздействие излучения на вещество, как раз и определяется поглощенной дозой. Можно сказать, что поглощенная доза — это универсальная характеристика взаимодействия радиации и материи. Но — только для неживой материи!

Более подробное изучение облучения живых тканей показало, что в этом случае результат воздействия излучения (так называемый **радиобиологический эффект**) зависит не только от количества энергии, которое отдает излучение атомам живой среды, но и от плотности ионизации — количества пар ионов, которые образуются вдоль направления прохождения пучка излучения. Например, легкий электрон, попав внутрь вещества, ионизирует на своем пути далеко не каждый атом — столкнувшись с одним атомом, он минует сотни других атомов, пока не столкнется с каким-нибудь еще, превращая и его в ион. Не так обстоит дело с более тяжелыми частицами. Например, протон, который почти в 2000 раз тяжелее электрона, на своем пути ионизирует практически все встречающиеся атомы.

Для учета дополнительной характеристики облучения — плотности ионизации атомов на своем пути — используется специальный **коэффициент относительной биологической эффективности ($K_{\text{ОБЭ}}$)**. С его помощью удастся сравнивать радиобиологические эффекты, производимые разными типами излучения в одной и той же среде при равных количествах энергии, поглощаемой средой (при равных поглощенных дозах). Этот коэффициент характеризует способность излучения данного вида воздействовать на ткани организма, т.е. говорит об относительной биологической эффективности разных излучений.

Иначе говоря, степень влияния на среду, например, нейтронного потока может быть эквивалентна воздействию на среду пучка гамма-квантов. Скажем, некоторый процесс происходит в органическом веществе при поглощенной дозе гамма-лучей в 2 Гр. Тот же процесс с теми же параметрами в той же среде может быть вызван и быстрыми нейтронами, но в этом случае достаточно поглощенной дозы в 0,2 Гр. Таким образом, для нейтронов $K_{\text{ОБЭ}} = 10$. Так возникает новое понятие дозиметрии — **эквивалентная доза**.

Единицей измерения эквивалентной дозы является биологический эквивалент рада — бэр, $1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад} \cdot K_{\text{ОБЭ}}$. Однако и эта единица уже устарела. Теперь принято измерять эквивалентную дозу в Зивертах (Зв): $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$. Смысл этих величин, правда, очень приблизительно, можно определить так: эквивалентная доза в 1 Зв

означает, что на 1 квадратный сантиметр площади органической среды (живой ткани) попадает около 100 миллиардов квантов излучения (1 мбэр означает, что на каждый квадратный сантиметр площади ткани попадает миллион радиоактивных частиц).

При определении коэффициента $K_{\text{ОБЭ}}$, который равен отношению поглощенных доз разных типов излучений, какое-то из излучений приходится считать эталонным. Если его воздействие на среду полагать равным некоторой условной единице, то воздействие другого типа облучения будет отличаться в $K_{\text{ОБЭ}}$ раз. В качестве эталонного выбирается гамма-облучение, для бета-электронов коэффициент относительной биологической эффективности тоже равен 1, для протонов и быстрых нейтронов — от 3 до 10, для альфа-частиц и тяжелых ионов $K_{\text{ОБЭ}}$ равен 20.

Радиационные способности радиоактивного вещества оцениваются его активностью, измеряемой в Кюри или Беккерелях. Зная активность источника излучения, можно вычислить мощность экспозиционной дозы на разных расстояниях от него, т.е. количества ионов, производимых излучением в единицу времени. Эта величина характеризует именно поле излучения, а оно зависит от типа радиоактивного вещества. Скажем, радий, как известно, намного более активен, чем уран, так что и мощность экспозиционной дозы для радиевого источника намного выше, чем для уранового (на одинаковых расстояниях). Поглощенная доза — это уже характеристика не самого поля, а его взаимодействия с конкретной средой. Энергией, поглощаемой единицей массы вещества, удобно определять эффект радиационного действия для всех неорганических веществ. Если излучение попадает на живую ткань, например, на человека, то для правильной оценки результата этого облучения нужно измерять эффект облучения только в эквивалентной дозе.

РАДИАЦИЯ КАЧАЕТ КОЛЫБЕЛЬ

Все эти единицы измерения придумал человек. Придумал и использует, чтобы количественно анализировать последствия попадания лучистой энергии в живую или неживую среду. Числа помогают нам понять и оценить, насколько эти последствия значительны и, возможно, опасны.

Но человек далеко не сразу научился вычислять, измерять и описывать символами и формулами природу. Несколько тысячелетий прошло с тех пор, как Архимед продемонстрировал врагам родных Сиракуз, как можно использовать аккумулированную энергию излучения — солнечные лучи, собранные отполированными до зеркального блеска вогнутыми металлическими щитами, подожгли корабли захватчиков. Так начиналось познание законов природы и применение их на практике. Архимед был одним из первых великих ученых Земли, но и он не предполагал, что солнечное излучение, столь эффективно примененное им для победы сиракузян в морском сражении, лишь один из видов радиации, существующей на Земле с момента ее образования. И, конечно, все человечество Земли — это ребенок, выросший в колыбели, пронизанной энергией радиации.

Сейчас нам достоверно известно, что лучистая энергия сыграла заметную роль в возникновении и развитии жизни.

Академик **В.Вернадский** писал: «Твари Земли являются созданием сложного космического процесса, необходимой и закономерной частью стройного космического механизма, в котором, как мы знаем, нет случайностей».

Наша Земля образовалась почти пять миллиардов лет тому назад. Не будем подробно обсуждать все известные теории образования Солнечной системы. Таких теорий несколько, упомянем лишь основные идеи. Великий философ Иммануил Кант еще в 1755 году выдвинул гипотезу о происхождении Солнца и планет из первичной, изначально неподвижной туманности. Кант полагал, что вращение туманности возникло позже, из некоторых сравнительно небольших вихрей. П.Лаплас дополнил теорию Канта предположением о вращении, заданном изначально. С увеличением скорости вращения диск туманности был разорван центробежными силами на отдельные кольца, которые собрались в отдельные сгустки — планеты. По другой гипотезе, связанной с теорией катастроф, при прохождении вблизи Солнца какого-то массивного небесного тела вследствие грандиозных приливов из огненной солнечной атмосферы вырвался поток вещества огромных размеров. Распадаясь на отдельные «капли», это солнечное вещество образовало протопланеты. В настоящее время в качестве основной модели образования Солнечной системы используется усовершенствованная версия теории Канта – Лапласа, модифицированная с учетом всех современных знаний о микромире и Вселенной. В частности, большую роль в формировании планетной системы сыграло наличие у Солнца собственного магнитного поля, что приводит к наличию электромагнитного взаимодействия между изначально разреженной шаровидной туманностью, которая постепенно превращалась в диск, и первичным Солнцем, находящемся в центре туманности. Первичные сгущения в туманности, соударяясь и объединяясь, стали зародышами планет.

Важно то, что по современным представлениям планеты земной группы формировались достаточно долгое время — около 100 миллионов лет, и поверхность их была уже достаточно холодной к моменту окончательного формирования. По крайней мере, не более 100 градусов Цельсия. Кстати, на молодую планету в этот период падало с большой скоростью достаточно много крупных небесных тел. Следы таких ударов на Земле остались до сих пор. Это, например, известный Аризонский кратер в США.

Итак, молодая планета Земля представляла собой твердый шар (приблизенно, точнее — геоид) с газовой атмосферой вокруг него. На поверхности планеты была вода, на планету падал мощный поток солнечного излучения, поставляя энергию, необходимую для протекания большинства химических реакций в атмосфере. Нужно сказать, что именно наличие атмосферы спасло зарождающуюся органическую жизнь в виде сложных биомолекул от гибели под высокоэнергетичным ультрафиолетовым излучением Солнца. Но без этого облучения в газовой смеси из водорода, метана, аммиака не смогли бы синтезироваться органические молекулы, давшие начало жизни.

Постепенно состав первичной атмосферы изменялся. Исчезали, вступая в различные реакции водород, аммиак, метан. Предшественники, строительный материал современных аминокислот, входящих в состав белков всего живого, создавались именно в этих реакциях. Все молекулы, из которых построены биологические объекты — растения, птицы, рыбы, животные, человек — появились в результате длинных цепочек химических реакций. Но характер протекания этих процессов, их скорость, структура получающихся соединений зависят не только от того, какие вещества вступают в реакцию. Результат химического процесса сильно, иногда критически зависит от физических условий протекания реакции. Попросту говоря от того, в какой «колбе» смешиваются вещества, в присутствии каких других веществ, при какой температуре. А температура — это и есть мера энергетического состояния реагирующей смеси веществ и той среды, в которой происходит реакция. Если «колба» подогревается, результат химического процесса один,

если нет — другой. А что способно нагревать среду, в которой происходит многозвенный процесс образования сложнейших белковых молекул и их комплексов? И не только нагревать, но и менять ее физические, а значит, и химические свойства? Ответ известен — излучение. Энергия, передаваемая среде пучками гамма-квантов, электронов, протонов, поглощается средой, в которой происходят все те процессы, которые мы выше описывали — фотоэффект, рассеяние гамма-квантов на электронах и ядрах, рождение пар частиц, ионизация среды и многие другие, менее вероятные процессы взаимодействия излучения с веществом.

Есть, впрочем, и иная теория возникновения органической жизни на Земле. В этом случае возникновение кислорода в атмосфере связывается не с процессами фотосинтеза, знакомыми всем из школьного курса биологии, а с фотохимическими реакциями. Свободный кислород возникает чисто химическим путем, но обязательно при наличии солнечной радиации! Состав первичной атмосферы, однако, предполагается совершенно иным: легкий водород улетучивается из нее, метана чрезвычайно мало, высокореактивный аммиак быстро распадается под действием все той же радиации и тоже исчезает. Остаются пары воды, углекислота и азот. Откуда же взять необходимые для синтеза органических соединений компоненты: аммиак, метан, водород, фосфор, серу и т.д.? Гипотеза, основные черты которой в дальнейшем были подкреплены экспериментом, состояла в том, что все эти газы вместе с парами воды в огромном количестве могли быть выброшены в атмосферу при извержениях вулканов. Поскольку в жерле вулканов достигается чрезвычайно высокая температура — до 1500 градусов, в высокотемпературной зоне может протекать множество химических реакций. Если же этот вулкан находится под водой, то, для образующихся органических соединений создаются вполне комфортные условия, чтобы выжить. Каждая из теорий образования жизни на Земле имеет свои интересные стороны, однако, мы не собираемся их обсуждать в данной книге. В любом случае, вывод ясен: все основные типы биологических молекул есть результат эволюции химических веществ. Очевидно, что ход этой эволюции в большой, если не определяющей степени, зависит от наличия ионизирующей радиации. Причем, не только солнечного происхождения.

Во всех живых организмах присутствуют ничтожно малые количества природных радиоактивных изотопов — урана, тория, калия. Есть расчеты, показывающие, что около 600 миллионов лет тому назад поток радиоактивного излучения от этих изотопов был на 6-7% выше, чем сейчас. А три миллиарда лет тому назад излучение было интенсивнее более чем в 2 раза! Напомним, что мы говорим только о природной радиоактивности, обусловленной самой нашей планетой. Но ведь существует еще и космическое излучение, которое активно проникало через не слишком толстое в те времена атмосферное «одеяло».

Космическое излучение — это еще один, наряду с природными радиоактивными минералами и газами, источник естественного радиационного фона на планете. Оно представляет собой поток протонов и альфа-частиц, выбрасываемых Солнцем или приходящих из космических далей и пронизывающих атмосферу и частично доходящих до поверхности Земли. Первичное космическое излучение в результате ядерно-каскадных процессов взаимодействия с атмосферой теряет энергию и порождает вторичное излучение, состоящее из электронов, фотонов, нейтронов и мюонов. Наиболее высокие энергии имеют космические частицы, приходящие извне Солнечной системы. Это так называемые галактические космические лучи. Измерения показывают, что эта компонента космического

излучения более-менее равномерно заполняет всю Галактику. Солнечные космические лучи имеют меньшие энергии и приходят на Землю, главным образом, после вспышек на Солнце, когда активность нашего светила резко возрастает.

Поток солнечной и космической радиации мог периодически резко усиливаться и при изменении магнитного поля Земли. А то, что такие повороты магнитного поля планеты действительно происходили — это научно установленный факт.

И после синтеза первых строительных элементов — аминокислот, циановодорода — процесс их эволюции к белкам и белковым соединениям происходил под воздействием внешнего облучения. Все процессы формирования первых клеток происходили в присутствии определенного радиационного фона. Представьте себе сцену, на которой актеры разыгрывают некоторое действо. Сцена залита ярким светом юпитеров. Осветители выделяют прожекторами то один, то другой участок сцены, на котором происходит нечто важное. Спектакль продолжается, пока сцена освещена — если свет погаснет, все остановится. В темноте невозможно продолжать действие, актеры наткнутся друг на друга. В конце концов, чтобы не свести все к хаосу, движение замирает. Приведенная аналогия, конечно, слишком упрощена, движение останавливается не потому, что нет энергии. Но все же некоторые характерные черты можно увидеть: при отсутствии облучения «актеры»-реагенты замедляют свои движения, при отсутствии энергии реакции останавливаются.

Процесс создания земных многоклеточных организмов был достаточно быстрым по космическим масштабам — всего-то около двух с половиной миллиардов лет. В конце концов, такие организмы завоевали всю планету. Основным генетическим материалом для создания разнообразных видов живых существ стали нуклеиновые кислоты. Наступил следующий этап развития жизни.

Химическая эволюция уступила место биологической эволюции. Но и в этом процессе важную роль продолжала играть ионизирующая радиация. Учеными предложена и развита концепция фонового радиационного облучения как фактора, вызывающего изменчивость растительного и животного мира и тем самым являющегося побудителем всего процесса эволюции на Земле. Известно, что теория эволюции стоит на трех «китах» — это **изменчивость, наследственность и отбор**, причем главным, первым звеном является именно изменчивость. Приведем пример: если облучать нуклеиновые кислоты, то в них будут происходить химические изменения (по мнению многих исследователей, именно нуклеиновые кислоты несут на себе признаки живого организма, содержат и передают информацию на генном уровне, именно они первыми возникли на Земле — это хорошо всем нам известные ДНК и РНК). Эти изменения могут вызвать изменения в генетической информации, закодированной в генах клетки, и привести к появлению новых признаков в потомстве этой клетки. Эти признаки могут оказаться вредными, такое потомство окажется нежизнеспособным. Однако в этом процессе возникают и такие живые формы, которые, напротив, будут более приспособлены к меняющимся условиям внешней среды. Этот механизм изменчивости работает только в условиях внешнего радиационного фона, при воздействии на клетки излучения. Многие специалисты считают, что естественная радиоактивность — это необходимость, без которой вообще невозможно сохранение и развитие живых существ, что радиационный фон участвует в регуляции биоритмов у земных организмов.

ОТКУДА ОНИ — РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ?

Таким образом, все человечество, начиная со своих одноклеточных «предков», хорошо знакомо с различными видами радиации. Причем не только с небесными, которые несколько гасятся толщей атмосферы, но и с земными — теми, которые испускаются, например, почвой, т.е. содержащимися в ней естественными изотопами. Средний уровень естественной фоновой радиоактивности невелик, он не превышает 0,1 - 0,2 рентгена за год и на две трети он обусловлен чисто земными факторами.

Мы уже говорили, что в наши дни средний радиационный фон гораздо ниже, чем в древние времена, в те эпохи, когда только зарождалась жизнь на Земле. Одна из причин и в том, что тогда на нашей планете было намного больше таких радиоактивных излучателей, которые к нашему времени успели почти распасться. Ведь наша Земля существует уже более 4 миллиардов лет, так что ядра трансурановых (с атомными весами, большими 238 —см. Таблицу распадов) элементов и короткоживущих изотопов просто вымерли к нашему времени. Наполовину уменьшилось количество изотопа U^{235} . Что уж говорить о прочих? На одну тонну урана в природе приходится примерно одна треть грамма радия и 10^{-9} г полония! Помните о радиоактивных семействах, в которых дочерний элемент — результат альфа- или бета-распада материнского? Вот с течением лет и замещается постепенно радиоактивный элемент своим дальним стабильным потомком.

В обозримый период жизни цивилизации не наблюдается процесс рождения новых, дополнительных, количеств радиоактивных элементов. Планета наша находится не в юношеской поре, успокоилась, геологические процессы в ней затормозились. В геологическом смысле, наша Земля не молода и уже не так активна, как в былые миллиарды лет. Пора бурной молодости закончилась, изредка активность проявляют лишь процессы, источник которых где-то в глубине планеты — пробегает дрожь землетрясений, вспоминают бывшие вулканы, исчезают мелкие островки. Все проходит... Только радиоактивные превращения, неуклонно подчиняясь законам микромира, отмечают время жизни планеты. Все с той же интенсивностью выбрасывая альфа-частицы, электроны и невидимый свет, атомные ядра распадаются, уменьшая количество долгоживущих тяжелых радиоактивных элементов.

Именно по «ядерным часам», скорость хода которых неизменна, ученые смогли определить периоды глобальных геологических и физических катаклизмов на планете, эпохи «перестроек», земных и космических катастроф. Но кто, когда и как завел эти часы?

Насчет «кто» — это вопрос не к ученым-физикам и инженерам, а вот «когда» и «как» — об этом наука кое-что сумела узнать. И относительное содержание элементов в природе, и их происхождение управляются законами микромира, законами ядерных радиоактивных превращений.

Возникновение и эволюция химических элементов — результат цепочки ядерных реакций, которые происходят везде, где складываются подходящие условия. В таких реакциях из нескольких простых ядер рождаются более сложные. Чтобы запустить процесс требовалось какое-то количество исходного сырья — набора элементарных частиц и принципов их взаимодействий (мало купить игру «конструктор», нужно еще найти инструкцию к игре) — и, как всегда, необходима энергия в достаточном количестве. По современным представлениям, во многом подтвержденным астрономическими и астрофизическими измерениями, наш мир действительно возник в результате катастрофического процесса взрывного характера (так называемая модель Большого взрыва).

На ранних стадиях существования Вселенной, через очень маленькое время после взрыва, сверхплотный «колобок», из которого и разворачивался затем весь мир, был только-только вынут из «печи» и температура его была огромной. Поэтому различные

реакции с участием элементарных частиц происходили в нем с большой интенсивностью. Нестабильные частицы распадались, превращаясь в стабильные, и через некоторое время в мире выжили протоны, электроны и фотоны — электромагнитное излучение (не забудем, что нейтрон быстро, в течение примерно 10 минут, распадается с вылетом протона и электрона). Таким образом, из всего разнообразия химических элементов в мир состоял, главным образом, из водорода (помните гипотезу Праута?).

Что же можно было построить из водорода? Для начала можно соединить 4 ядра водорода. Так из водорода получается гелий — эта термоядерная реакция дает огромное количество энергии и является основным процессом, питающим энергией наше Солнце. Правда, одно ядро He^4 образуется из четырех протонов не очень быстро — как минимум, за 330 миллионов лет! Дело в том, что даже при солнечных температурах вероятность собраться в одной точке четырьмя одноименно заряженными частицами очень мала. В постепенно остывающей Вселенной эта вероятность еще меньше. Только гравитационные силы могли собрать вещество и сжать до сверхплотного состояния, тем самым разогревая его до миллионов градусов.

Так загорались звезды, в сердцевине которых гравитация, сжимая вещество, поднимала его температуру и до 100 миллионов градусов. Тогда появлялась возможность для взаимодействия и у ядер гелия. Сливаясь вместе, альфа-частицы образовывали ядра углерода. Углерод, поглощая ядро гелия, становился кислородом. Кислород, в свою очередь, захватывал альфа-частицу и превращался в неон. Еще повысится температура — и в реакции вступают ядра углерода. Работа кипит, элементы возникают один за другим. Однако из одних только альфа-частиц получить тяжелые ядра невозможно. По счастью, в реакциях образовывалось значительное число нейтронов. Захват нейтронов тяжелыми ядрами порождал все новые изотопы. Стабильные выживали, нестабильные распадались, их «детали» вновь шли на переплавку.

Далее, например, при взрывах сверхновых звезд, накопленные ими богатства в виде огромного количества тяжелых ядер выбрасываются во Вселенную. Синтез элементов в ней, по-видимому, происходит непрерывно, скажем, обнаруженный в спектрах некоторых звезд радиоактивный технеций распадается за 220 тысяч лет. Значит, обнаруженный сейчас этот элемент образовался в звезде лишь так недавно? Но это относится к звездам, действующим космическим «печам». На Земле же не происходит образования заметных количеств тяжелых радиоактивных элементов. Чем короче их период полураспада, тем их меньше. Насколько же давно они образовались? Если считать, что все такие элементы сформировались примерно в одно время (по космическим масштабам), достаточно знать их периоды полураспадов и нынешнего их количества на планете, чтобы проследить судьбу радиоактивных U^{238} , Th^{232} , или, скажем, почти уже отсутствующего на Земле U^{235} , назад во времени. Оказывается, максимальное количество всех этих тяжелых элементов было на планете около 5 миллиардов лет тому назад. Тогда, когда только-только родилась наша планета, да и вся Солнечная система.

Так что тяжелые радиоактивные вещества — аборигены нашей Земли. Они живут на ней с самого ее рождения, они не только заметно влияют на химические и физические свойства неорганического мира Земли, но и создают тот естественный радиационный фон, в котором возникла, развивалась и стала мыслящей Жизнь.

ОПАСНЫЙ СОСЕД ИЛИ СТАРЫЙ ПРИЯТЕЛЬ?

Получается, что для нашей среды обитания ионизирующие излучения не являются чем-то чуждым и незнакомым. Это совсем не жуткое инопланетное «нечто», невидимо и незаметно вселяющееся внутрь человека или обволакивающее его смертоносной

паутиной. Мы живем в мире, которому естественно, изначально присуща радиоактивность, который непрерывно и плотно заселен проникающими излучениями. Наша биосфера стала такой, какая она есть, именно под воздействием радиации. Именно постоянно действующее облучение сопровождает человека с момента появления на планете его давних предков, с самого начала земной биологической эволюции. Другое дело, что определять его присутствие, измерять с помощью приборов и использовать радиоактивные свойства веществ научились не так уж давно, всего около 100 лет.

Биологические объекты Земли создавались и развивались в поле ионизирующих излучений и вполне приспособились к этому. Эксперименты показывают, что в специальных камерах, где отсутствует природный радиационный фон (их изготавливают из радиационно чистых материалов, не содержащих естественных радионуклидов), развитие растений замедляется, урожай уменьшается. Так что растительный мир не просто адаптируется к естественной радиоактивности почвы, фон излучений становится фактором, необходимым для нормального развития.

Но каждый из нас не только находится «под присмотром» радиационной неусыпной «няньки», каждый из нас немножко радиоактивен и сам по себе. Источники радиации находятся не только вне нас. Когда мы пьем, мы с каждым глотком вводим внутрь организма какое-то число атомов радиоактивных изотопов, то же происходит, когда мы едим. Более того, когда мы дышим, наш организм вновь получает из воздуха что-нибудь, способное к радиоактивному распаду — может быть, радиоактивный изотоп углерода C^{14} , может быть калия K^{40} или какой-то другой изотоп.

Откуда же берется такое количество радиоактивности, постоянно присутствующей вокруг и внутри нас? По данным ядерной геофизики в природе достаточно много источников природной радиоактивности. В породах земной коры, в среднем, на одну тонну пород приходится 2,5 – 3 грамма урана, 10 – 13 г тория (у него больше период полураспада), 15 – 25 г калия. Правда, радиоактивного K^{40} всего до 3 миллиграмм на тонну. Все это обилие радиоактивных, неустойчивых ядер непрерывно распадается, выбрасывая альфа- и бета- частицы, испуская гамма-кванты. Каждую минуту в 1 кг вещества земных пород распадается в среднем 60000 ядер K^{40} , 15000 ядер изотопа Rb^{87} , 2400 ядер Th^{232} , 2200 ядер U^{238} . Полная величина естественной радиоактивности — около 200 тыс. распадов в минуту.

Основной гамма-фон над планетой создают распады K^{40} и дочерних продуктов радия и тория. Все тот же изотоп калия почти на 90% определяет естественную радиоактивность животных. А знаете ли вы, что естественная радиоактивность различна у мужчин и женщин? Объяснение этого факта очевидно — мягкие и плотные ткани у них имеют различную структуру, по-разному поглощают и накапливают изотопы.

Мы все с самого рождения находимся в естественном радиационном поле, поэтому какую-то дозу радиации наш организм получает постоянно. Конечно, величина этой дозы зависит от очень многих факторов. Например, от географического положения. В европейской части России доза облучения от естественного фона составляет, в среднем, 1,3 мЗв в год. Но, в зависимости от района проживания она колеблется от 0,7 до 2,0 мЗв. Значительно большие дозы облучения получают жители высокогорий. В этом случае основным источником радиации служат космические лучи — более тонкое воздушное покрывало в горах легче «простреливают» идущие из космоса или от Солнца потоки элементарных частиц и гамма-квантов. Именно от высокоэнергетичных космических протонов и альфа-частиц приходится защищать космонавтов, работающих за пределами атмосферы. Суммарный эффект космического облучения на уровне моря соответствует среднегодовой дозе около 0,4 мЗв.

Население некоторых районов Индии получает в год более 8 мЗв. Причина такого повышенного облучения уже другая — в этих местах слишком близко к поверхности залегают руды, богатые радиоактивными изотопами.

Даже жители одного города получают разные среднегодовые эквивалентные дозы облучения. Так, если средний житель США получает около 1,3 - 1,5 мЗв в год, тот, кто снял квартиру на Бруклине, получит примерно на 0,1 мЗв меньше, чем житель Манхэттена.

Доза внешнего облучения может меняться и в зависимости от типа строительного материала, из которого построены наши дома. Живущие в деревянном доме получают за год на 0,4 мЗв меньше, чем жители дома кирпичного (в среднем за год набирается до 0,8 мЗв). А жители дома из гранитных камней получают за год дозу, на 0,5 мЗв большую. Эти дозы набираются, главным образом, за счет гамма-излучения естественных радиоактивных элементов, содержащихся в строительных материалах.

Открытие радиоактивных свойств материи необратимо изменило нашу цивилизацию. Невозможно сделать вид, что радиации не существует, нельзя избежать влияния земной природной среды и космоса, никак не уйти от того факта, что время ныне иное — теперь мы живем в атомном веке. Ионизирующая радиация все сильнее внедряется в наш быт. Обычный рентгеновский снимок у зубного врача добавляет примерно 0,2 мЗв к среднегодовой дозе облучения. За счет одних только медицинских исследований (флюорография, рентгеновские снимки) человек в среднем получает до 1,0 мЗв в год.

Итак, естественные радиоактивные излучатели живут на нашей планете с самого начала ее образования, они — неотъемлемая часть биосферы. В отличие от них химические токсические вещества природой не создаются, их производит человек. Самое опасное следствие их производства в том, что вредные химические препараты практически не разлагаются в природных процессах. Наиболее известное всем нам такое вещество — высокоэффективный препарат для борьбы с вредными насекомыми, ДДТ. Этот препарат очень стойкий и способен накапливаться в окружающей среде. Оказалось, однако, что это, не имеющее природных аналогов, вещество вредно для человека, допустимое количество его в организме не должно превышать 1 микрограмм. Когда этот тревожный факт был осознан, производство ДДТ было запрещено, но к тому времени было уже произведено и использовано более полутора миллионов тонн (!) токсиканта. Устойчивое, почти неразложимое опасное вещество, оставляет свои следы везде, его присутствие замечено в телах рыб и птиц, в зоопланктоне, даже в тюленьем жире и тушках арктических пингвинов.

Таким образом, возникновение, существование и развитие человеческой цивилизации происходило и происходит в условиях хронического малоинтенсивного фонового облучения, т.е. радиационного воздействия космических лучей и естественных радиоактивных веществ, содержащихся в воздухе, воде, почве, растительной и животной пище, в теле самого человека. С высокой степенью достоверности можно утверждать, что доза, воздействию которой человечество непрерывно подвергалось на протяжении десятков тысячелетий своего существования, является безопасной, так как в результате естественного отбора человечество должно было приспособиться к такому облучению. Доказательством этого вывода служат наблюдения за состоянием здоровья населения тех областей планеты, где фоновое облучение значительно выше среднего (1,0-1,5 мЗв в год) и достигает величины 5,0-20,0 мЗв в год. Таковы высокогорный Тибет с повышенной интенсивностью космического излучения, штаты Керала в Индии и Эспириту-Санту (Бразилия) с повышенной радиоактивностью почв и другие. Многолетние исследования проведенные и национальными и международными организациями показали, что, несмотря на повышенный радиоактивный фон, у населения этих районов состояние здоровья не отличается от характерного для мест со средним радиационным фоном.

Итак, радиационный фон - это то, что является естественным и неизбежным фактором в окружающей нас среде. Уровни радиационного фона могут быть очень разными и непостоянными. Так, например, люди, живущие в областях, богатых гранитом или на минерализованных песках, получают больше земной радиации чем другие, в то время как люди, проживающие или работающие на высокогорье, получают большее количество космической радиации. Достаточно высокий уровень экспозиции (более 50 %) мы получаем из-за радона, радиоактивного газа, который просачивается из-под земной коры и всегда присутствует в воздухе, который мы вдыхаем.

Предлагаем Вам оценить Вашу индивидуальную годовую дозу облучения, исходя из данных, приведенных в таблице. Полученные после подсчета результаты, Вы можете сопоставить с наиболее вероятными эффектами при различных значениях доз облучения и мощностей дозы, отнесенных к целому телу.

| Источник ионизирующего излучения | Годовая доза |
|--|---------------------|
| КОСМИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ | |
| На уровне моря | 0,2 мЗв |
| Прибавьте на каждые 100 м над уровнем моря | 0,03 мЗв |
| ИЗЛУЧЕНИЕ ЗЕМЛИ | |
| В зоне известняков | 0,3 мЗв |
| В зоне осадочных пород | 0,5 мЗв |
| В зоне гранитов | 1,2 мЗв |
| ВАШЕ ЖИЛИЩЕ | |
| Из дерева | 0,01 мЗв |
| Из кирпича | 0,1 мЗв |
| Из бетона | 0,5 мЗв |
| Если Вы живете в 30-км зоне АЭС, добавьте | 0,02 мЗв |
| Если Вы живете вблизи от центра испытаний ядерного оружия, добавьте | 0,03 мЗв |
| ВАША ПИЩА | |
| Естественные радиоизотопы, содержащиеся в продуктах (минералы, мясо, овощи, рыба и т.п.) | 0,02 мЗв |
| ВАШИ ПОЛЕТЫ НА САМОЛЕТЕ | |
| На каждые 500 км добавьте | 0,04 мЗв |
| ВАШИ ТЕЛЕВИЗОР И ЧАСЫ | |
| При средней продолжительности просмотра телевизора 1 час в день, добавьте | 0,05 мЗв |
| Если Вы носите светящиеся часы, добавьте | 0,02 мЗв |
| ВАШ ОТПУСК | |
| Неделя отпуска в горах на высоте 2000 м | 1 мЗв |
| ВАШЕ ЗДОРОВЬЕ | |
| Рентгенография легких | 1 мЗв |
| Рентгенография зубов | 0,2 мЗв |
| Абдоминальная томография | 15 мЗв |
| РЕЗУЛЬТАТ ВАШЕГО РАСЧЕТА | |

А теперь сравните результаты Ваших расчетов с приведенными ниже цифрами и оцените степень той опасности, которую вносит в Вашу жизнь радиация. Ниже приведены данные, которые представляют наиболее вероятные эффекты при различных значениях доз облучения и мощностей дозы к целому телу.

| Величина дозы или мощности дозы | Комментарий |
|--|--|
| 10000 мЗв (10 Зивертов) | При кратковременном облучении причинили бы немедленную болезнь и последующую смерть в течение нескольких недель |
| Между 2000 и 10000 мЗв (2 - 10 Зивертов) | При кратковременном облучении причинили бы острую лучевую болезнь с вероятным фатальным исходом |
| 1000 мЗв (1 Зиверт) | При кратковременном облучении, вероятно, причинили бы временное недомогание, но не привели бы к смерти. Поскольку доза облучения накапливается в течение времени, то облучение в 1000 мЗв вероятно привело бы к риску появления раковых заболеваний многими годами позже |
| 50 мЗв/в год | Самая низкая мощность дозы, при которой возможно появление раковых заболеваний. Облучение при дозах выше этой приводит к увеличению вероятности заболевания раком |
| 20 мЗв/в год | Усредненный более чем 5 лет - предел для персонала в ядерной и горнодобывающих отраслях промышленности |
| 10 мЗв/в год | Максимальный уровень мощности дозы, получаемый шахтерами, добывающими уран |
| 3 - 5 мЗв/в год | Обычная мощность дозы, получаемая шахтерами, добывающими уран. |
| 3 мЗв/в год | Нормальный радиационный фон от естественных природных источников ионизирующего излучения, включая мощность дозы почти в 2 мЗв/в год от радона в воздухе. Эти уровни радиации близки к минимальным дозам, получаемым всеми людьми на планете |
| 0.3 – 0.6 мЗв/в год | Типичный диапазон мощности дозы от искусственных источников излучения, главным образом медицинских |
| 0.05 мЗв/в год | Уровень фоновой радиации, требуемый по нормам безопасности, вблизи ядерных электростанций. Фактическая доза вблизи ядерных объектов намного меньше |

ЧЕЛОВЕК И ЭНЕРГИЯ

Жизнь и деятельность человека — это непрерывная цепь действий, на каждое из которых требуется определенная энергия. Говорят, что физический объект обладает энергией, если он способен выполнять работу, то есть, например, осуществлять перемещение против сил сопротивления. Для работы нужна сила, значит, необходимо

взаимодействие. Для работы требуется изменение положения самого тела или его частей (может быть, микроскопических) в пространстве и времени. Работа совершается, когда есть запас энергии. Но энергия может и просто превращаться из одного вида в другой. Всем известен классический опыт Джоуля, когда было показано, что затраченное количество работы (скажем, вращение тяжелого вала) переходит в такое же количество тепловой энергии (нагреваются металлические стружки, о которые трется вал).

Вся история развития цивилизации, если обращать внимание именно на физическую, материальную сторону вопроса — это поиск, завоевание (приобретение) и использование все новых, более эффективных источников энергии. В качестве таковых долгие века и тысячелетия человечеством было принято считать самих же людей наравне с одомашненными животными — быками, лошадьми, слонами. Затраты на поддержание работоспособности таких «источников энергии и работы» сводились, главным образом, к недорогому питанию. Химические процессы внутри организма, происходящие при разложении пищи, и были, на самом деле, источниками энергии, поддерживающими возможность движения. Конечно, «источники» приходилось еще и охранять, чтобы не сбежали, или умирять, чтобы не взбунтовались. Такие источники работали не очень долго, зато были недороги и легко заменяемы. Вот если источник энергии обладал какими-то особыми возможностями или способностями, по сравнению с другими, тогда он ценился выше и, соответственно, для его функционирования создавались более комфортные условия. Например, раб, умеющий писать или считать, редок, дорог и требует более бережного отношения и улучшенного питания.

Впрочем, мы отклоняемся в сторону. Поскольку со временем знания о природе накапливались, углублялось понимание физических процессов, у человека появилась возможность привлечь для выполнения механической работы сами силы природы. Мельничное колесо вращала сила (точнее, энергия движения) падающей воды или ветра. Экипаж или повозку не обязательно должна была тянуть лошадь, это могла делать и сила пара, заключенного в цилиндр, поставленный на колеса. Конечно, чтобы создать огромное количество хитрых механизмов, выполняющих вместо живых существ разнообразную работу — а именно это позволяет человеку расширять сферу своей деятельности на Земле, — пришлось людям немало потрудиться и головой, и руками. Научившись использовать силу огня, человек понял, что увеличил свои возможности. Но разве на этом исчерпались способности природы помогать человеку в добыче энергии? Человек очень многое узнал о свойствах и возможностях химических элементов, природных веществ и процессов. Применяя эти знания совместно с талантом к изобретению новых комбинаций известных предметов, человек научился извлекать из материи запасенную в ней способность осуществлять движение. То есть, энергию.

Но ведь не только химическими процессами исчерпываются возможности природы? Разве только такая цепочка превращений возможна: природный минерал (уголь, нефть, газ), потом процесс окисления на воздухе (горение, если процесс очень быстрый — это взрыв), при этом энергия химических связей (на самом деле, это энергия электромагнитного взаимодействия заряженных микрочастиц — электронов и протонов или ионов) переходит в тепловую (например, вода закипает и становится паром), затем тепловая энергия переходит в механическую (давление пара двигает поршень)? Неужели только в реакциях на молекулярном уровне возможно выделение энергии в какой-либо форме — тепловой или электромагнитной? А как же радиоактивное излучение, разве это не поток энергии, идущий непосредственно с атомного уровня строения материи?

Пьер Кюри поместил трубку с радием в массивный теплоизолированный сосуд с водой — калориметр, — чтобы оценить количество энергии, выделяемой при радиоактивном распаде вещества. Вода поглощала практически все ионизирующие

излучения, в результате чего ее температура повышалась. По степени нагревания было установлено, что один атом радия, превращаясь после распада в радон, выделял в миллион раз больше энергии, чем можно получить при образовании молекулы воды из водорода и кислорода. А ведь эта химическая реакция известна, как одна из наиболее производительных по величине энергосвечения! 1 грамм радия за час выделял такое количество теплоты, которого достаточно для плавления 1 грамма льда. При полном же распаде 1 грамма радия выделяется энергия, равная теплу сгорания 0,5 тонны угля.

По мнению физиков, атомы всех химических элементов имеют огромные запасы энергии, но только радиоактивный распад дает возможность обнаружить эти запасы, часть которых уносится ионизирующим излучением.

Как представлялось в годы первых экспериментов, радий может бесконечно долго светиться в стеклянной трубке, нагревать ее стенки и исправно ионизировать воздух вокруг себя, заставляя спадаться листочки электроскопа. «Радий подрывает принцип сохранения энергии» — говорил Анри Пуанкаре. Казалось, что открыт новый, неустанно и бесперебойно работающий, почти неисчерпаемый источник энергии, созданный самой природой и не требующий никакого питания. Вот, разве что присмотр за его безопасным функционированием был необходим.

Впрочем, открытие естественных радиоактивных веществ, которые долгие годы способны испускать небольшие порции внутриядерной энергии, по выражению одного ученого-атомщика, было похоже на приобретение вечной свечи. Химические реакции, с точки зрения получения энергии, тогда выглядели намного более обещающими — например, реакции горения были самоподдерживающимися, в них участвовала сразу большая масса вещества, а ядерные реакции расщепления были всего лишь изредка вспыхивающими искорками. Да, по сравнению с молекулами, ядра атомов обладают намного большей энергией, но расстаются с ней лишь те ядра, которые испытывают радиоактивный распад. Такова была ситуация до тех пор, пока не было открыто самопроизвольное, а затем и вынужденное деление ядер.

Именно в эту эпоху революционных открытий в теории микромира, в этот период надежд и уверенности во всемогуществе человеческого ума один из самых знаменитых исследователей ядерных свойств материи, **Фредерик Жوليو-Кюри** говорил: «Если заглянем в прошлое и охватим взором прогресс науки, который происходит все более нарастающими темпами, мы получим право думать, что исследователи, которые создают или разрушают элементы по своему желанию, сумеют добиться превращений, имеющих характер взрыва, добиться настоящих цепных реакций. Если мы сможем осуществить подобные превращения, то удастся высвободить огромное количество энергии, которую можно будет использовать».

Что же это такое — цепные реакции деления? История начинается с того, как Энрико Ферми, физик-теоретик, работающий в Римском университете, начал с коллегами ряд экспериментов по облучению тяжелых ядер нейтронами. Идея была простой: нейтрон захватывается ядром, переполненным нейтронами и протонами, после чего один из «лишних» нейтронов испытывает бета-распад, т.е. испускает нейтрон и становится протоном. А это значит, что материнское, облученное ядро становится уже ядром другого химического элемента с зарядом на единицу больше. Так предполагалось расширить периодическую таблицу.

Нужное оборудование состояло из источника нейтронов и урановой мишени, помещенных в ящик со свинцовыми стенками, обложенными парафином, для защиты экспериментаторов от облучения. В ходе опытов выяснилась странная вещь: нейтроны поглощались мишенью совершенно по-разному в разных местах ящика!

Предположение, сделанное *Энрико Ферми*, подтвердил простой опыт, проделанный его сотрудниками прямо в воде ближайшего фонтана. Поместив в воду источник нейтронов и мишень из урана, физики обнаружили, что нейтроны, замедленные водой, гораздо интенсивнее поглощались ураном. Дело в том, что вылетающие из источника быстрые нейтроны, сталкиваясь с атомами водорода, сильно тормозятся, их скорости становятся сравнимыми со скоростями движений молекул воды (такие нейтроны называют *тепловыми*). Медленные же нейтроны поглощаются ураном с намного большим «аппетитом», чем быстрые. То же происходило и в ящике — в этом случае замедлителем нейтронов служил парафин. В конце концов, был обнаружен новый трансурановый элемент. Как и предполагал Ферми, U^{238} , захватывая нейтрон, становился изотопом U^{239} , который после бета-распада нейтрона превращался уже в новый элемент нептуний Np^{239} .

Эксперименты с тепловыми нейтронами проводились и группой Жолио-Кюри. В 1938 году Ирен Жолио-Кюри вместе с П.Савичем обнаружили, что ядра изотопа урана, поглощая нейтроны, способны делиться на две примерно равные части: одно тяжелое ядро урана разваливалось на ядро лантана и ядро бария. При таком делении ядра высвобождалась значительная энергия — около 200 МэВ. Окончательно в механизме деления разобрались немецкие ученые *О.Ган, Ф.Штрассман и Л.Мейтнер* в 1939 году, построив после серии экспериментов первую теоретическую модель процесса деления. Более детальное теоретическое описание деления ядра было дано Бором и Уилером. Они исходили из сходства ядра с каплей несжимаемой жидкости, при этом основной причиной деления служило резкое усиление деформации «ядерной капли» при поглощении ею нейтрона. Капля приобретала продолговатую форму, электростатические силы разрывали ее пополам, несмотря на силы междуклонного притяжения. Было также предсказано, что ядро может, в принципе, развалиться и само по себе, без попадания в него дополнительного нейтрона. Достаточно в ядре сложиться определенной конфигурации движущихся нейтронов (вероятность таких конфигураций невелика, но и не равна нулю), как ядро распадется на две части. Предсказание теоретиков сбылось: в Советском Союзе *Г.Флеровым и К.Петржаком* было открыто *спонтанное (самопроизвольное) деление ядер*. Добавим только, что аналогия ядра с каплей жидкости оказалась, конечно, далеко не полной и теорию пришлось много раз совершенствовать. Ведь капельная модель описывает только некоторые усредненные свойства ядер, процесс же деления зависит и от внутренней структуры, и от состояния отдельных нуклонов и их групп (кластеров) внутри ядра.

С тех пор очень многое прояснилось в структуре ядра, создано много теоретических моделей (например, оболочечная модель, учитывающая распределение нуклонов по энергетическим уровням в ядре) для описания особенностей различных ядер. Но атомное ядро — чрезвычайно сложная система, огромный коллектив взаимодействующих микрочастиц, разобраться в хитросплетениях их взаимоотношений весьма непросто. Так что далеко не все загадки из жизни ядер уже разгаданы. Хотя все самое важное известно, и человек уже научился надежно управлять поведением ядер, их превращениями, сумел теоретически описать и экспериментально доказать возможность создания ядерного источника энергии. Только, как и в давние-давние времена, за источником энергии, выполняющим работу для нас, надо присматривать. А как же иначе?

Теперь понятно, что вероятность деления ядра, в которое попадает альфа-частица, очень мала, примерно одна миллионная. Так что даже после запуска Резерфордом небольшого (по современным масштабам так просто маленького) протонного ускорителя не могло быть и речи о практическом добывании энергии из ядерных кладовых. По словам одного физика-ядерщика, выигрыш в энергии от ядерных реакций вызываемых ускоренными протонами был не больше копеечного приза, полученного в тире человеком, растратившем на стрельбу всю свою зарплату. Именно поэтому в 1937 году Резерфорд

говорил: «Перспектива получения энергии при искусственных процессах превращения не выглядит обещающей» и добавлял, что ученые стремятся использовать внутреннюю энергию радия только в целях познания природы.

Для осуществления деления ядер с заметным выходом энергии требовалось создать условия, в которых развилась бы **цепная реакция деления** — реакция, в которой частицы, вызывающие деление — например, нейтроны, сами были бы продуктами реакции. Таким образом, овладение ядерной энергией полностью определялось характером протекания реакции деления. Вот, скажем, чем хороша — с точки зрения получения энергии — привычная реакция горения? Тем, что в ней участвует одновременно огромное число молекул. Энергия, выделяемая при распаде одной молекулы, многократно увеличивается. Нельзя ли этого добиться в ядерной реакции?

Деление каждого ядра урана сопровождается высвобождением нескольких вторичных нейтронов. Если бы эти нейтроны могли вызывать деление следующих ядер урана, то в реакцию вовлекалась бы большая масса вещества. Конечно, только часть общего числа вторичных нейтронов может быть задействована для продолжения реакции деления, это значит, что на один нейтрон первого поколения, вызвавший деление, придется в среднем K штук нейтронов второго поколения. Если число K (называемое **коэффициентом размножения**) больше единицы, то число нейтронов от акта к акту будет возрастать и в реакцию деления будет вовлекаться все большее число ядер.

Возможна ли цепная реакция деления прямо в куске природного урана? Теперь мы знаем, что ядра урана с большой вероятностью поглощают только медленно движущиеся, тепловые нейтроны. Но это так для изотопа U^{235} , которого в природе совсем немного — его скорость радиоактивного распада такова, что он уже успел почти распасться. Гораздо больше на планете запасов U^{238} (соотношение запасов, примерно таково — 99,3% U^{238} и около 0,7% U^{235}), а этот изотоп эффективно делится только под действием **быстрых нейтронов**. Вероятность же деления такими нейтронами изотопа U^{235} действительно очень невелика — раз в 100 меньше, чем медленными.

При делении природных ядер U^{235} или U^{238} быстрыми нейтронами коэффициент K оказывается больше 2,5. Казалось бы, возможна быстрая цепная реакция деления и больших масс урана вообще не может существовать — они все давно бы распались, вплоть до взрыва, в реакциях деления. Однако все это не так. Число нейтронов, способных осуществлять и делать нарастающим процесс деления, быстро уменьшается: ядра U^{238} захватывают нейтроны и превращаются в ядра U^{239} (вспомните эксперименты Ферми с облучением урана нейтронами). Кроме того, нейтроны быстро теряют энергию в процессах рассеяния на ядрах урана и, замедляясь, уже не могут привести к делению изотопа U^{238} .

Расчеты показали, что для осуществления цепных реакций деления коэффициент размножения должен быть больше 2,5. В экспериментах, проведенных Ф.Жолио-Кюри и Г.Альбаном, было установлено, что при делении урана испускается в ср

еднем около 3 вторичных нейтронов. Теперь управляемые цепные реакции стали реальны. Труд ученых становился движущей силой научного и технического прогресса цивилизации. Один из пионеров атомной физики Ф.Содди писал в то время: «эти открытия показали, что суровая борьба за существование, за истощенные источники природной энергии, которую вело человечество до сих пор, вовсе не является единственным и неизбежным уделом человека. Ничто не мешает нам думать, что наступит день, когда мы сможем использовать для наших нужд первичные источники энергии, которые природа ревностно хранит для будущего».

ОБЛУЧЕНИЕ — РЕАЛЬНОСТЬ И ДОМЫСЛЫ

Открытия науки доказали, что в ядерных энергоисточниках — в природных запасах урана — заключено намного больше энергии, чем в угле, нефти, газе. Оставалось лишь научиться безопасно использовать цепные ядерные реакции. История цивилизации, опыт научного и технического прогресса утверждают: любая практическая деятельность человека, работа созданного им устройства, машины, установки создает определенный риск для здоровья человека и окружающей среды. Каждое новое физическое открытие, особенно фундаментального характера (а открытие радиоактивности — это именно такое великое открытие), создает иллюзию власти над Природой. Только тщательно проведенные, многократно проверенные и надежно обоснованные экспериментальные и теоретические исследования дают прочную основу для разностороннего прогресса человечества. Именно такие исследования радиоактивных свойств материи и были осуществлены огромным международным коллективом ученых и инженеров. И конечно, были обнаружены не только удивительные возможности радиоактивных процессов по выработке энергии. Как и любой процесс, происходящий с обменом энергией со средой, явление радиоактивности может приносить человеку не только пользу. Известно, впрочем, что любое вещество может действовать и как яд, и как лекарство — все зависит от дозы.

Еще в самом начале радиационной эры первопроходцы обнаружили биологическое воздействие ионизирующего излучения радиоактивных элементов. Воздействие оказывает любое ионизирующее излучение, и к 1897 году было описано уже 23 случая кожных поражений, вызванных рентгеновским облучением. В 1898 г был открыт радий, проникающее гамма-излучение которого сильно действует на ткани организма. Рост жесткости (энергии) излучения приводит к перемещению максимума ионизации ткани с ее поверхности в глубину.

В 1900 году немецкие ученые Вальхов и Гизель сообщили, что новое вещество (речь шла о радии) действует физиологически. Это проверил П.Кюри, подвергнув облучению радия самого себя. Вот запись из рабочего дневника ученого, который скрупулезно наблюдал за «объектом исследований»: «Кожа покраснела на поверхности в 6 кв. см, имеет вид ожога, но не болит или болезненна чуть-чуть. Через некоторое время краснота, не распространяясь, начинает становиться интенсивнее, на 20-й день образовались струпья, затем рана, которую лечили перевязками; на 42-й день стала перестраиваться эпидерма от краев к центру, а на 52-й день остается еще ранка в 1 кв. см».

Мадам Кюри, перенося в запаянной стеклянной трубочке несколько сантиграммов очень активного вещества, получила ожоги такого же характера, хотя маленькая пробирка находилась в тонком металлическом футляре. В своих воспоминаниях она писала: «Кроме таких резких воздействий, мы за все время наших работ с очень активными веществами испытали на себе различные виды их воздействий. Руки вообще имеют склонность к шелушению; концы пальцев, державших пробирки или капсулы с сильно радиоактивными веществами, становятся затверделыми, а иногда очень болезненными; у одного из нас воспаление оконечностей пальцев длилось две недели...».

Как-то Беккерель нес в жилетном кармане пробирку с радием и тоже обжегся. Придя в восторг и ярость, он пожаловался Марии Кюри на проделки их страшного детища. Напоследок он сказал: «Радий я люблю, но сердит на него!»

Заинтересованный Пьер Кюри начинает изучать действие радия на животных. Работая в сотрудничестве с медиками Бушаром и Бальтазаром, они приходят к

заклучению: радий, разрушая больные клетки, излечивает волчанку, злокачественные опухоли и некоторые формы рака. Мария Кюри пишет: «Действие радия на кожу изучено доктором Доло... С этой точки зрения радий дает ободряющие результаты: эпидерма, частично разрушенная действием радия, преобразуется в здоровую». В 1899 году было обнаружено явление разрушения раковых опухолей излучением. Радий становится союзником человека в его борьбе с раком.

Мы уже писали о том, что выход человечества на ядерный масштаб энергий создал иллюзию власти над природой, возникла опасность применения недоступной ранее ядерной мощи в военных целях. С тех пор, как ядерное оружие было впервые применено при бомбардировке Японии, в лексиконе изумленного и испуганного человечества появились тревожные термины «облучение», «лучевая болезнь», «отдаленные последствия облучения», «радиация». Начиная именно с этих ужасных событий, люди невольно связывают эти термины с любым применением на практике атомной энергии. И это несмотря на то, что очень многие слышали об успешном применении облучения при лечении опухолей, при стерилизации продуктов питания и медицинских препаратов, для предпосевной обработки семян и зерна, даже в криминалистике и искусствоведении.

Еще до того, как мир узнал о первой ядерной бомбе, до того, как заработала первая в мире Обнинская атомная станция, возникли целые отрасли науки — **радиационная генетика и радиационная селекция**. Помимо теоретических исследований воздействия излучения на живые организмы, эти науки принесли и неоценимые практические плоды: около сотни новых разновидностей культурных растений, среди которых высокоурожайные, устойчивые к различным заболеваниям сорта пшеницы, риса и других зерновых, являются радиационными мутантами. Они получены в результате воздействия облучения на генную структуру клетки. Еще важнее то, что облучение помогает получать из радиационно измененных веществ новые лекарства, необходимые человеку. Чего стоит одна только история с пенициллином — антибиотиком, спасшим жизнь сотням тысяч людей. Первые партии пенициллина, полученные в начале 40-х годов, были дороже золота, так дорого было его производство. Только использование облучения помогло в несколько раз повысить продуктивность грибка пенициллиум, из которого производится препарат.

Тем не менее, даже одно слово «радиация» вызывает особую тревогу. Это состояние человека названо за рубежом атомным синдромом, т.е. болезненным состоянием психики всего человечества. Рассмотрим подробнее, как влияет облучение на человеческий организм.

Биологическое действие излучение оказывает потому, что при попадании в живую среду ее клеткам передается сравнительно большая энергия. С точки зрения физики, в результате каждого из процессов взаимодействия излучения с веществом (фотопоглощение или фотоэффект, упругое комптоновское рассеяние и эффект образования пар) в облучаемой среде возникает большое число быстрых электронов. Значительная их часть имеет энергию, достаточную для ионизации атомов вещества. Радиационный эффект при этом определяется величиной энергии, поглощаемой средой. Тратится же эта энергия на возбуждение атомов или образование ионов. А это уже меняет химические свойства материи.

Впервые возможности радиационного повреждения разных участков кожи человека были изучены в 1899 году доктором Доло. Он, как и Пьер Кюри, ставил опыты на себе и установил некоторые закономерности острых реакций кожи на облучение. Тогда еще не было введено понятие экспозиционной дозы облучения и, соответственно, не было таких единиц, как рентген. Пользовались таким понятием: «пороговая эритемная доза».

Это наименьшее количество излучения данной степени жесткости, которое при действии на кожу внутренней поверхности предплечья вызывает у 80% облученных покраснение кожи на срок от 7 до 10 суток.

Если экспозиционная доза (определяющая, как мы уже говорили, число пар ионов, образуемых излучением в кубическом сантиметре воздуха) превысит пороговую эритемную дозу, на облучаемом участке кожи возникнет легкое покраснение. Причина его в расширении на этом месте кровеносных сосудов. Примерно через сутки это покраснение проходит. Если доза облучения составляла 500 – 600 рентген, на 7 – 10 день на этом месте образуется ожог (так называемая эритема), точно такой же, как при обгорании на солнце. Через несколько дней этот ожог исчезает бесследно.

При увеличении экспозиционной дозы примерно в три раза образуемая эритема уже похожа на ожог 2-й степени. Эритема полностью излечивается, но для этого требуется уже месяц – полтора. Дальнейшее повышение дозы до 3 – 4 тысяч рентген приводит к появлению эритемы, соответствующей ожогу 3-й степени. Конечно, и в этом случае заживление осуществимо, но за гораздо более длительный срок. Кроме того, на месте эритемы могут остаться рубцы или даже возникнуть опухоли. Клиническая картина таких лучевых поражений совершенно аналогична ожогам, происходящим от «общения» с огнем.

Есть, впрочем, и некоторые серьезные отличия лучевых ожогов от прочих. Так, в частности, могут проявляться некоторые отдаленные последствия облучения — перерождение мелких кровеносных сосудов, зарастание их соединительной тканью, ухудшение кровоснабжения и, как следствие, возникновение хронических язв и даже раковых опухолей. Проведенные исследования показали, что процесс перерождения тканей трудно остановить, через десять – двадцать лет он может завершиться образованием злокачественной опухоли. В том же случае, когда облучение производится многократно, небольшими частями (меньшими пороговой эритемной дозы), срабатывает имеющийся у человека эффективный механизм восстановления. За период между моментами новых облучений организм в значительной степени ликвидирует последствия лучевого поражения кожи, по мере сил залечивает рану или ожог.

Учеными и медиками было обнаружено, что организм человека способен противостоять такому многократному облучению, суммарная доза которого при одноразовом воздействии оказалась бы смертельна. Конечно, компенсация вредного влияния излучения на живые ткани никогда не бывает полной, и в организме в результате воздействия облучения накапливаются необратимые повреждения, вызывающие сокращение жизни при облучении несмертельными дозами. Эксперименты позволяют предполагать, что 80% вредных последствий облучения являются обратимыми, а 20% относится к стойким дефектам, снижающим жизнеспособность организма. Но если облучение поражает не весь организм, а только отдельные его участки, живой организм может перенести исключительно большие дозы местного облучения.

Для изучения особенностей радиационных поражений людей ученые-радиологи проводят исследования биологического действия ионизирующих излучений на подопытных животных. Поскольку очень важно изучить, как сказывается действие ионизирующих излучений на отдаленное потомство, для экспериментов отбирались животные с небольшой продолжительностью жизни и высокой плодовитостью — мыши, кролики, крысы. Проводились длительные наблюдения за двумя группами животных, одна из которых — контрольная — не подвергалась облучению вообще. Сравнивая различные параметры жизни — состав крови, вес, частоту возникновения злокачественных образований, продолжительность жизни, — удалось выяснить, что чувствительность к облучению сильно зависит от индивидуальных качеств

организма. Данные исследований показывают, что поражающее действие облучения нарастает по мере увеличения дозы, достигая значения минимальной абсолютно смертельной дозы. Дальнейшее увеличение дозы приводит к сокращению срока, в течение которого гибнут все облученные животные.

Из полученных данных наблюдений за жителями Хиросимы и Нагасаки, подвергшимися ядерной бомбардировке следует, что человек по устойчивости к облучению занимает место между собакой и мышью, обладая примерно такой же чувствительностью, как и обезьяна.

Все, что говорилось выше, относилось к той ситуации, когда облучению подвергалось все тело живого существа. Однако в живом организме есть некоторые критически важные органы, экранирование которых при облучении существенно увеличивает вероятность выживания животного, облученного абсолютно смертельной дозой. То есть, если облучение поражает только отдельные участки организма, живое существо переносит исключительно большие дозы. Именно этот эффект, обнаруженный и подтвержденный многократными исследованиями, используется для успешного лечения злокачественных образований с помощью лучевой терапии. В этом случае опухоли облучают дозами от 0,5 до 6-8 крад (1крад = 1000 рад), подавляя рост опухоли и разрушая ее клетки, до полного уничтожения. Такое воздействие радиации на раковые опухоли было обнаружено, как мы уже рассказывали, еще в 1899 году, и с тех пор применяется в медицинской практике в очень широких масштабах и во всем мире.

Еще один важный вывод научных исследований радиологов — биологический эффект облучения зависит не только от дозы, но и от массы облучаемой ткани. Иногда этот фактор играет решающую роль. Так, например, хорошо известно, что щитовидная железа является весьма эффективным фильтром для извлечения из крови атомов йода даже при ничтожных его концентрациях для выработки жизненно важных гормонов, участвующих в регуляции обмена веществ и энергии в организме. В обычных условиях с воздухом, водой и пищей человек потребляет 200-220 мкг стабильного йода в сутки, и этого вполне достаточно для нормальной работы щитовидной железы и всего организма человека. Жадное поглощение йода этой железой делает ее критическим органом при вдыхании нуклидов этого элемента — они почти целиком концентрируются в двух маленьких дольках этой железы, общая масса которых около 20 г. Эксперименты показали, что концентрация нуклидов йода в этой железе в 200 раз выше, чем в других тканях тела. Вывод радиобиологов: даже с учетом важности нормальной работы щитовидной железы для всего организма человека, доза ее допустимого облучения может быть принята в 3 раза большей, чем для равномерного облучения всего тела. Защитные силы и восстановительные процессы в организме оказываются в этом случае настолько эффективно действующими, что заметно перевешивают возможный радиационный эффект и практически полностью компенсируют его.

Детальное изучение относительной чувствительности отдельных органов и тканей к радиационному воздействию привело к установлению фундаментального факта: радиочувствительность клетки (чувствительность ее к внешнему облучению) меняется на разных этапах процесса деления. Наибольшая чувствительность наблюдается в конце периода покоя и в самом начале первого этапа деления, когда в ядре происходит удвоение хромосом. При облучении клеток несмертельными дозами единственным наблюдаемым результатом является задержка вступления в митоз — фазу деления клетки. Затем все облученные клетки начинают делиться и не обнаруживают видимых признаков хронического повреждения (помимо возможного наследственного эффекта). Быстро делящиеся клетки более чувствительны к облучению, чем клетки зрелого организма,

редко делящиеся или вообще утратившие эту способность в связи со своей специализацией в организме.

В последние годы в связи с проблемой загрязнения биосферы продуктами ядерных взрывов при испытаниях атомного оружия большое внимание уделяется генетическим последствиям облучения. Воздействие ионизирующих излучений на гены половых клеток может привести к мутациям, передающимся из поколения в поколение.

В каждой клетке организма человека 46 хромосом содержат около 10 тысяч генов, поэтому вероятность мутации для клетки в целом значительна. Генетики считают, что, пока дополнительные воздействия увеличивают частоту спонтанных мутаций не более чем вдвое, опасность для всего человечества не наступит, но каждая вредная мутация грозит гибелью конкретному индивидууму. Это утверждение есть следствие предположения беспороговой линейной зависимости генетического эффекта от дозы облучения во всем диапазоне мыслимых лучевых воздействий.

Эта гипотеза означает, что вредное воздействие, в частности, на генные структуры клетки, существует всегда, независимо от величины дозы, т.е. даже при исключительно малых дозах облучения. Но существуют научные данные, противоречащие этой гипотезе. В радиационной генетике недавно обнаружены явления восстановления генетических структур, происходящие в клетке после прекращения действия радиации. Этот научный факт делает гораздо более вероятной гипотезу о наличии порога воздействия излучения. Иначе говоря, излучение может произвести какие-либо изменения в структуре гена только в том случае, когда интенсивность облучения (величина дозы) больше некоторой определенной величины — порога облучения. При меньших дозах вредных последствий облучения не наблюдается. О радиационной устойчивости гена говорит и сам факт развития и совершенствования человечества в условиях естественного радиационного фона. Данные Научного комитета ООН по воздействию атомной радиации говорят о том, что вредное влияние малых доз на человека не обнаружено. А эти результаты получены в течение 50 лет медицинских наблюдений за более чем 1 миллионом человек во всем мире. Точнее говоря, показано, что радиационный риск начинает заметно возрастать при дозах, больших, примерно, 0,2 Зв. Кривая вероятности радиационно обусловленных заболеваний после этой точки резко идет вверх. Если же не замечать изгиб кривой вверх, а соединить прямой линией две ее точки, то создается ощущение, что радиационный риск малых доз весьма велик. Такая гипотетическая прямая — основа беспороговой концепции, в рамках которой, по сути, предполагается, что оценки радиационного риска делаются с завышенным запасом прочности. В действительности же риск намного меньше.

По некоторым, вполне осторожным оценкам ведущих генетиков доза, при которой спонтанная скорость мутаций у человека увеличивается вдвое, составляет, по-видимому, около 130 мЗв за репродуктивный период (т.е. за тот период жизни человека, когда он сохраняет способность к воспроизводству). Это значительно ниже двойной величины дозы фонового облучения (напомним, что значение естественной фоновой дозы составляет в среднем около 1,5 мЗв в год), которая используется сейчас для расчета предельно допустимых доз для населения в качестве основного безопасного для здоровья человека предела. Эта предельно допустимая доза составляет сейчас 50 мЗв в год. При этом экспериментально установлено, что совершенно безопасной для здоровья является "разовая" (т.е., полученная в течение короткого времени) доза облучения в 250 мЗв. В этом случае никаких изменений в тканях и органах человека не наблюдается. Небольшие, причем кратковременные, изменения состава крови могут происходить только при дозе в 500 мЗв.

Что же происходит при действии на живые ткани ионизирующих излучений? Детальное изучение физических и химических процессов, происходящих в облученной живой ткани, показало, что в действительности число образующихся ионов сравнительно невелико — например, даже при единовременно полученной губительной дозе в 10 Зв, ионизация среды соответствовала бы образованию одного иона на 10 миллионов молекул воды. Так что, во-первых, прямая ионизация, при которой большая часть атомов живой среды превращалась бы в ионы, невозможна (разве что при гигантских дозах, абсолютно губительных для любого живого существа), а, во-вторых, повреждающее действие излучения связано с ионизирующим эффектом не прямо, а опосредованно.

Кроме того, нельзя объяснить действие излучения и термическим эффектом. При той же огромной и практически нереальной дозе в 10 Зв в организме человека выделилось бы не более 100 калорий тепловой энергии. Примерно столько же калорий человек получает, выпив пару глотков теплой воды. Итак, биологическое действие излучения никак нельзя свести к повышению температуры организма. Кстати говоря, при воздействии на живой организм ультракороткого (УКВ) или высокочастотного излучения (СВЧ) именно термическое воздействие на ткани оказывает наибольший вредный эффект.

Как выяснилось, основной механизм возникновения повреждений — разрыв химических связей с образованием высокоактивных в химическом отношении соединений — свободных радикалов, то есть ионов. Вот тут как раз говорится то, что человеческий организм почти на три четверти состоит из воды. Молекулы воды распадаются под действием излучения на положительный ион H_2O^+ и электрон, который может уйти от места рождения на большое в микромире расстояние — до нескольких сот молекулярных диаметров. Что может случиться по дороге с этим электроном? Возможно, он найдет себе пару в лице такого же положительного иона H_2O^+ и вновь образуется стабильная молекула воды в процессе рекомбинации. Возможно, он «прицепится» к обычной молекуле воды, так что получится отрицательный ион H_2O^- .

И положительный, и отрицательный ионы неустойчивы, и после их распадов возникают, в конце концов, стабильные молекулы воды и очень активные в химическом отношении так называемые свободные радикалы — H^+ и OH^- . Вот эти два электрически заряженных «странника» и разрушают живые клетки, взаимодействуя с молекулами белков в процессе окисления, т.е. образуя их соединения с кислородом. Впрочем, интенсивность процесса окисления белковых соединений сильно снижается реакцией рекомбинации, быстро протекающей и вовлекающей большое число ионов воды. Сами же свободные радикалы и служат ускорителями, катализаторами этой реакции, но до определенного предела. Если их концентрация становится выше некоторого порога, реакция рекомбинации замедляется, а свободным радикалам ничего не остается, как вступать в реакции с белками.

Все, что мы описывали выше, относилось к типу облучения, который называют внешним. В отличие от него при внутреннем облучении источники излучения находятся внутри организма. Дыша воздухом, мы можем вдохнуть радионуклиды. На самом деле, мы вдыхаем их постоянно — вспомните о естественном радиационном фоне, который сопровождает нас и все человечество, начиная с момента его зарождения. То же касается и продуктов питания — в определенной концентрации мы глотаем радионуклиды ежедневно. Конечно, сейчас мы будем говорить о повышенной опасности внутреннего облучения при увеличенных, по сравнению с природным фоном, дозах.

Внутреннее облучение намного опаснее внешнего по нескольким причинам. Во-первых, резко увеличивается время облучения тканей организма — в отличие от внешнего облучения, где доза определяется временем пребывания в зоне радиационного воздействия, при внутреннем облучении время облучения совпадает со временем пребывания радиоактивного вещества в организме. Во-вторых, доза внутреннего

облучения резко возрастает из-за практически бесконечно малого расстояния до ионизируемой ткани (контактное облучение) и увеличения телесного угла почти до 4π , т.е. ионизирующие частицы распространяются от источника радиации по всем направлениям. В-третьих, введение в организм радиоактивных веществ приводит к тому, что теперь альфа-частицы не поглощаются внешним, более прочным слоем кожи, и становятся наиболее опасными — поскольку линейная плотность ионизации у них исключительно высока. В-четвертых, за редким исключением радионуклиды распределяются по организму избирательно, концентрируясь в отдельных органах и усиливая их локальное облучение. И, наконец, в случае внутреннего облучения невозможно использовать методы защиты, пригодные при внешнем облучении.

Естественно, как и для внешнего облучения, существуют предельно допустимые дозы, которые установлены на основе анализа различных радиационных поражений. Например, известны в истории и тщательно изучены случаи повышенной смертности у шахтеров, работавших на горных разработках еще в 19-м веке. Как выяснилось позднее, после клинических исследований больных горняков и изучения условий их труда, в горных выработках было повышенное содержание газа радона и продуктов его распада в воздухе. Накапливание же радона внутри организма чрезвычайно опасно, поскольку он практически не выводится наружу. Более подробно о защите от облучения разного типа мы поговорим ниже. Сейчас хочется лишь добавить, что, конечно, несколько нельзя закрывать глаза на реальную опасность для человека облучения сверх установленных пороговых доз. Но нужно помнить и то, что сам человек сформировался в условиях радиации, так что этот невидимка, кусающий или щипающий человека внутри или снаружи, прекрасно знаком человеку (см. цветную вкладку). Просто характер невидимки и способы избежать его укусов и щипков стали предметом изучения не так давно. Дело еще и в том, что невидимое воздействие представляется нам много опаснее видимого — от видимого врага, как кажется, проще защититься.

КАК УКРОТИТЬ НЕВИДИМКУ?

После того, как стали известны основные характеристики реакции деления атомных ядер, после того, как стали понятны основы процесса управления ядерными силами — как создать условия для зажигания ядерной реакции, ее поддержания или остановки, — у человека появилась реальная возможность извлекать энергию, используя свои знания о глубинном, атомном и ядерном, уровне строения материи.

Теоретические представления и расчеты, многочисленные эксперименты — все это легло в основу создания первых атомных реакторов. В 40-е годы 20-го века этим занималась в США группа под руководством Энрико Ферми. Первый атомный реактор заработал. Устройство механизма управления им было чрезвычайно простым — набор графитовых стержней, которые вручную вводились внутрь атомного «котла», когда требовалось замедлить или вообще остановить работу реактора, прекратить ядерную реакцию деления. Дело в том, что графит эффективно поглощает нейтроны, так что при уменьшении числа нейтронов в активной зоне реактора, там, где происходят многочисленные акты деления ядер, просто некому становится осуществлять эти акты деления. Резко уменьшается число элементарных событий, когда нейтрон, поглощаясь ядром, вызывает разделение ядра примерно пополам. Цепная реакция деления затухает. Если же в реакторе «кипит жизнь», выделяемая в каждом акте деления энергия используется для нагревания воды в трубах, обвивающих атомный реактор. То есть, он практически используется как нагреватель. Только вместо энергии, выделяющейся при

химической реакции горения вещества — дров, угля, нефти, газа, — в нем выделяется энергия, скрытая в ядерной материи.

Закипев, вода превращается в пар, который под большим давлением подается на турбину и вращает ее. Турбина же, в свою очередь, вращает электромагнит, так что в замкнутых витках, которые попадают в переменное магнитное поле, индуцируется электрический ток. Это работает хорошо известное открытие Майкла Фарадея, сделанное еще в 19-м веке, — явление электромагнитной индукции. Вот, собственно, и вся технология производства энергии с использованием ядерной структуры вещества.

Конечно, это только начало истории. Потому что, как мы помним, явление радиоактивности обязательно связано с возникновением ионизирующего излучения трех типов или с производством большого количества нейтронов при делении ядер. Так что опасаться следует еще и потоков нейтронов. В каждом акте деления ядра урана возникает от 2 до 3 нейтронов, а каждый ватт энергии, производимой в ядерном реакторе, — это 30 миллиардов таких элементарных событий микромира. Добыча энергии из запасов природы — не такое уж безопасное дело. Но ведь и добыча энергии с помощью огня, воды или ветра, те способы, которые человечество знает и применяет тысячи лет, унесла множество людских жизней, не раз выходя из-под контроля.

Любая попытка взять что-либо у природы пробуждает мощные процессы, которые далеко не всегда повинуются человеку. До сих пор человечество уже 21-го века, высокоразвитое и много знающее, создавшее высокотехнологичную и удобную для обитания среду, не может победить привычный, давно знакомый и хорошо изученный процесс окисления вещества в разных его формах. То есть, например, огонь. До сих пор пожары уносят безвозвратно и человеческие жизни, и материальные ценности. Так что же — вернуться в землянки, к "безопасной" лучине и сохе? Новые технологии не редко представляются опасными и ненужными. До тех пор, пока человек не научится эффективно управлять неизвестными ему ранее процессами, не сформулирует основные принципы безопасного взаимодействия с силами природы и не научится следовать этим принципам. Силы природы требуют уважения и аккуратности, знаний и уверенности. Но даже во всеоружии своих знаний человек никогда не застрахован от неожиданностей и случайностей.

Современная атомная электростанция — огромный и сложный комплекс по производству электроэнергии. Одна из самых важных задач, которую разработчики, строители и эксплуатационники-ядерщики считают приоритетной, — обеспечение безопасного функционирования станции. Процесс высвобождения атомной энергии часто сравнивали с выпуском из бутылки джинна, который, оказавшись на свободе, тут же перестает подчиняться своему хозяину. Именно для того, чтобы не оказаться во власти разбушевавшегося «джинна» — стихийного потока энергии огромной интенсивности, — на современных атомных станциях обеспечивается надежная многоуровневая защита. Несколько барьеров безопасности предназначены для того, чтобы опасные проникающие невидимки не вышли из-под контроля человека и не попали в окружающую среду.

Задача состоит в том, чтобы обеспечить производство большого количества энергии максимально безопасным образом. Образующиеся в процессе радиоактивного деления радиоактивные «осколки», а также ионизирующие излучения (в первую очередь нейтронные потоки) должны оставаться там, где они образуются — в тепловыделяющих элементах (компактных блоках радиоактивного топлива для ядерной «печки»). Поэтому при эксплуатации АЭС одна из серьезнейших задач обеспечения радиационной безопасности — снижение потоков излучения, главным образом, нейтронов в рабочей зоне до допустимого уровня. За пределы технологического контура, где происходит контакт радиоактивных веществ с теплоносителем, например, водой первого контура, радиоактивные вещества и потоки излучения никоим образом не должны проникать.

Инженеры и ученые предусматривают изготовление атомного топлива в виде твердых блоков в прочных оболочках (это и есть ТВЭЛы) и прочное, надежное оборудование первого контура (того, в котором происходит непосредственное выделение ядерной энергии и передача ее теплоносителю, например, воде, в форме теплоты). Продуманное создание нескольких систем безопасности дает возможность человеку с уверенностью говорить об *управляемой* ядерной реакции.

На пути к осуществлению управления ядерной мощностью люди выполнили огромное количество экспериментов и расчетов. Исследования в области ядерной энергетики никогда не останавливались, продолжаются и сейчас. По-прежнему, в центре внимания физиков-ядерщиков, биологов, экологов находится поиск наиболее эффективных способов защиты внешней среды — окружающей природы — и человека от излучений при работе ядерных установок. Ученые проверяли, как влияет работа ядерных установок не только на рядом расположенные, но и на удаленные объекты, в 10-12 км и более от реактора. Вот, например, что показывают многолетние данные о работе ядерного реактора в Пражском Институте ядерных исследований и последствиях этой работы. Каждую неделю в течение многих лет брались образцы почвы, собиралось и анализировалось содержимое воздушных фильтров. Результаты показали, что за длительный период — в течение многих лет — работа реактора не привела ни к какому увеличению естественного фона. График же зависимости радиационного фона от времени выглядел изломанным. Как оказалось, в этом были виноваты проводимые многими странами ядерные испытания в атмосфере (ныне запрещенные), которые фиксировались и в Праге. После прекращения испытаний уровень фона снизился в 10 раз! К сожалению, радиационный фон во многих регионах нашей страны и планеты изменился и после того, как 26 апреля 1986 года на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС (СССР) в результате эксплуатационных ошибок персонала и технических недоработок произошла самая крупная в истории атомной энергетики радиационная авария.

ЧЕРНОБЫЛЬ: ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ

Вначале — сухие слова из Отчета Научного комитета ООН по воздействию атомной радиации (2000 год): «Авария на ЧАЭС произошла во время технических испытаний в режиме малой мощности, проводившихся на реакторе четвертого блока станции. Системы безопасности реактора были отключены, в результате чего его нештатный, неустойчивый режим работы привел к резкому, неконтролируемому подъему мощности, что вызвало серию паровых взрывов, которые разрушили сам реактор и повредили его здание. Выброшенные взрывом обломки активной зоны реактора вызвали более 30 очагов возгорания на крыше, покрытой легко воспламеняющимся гудроном».

Все это произошло в ночь с 25 на 26 апреля 1986 года. В результате мощного теплового взрыва на ЧАЭС была выброшена наружу часть ядерного топлива и графита четвертого энергоблока (суммарный выброс нуклидов не превысил 3.5% их общего количества, накопленного в реакторе РБМК-1000). Горящие обломки упали на крышу машинного зала и другие объекты, образовалось множество очагов пожара. Огромная, многотонная крышка ядерного реактора взрывом была поднята и отброшена.

В основном рабочем элементе энергоблока ЧАЭС — реакторе РБМК-1000 — в качестве замедлителя нейтронов до тепловых скоростей (в этом случае вероятность процесса деления ядра при захвате нейтрона максимальна) использовался графит, в качестве теплоносителя — вода. Ядерным топливом в реакторе РБМК-1000 был уран. В работающем реакторе нейтроны осуществляли процесс деления урана с выделением тепла

и образованием продуктов деления. Вот список того, что образуется в активной зоне реактора в результате ядерных процессов: короткоживущие и долгоживущие радионуклиды, твердые и газообразные, инертные и химически активные вещества, способные испускать альфа-, бета- и гамма-излучение.

Принципиально важно то, что у реакторов такого типа отсутствовал специальный высокопрочный корпус, который обязателен для реакторов типа ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор), которые производятся сейчас в нашей стране и за рубежом. Объяснялось это просто: реакторы типа чернобыльского позволяли наращивать мощность до высоких значений в 1000 и даже 1500 МВт, экономя на затратах на строительство реакторных корпусов. Для экономики того времени было важно и то, что загрузка свежим ядерным топливом была возможна без остановки реактора, «на ходу».

Что же происходило 25 июля 1986 года на четвертом блоке ЧАЭС? Имели место проектные испытания одной из важных систем безопасности, в которой предусматривалось использование электроэнергии, вырабатываемой при вращении уже останавливающихся турбогенераторов. Моделировались условия произошедших одновременно двух аварий сложного типа — когда разрывается трубопровод охлаждения реакторной зоны и происходит полная потеря электроснабжения АЭС. Представьте себе — у вас в доме возникает пожар, огонь подбирается к газовому баллону, а Горводоканал отключил воду! Что способно остановить катастрофическое развитие ситуации — это и предполагалось исследовать в ходе испытаний. Выработать электроэнергию для аварийных насосов системы охлаждения активной зоны казалось возможным за счет инерции вращения уже останавливающихся турбогенераторов. Именно в этом была опасность моделируемой ситуации — как считалось в ходе «учений», при отсутствии охлаждения могли возникнуть перегрев и плавление активной зоны. Попросту говоря, предполагалось изучить, хватит ли вырабатываемой таким образом электроэнергии для запуска насосов системы охлаждения активной зоны реактора. Вообще говоря, такое исследование представляло собой комплексное исследование рабочих параметров всего энергоблока. Желание проверить режимы работы энергоустановки в экстремальной, но реально возможной ситуации, не вызывает возражений в принципе, но вопрос в том, насколько принятые меры безопасности соответствовали принятому уровню сложности испытаний.

Вывод, который был сделан Научным комитетом ООН после долгого и тщательного изучения причин аварии таков: «Авария явилась результатом как конструктивных недостатков реактора (высокого положительного коэффициента реактивности при определенных условиях), так и недопустимых ошибочных действий операторов, произвольно отключивших аварийные системы защиты». Иначе говоря, нейтроннофизические и теплогидравлические характеристики активной зоны реакторной установки, а также спроектированная для этого типа реакторов система управления и защиты не удовлетворяли принципам создания динамически устойчивых безопасных систем. Неудовлетворительные с точки зрения безопасности характеристики активной зоны РБМК были усугублены ошибками, допущенными при конструировании системы управления реактором: поглощающих нейтроны графитовых стержней, располагающихся в специальных каналах и тоже охлаждаемых водой.

Но это лишь краткое резюме детального анализа причин произошедшей трагедии. А реальным фактом аварии, произошедшей, как говорится в отчетах, «в результате нарушения персоналом инструкций по управлению установкой, наложившихся на недостатки конструкции органов регулирования и ядерно-физических характеристик реактора РБМК-1000», стал неконтролируемый разгон реактора, окончившийся тепловым взрывом и разрушением активной зоны реактора.

Недавно, в публичной печати, своим мнением о произошедшем 26 апреля 1986 года поделились руководители следственной бригады Генпрокуратуры СССР **Юрий Потемкин и Петр Иванов**, работавшие непосредственно в зоне аварии. Приведем некоторые выдержки из их статьи:

«Безопасность ядерных энергетических установок, являющихся при нарушении правил их эксплуатации потенциально взрывоопасными, обеспечивается качественным проектированием и строительством, наличием соответствующего оборудования контроля за его состоянием и технологическими процессами в ходе эксплуатации, правильной организацией работ, уровнем квалификации и дисциплиной персонала, строгим контролем за соблюдением технологических регламентов, постоянным контролем за работой на этих установках. Авария на Чернобыльской АЭС явилась результатом грубых нарушений ряда перечисленных принципов. Руководители станции не обеспечили надлежащее выполнение требований правил безопасной эксплуатации атомных энергетических установок, не добились повышения персональной ответственности каждого работника за строгое соблюдение технологической дисциплины, не уделяли должного внимания вопросам профессиональной подготовки оперативного персонала. Подготовка кадров проводилась с нарушениями требований Руководящих указаний по организации работы с персоналом на энергетических предприятиях и в организациях, утвержденных министром энергетики и электрификации СССР. Как следствие сменный персонал имел слабые, не подкрепленные опытом знания. Впервые назначаемые на должности начальников смен цехов и энергоблоков не проходили необходимого обучения, дублирования на соответствующих рабочих местах. Вся эта работа была отдана на откуп начальникам цехов. Более того, член центральной комиссии по проверке знаний персонала сам не был аттестован комиссией вышестоящей организации. Должностные инструкции разрабатывались теми сотрудниками, чьи обязанности они регламентировали, не пересматривались либо это было чисто формальным актом. Результат - многочисленные остановки блоков и аварии по вине персонала из-за низкой технологической дисциплины и нарушений регламентов».

Уже через пять минут на место аварии прибыло 14 пожарных, а через два часа там работали 250 человек. На первом этапе борьбы с огнем и выбросами нуклидов в образовавшийся кратер сбрасывали с вертолетов специальные составы, поглощающие нейтроны, и материалы для гашения огня. Было сброшено около 5000 тонн свинца, соединений бора, доломита, песка и глины и пр. Сначала вертолеты для более точного сброса груза зависали над реактором, но полученные пилотами дозы были слишком высокими, так что материалы стали сбрасывать во время пролета над реактором. Неточность попадания привела к новым разрушениям и распространению радиоактивного загрязнения. На 7-10 день сброс материалов был уменьшен, а затем вовсе прекращен. Расплавившиеся материалы активной зоны стекали на дно шахты реактора, образуя слой металлизированного топлива. Соприкосновение его с водой вызвало образование пара, что способствовало резкому увеличению интенсивности радиоактивных выбросов. Примерно через 9 дней эта лава затвердела, перестала взаимодействовать с окружающими материалами, так что выделение тепла резко уменьшилось, и интенсивность выброса нуклидов снизилась в сотни раз.

В атмосферу было выброшено огромное количество продуктов ядерного деления урана — примерно 50 млн. Ки (или $1.85 \cdot 10^{18}$ Бк). Радиоактивное загрязнение местности сформировалось в результате выпадений из двух источников: из радиоактивного облака

первичного выброса и из струи летучих радиоактивных продуктов, интенсивное истечение которых из разрушенного реактора продолжалось около десяти дней.

Радиоактивные облака после взрыва и выброса быстро перемещались над землей. При прохождении в местах выпадения осадков происходило «вымывание» радиоактивных веществ и выпадение их на землю. В этом случае интенсивность выпадения нуклидов была в десятки раз выше, чем при прохождении сухого облака. Выпавшие радиоактивные осадки становились источником бета- и гамма-излучения, приводя к внешнему и внутреннему облучению населения (при потреблении загрязненной воды и пищи).

Вот выдержка из рабочего отчета тех лет Председателю Совета министров СССР: «Изучен изотопный состав загрязненной атмосферы и местности: основными компонентами загрязнения являются изотопы йода-131, теллура-132, стронция-89, нептуния-239, рутения-103, стронция-90. В первые недели особую опасность представляет изотоп йода-131 (содержание 10-50%), легко попадающий в организм человека с пищей (особенно с молоком), затем изотопы стронция-89 (период полураспада 2 месяца), стронция-90 (28 лет) и цезия-137 (30 лет)». В ближней зоне на поверхности земли было обнаружено большое количество высокоактивных «горячих» частиц, очень опасных при попадании в легкие. Особо опасен в этом случае изотоп плутония-239, период полураспада которого 24 тысячи лет.

Летучие элементы – йод, цезий — поднимались из разрушенного реактора на большую высоту, вплоть до стратосферы, и разносились на огромные расстояния. Уже через 36 часов радиоактивные облака оказались на расстоянии в 1200 км, в Швеции, 2-5 мая такие облака регистрировались в Японии, Китае, Индии, Канаде, США. Есть сведения, что выпадение радиоактивных осадков продолжалось в течение почти 3-х недель. Интенсивность загрязнения в некоторых районах европейских стран была не ниже чем в России, Украине, Белоруссии. Наибольшее количество радиоактивных продуктов распространилось с ветрами на территории Румынии, Польши, Болгарии, Югославии, скандинавских стран. Максимальное радиоактивное загрязнение этих территорий оказалось, к счастью, небольшим и кратковременным. Уровни радиации не превышали норм радиационной безопасности для населения, разработанных МАГАТЭ.

Радиоактивная загрязненность территории определяется количеством выпавших на нее радионуклидов, а численно характеризуется количеством распадающихся атомов вещества за единицу времени. Об этих единицах измерения мы уже говорили выше. Добавим теперь, что введение в качестве единицы активности беккерелей (Бк) вместо кюри (Ки) обусловлено реально малой величиной активности радионуклидов, выделяющихся в окружающую среду. Так, например, накопление нуклидов в воде или в донных отложениях за несколько десятков лет повышает естественную фоновую активность на мизерную величину — примерно 10^{12} - 10^{14} Ки в расчете на один килограмм массы. Активность нуклидов, осевших на почве, или содержащихся в воздухе, также очень мала, поэтому ее удобнее измерять в Бк.

Вернемся, однако, к последствиям аварии на ЧАЭС. Приведем еще одну выдержку из отчета правительству страны (1986 год): «Наиболее острым вопросом радиационной обстановки и ее возможных последствий в районе Чернобыльской АЭС в настоящее время (середина мая) и в ближайший период становится вопрос радиоактивного загрязнения поверхностных вод и источников водоснабжения». Радиоактивное загрязнение вод — одно из самых опасных следствий аварии, поскольку именно вода питает все живое, обеспечивая существование биологических организмов на Земле. Попадание радиоактивных продуктов в большие и малые реки, озера, водохранилища возможно

несколькими путями: смыв радиоактивных веществ с земной поверхности ливневыми дождями, паводковыми водами, разнесение их ветром или просачивание сквозь почву с подземными водами. Для предотвращения действия этих факторов сооружались фильтрующие и глухие дамбы, бурились скважины, чтобы перехватить загрязненные подземные воды и перекачать их в специальные пруды, обваловывались берега рек. Кстати, проводилось и специальное воздействие с самолетов на чистые, незагрязненные облака, которые шли к зоне аварии. Это делалось для того, чтобы вызвать выпадение дождей раньше, чем эти облака дойдут до зоны загрязнения, впитают в себя радионуклиды и выпадут радиоактивными осадками, кроме того, дожди в районе ЧАЭС могли привести к смыву с почвы радиоактивных частиц. Эти усилия ученых и инженеров привели к тому, что с 11 мая по 15 июня в черновыльской зоне дождей не выпадало. Так удалось предотвратить попадание нуклидов в реку Припять и в Киевское водохранилище.

Все радионуклиды, которые могли перемещаться с воздушными потоками, можно разделить на три группы по степени летучести. Уже начиная с 5 мая высоколетучие изотопы (например, йод-131, цезий-137, цезий-134) были обнаружены в пробах, взятых научно-исследовательскими судами в Северной Атлантике. Также там были найдены и среднелетучие нуклиды — стронций-89, стронций-90, барий-140 и другие. Нелетучие тугоплавкие нуклиды (молибден-99, нептуний-239, церий-141) далеко распространиться не смогли. В течение первого года после аварии многие радионуклиды успели распасться, остались же, в основном, «долгожители» - изотопы цезия, стронция, плутония. Опасные уровни их концентрации находятся преимущественно в ближней 60-километровой зоне ЧАЭС.

Считается, что территория может стать относительно чистой, когда пройдут десять периодов полураспада. Но меры, которые были предприняты тогда, в первые дни и месяцы после аварии, оказались разумными, своевременными и действенными и позволили уберечь от отравления радиацией большую часть загрязненной зоны. Конечно, победить законы физики заклинаниями и уговорами невозможно, радиоактивные ядра распадаются со скоростью, предусмотренной природой. Но максимально дезактивировать почвы, не позволить радионуклидам проникнуть в воду рек и озер, создать защитный «саркофаг» над развалинами разрушенного реактора — это удалось. Уже теперь в большом пруде южнее Чернобыля после всех проведенных мероприятий можно разводить, и ловить рыбу. Можно — значит, не будет от нее человеку вреда. Изучение состава почв, проведенное в зоне аварии, показало, что 90% радиоактивного загрязнителя содержится в слое почв толщиной около 4 см. Перемещение нуклидов вглубь, как известно из многолетних экспериментов, происходит чрезвычайно медленно — несколько миллиметров в год. Поэтому своевременные действия — глубокая вспашка пахотных земель, удаление верхнего слоя почвы, использование специального вида удобрений — позволили снова засеять поля. Конечно, это возможно в тех областях 30-километровой зоны, которые меньше пострадали от радиоактивных выбросов.

Мы уже говорили, что эффекты воздействия на биосферу малых доз радиации пока еще изучены недостаточно. Ясно лишь, что хроническое радиоактивное облучение вызывает эффекты, которые зачастую вообще не были известны. Один из таких результатов — повышение в 6 раз частоты мутаций у пшеницы, выращенной в непосредственной близости от разрушенного реактора, по сравнению с такой же пшеницей, росшей на краю 30-километровой зоны.

Болеет и погибает лес в этой «зоне отчуждения». Причина в том, что различные растения достаточно интенсивно поглощают радионуклиды из почвы и особенно чувствительны к радиации леса, в частности, сосновый лес. Кстати, постоянные наблюдения за реакцией лесных биосистем на радиацию входят в список обязательных экологических исследований вблизи любой атомной станции. Что же касается

заброшенных лесных массивов вблизи ЧАЭС, то в них повышается влажность, создаются вполне комфортные условия для различных вредителей леса. Интересно, что, по словам очевидцев, леса покрываются грибами, как ковром. Грибы, естественно, радиоактивны. Однако если отбирать только благородные грибы — белые, подосиновики, — и промывать их под струей воды около двух часов, или вымачивать около суток (кипячение еще ускоряет процесс), то радиоактивность «вымывается» и грибы вполне съедобны. Расплодилось в лесах около Чернобыля и всякая живность, появился даже редкий черный аист с красным клювом, который предпочитает гнездиться подальше от жилья человека. Чернобыльские леса необходимо беречь от пожаров, во время которых радиоактивные частицы в виде аэрозолей могут разноситься на большие расстояния.

Ни одна из медицинских проблем последнего времени не вызвала таких ожесточенных споров, как проблема здоровья людей после аварии на ЧАЭС. Даже в оценке столь плохо еще изученного заболевания, как СПИД, специалисты, в целом единодушны, не хватает лишь некоторых знаний для победы над «болезнью века». Однако оценки медицинской ситуации после такого масштабного воздействия радиации на человека и биосферу весьма противоречивы. Почему?

Во-первых, потому что воздействие на человеческий организм малых доз ионизирующей радиации до сих пор изучено плохо. Ряд ученых указывают на негативное, повреждающее действие малых доз радиации, другие же исследователи настаивают на том, что малые дозы облучения оказывают на организм стимулирующее действие. (Так называемый эффект гормезиса. Более точно — это возможность снижения различного рода радиационных повреждений и одновременно уменьшения уровня риска при росте дозы облучения. Но только в области малых доз облучения!)

Во-вторых, потому что нет единой точки зрения, какие дозы облучения можно считать малыми. Радиологи-клиницисты утверждают, что это дозы порядка 0,5 Зв, вызывающие лучевые реакции в организме. Радиобиологи же полагают, что это дозы, которые превышают естественный фон не более чем в несколько десятков раз. Во всяком случае, не превосходят 0,02-0,05 Зв в год.

В-третьих, потому что состояние здоровья людей до и после аварии сопоставлять сложно. До аварии обращения к врачам происходили, когда люди заболели. После аварии обращения к врачам стали намного чаще по разным причинам, даже по социальным. Кроме того, после чернобыльских событий стали проводиться массовые медицинские осмотры. Да и качество медицинской помощи улучшилось, потому что в загрязненные районы были направлены высококвалифицированные врачи — они стали выявлять заболевания намного надежнее.

И наши, и международные эксперты в области медицины считают, что часть ликвидаторов — участников работ на ЧАЭС — прошла тщательное медицинское исследование с применением современных методов диагностики, но, пожалуй, большая часть медицинского обследования (особенно это касается изучения состояния здоровья населения) проведена все-таки на достаточно низком уровне. Причина — недостаток хороших специалистов-медиков, нужного медицинского оборудования, всесторонней научной информации. Поэтому для получения достоверных сведений о заболеваемости ликвидаторов и населения в контролируемых районах нужно анализировать данные многократных и многолетних медицинских исследований для большого числа людей. Только так можно отделить недостоверные или тенденциозно поданные сведения от реальных фактов угрозы жизни и здоровью человека.

Последние данные показывают, что между числом смертей и полученной во время ликвидации последствий аварии дозой радиации нет никакой взаимозависимости. Более того, обнаружено — и это результаты исследований и медицинских наблюдений, проводящихся уже в течение 15 лет — что за эти годы смертность среди ликвидаторов оказалась даже меньше, чем в среднем по России среди мужчин такого же возраста. Впрочем, справедливости ради, надо сказать, что и уровень медицинского обслуживания ликвидаторов был все-таки выше.

Конечно, наиболее опасными болезнями, вызываемыми радиацией, являются онкологические. Вспомните пораженную кожу рук Марии и Пьера Кюри, большое число смертей от рака среди первых исследователей радиоактивности. За годы, прошедшие с начала этой героической эпохи — открытия и начала изучения свойств ядерных превращений и излучений — медицина накопила огромный опыт. В частности, обнаружено, что примерно треть лейкозов у ликвидаторов обусловлена воздействием радиации. Это же воздействие, да еще и при сочетании внешнего и внутреннего облучения, приводит также к относительному росту по сравнению со средним уровнем заболеваний щитовидной железы. Наибольшее число раковых заболеваний выявлено у тех людей, которые работали на ЧАЭС в самые опасные дни — апреле и июне 1986 года, когда уровень радиации был самым высоким. Однако во всех случаях, когда медики регистрируют повышение частоты появления злокачественных образований у ликвидаторов ЧАЭС, специалисты предупреждают: этот факт может означать не что иное, как следствие более тщательного и более частого медицинского обследования этой группы лиц.

Теперь в руках медиков имеются результаты многочисленных исследований состояния здоровья человека после воздействия на него различных доз радиации. Наиболее ясные данные имеются о том, какую опасность для здоровья представляет действие высоких доз облучения. А вот относительно малых доз до сих пор сохраняется неопределенность.

Мы уже говорили о принимаемой часто в качестве основной концепцию линейного воздействия, когда считается что малые дозы радиации столь же опасны, как и высокие. Но давайте вспомним и о благотворном действии на живую природу малых доз, непрерывного радиационного фона. Так вот, научные исследования последних лет показывают, что, например, на жителей в домах воздействие малых доз облучения (от радона) оказывает гормезисное воздействие, при котором уровень риска заболевания снижается. Такой же эффект обнаружен при изучении воздействия малых доз во время радиотерапии и флюороскопии. Эффект гормезиса, как полагают сейчас специалисты, проявляется при одновременном, суммарном учете двух различных возможных типов защитных реакций человека. Речь идет о включении не только врожденной защитной реакции организма, но и активном участии в «обороне» адаптивной защитной функции. Адаптивный иммунитет — это способность к защите организма от вредного внешнего влияния, которая формируется самим организмом в процессе его жизнедеятельности, не присутствует в нем с самого рождения, а «воспитывается» годами. Уменьшение вредного воздействия малых доз радиации на организм человека есть как раз результат совместной борьбы за спасение здоровья всех защитных систем человека — и защитной, и адаптивной. Конечно, резервы защитных систем организма не безграничны, именно поэтому с ростом дозы облучения эффект вредного воздействия начинает вновь возрастать после некоторого порогового значения дозы. Учеными обнаружено, что существует несколько уровней адаптивной защиты — на

клеточном уровне (когда противодействие поражающему воздействию облучения осуществляют внутриклеточные структуры), и на уровне всего организма (в этом случае разрушению клеток противостоят ткани в целом). Резервы организма подключаются в зависимости от вида излучения и условий облучения. Если не учитывать адаптивную защитную реакцию, то форма зависимости эффекта облучения от величины дозы как раз и близка к линейной, но именно при малых дозах во многих случаях и происходит подключение иных, помимо врожденного, защитных барьеров организма человека.

Очень важный фактор, влияние которого на здоровье человека трудно переоценить, — **хронический стресс**. Ученые установили, что рост общей заболеваемости населения, в районах радиоактивного загрязнения при аварии на ЧАЭС, в очень большой степени обусловлен этим фактором. Приведем такой факт: у части эвакуированных из зон отчуждения взрослых и детей уже в первые дни после аварии был обнаружен лейкоцитоз, практически у каждого пятого наблюдалось снижение числа лимфоцитов и другие патологические изменения кровеносной и иммунной систем. Но изменения в организме, связанные с нарушениями кровеносной системы, могут быть вызваны радиацией только при дозах облучения не меньше 500 мЗв. У жителей же Припяти в районах, близких к ЧАЭС, доза облучения составила не более 150-200 мЗв.

Так что же привело к таким проявлениям нездоровья у населения, если это не влияние радиации? Именно стрессовая ситуация: жизнь в условиях страха перед неизвестным и невидимым врагом — радиацией, постоянное нервное напряжение, горечь и тоска по утраченному дому, привычной работе и жизни, потеря всего, что составляло основу существования и обеспечивало будущее. Это непрерывное «давление» на организм быстро сказывается на сердечно-сосудистой системе, составе крови, неврологическом состоянии. Некоторые болезни пищеварения тоже обусловлены сильнейшим стрессом. Конечно, нужно помнить, что различные люди по-разному реагируют на воздействие радиации. Зависит это и от возраста: среди детей из районов, подвергшихся радиационному воздействию, почти 2/3 страдают нервно-психическими расстройствами.

Не анализируя подробно все виды заболеваний, выявленные за многие годы после аварии у ликвидаторов и жителей окрестных районов — по этому вопросу имеется множество книг и статей специалистов-медиков, попробуем резюмировать причины нарушений здоровья людей и дальнейшие возможные последствия аварии на ЧАЭС. Эти вопросы находятся в центре внимания отечественных врачей и ученых, зарубежных экспертов и сейчас, через 15 лет после чернобыльской катастрофы. Более 2000 научных статей опубликовано о медицинских последствиях аварии на ЧАЭС, но окончательных знаний о всех особенностях воздействия на человека различных доз облучения нет. Человек — очень сложная система не только с точки зрения духовной, но и физиологической, психической, медицинской. Когда в такой системе что-то разладится, непросто бывает сказать с уверенностью, что именно нарушило нормальную ее работу, слишком много факторов нужно при этом учитывать. Выше мы уже писали о результатах исследований, показывающих, что заметная часть заболеваний после аварии была обусловлена сильнейшим психологическим стрессом, дальнейшие соматические проявления болезней явились лишь следствием угнетенного состояния нервной системы.

В 2000 году на сессии Научного комитета ООН по воздействию атомной радиации было высказано мнение ученых, что у людей, подвергшихся облучению в результате чернобыльской аварии, строго можно считать доказанным только рост числа заболеваний раком щитовидной железы. Если в первых исследованиях этого вопроса полагали, что более 80% больных раком заболели после перенесенного в детстве облучения, то теперь есть мнение, что около 70% обнаруженных случаев заболевания связаны лишь с

улучшением качества медицинской диагностики, а не с радиационным поражением. В любом случае установлено, что различные заболевания щитовидной железы происходят не только от воздействия радиации, что, конечно, является основным неблагоприятным фактором, но и в результате изменений гормональной функции щитовидной железы под воздействием стресса или токсичных химических веществ.

Если использовать для оценки числа заболеваний раком среди людей, подвергшихся облучению после аварии на ЧАЭС, линейную беспороговую гипотезу (напомним, что в этом случае предполагается прямо пропорциональная зависимость между дозой облучения и степенью вредного воздействия на организм), то следовало бы ожидать появления до 30 тысяч случаев заболевания радиогенным раком. Однако данные многих ученых указывают на иной характер зависимости — при малых дозах облучения 0.1-0.5 Зв опухолей не возникает. В этом случае, по-видимому, включается тот самый дополнительный барьер адаптивной защиты организма, о котором мы писали выше. В этом случае за счет радиационного поражения уровень раковых заболеваний среди ликвидаторов и населения, проживающего на загрязненных после аварии территориях, может повыситься всего примерно на 0.35%.

Учеными изучена зависимость отрицательного влияния на эндокринную, нервную и психическую системы, на органы чувств и пищеварения человека от величины дозы ионизирующего излучения. Однако выяснено, что конечный эффект такого отрицательного воздействия — развившаяся болезнь какого-то из органов, — связан и с нарушением иммунной, защитной системы организма в целом. «Бреши» в обороне человека от болезней, появляются не только при радиационной «атаке» на его внутренние органы или на иммунную систему. Уже упомянутый стресс напоминает не нападение со стороны противника каких-либо хорошо известных родов войск, а захват стремительной, цепкой и безжалостной спецкомандой врага самого главного — центра управления нашей обороной, да еще и при непрерывно продолжающихся атаках «обычных» войск. Суметь выбить из центра управления вражеских «коммандос», восстановить все функции обороны, вдохновить все силы на победу — это сложная задача. Но именно эта задача и стоит перед организмом человека, если он хочет победить болезнь. Стресс резко ослабляет «систему обороны» изнутри, так что прочим болезнетворным факторам намного легче завладеть организмом. Стресс влияет не только на уровень заболеваемости, но и на физическую и умственную работоспособность, общее самочувствие. Добавим, что в последние годы к причинам появления стрессов добавились еще несколько социальных факторов. Общее неблагополучие жизни расшатывает организм не меньше, чем облучение, о котором сейчас уже столько известно, что влияние излучения на организм человека вполне можно снизить, даже в аварийных ситуациях, до вполне безопасных для человека пределов.

Чернобыль был наихудшей возможной катастрофой на плохо сконструированном ядерном реакторе с полным расплавлением активной зоны, сопровождавшейся свободным диспергированием радионуклидов в атмосфере. Ничего худшего произойти не могло. Тем не менее поразительно, что две наиболее известные аварии на «Три-Майл-Айленд» (США) и в Чернобыле, которые навсегда запечатлелись в памяти общества, привели к наименьшему числу жертв (в первом случае смертных случаев вообще не было, а во втором авария вызвала гибель такого количества людей, которое соответствует, примерно, половине числа жертв автомобильных катастроф в конце каждой недели в небольшой европейской стране).

Один из крупных ученых в области радиозкологии и радиационной защиты З.Яворовский в одной из своих статей отметил: «Когда иррациональные разговоры и эмоции, вызываемые Чернобылем, стихнут и успокоятся, эта катастрофа будет рассматриваться как доказательство того, что ядерные реакторы являются безопасным средством производства энергии».

ЩИТ ОТ ИЗЛУЧЕНИЯ

Как уменьшить медицинские последствия крупных радиационных аварий, в частности на ЧАЭС, снизить риск заболеваний в результате радиационного воздействия, защитить людей от излучения?

Давайте вначале поговорим о защите от излучения. Напомним, что в качестве основных поражающих факторов мы рассматриваем альфа, бета- и гамма-излучение. Именно эти факторы наиболее важно учитывать при эксплуатации ядерных реакторов. Для персонала, работающего на АЭС, установлена годовая допустимая доза 20 мЗв, для населения — 1,0 мЗв. Это означает, что при одном и том же потоке излучения, активности или концентрации нуклидов защита населения на местности предусматривается в 10 раз более эффективной, чем защита персонала на производстве. Смысл такого жесткого требования к безопасности населения понятен — там дети, старики, женщины, больные или ослабленные люди.

Аварийные ситуации, особенно типа чернобыльской, несомненно, крайне редки. Их вероятность непрестанно снижается, поскольку каждая из таких ситуаций становится не только бедой, но и горьким уроком, многократно изучаемым, превращается в опыт инженеров и физиков-ядерщиков, детально проверяемый экспериментально и теоретически, учитываемый при проектировании и эксплуатации новых установок. Поэтому давайте узнаем, как осуществить защиту человека от облучения при нормальных условиях эксплуатации ядерных установок.

Напомним, что для защиты от альфа-частиц (пробег которых в воздухе при нормальных атмосферных условиях всего около 10 см) достаточно листа плотной бумаги, а также надежной защитой является внешний плотный, так называемый роговой слой кожи. Его толщина вполне достаточна для поглощения самых высокоэнергетичных альфа-частиц. Так что даже при аварийной ситуации, не говоря уж о нормальных условиях работы АЭС, внешнее альфа-излучение не опасно.

Бета-частицы испускаются многими радиоактивными элементами. Эти частицы намного меньше, чем альфа-частицы и могут проникать в водную среду или в человеческое тело на глубину от 1 до 2 сантиметров. Они могут быть остановлены пластинкой алюминия толщиной в несколько миллиметров.

Для внешнего бета-излучения в организме человека есть три критических органа: кожа, мышечная ткань (совместно с жировой) и хрусталик глаза. В зависимости от величины их энергии, бета-электроны по разному поглощаются веществом, однако, при нормальной работе АЭС не возникает задачи защиты от этого типа излучения — предельно допустимые уровни внешнего облучения во много раз больше. Даже возможные в принципе протечки жидких радиоактивных веществ, например, воды первого контура реактора, обнаруживаются при первом же дозиметрическом обследовании помещений — а такие обследования проводятся регулярно, и загрязненные участки немедленно дезактивируют. Возле аварийного реактора ситуация иная — выброс нуклидов из облученного топлива приводит к появлению большого количества бета-излучателей, которые оседают на поверхностях. Если загрязнение велико, доза может

превысить предельно допустимую. Самое важное в этом случае — защита глаз. Для этого достаточно использовать очки из простого стекла. Кстати, их применяли и ликвидаторы на ЧАЭС.

Основным же фактором поражения является гамма-излучение. Защита от него возможна, как говорят специалисты, тремя методами — временем, расстоянием и экранировкой. Иначе говоря, в поле излучения в зависимости от интенсивности источника излучения можно находиться лишь определенное время. Далее нужно учитывать, как спадает с расстоянием интенсивность излучения, и соответственно «держаться на дистанции». Экранировка же — это использование слоев различных (в зависимости от их способности поглощать излучение) веществ для защиты (см. цветную вкладку). В частности, слой свинца толщиной в 1,3 см или бетона в 13 см в два раза ослабляет интенсивность пучка гамма-квантов с энергией в 1 МэВ. Это, к сожалению, немного, но даже в аварийной ситуации небольшой по размерам источник сильного гамма-излучения может быть эффективно ослаблен обычным листовым свинцом до интенсивности меньшей допустимой дозы. Впрочем, при нормальной работе ядерной энергетической установки вообще нет никаких опасных источников гамма-излучения.

Известно, что на каждой атомной станции основным источником радиационной опасности являются продукты деления ядер. Ядерное топливо реактора «выгорает», ядра разваливаются, образуя радиоактивные осколки, которые накапливаются, пока их не выгрузят из реактора и не законсервируют, или не переработают. Чтобы выполнить все требования радиационной безопасности при эксплуатации ядерного реактора, предусмотрена надежная его изоляция с помощью многобарьерной защиты. Защиту обеспечивают и использование ядерного топлива в виде плотных «таблеток», и герметичные оболочки ТВЭЛов, и системы очистки воздуха, воды, а также многие другие системы безопасности. Конечно, если реактор «обнажен», мощность дозы гамма-излучения вблизи поверхности превышает тысячи рентген в час, что, конечно, смертельно опасно. Именно поэтому, с учетом всех норм безопасности, реакторная установка окружена таким слоем защиты, что в помещениях, где находится персонал, годовая доза облучения оказывается в 10 раз меньшей, чем предельно допустимая доза. Эти результаты стабильно сохраняются в течение уже более десяти лет.

Но можно ли обеспечить защиту в случае аварии? Когда мощный поток гамма-излучения возникает при распаде короткоживущих радионуклидов, экранировку от облучения обеспечивают стены домов. Каменные стены жилища от 40 до 100 раз снижают дозу облучения, деревянные стены — в 7 раз. Чтобы предотвратить поступление в организм изотопа йода-131 запрещается использование загрязненных продуктов, применяются препараты, блокирующие щитовидную железу от накопления радионуклидов.

Известно, что при делении ядер урана возникает не только изотоп йод-131 с периодом полураспада 8 суток, но и другие короткоживущие изотопы — йод-133 (20 часов) и йод-135 (7 часов). При длительной работе реактора они накапливаются в тепловыделяющих элементах примерно в равных количествах. Если в аварийной ситуации герметичность ТВЭЛов нарушается, все изотопы йода выходят наружу в равных количествах, поскольку они химически идентичны. После распада короткоживущих компонент остается только йод-131. Эта закономерность была прослежена в пробах, отобранных в районе аварии ЧАЭС.

Из того, что мы уже упоминали выше, ясно, что организм человека не беззащитен перед ионизирующим излучением. До определенных пределов облучение вообще не вызывает никаких вредных изменений в биологических тканях и структурах. Если

интенсивность облучения превышает эти пределы, необходимо поддержать и укрепить внутренние защитные и восстановительные силы организма.

Существует широкий набор способов уменьшения негативных медицинских последствий и снижения риска радиационно индуцированных заболеваний. Исключительно важным фактором является объективное и своевременное информирование населения обо всех дозах ионизирующего излучения от всех видов и источников (реальных и потенциальных) излучения, которое является или может быть опасным для жизни и здоровья. Сейчас такая система информирования практически создана. Ее роль трудно переоценить еще и потому, что именно при отсутствии надежной информации об опасности, ее уровне и предпринимаемых мерах создается почва для возникновения слухов, паники и самого опасного для человека в такой ситуации — психогенного стресса.

Врачами и учеными разработаны также комплексные системы лечения и профилактики нарушений иммунитета и здоровья после радиационных воздействий. В лечебную практику внедряются новые высокоэффективные антиканцерогенные препараты. Кроме лекарств, большую роль в активировании защитных систем организма играют так называемые пищевые добавки, содержащие витамины, растительные компоненты — женьшень, элеутерококк, китайский лимонник и другие. Известный всем прополис, как и другие продукты пчеловодства, играет важную роль в поднятии иммунитета. Мы даже не будем говорить об очевидных вещах — питании, богатом клетчаткой, растительными волокнами и витаминами. Все это необходимо для эффективного выведения из организма различных токсичных продуктов.

РАДИОФОБИЯ — И СЛЕДСТВИЕ, И ПРИЧИНА

Сейчас принято безрассудный страх, возникающий у человека в условиях, когда возможно воздействие на него любой, сколь угодно малой дозы ионизирующего излучения, называть *радиофобией*. Ну, не любит человек, когда на него действуют невидимые лучи, не любит и боится. Но боится так сильно, что одна только мысль о возможности проникновения в его организм радиации — в любом количестве! — сразу парализует все защитные силы человека, погружая его в состояние прострации, безнадежности и уныния. Разве сможет мозг, на который наложены крепчайшие путы стресса, найти способы борьбы с потенциальной опасностью? Разве клетки и ткани смогут активно включиться в борьбу с вторжением врага, поддерживая в норме состав крови, обеспечивая организм нужным количеством ферментов, контролируя нормальную работу желез? Железные тиски стресса не дают живому организму возможности для активизации всех защитных систем, отключая их, нарушая управление ими. Стресс-«диверсант» становится источником и главной причиной множества заболеваний, на лишенный защиты организм теперь идет даже не радиационная атака — ослабев, не видя выхода, человек сдается усталости, страданиям и недугам. Но сам стресс — лишь порождение распространенного ныне убеждения в смертельном влиянии радиации на все живое, лишь следствие радиофобии.

А откуда же возникла в человеческом сообществе сама радиофобия, что стало ее причиной? Почему авторитарными органами введен предел дозы облучения для населения, равный 1,0 мЗв в год, что составляет менее 1% фоновой дозы для большинства стран мира?

Главный источник радиофобии — это, конечно, психологическое воздействие разнообразных сведений о результатах использования ядерной энергии в военных целях.

Книги, лекции, фильмы на эту тему, любая информация как специального характера, так и в популярной форме, красочные стенды, живописующие ужасы ядерной войны, занятия по гражданской обороне, на которых сообщалось об «основных поражающих факторах» и о том, что может служить укрытием при взрыве ядерной бомбы... Один из авторов очень хорошо помнит, как в возрасте примерно 7-8 лет забежал, играя в прятки, в подъезд соседнего здания — общежития студентов техникума. Там на стене увидел яркие, привлекающие внимание плакаты: чудовищный огненный гриб-вспышка, разметанные взрывом дома, автомобили, люди, бегущие солдаты в противогазах, обожженные лица, гигантский котлован-воронку на месте города. Читать тогда умел уже хорошо, так что прочитал, замирая от любопытства и страха, сухие, но внятные пояснения к необычным картинкам: «Типичные последствия наземного ядерного взрыва», «Как сохранить зрение при ядерном взрыве», «Неотложная медицинская помощь при лучевом поражении» и т.д. Несколько месяцев после этого (да что там — и сейчас в глазах стоят эти «средства наглядной агитации») просыпался среди ночи от цветных кошмаров, в которых по освещенным грибовидным светящимся облаком улицам двигались зеленые тени в страшных масках-противогазах, бродили крысы-мутанты огромного роста, прямо на глазах падали в пропасть дома.

На многие годы слово «ядерный» стало ассоциироваться с некоей страшной, неуправляемой, враждебной человеку силой природы. Считалось, что вероятность ядерной войны достаточно велика, и все население должно быть готово к ней. И в нашей стране, и в других высокоразвитых странах мира проводились исследования структуры материи на ядерном уровне, однако научные результаты предполагалось использовать главным образом в военной области. Противостояние «социалистической и капиталистической систем хозяйствования» почему-то требовало накопления огромных по количеству и невероятных по разрушительной мощи арсеналов ядерного оружия массового уничтожения. Да, строилась и первая в мире Обнинская АЭС, запускались атомные станции и в других странах, успешно применялось облучение в медицинских целях, интересные результаты давало воздействие ионизирующего излучения на сельскохозяйственные культуры. Да, все это тоже было, но главным, для чего предполагалось использовать ядерную энергию, оставалось разрушение вражеских городов, гибель вооруженного противника, а на самом-то деле, всего живого. Так планировали военные. Так когда-то входила в жизнь человечества одна из мощнейших сил природы. И именно потому, что правители, а не ученые, предрекли этим силам роль не "рабочего", а "солдата", именно потому, что голос масс нужен для осуществления определенной политики, и понадобилось сначала запугать массы.

Те, кто владеет огромными запасами ядерного оружия, заинтересованы представлять радиацию как можно более губительной. Поэтому редко опровергаются явно ложные заявления типа: «радиация во время ядерной войны способна убить все живое» или «200 граммов плутония достаточно, чтобы убить всех жителей на Земле». Групповые интересы специалистов в области радиационной защиты касаются власти и ассигнований. Что ж такого, если немного припугнуть обывателей и несведущих граждан для получения и власти, и денег? Многие политические группировки с успехом использовали радиофобию в борьбе за власть. Особенно это было популярно (и небезуспешно для главных политических «специалистов» по радиоактивности) в 70-е годы в США и в 80-90-е годы в Западной Европе и СССР.

Противостояние двух систем, сопровождающееся накоплением мощнейшего ядерного вооружения, выразилось и в том, что только за период с 1945 по 1960-й годы было проведено 541 ядерное испытание в атмосфере с суммарным выходом энергии, эквивалентной взрыву 440 мегатонн тротила. Во время этих взрывов около семи тонн плутония было выброшено в атмосферу. Однако... все мы еще живы! Средняя

индивидуальная доза облучения от всех этих ядерных взрывов составляет примерно, менее 1% мощности фоновой дозы. В «рекордные» по числу испытаний ядерных зарядов 1961-62-й годы было проведено 176 взрывов в атмосфере. Максимальное отложение радионуклидов на поверхности имело место в 1964 году. Это данные и говорят они о том, что реальное воздействие радиации на биосферу не настолько велико, как об этом сообщают средства информации, зачастую заинтересованные лишь в создании вполне определенного общественного мнения. Точнее, такого мнения, которое выгодно конкретным группам лиц. Но какова их цель? Цель — получение дополнительных ассигнований, например, на производство новых вооружений, которые должны быть противопоставлены вооружению противника, приход к власти или просто получение известности как «борца за природу и человечество». Для этого хороши оказываются различные средства. Создать, не будучи специалистом в соответствующей области науки, некое «пугало», не так уж и сложно. Достаточно оказывается кое о чем умолчать, а кое-что исказить — и вот уже создана новая «страшная опасность». Вызвать ужас легко, а вот разобраться в сути дела, реально и точно знать, а не измышлять, не пугать, а объяснять — это труднее. Однажды появившись на свет, химера способна жить долго. Убедить бывает просто, переубедить, развеять ложные страхи намного сложнее. Беда вот только в том, что эти иррациональные ужасы вполне реально влияют на здоровье людей. Особенно тогда, когда требуется не потерять голову в панике, а понимать обстановку и действовать разумно.

К сожалению, известно множество примеров неверно поданной информации, которые не только не способствовали объективному пониманию ситуации, но резко обостряли психологическую обстановку, нервировали людей, вызывали у них недоверие к специалистам. Приведем цитату из книги известных зарубежных экспертов И.Лессера и Э.Паркера: «благодаря необыкновенному таланту, с которым умеют влиять на сознание масс небольшие «штабы интеллигенции», их голос звучит громче, чем голос представителей самой передовой науки, вплоть до того, что ученые вообще оказываются «за бортом», что создает опасный прецедент победы иррационального мышления над разумом».

Давайте еще раз посмотрим на ситуацию, сложившуюся после чернобыльской аварии. И вновь мы будем говорить о влиянии на здоровье людей не облучения, а психологического давления, стресса, поскольку этот фактор оказался исключительно вредоносным для огромных масс населения. Его причиной стало отсутствие достоверной информации, распространение слухов и домыслов. Его следствием стало, в частности, то, что двое из трех человек любое проявление своего нездоровья немедленно объясняли влиянием радиации. Стресс оказалось легко создать, но если бы его последствием стали только утрата доверия к власти и средствам массовой информации, это было бы совсем не страшно. Нет, к сожалению, стресс создает реальную опасность для человека, его психического и физического здоровья. Это было установлено при тщательных и долговременных медицинских обследованиях населения в районах аварии. Жить с постоянным чувством тревоги, угнетения, беспомощности очень трудно. А эти чувства как раз создаются и поддерживаются, благодаря тому, что люди очень мало знают об истинных свойствах и проявлениях радиоактивности. В этих условиях оказывается очень легко для политиков разного уровня (особенно в предвыборных выступлениях) ломать руки, расписывая ужасы радиационной угрозы и грядущие бедствия, которые неизбежно наступят, если данный политик не будет стоять во главе борьбы ...и т.д., и т.п. Плохо разбирающимся в проблеме журналистам тоже удобно и просто создать себе звучное имя «борца за экологию», поскольку достаточно вспомнить кое-что из школьных времен, а

остальное додумать, да еще и сославшись на кого-либо из великих. Правда, при этом цитата обычно вырывается из контекста и вообще оказывается «ни к селу, ни к городу», но это уже и не важно — эффект произведен, паника начинается, журналист может чувствовать себя «властителем умов».

В сущности, именно такая ситуация имела место недавно в Ростове-на-Дону, да и в области в целом, после того, как некие «осведомленные информаторы» сообщили о якобы произошедшей на РоАЭС аварии. Буквально на следующий день все эти лживые сообщения были опровергнуты, но... дело сделано, еще один удар по психике населения нанесен.

Стресс сказывается на состоянии здоровья сразу же, реакции на стресс не зависят не только от дозы облучения, но и от того, было ли вообще облучение, или нет. Стресс бьет по всему организму, безжалостно расшатывая все связи и системы, открывая изнутри, как «пятая колонна», все ворота для победного марша болезней. Распространяясь, как круги по воде, лживая информация, неверные представления или просто целенаправленный обман доходят до все более широких кругов населения, оставляя сомнения, посеяв тревогу, создавая напряженное ожидание беды. Так и рождается радиофобия.

Выше мы уже писали о непрерывном воздействии природного ионизирующего излучения, проникающего в живые организмы. Излучает космос, излучают радионуклиды, присутствующие в горных породах, в стенах, воздухе, внутри нас самих. Повторим: средняя индивидуальная доза от естественного облучения, получаемого населением Земли, составляет 1,5 - 2,0 мЗв в год, то есть, более миллиарда частиц, движущихся в составе лучей, ежедневно воздействует на наш организм. В 90-е годы та часть средней индивидуальной дозы, которая напрямую обусловлена ядерными взрывами, Чернобылем и утилизацией атомной энергии, составляла около 0.4% от дозы фонового облучения.

Напомним, что в некоторых регионах Земли доза фонового, природного облучения почти в 100 раз выше среднемировой величины. Но никаких неблагоприятных последствий повышенных доз облучения, последствий генетического, канцерогенного или другого негативного характера среди населения не наблюдалось. В 90-е годы средняя глобальная доза облучения за счет человеческой деятельности возросла примерно на 20%. В основном это результат частого применения рентгенодиагностики в медицине. Другие источники — работа ядерных установок, ядерные испытания, авария на ЧАЭС — внесли очень малый относительный вклад в суммарный прирост дозы. В целом же этот прирост составил лишь около 0.2% дозы фонового облучения в местах естественной повышенной радиации. Даже в тех регионах страны, где загрязнение от радиоактивных осадков вследствие аварии на ЧАЭС было очень высоким, дополнительная доза воздействия радиации на население оказалась много меньше той, которая характерна для зон с высоким естественным фоном ионизирующего излучения. В качестве иллюстрации приведем сравнительную характеристику радиоактивности жидких отходов АЭС и некоторых жидких продуктов. Как говорится, комментарии излишни.

| Жидкость | Радиоактивность (10^{-12} Ки/литр) |
|--|--|
| Типичные жидкие отходы АЭС, сброс которых разрешен в окружающую среду (в искусственные и естественные водоемы) | 1-10 |
| Вода из домашнего водопроводного крана | 20 |
| Вода реки | 1-100 |

| | |
|-----------------|------|
| 4%-ное пиво | 130 |
| Океанская вода | 350 |
| Виски | 1200 |
| Молоко | 1400 |
| Оливковое масло | 4900 |

Известно, что во времена, когда жизнь на нашей планете только зарождалась, естественный уровень излучения на поверхности земли был в 3 раза выше, чем сейчас. Ученые не исключают, что именно этот тип излучения способствовал возникновению жизни. Эксперименты, проведенные с простейшими и бактериями, свидетельствуют о значимости ионизирующего излучения для всех форм жизни, существующих в настоящее время. На разных стадиях эволюции организмы выработали мощные защитные механизмы против таких неблагоприятных воздействий, как мутация и злокачественное перерождение.

Отсутствие у человека специфического сенсорного органа, реагирующего на ионизирующее облучение, вероятно, связано с тем, что защитные силы организма уже с избытком покрывают весь диапазон уровней фонового облучения. Мощность дозы облучения, характерная для разных регионов Земли, меняется примерно от 1,0 до 280 мЗв в год, т.е. почти в 300 раз! Этот диапазон намного превышает диапазон обычного воздействия тепловой энергии — измените, например, температуру в комнате всего лишь в два раза, и вы сразу почувствуете, мягко говоря, дискомфорт. Увеличение температуры воды в ванне «всего лишь» на 80° (от уровня 293° К до 373° К), или уменьшение ее до точки замерзания, могут привести к смерти. Но летальная **единовременная** доза облучения в течение часа составляет для человека 10000 мЗв, и это значение в 10 млн. раз выше, чем средняя доза фоновой радиации, получаемой за тот же период времени. Получается, для того, чтобы стать смертельно опасной, радиация должна вырасти не на несколько десятков процентов, как температура, а во много раз!

Как ни покажется кому-то удивительным, но на самом деле ионизирующее излучение имеет слабую степень пагубности по сравнению с другими типами воздействия на живой организм. Естественно, при воздействии большой дозы облучения, это оказывает губительный эффект, но смертельные ожоги от «обычного» огня разве менее страшны и опасны? Просто за тысячелетия человечество привыкло к огню, техника безопасного обращения с ним стала элементом воспитания. Но хотя радиация как технология лишь недавно вошла в нашу жизнь, опыт безопасного получения ядерной энергии быстро накапливается. Сейчас уже можно говорить о конструкционной надежности и радиационной безопасности современных ядерных энергетических установок. Прежде чем человек сконструировал изящную и удобную пьезозажигалку, он добывал огонь трением, с помощью кресала и трута, пороха и серы. Но и теперь вы не даете зажигалку в руки ребенку, поскольку понимаете, что этот предмет, несмотря на удобство и распространенность, несет в себе опасность. Спички и зажигалки совершенно безопасны только при разумном обращении с ними. Может быть, ядерные реакторы и не столь изящны, как зажигалки, но уровень их безопасности намного выше, поскольку техника обращения с ними разработана куда более тщательно.

Достаточно высокие или низкие температуры часто прослеживаются и в биосфере. Это и обусловило жизненную важность необходимых для выживания органов чувств, способных воспринимать тепло и холод. Но не менее важны и органы, связанные с восприятием запаха и вкуса — это механизм защиты от опасностей токсической или инфицированной пищи. Природа наделила живые организмы громадным запасом прочности, позволяющим оказывать сильное сопротивление как фоновым уровням радиации, так и воздействию источников мирного назначения, создаваемым и

контролируемым человеком. Обычно в биосфере не создается условий для формирования летальных уровней излучения, поэтому в особом органе для восприятия радиации нет необходимости. А распознает ли организм токсические вещества нерадиационного происхождения? Конечно. Вкусовые рецепторы, обоняние мгновенно сообщают организму о неблагоприятном воздействии. Вы когда-нибудь сидели рядом с печкой, которая коптит? Помните запах гари? Ну и, конечно, знаете о случаях смертельного отравления угарными газами. Так неужели вы думаете, что такая «большая печка», как тепловая электростанция, где сжигают тысячи тонн угля ежедневно, меньше коптит, не выбрасывает в атмосферу миллионы тонн угарного газа — двуокиси углерода, других вредных и для человека, и для биосферы окислов и химических соединений?

АЭС И ТЭС — СРАВНИМ ЧЕСТНО

Обеспечить прогресс техногенной цивилизации, удовлетворить «аппетиты» и требования общества возможно только в условиях расширяющегося производства энергии. Казалось бы, польза для человечества при добыче все большего количества энергии несомненна, однако производство энергии во все больших масштабах — это еще и один из серьезнейших факторов, действующих против человека. Если в начале века речь могла идти только о возникновении локальных экологических кризисов, то сегодня серьезные опасения внушает взаимоотношение всего человеческого сообщества с природой в целом. Человек непрестанно, в течение многих веков, разведывает на планете все новые запасы органических веществ, которые можно выкопать, как уголь, или выкачать, как нефть и газ из-под земли, а затем сжечь. Энергия природных ископаемых высвобождается и переходит, в конце концов, в энергию электрического тока и дает человеку возможность использовать всевозможные приборы и механизмы. Но природные энергоносители — не возобновляемый ресурс. Отбирая у планеты заметную долю ее массы, человек превращает эти миллионы тонн не только в работу и движение, но и в миллионы тонн вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу Земли. В тот самый воздух, которым дышат люди, животные, растения.

При сжигании в топках ТЭС угля, нефти или газа в атмосфере непрерывно увеличивается концентрация двуокиси углерода, которая накапливается в верхних слоях. Получая свою долю световой энергии от Солнца, Земля рассеивает в пространство некоторую его часть в виде инфракрасного излучения. Однако загрязненная двуокисью углерода атмосфера гораздо хуже пропускает потоки инфракрасных (тепловых, с невысокими энергиями) фотонов. Она, как пуховое одеяло, прикрывает нашу планету. Попробуйте накрыться с головой теплым одеялом — долго ли так выдержите? Вот и наша Земля не сможет сохранить на своей поверхности те условия, которые необходимы для жизни биологических систем и нормальной экологии.

Удержание теплового излучения вблизи поверхности планеты приведет к заметному повышению ее средней температуры. Ученые подсчитали, что последствия такого «парникового эффекта», чрезвычайно опасны и сравнимы лишь с последствиями глобальной ядерной войны. Если даже сократить в два раза объемы использования органического топлива — угля, нефти, газа, — к 2075 году средняя температура на планете повысится на 3-8 градусов. Но развитие промышленности не позволяет сократить поставки энергии, кроме того, возрастают социальные нужды и запросы человечества, так что и добыча природных энергоносителей, и интенсивность их сжигания никак не смогут быть уменьшены. Что ж, тогда, как показывают расчеты, «парниковый эффект» может привести к повышению земной температуры на 10 градусов в полярных областях. В экваториальной же части планеты возможно повышение температуры почти на 30

градусов! Последствия «теплового удара» по планете тоже нетрудно предсказать: глобальное потепление приводит к повышению уровня морей и океанов, затоплению низин, смещению климатических зон, изменению циклов выпадения осадков и их количества, начинаются резкие колебания погоды, учащаются природные катаклизмы. Это и есть глобальная экологическая катастрофа, по сути дела, самоубийство цивилизации. А каков же выход? Как сбросить «одеяло» из CO_2 ? Просто прекратить использовать органические вещества для получения энергии? Но это приведет к другой катастрофе — изменению всей сферы жизни и деятельности человека и цивилизации, торможению и даже остановке прогресса. Если еще вспомнить, что запасы природного органического топлива далеко не безграничны — их может хватить еще лет на 50-70, то станет ясно, что поиск альтернативных источников энергии не прихоть, не забава, не вымысел кабинетных ученых. Исследование, разработка и эксплуатация таких источников энергии обусловлены необходимостью сохранения цивилизации Земли.

Но ведь дело не только в CO_2 — имеются обоснованные данные об увеличении вблизи ТЭС, работающих на угле, радиационного фона. Объяснение этому простое. Если вы не забыли, в малых количествах радиоактивные элементы рассеяны по различным минералам. Содержатся они и в угле, поэтому уран в форме микропримесей выносятся вместе с прочими продуктами его сгорания и оседает на прилегающей местности. Кстати, эти изотопы урана имеют времена полураспада около 1600 лет. Проведенные измерения показывают, что при одинаковой мощности даже по радиационному фактору выбросы угольной станции в 5-10 раз опаснее, чем на современной АЭС. И это без учета выброса других вредных продуктов сгорания угля.

Представьте себе ситуацию, что в мире закрыты все ныне работающие АЭС. Недостающую энергию восполняют тепловые станции, но для этого, конечно, приходится сжечь и дополнительное количество органических веществ. В результате такой замены атмосфера планеты «обогатится» более чем на два миллиарда (!) тонн двуокиси углерода, почти 80 миллионов тонн двуокиси серы, 35 миллионов тонн оксидов азота и т.п. Все это существенный вклад в создание того самого «одеяла» над планетой, которое увеличивает перегрев. Добавим еще и то, что ТЭС на традиционных видах топлива не только уничтожают невозобновимые запасы органических веществ на планете, но и активно сжигают атмосферный кислород — основную «пищу» живых существ.

В то же время, работа АЭС никак не сказывается на химическом составе воздуха. Но может быть уровень радиационного фона вблизи АЭС опасен для человека и прочих компонентов биосферы? Давайте сопоставим с величиной усредненной годовой дозы безопасного фоновой облучения уровни радиационного воздействия на природу нормально работающей АЭС. Уже более 30 лет службы внешней дозиметрии регистрируют все возможные факторы радиационной опасности на местности и результаты многочисленных наблюдений нескольких сот АЭС во всем мире не отличаются друг от друга — никаких изменений естественного радиационного фона не выявлено. В предположении наихудших погодных условий и других исходных данных, в той же степени консервативных, специалисты оценивают годовую дозу облучения населения вблизи нормально работающей АЭС не превышающей 0,01 мЗв. А эта величина в 500 раз ниже допустимого уровня облучения населения и составляет всего 1% естественного радиационного фона.

Однако различные виды деятельности человека сопоставляют не только по степени влияния на биосферу, но и по другим критериям. Один из главных критериев для вредных отраслей производства — частота несчастных случаев со смертельным исходом (для

ядерной энергетики речь может идти об остром переоблучении). В настоящее время система обеспечения радиационной безопасности в атомной промышленности и ядерной энергетике является исключительно надежной и всесторонней. Это позволяет утверждать, что работа в этих отраслях промышленности минимально опасна для человека. По частоте несчастных случаев атомная энергетика в последнее время занимает место где-то рядом со швейной, пищевой и ткацкой промышленностью. Достаточно сказать, что частота несчастных случаев в металлургии и добыче полезных ископаемых в 5-6 раз выше. Если же сравнивать различные способы производства электроэнергии (в расчете на производство 1 МВт в год), то данные официальной статистики говорят, что несчастные случаи на ТЭС происходят более чем в 30 раз чаще, чем на АЭС. Важно и то, что в общем числе несчастных случаев в атомной промышленности доля радиационных аварий не превышает 10%, а несчастные случаи в основном связаны с обычными опасностями при строительстве, пожарах и т.п. Так что можно сделать безусловный вывод: производство электроэнергии на атомных станциях характеризуется очень высокой степенью надежности и безопасности для персонала, населения и окружающей среды в отличие от других способов добычи энергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Историю человечества можно представить не только как цепь войн, революций и прочих Великих Перемен. На самом деле, поводом (или причиной) для осуществления всех этих социальных перемен являлись желание, возможность или необходимость изменений в экономическом механизме. А такие изменения практически всегда обусловлены уровнем энергообеспечения хозяйства — данной страны или всего мира, эффективности производства энергии, способом ее извлечения из запасов Природы. Возможность осуществления различных — как прогрессивных, так и несущих зло — замыслов человека и человечества всегда определялась тем, насколько хватит энергии.

Сейчас мы знаем, что ресурс природных энергоносителей, веками питавших развитие цивилизации, на планете исчерпывается. Помимо того, что способ извлечения энергии из органических запасов Земли путем их сжигания исключительно вреден для биосферы планеты, возможности угля, нефти и газа далеко не безграничны. Развитие же науки, техники и производства в мире требует постоянного прироста энергии. Человек все активнее влияет на мир, переделывая его и совершенствуя в соответствии со своими представлениями о путях добра и прогресса. К счастью, теперь мы понимаем, что воздействие сферы техногенной цивилизации на природу должно быть основано на принципах бережного общения живого с живым. Окружающий человека мир есть сложнейшая система взаимодействующих живых существ, разрушение ее внутреннего равновесия опасно не только для самой системы, но и для того, кто разрушает. Человек есть часть живого мира. Да, часть высокоразвитая, способная к целенаправленной эволюции и исследованию, осознающая себя и свои возможности, но — лишь часть. Целью и способом существования человека ни в коем случае не может быть уничтожение или нарушение целостности природной среды. Но как совместить этот очевидный принцип с задачами обеспечения прогресса, энергетически обеспечить честолюбивые планы цивилизации?

Современные крупномасштабные технологии производства, удовлетворение социальных запросов, необходимость научных исследований и многое другое — все эти сферы жизни общества требуют расширения энергетических возможностей человечества. Уже ясно, что сжигание угля, нефти и газа не только дает энергию (хотя и в

недостаточном количестве), но и способно сильно нарушить экологический баланс планеты. Одного только «парникового эффекта» достаточно, чтобы с осторожностью и недоверием относиться к тезисам типа : «Тепловые станции экологически безвредны». На смену органическим теплоносителям приходит внутриядерная энергия.

История изучения явления радиоактивности, как мы уже знаем, насчитывает совсем немного лет по сравнению, скажем, со временем использования огня в жизни человека. Однако усилия ученых и инженеров оказались не напрасны — в настоящее время процесс извлечения энергии из атомных глубин реализуется только в рамках принципа максимальной безопасности при наибольшей производительности. То, о чем говорили ученые-ядерщики несколько десятков лет назад как о далекой перспективе, то, что в начале 20-го века казалось относящимся только к сфере «чистой науки» ныне работает на нескольких сотнях атомных станций во всем мире.

Человек научился управлять силой ядра. А управлять — значит, знать особенности ее «характера». Ну, хотя бы на таком уровне, на котором человек умеет управлять силой огня. Общение же с неразумной природной силой, конечно, требует осторожности, как говорится, нужно соблюдать технику безопасности. Долгие годы изучения атомных явлений, знания физиков и инженеров, горький, но необходимый опыт аварий на АЭС — все это важнейшие компоненты мировой науки и техники.

К опасным проявлениям ядерных сил следует относиться с уважением, как к любой силе. Уважение подразумевает продолжение изучения физических процессов, всесторонний анализ сопутствующих этим процессам природных явлений, создание безопасных энергетических установок. У человечества нет другого выхода, кроме тщательно обеспеченного расчетами, экспериментами и мерами экологической безопасности перехода к широкому использованию ядерной энергетики.

Радиация, как и любая другая природная сила, требует уважительного к себе отношения. Ее роль в жизни человечества трудно переоценить, а связанную с ней опасность как раз очень легко преувеличить. Один известный физик-ядерщик привел как-то замечательное высказывание своих коллег. Повторим эту мудрую мысль еще раз: «Излучения не нужно бояться, но к нему следует относиться с должным уважением». Если мы будем применять этот подход при общении с радиацией, то сможем избавиться от неразумной радиофобии и сопровождающих ее стрессов. А наиболее экологически чистый способ получения энергии из атомного ядра займет подобающее место в мировой экономике.

Сейчас ученые активно занимаются проблемой осуществления управляемой термоядерной реакции. После создания термоядерного реактора человечество получит в руки источник огромного количества совершенно «чистой» энергии, поскольку этот способ производства вообще безотходен.

Известно, что долгий путь начинается с первого шага. Когда-то этот шаг был сделан погруженным в раздумья Демокритом, прогуливающимся по Риму Лукрецием Каром, Дальтоном среди своих колб и пробирок, Беккерелем, изумленно глядящим на засвеченную фотопластинку, супругами Кюри, очарованными светом радия, Резерфордом, Ферми, Эйнштейном и сотнями тысяч других известных и не очень ученых и инженеров. Еще один шаг человечество сделало благодаря физикам, химикам, математикам, интересующимся структурой вещества и атома, инженерам, создавшим механизмы, использующие новые силы природы, энергетикам, которые обеспечивают светом и движением наш мир.

Научно-популярное издание

Бейлин Виталий Александрович
Боровик Алексей Стратонович
Малышевский Вячеслав Сергеевич

РАДИАЦИЯ, ЖИЗНЬ, РАЗУМ