

А. А. Акатов, Ю. С. Коряковский

ИНТЕРЕСНЫЕ ФАКТЫ об АТОМЕ и РАДИАЦИИ

МОСКВА

2009

При реализации проекта используются средства государственной поддержки, выделенные в качестве гранта в соответствии с распоряжением Президента РФ 192-рп от 14 апреля 2008 года



ВВЕДЕНИЕ

Дорогие друзья!

Древнегреческий философ Демокрит, развивая идею своего учителя Левкиппа об атоме как о неделимой, неразрушающейся и не возникающей из ниоткуда частице вещества, заложил основы атомистического учения. Он полагал, что свойства того или иного вещества определяются формой, массой, и другими характеристиками образующих его атомов»: «Атомы огня остры, поэтому огонь способен обжигать, а атомы воды гладки – она течет...»

В течение последующих двух тысячелетий представления об атоме изменялись, совершенствовались, но его неделимость не подвергалась ни малейшему сомнению. 1896 год стал переломным для атомной физики – выяснилось, что атомы некоторых элементов радиоактивны. Даже великий Менделеев сомневался в возможности превращения одних атомов в другие, а Резерфорд считал, что человечество не скоро научится использовать энергию атома. Но были ученые, для которых поиск радиоактивных элементов и исследование явления радиоактивности стали целью всей жизни. Речь идет о выдающихся французах – Анри Беккереле, Пьере и Марии Кюри.

Прошли годы, и человечество задумалось об использовании ядерной энергии. К сожалению, первые разработки носили чисто военный характер. Но, с другой стороны, приятно осознавать, что именно в нашей стране была построена первая в мире АЭС, первое надводное судно с «ядерным» двигателем (ледокол «Ленин»), а сейчас Россия является мировым лидером в области ядерной энергетики на быстрых нейтронах.

С появлением ядерной энергетики появились и фобии, связанные с таинственным понятием «радиация». Люди стали бояться нормально работающих АЭС, точек с повышенным природным фоном, зачастую не подозревая, что радиоактивность появилась практически одновременно с Вселенной и сопровождала развитие жизни на нашей планете. Более того, известно, что наше тело, в силу естественных причин, обладает некоторой радиоактивностью, а в местах, где из-под земли бьют радиоактивные источники, создаются курорты.

Тем не менее, было бы нечестно говорить, что радиоактивные изотопы, образующиеся в топливе АЭС, абсолютно безопасны. Конечно, это не так. Но ученые и инженеры разработали надежные способы удержания этих радионуклидов внутри топлива. Поэтому выброс радиоактивности в окружающую среду может произойти лишь при расплавлении топлива в активной зоне и разгерметизации корпуса ядерного реактора. Вероятность этого события настолько мала, что не может считаться значимой: на одном реакторе тяжелая авария с выбросом радиоактивных веществ может произойти один раз в сто миллионов лет. Такую энергетику мы со всеми основаниями можем назвать безопасной.

Большинство специалистов и некоторые экологи считают, что на сегодняшний день безопасной ядерной энергетике нет альтернативы. Именно она выходит на ведущие роли, учитывая ограниченность запасов углеводородных энергоносителей и неразвитость «возобновляемой» энергетики.

Если Вас захватывают вопросы, связанные с историей и перспективами развития ядерной энергетики, то этот буклет - для Вас. Надеемся, что он станет лишь первым шагом на пути Вашего знакомства с тайнами атома и атомной отраслью.

У ПРИРОДЫ НЕТ ПЛОХОЙ ПОГОДЫ

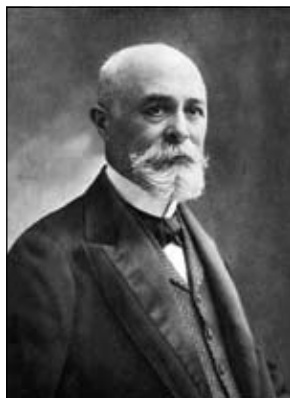
Открытию радиоактивности помогло отсутствие солнца.

Но не только...

Рассматривая портрет, мы зачастую фокусируемся лишь на образе человека, неоправданно забывая про пейзаж или интерьер. Но у настоящего художника фон как бы продолжает героя, раскрывает его внутреннюю сущность. Что-то подобное происходит и в истории науки. Например, хорошо известно, что явление радиоактивности открыл французский физик Антуан Анри Беккерель. При этом нечасто услышишь, как именно было сделано это великое открытие. Некоторые утверждают, что оно произошло случайно. При этом забывают об

удивительном «фоне», окружении, сопровождавшем Беккереля до знаменательного дня 1 марта 1896, в который началась не только весна года, но и весна ядерной физики. Необходимо исправить это упущение.

Начнем издалека. Дед ученого – Антуан Сезар Беккерель, профессор, член Парижской Академии наук. Именно он положил начало семейному интересу к явлению **фосфоресценции** (свечения, характерного для светлячков, гниющего дерева или рыбы, и т.д.), увидев однажды в Венеции, как светится по



Александр Эдмонд Беккерель.

ночам Адриатическое море. Он же начал собирать богатейшую **коллекцию фосфоресцирующих минералов**, которую значительно расширил отец Антуана Анри – Александр Эдмонд Беккерель, профессор физики и руководитель Национального музея естественной истории. Этот страстный исследователь фосфоресценции, интересовался, кроме того, вопросами **фотографии** и пьезоэлектричества. Вместе со своим сыном Анри он с 1872 года изучает **фосфоресценцию минералов урана**. Теперь неудивительно, что 26 февраля 1896 года мы обнаруживаем уже опытного ученого Антуана Анри Беккереля в лаборатории, исследующим воздействие минералов урана на фотопластинку, завернутую в черную бумагу. Правда, для опытов Беккерелю нужен солнечный свет; он пытается показать, что под действием лучей солнца минерал начинает испускать **Х-лучи, только что открытые**



Свечение стекла, содержащего уран, под действием УФ-излучения

Рентгеном. (Эти лучи способны засвечивать фотопластинку, проходя через черную бумагу). Опыт уже увенчался успехом – на фотопластинке появились отпечатки – однако необходимо его повторить, получить воспроизводимые результаты. Все было готово к повторному эксперименту, но утром 26 февраля **солнце**

спряталось. Расстроенный Беккерель собрал приготовленные пластинки, кусочки урановой соли и убрал все это в ящик своего стола до лучших времен.

Последующие три дня над Парижем висели тучи, а 1 марта солнце, наконец, выглянуло, возвещая приход весны. Перед опытом Беккерель решил проявить пластинки, чтобы убедиться в качестве фотоэмульсии.

Проявив их, он обомлел. На фотопластинках четко выделялись силуэты урановых образцов. Минералы испускали лучи (радиацию) самостоятельно, без воздействия солнца.

Так (случайно или нет?) было открыто явление, которое чуть позже Мария Кюри назовет радиоактивностью.

ПОЭЗИЯ - ТА ЖЕ ДОБЫЧА РАДИЯ

**Для получения мизерного количества радия Мария Кюри
вручную переработала несколько тонн сырья**



Минерал уранинит

Урановыми лучами заинтересовались французские ученые – Мария Склодовская-Кюри и ее супруг Пьер Кюри. в результате ряда экспериментов им удалось установить, что радиоактивность присуща именно атому урана; действительно, интенсивность неведомого излучения была пропорциональна количеству урана. Чуть позже Мария Кюри об-

наружила, что торий также испускает лучи Беккереля, а значит радиоактивность – всеобщее свойство материи, и могут обнаружиться другие радиоактивные элементы. Тогда Мария берется исследовать минералы из коллекции Академии наук, и результаты оправдывают ее ожидания: активными оказываются лишь те образцы, которые содержат торий или уран. Но вот незадача – радиоактивность этих мине-

ралов оказывается значительно выше, чем можно было бы ожидать, исходя из количества урана (тория) в них. Ошибка? Или в минералах есть неизвестные радиоактивные элементы?

Мария Кюри взялась за исследования с удвоенной силой. Прекрасный химик, она с помощью супруга начинает выделять из раствора минерала **уранинита** все элементы, входящие в его состав. Ищет фракцию, в которой концентрировалась бы неизвестная радиоактивность. И находит две такие фракции! Следовательно, новых элементов два: один из них по химическим свойствам похож на висмут, и Мария предлагает назвать его «полонием» (в честь своей родины – Польши), а второй сходен с барием и осаждается вместе с ним. Он получил имя **«радий»**, которое происходит от латинского слова *radius* (луч). Так что, новый элемент был «лучистым», и это, как Вы скоро увидите, оказалось правдой!

Содержание радия в уранините было исчезающее малым. Но необходимо было получить значимое количество нового элемента, чтобы изучить его химические свойства и, самое главное, атомный вес. Где же взять необходимое количество материала, если, судя по всему, **для работы нужны несколько тонн минерала урана?** Элемент почти не используется, и только в Богемии (теперь это Чехия) есть шахты Иохимстали, в которых он добывается: урановые соли добавляли в знаменитое богемское стекло для придания ему дымчатой окраски. Но урановая смолка (минерал урана) очень дорога, а денег нет. Мария и Пьер решают, что радий и полоний должны оставаться в отбросах производства, которые они и покупают на собственные деньги. Австрийское правительство, бывшее собственником шахт, отпускает им тонну отходов безвозмездно, а остальное готово продать на выгодных условиях.

В течение четырех лет (1898-1902), в сарае с текущей крышей и асфальтовым полом (бывшей прозекторской) Мария Кюри вручную, применяя химические ме-



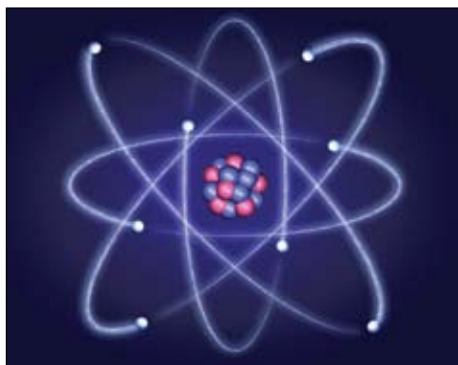
*Образ Марии Кюри в исполнении
Сьюзан Мари*

тоды, **переработала несколько тонн отходов** и получила... около 100 мг хлорида радия! Этого оказалось достаточно для определения его атомного веса (по результатам измерений – 225) и химических свойств (радий оказался близок к барию). Но у нового элемента было еще одно удивительное свойство – он очень красиво светился в темноте. Мария и Пьер, запаяв радий в ампулу, по вечерам ходили в свой сарайчик, чтобы полюбоваться на загадочное свечение.

Чуть позже стало ясно, что излучение радия способно обжигать кожу, а также лечить злокачественные опухоли и некоторые раковые заболевания кожи – а значит, его нужно больше. И тогда Мария снова берется за работу: для получения 1 грамма радия ей пришлось вручную переработать еще 8 тонн уранинита...

ВЕЛИКИЕ ТОЖЕ ОШИБАЮТСЯ

Заблуждения Менделеева и Резерфорда, горечь Эйнштейна и Курчатова



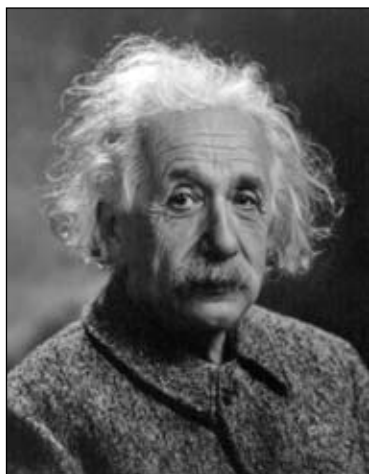
Атом

Каждый человек имеет право на ошибку. Именно так мы осознаем и оправдываем свои собственные слабости. Но заблуждения великих ученых – чрезвычайно интересный объект для изучения. Они позволяют понять, какие течения господствовали в науке и насколько революционными были открытия.

Например, открытие явления радиоактивности переполошило весь научный мир, поскольку рушило устоявшиеся, казавшиеся незыблемыми представления о неделимости атома. Понять глубину смятения большинства ученых можно, знакомясь с «Основами химии» 1906 года, в которых Дмитрий Иванович Менделеев писал: «... я вовсе не скло-

нен (на основании суровой, но плодотворной дисциплины индуктивных знаний) признавать **даже гипотетическую превращаемость элементов друг в друга** и не вижу никакой возможности происхождения аргоновых или радиоактивных веществ из урана или обратно». Великий ученый ошибался, видимо, думая, что превращение элементов друг в друга нарушит стройность Периодической системы. Время показало, что это не так.

Чуть позже (в 1930 году) английский ученый Эрнест Резерфорд, который сделал для ядерной физики больше, чем кто-либо, публично высказался об экспериментах по расщеплению ядра атома «... расщепление атома, это всего лишь наиболее элегантный эксперимент и элегантность его в том и состоит, что **он не имеет никакого практического применения!**» Незадолго до смерти ему задали вопрос: «Как вы думаете, когда открытая вами ядерная энергия найдет практическое применение?» Резерфорд коротко ответил: «**Никогда!**» – и подумав, добавил – «В крайнем случае, лет через 200-300». Это было произнесено **за 5 лет до запуска первого ядерного реактора** и за 8 лет до взрыва первой атомной бомбы.



Альберт Эйнштейн

Однако бывают ошибки иного рода. 16 июля 1945 года в день первых испытаний атомной бомбы люди увидели, как грозно выглядит знаменитое уравнение $E=mc^2$ в действии. После Хиросимы и Нагасаки Альберт Эйнштейн (многие считают его отцом американской атомной бомбы) стал выступать против этого вида оружия (манифест Рассела-Эйнштейна). В письме японскому философу Синохара Эйнштейн написал: «Единственным утешением от создания ядерных бомб, как мне кажется, является то, что в этот раз **эффект устрашения достигнет своей цели** и ускорит развитие международной безопасности». Наш великий соотечественник, создатель советской атомной бомбы

Игорь Васильевич Курчатов после испытаний термоядерного оружия в 1953 году сказал: «Это было ужасное, чудовищное зрелище! **Нельзя допустить, чтобы это оружие начали применять**».

ПЕРВЫЕ В МИРЕ

Первая в мире атомная электростанция была построена в нашей стране

В 1942 году в США под трибунами футбольного стадиона Чикагского Университета был запущен первый в мире ядерный реактор. Тогда подобные устройства рассматривались лишь как наработчики плутония – «начинки» для ядерных бомб. Но чуть позже пришла идея использовать тепло, выделяющееся в ходе ядерной реакции, для производства электричества. Например, если мы будем пропускать через



Обнинская АЭС

работавший реактор воду, то она нагреется до значительных температур и испарится. а уж подать пар на турбогенератор – не проблема. Эта идея лежала на поверхности, и была достаточно быстро реализована Советским Союзом, правда, после первых испытаний советского ядерного оружия.

Уже в 1944 году руководитель советского атомного проекта Игорь Курчатов пытался убедить Иосифа Сталина в том, что «энергетические перспективы атомных котлов не менее существенны для государства, чем военные». Работы по созданию атомной электростанции начались в 1948 году, а 27 июня 1954 года СССР с гордостью объявил **о запуске первой в мире АЭС в подмосковном г. Обнинске**. Она имела мощность 5 МВт, вполне достаточную для удовлетворения потребностей города, и была остановлена 29 апреля 2002, проработав

48 лет в безаварийном режиме.

Работы по мирному использованию энергии атома шли и в других странах. В 1956 году в Колдер-Холле (Великобритания) была введена в эксплуатацию первая АЭС промышленного назначения мощностью 46 МВт, а через год вступила в строй первая АЭС на американском континенте (60 МВт) в Шиппингпорте, США. Сегодня на атомных станциях вырабатывается около 15 % электроэнергии, производимой всеми государствами мира. На 1 апреля 2009 года в мире действовало 436 энергоблоков общей мощностью 372 гигаватта, а в стадии строительства находилось 44 блока.

Первое в мире надводное судно с «ядерным двигателем» также было построено в нашей стране. 5 декабря 1957 года атомный ледокол «Ленин» был спущен на воду, а 12 сентября 1959 года уже с верфи Адмиралтейского завода (Ленинград) он отправился на ходовые испытания. В составе Мурманского морского пароходства ледокол проработал 30 лет, исправно раскалывая арктические льды, и в 1989 году был поставлен на вечную стоянку в г. Мурманске. Сейчас на его борту создается музейная экспозиция.



Атомный ледокол «Вайгач»

Россия является единственным государством мира, эксплуатирующим атомный ледокольный флот. На сегодняшний день под управлением государственного предприятия ФГУП «Атомфлот» (входящего в Госкорпорацию «Росатом») находится 6 действующих атомных ледоколов: «Россия», «Советский Союз», «Таймыр», «Вайгач», «Ямал» и «50 лет Победы». Россия по праву гордится своим атомным ледокольным флотом, который обеспечивает доступ к богатствам Арктики, и поэтому по планам «Росатома» в 2010 году должен быть заложен атомный ледокол нового класса.

Россия остается лидером в области мирного использования энергии атома. В ближайшие годы на воду будет спущена **первая в мире плавучая атомная электростанция (ПАТЭС)**, которая строится

в Санкт-Петербурге. Подобные станции необходимы для снабжения электричеством труднодоступных районов Сибири и Дальнего Востока. Это революционное решение позволит сэкономить огромные средства, расходуемые на доставку топлива и строительных материалов. Первые ПАТЭС могут быть установлены близ Певека (Чукотка) и Вилучинска (Камчатка).

АТОМНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Энергия атома используется для электроснабжения маяков и спутников

Некоторым атомам свойственна нестабильность: они склонны спонтанно распадаться с выделением заряженных частиц (альфа-, бета-),



Маяк с РИТЭГом

обладающих высокой кинетической энергией. При торможении выделившихся частиц в окружающем радиоактивном атомном веществе, их энергия постепенно переходит в тепловую, и вещество нагревается.

Многие знают, что на атомных станциях тепло, выделяющееся в ходе цепной

реакции деления ядер урана, используется для испарения воды. Образующийся пар поступает на турбогенератор, который вырабатывает электроэнергию. Но в данном случае мы управляем реакцией деления, а значит – управляем нагревом воды и производством электроэнергии.

Процесс спонтанного распада радиоактивных ядер неуправляем и, что принципиально, не имеет цепного характера. Но, оказывается, его энергию тоже можно использовать. Процесс трансформации энергии радиоактивного распада в электричество реализован в **радио-**

изотопных источниках электроэнергии.

Они могут быть основаны на самых различных принципах преобразования.

Например, в **радиоизотопных термоэлектрических генераторах** (РИТЭГх) используются

термоэлементы. Термоэ-

лементом называется цепь, составленная из разнородных проводников или полупроводников. Если места контактов поддерживать при различных температурах, то в цепи возникает термо-ЭДС, а при ее замыкании – протекает ток. Используя тепло радиоактивного распада для нагревания одного из контактов, мы реализуем термоэлектрическое преобразование и получаем чрезвычайно стабильный и долговечный источник электричества.

Эти выдающиеся свойства РИТЭГов определили их применение в качестве энергоисточников навигационных маяков и радиомаяков (в частности, на трассе Северного морского пути и в других труднодоступных районах), метеостанций и другого оборудования. Не менее интересно их применение в космических и глубоководных аппаратах. Например, американские космические аппараты «Вояджер-1, -2», «Кассини», а также спускаемые зонды первого и второго «Викингов» были снабжены радиоизотопным «сердцем». Сегодня «Вояджер-1» находится практически на границе Солнечной системы и продолжает надежно работать. Ученые полагают, что радиоизотопные термоэлектрические генераторы будут надежно действовать до 2025 года (а запущен «Вояджер-1» был в 1977 году). Таким образом, этот космический аппарат может стать первым искусственным телом, пересекшим границы Солнечной системы.

Советские «Луноходы» обогревались теплом радиоактивного распада, а на ряде космических аппаратов были установлены ядерные реакторы «Бук» и «Топаз». Сегодня эти космические аппараты выведены на орбиту захоронения, находящуюся в 1000 км от Земли.



«Луноход-1»

Радиоизотопные источники энергии незаменимы при исследовании дальнего космоса, тех его точек, где солнечный свет уже не удастся использовать для получения электричества при помощи фотоэлементов.

В будущем радиоизотопные источники тепла и электроэнергии могут быть использованы в межзвездных зондах, боевых лазерах космического применения, беспилотной технике, глубоководных станциях постоянного базирования, медицине и робототехнике (основной источник питания роботов-андроидов).

БЫСТРЫЕ НЕЙТРОНЫ

Россия – мировой лидер «быстрой» энергетики



Белоярская АЭС

Когда в ядро урана попадает нейтрон, в большинстве случаев, ядро распадается на осколки и 2-3 нейтрона, движущиеся с большой скоростью. Выделившиеся в ходе распада нейтроны имеют значительную энергию и их называют **быстрыми**. Перемещаясь в окружающей среде (в особенности в графите и воде), нейтроны теряют скорость и становятся

медленными.

Обычные ядерные реакторы, в силу своего устройства и некоторых особенностей процесса деления ядер урана, работают **на медленных** нейтронах. Медленными (или тепловыми) называют нейтроны, кинетическая энергия которых сравнима с энергией движения атомов и молекул среды. Однако их «медленность» несколько условна: скорость движения такого нейтрона составляет несколько тысяч м/с, тем не менее, это движение хаотично, нейтрон постоянно соударяется

с окружающими ядрами, пока не поглотится одним из ядер урана-235. Именно уран-235 эффективно делится на медленных нейтронах, но его в природной смеси изотопов маловато – всего 0,7%.

А вот уран-238 является основным природным изотопом урана – его около 99,3%. Неужели этот изотоп никак нельзя использовать?

Можно! Только для этого нужны **быстрые нейтроны**, движущиеся со скоростью более 200 миллионов м/с. Но в обычном реакторе используются материалы (вода, графит), которые эффективно замедляют нейтроны. Нужно от них избавиться, поскольку в замедлителе необходимость отпадает. Но как обойтись без воды, если она является теплоносителем? Можно заменить ее легкоплавким металлом (например, натрием или свинцово-висмутовой смесью) или вообще газом. Металл прекрасно справится с функцией отбора тепла от разогретого ядерного топлива и передаст его воде смежного контура.

В чем основное преимущество подобного реактора? Мы получаем возможность использования урана-238, которого в 140 раз больше, чем урана-235. По современным оценкам, топлива для современной (тепловой) атомной энергетики осталось на 80 лет. Но если мы построим достаточное количество реакторов на быстрых нейтронах, то запасов урана хватит на 11000 лет! Кроме того, «быстрые» реакторы позволяют использовать торий, количество которого на Земле, по разным оценкам, превышает запасы урана в 3-5 раз! Таким образом, природа дала нам в руки мощнейшие энергетические активы и нужно научиться их использовать.

Мировое сообщество пока только обдумывает эти перспективы. Попытки эксплуатации промышленного «быстрого» реактора в США и Франции завершились неудачей, а **Россия вот уже 29 лет в безаварийном режиме эксплуатирует блок на быстрых нейтронах БН-600** (Белоярская АЭС, Свердловская область). Сегодня не имеющий аналогов в мире российский опыт промышленной эксплуатации блока БН привлекает интересы Японии, Индии, Китая, Южной Кореи, Франции и США, которые планируют развитие собственной «быстрой» энергетики. Например, Китай и Индия собираются к 2010 году построить собственные экспериментальные реакторы на быстрых нейтронах.

«Быстрые» реакторы должны стать основой новой ядерной энергетики. России нельзя терять свои преимущества в этой сфере, поэтому в 2014 году на Белоярской АЭС планируется ввод в эксплуатацию более мощного блока БН-800, а после 2050 года должен начаться интенсивный переход на «быстрые» реакторы.

НУЛИ ПОСЛЕ ЗАПЯТОЙ

Вероятность тяжелой аварии на современной АЭС крайне мала

До начала 1980-х года человечество не задумывалось о грозной силе, таящейся в ядерном реакторе. 28 марта 1979 года прозвенел первый предупредительный звонок: во многом **по причине некорректных действий персонала** расплавилась часть активной зоны АЭС «Три-Майл-Айленд» (США, штат Пенсильвания). А 26 апреля 1986 года произошла Чернобыльская катастрофа, причинами которой стали ошибки проектировщиков реактора и ошибки эксплуатационного персонала.

Последующие годы стали для атомщиков временем переосмысления подходов к безопасности станций. Если говорить иносказательно, с атомом стали обращаться на «Вы». Значительно усовершенствованы системы обеспечения безопасности, требования к персоналу и системам управления, нормативная документация.

Современные энергоблоки, которые планируется вводить в эксплуатацию в России, серьезно отличаются от печально известной «чернобыльской серии». Во-первых, они имеют принципиально иную конструкцию, а во-вторых, в них использован весь накопленный за последние десятилетия **опыт безаварийной эксплуатации** водородных энергетических реакторов (ВВЭР).

В соответствии с ныне действующими европейскими требованиями вероятность тяжелой аварии с расплавлением активной зоны реактора без выхода расплава за пределы корпуса не должна превышать 10^{-5} на реактор в год. На проектируемых блоках ВВЭР-1200 (которые

будут установлены, например, на ЛАЭС-2) вероятность такой аварии **не превышает 10^{-6} на реактор в год.**

Это означает, что на данном конкретном блоке **подобная авария может случиться раз в миллион лет.** Готовы ли специалисты к такой аварии? Да, готовы: корпус ре-



Внешний вид современной АЭС

актора устроен так, что расплавленная активная зона может удерживаться в нем до 72 часов. Этого времени хватит на принятие серьезных последовательных решений по ликвидации аварии. Именно поэтому в проектах новых блоков встречается термин **«управление аварией»**, обозначающий реальную возможность предотвращения ее тяжелых последствий.

В соответствии с европейскими требованиями вероятность тяжелой аварии с выходом радионуклидов за пределы корпуса реактора и энергоблока (с эвакуацией населения) не должна превышать 10^{-6} – 10^{-7} на реактор в год. На проектируемых блоках достигнута цифра **около 10^{-8} на реактор в год**, т.е. **подобная авария может произойти раз в 100 миллионов лет.** Даже если мы построим 100 таких реакторов, то выброс радиоактивности в результате аварии на одном из них имеет вероятность произойти всего один раз за миллион лет.

Это весьма маловероятное событие. Гораздо более вероятным является прямое попадание метеорита в Вас завтра утром. (Не беспокойтесь: мы уверены, что этого не произойдет!)

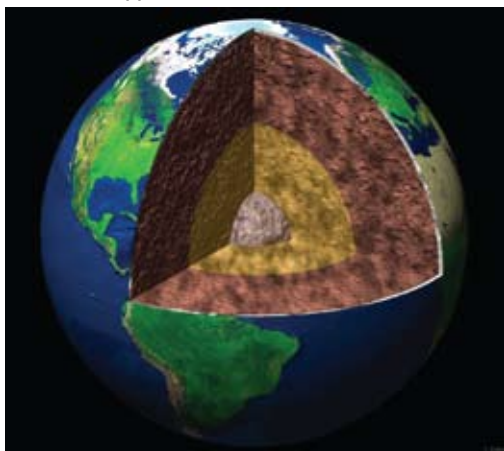
Надежность современных АЭС настолько высока, что крупнейшие страны мира приступили к наращиванию своей ядерной энергетики, а развивающиеся страны планируют ее создание. На сегодняшний день АЭС эксплуатируют 30 государств (всего 436 действующих энергоблоков) и еще 14 хотели бы к ним присоединиться.

НОМО «ACTIVUS»

Человек «активный».

Наше тело содержит радионуклиды

Понятие «радиоактивность» всегда окружала некоторая тайна, которая, как это чаще всего и происходит, порождала недоверие. Даже сейчас, когда радионуклиды нашли свое применение практически во всех отраслях экономики, к этому явлению сохраняется настороженное отношение. Правда, оно приобрело некоторый оттенок «антропогенности»: многие вполне серьезно считают радиоактивность результатом манипуляций человека с природными объектами. Но так ли это на самом деле?



Внутреннее строение Земли

Конечно, нет. Радиоактивность – это совершенно естественное явление, присущее материи с момента появления Вселенной. Просто получилось так, что некоторые более легкие элементы оказались устойчивыми, а более тяжелые – нестабильными. На сегодняшний день существует весьма спорная гипотеза, что все известные элемен-

ты радиоактивны, но распадаются с разной скоростью: тяжелые – быстрее, легкие медленнее, причем настолько медленнее, что нашим приборам не удастся зафиксировать их радиоактивность. Однако это предположение пока не находит подтверждения.

Именно по причине своей естественности радиоактивные элементы и изотопы содержатся в земной коре и мантии. Это касается не только широко известных урана и тория (все изотопы этих элементов радиоактивны), но и некоторых изотопов стабильных элементов. Речь идет, в первую очередь, об изотопе калий-40, который встречается в лю-

бом объекте на Земле. Интересно, что калий-40 и некоторые другие радионуклиды называют реликтовыми. Это имя они получили потому, что из-за малой скорости распада (или, по-другому, из-за большого периода полураспада) они сохранились практически с момента взрыва Сверхновой, на месте которой образовалась Солнечная система.

Какова роль калия-40 на нашей планете? Возможно, что мантия Земли поддерживается в расплавленном состоянии именно благодаря ему, т.е. разогревается теплом радиоактивного распада калия-40 и других радионуклидов. Во-вторых, калий-40 (наряду со своими «коллегами») вносил и вносит значимый вклад в естественный радиационный фон, т.е. **жизнь на Земле зародилась и развивалась в условиях постоянного радиационного воздействия**. Вполне возможно, что без этого фактора жизнь на Земле не появилась бы совсем. Во всяком случае, опыты показывают, что при изоляции животных от естественной радиации наступает угнетение их активности (появляется вялость) и снижается репродуктивная функция. Поэтому **природная радиоактивность жизненно важна и для человека**. Стоит хотя бы вспомнить о благотворном воздействии на здоровье человека радоновых ванн.

Почему же мы уделили столько внимания всего одному изотопу? Дело в том, что он абсолютно идентичен по химическим свойствам нерadioактивному калию – биогенному элементу, а значит, присутствует в нашем теле! **В организме взрослого человека** содержится около 170 г калия, из них **20 мг радиоактивного калия-40**. Только благодаря этому радионуклиду **в человеческом теле ежеминутно происходит около 300 тысяч радиоактивных распадов!** Правда, других радионуклидов в нашем организме значительно меньше.

В заключение приведем курьезный случай, который произошел на одной из выставок. В павильоне был установлен аппарат для измерения радиоактивности тела человека, который показывал удивительные результаты: мужчины были несколько радиоактивнее женщин! Однако этому феномену быстро нашлось объяснение: калий эффективно концентрируется в мускульной ткани, которой у мужчин больше. Вот такой homo «activus»!

«ГОРЯЧИЕ ТОЧКИ»

**На Земле есть места, в которых
естественный радиационный фон
значительно повышен**



Индия,
штат Керала



Бразилия,
штат Рио-Де-Жанейро



Карелия



Радоновый источник на Байкале

Радионуклиды рассеяны в природе и содержатся в любом окружающем нас объекте, неважно живой он или неживой. Излучение этих радионуклидов, наряду с космическим излучением, создает естественный радиационный фон. Мы уже привыкли к цифрам 10-14 микрорентген в час (0,10-0,14 микрозиверт в час), и знаем, что это норма для большинства территорий. Знаем и то, что на высоте 10 км (высота полета гражданских самолетов) атмосфера хуже защищает от космических лучей и поэтому фон там составляет 200-250 микрорентген в час (2,0-2,5 микрозиверт в час). Но не все в курсе, что **на Земле есть места, в которых естественный фон значительно повышен, и это не создает для их обитателей никаких проблем.**

Разберемся в причинах этого феномена. Земными источниками излучений являются более 60 естественных радионуклидов. Основной вклад в дозу внешнего облучения вносят гамма-излучающие нуклиды радиоактивных семейств урана и тория, а также калий-40. В тех местностях, где содержание тория и урана в почве повышено, наблюдаются радиационные аномалии. Вот примеры:

Франция – в ряде районов средний фон достигает 2 мкЗв/ч (в 20 раз больше «обычного» фона). В среднем 7 миллионов французов получают за год дозу естественного излучения, в 1,5-2 раза превышающую среднемировую. Районы с таким уровнем радиации есть в **Италии, США, Швеции**, на Мадагаскаре, вулканических островах Тихого океана. В России также есть территории с повышенным природным фоном – например, некоторые районы **Алтая и Карелии**.

Индия (штат Керала) – 7000 человек живут в районе со средним фоном 0,43 микрозиверта в час (мкЗв/ч). Здесь вдоль прибрежной полосы встречаются места выхода на поверхность монацитовых песков, содержащих около 10% по массе тория-232 и продуктов его распада. Более 100 тысяч жителей штатов Керала и Мадрас живут в условиях среднегодового фона 0,14-3,2 мкЗв/ч.

Бразилия (штаты Эспириту-Санту и Рио-де-Жанейро) – вдоль Атлантического побережья мощность дозы колеблется от 1 до 10 мкЗв/ч, достигая на морских пляжах 20 мкЗв/ч.

Иран (г. Рамсер) – имеются участки, где мощность дозы из-за высокого содержания урана в воде колеблется от 0,7 до 50 мкЗв/ч.

Это далеко не все «горячие точки», но Вы видите, что для Земли они вполне естественны. Опасно ли проживание в таких регионах? Согласно заключению ученых Всемирной и Панамериканской организации здравоохранения: «... не выявлено влияние относительно повышенного фона на смертность от онкопатологии, на частоту врожденных аномалий, отклонений в физическом развитии, индекс плодовитости женщин, частоту наследственной патологии, детскую смертность, соотношение полов и частоту спонтанных аборт».

Более того, **получение дополнительной дозы радиации может оказаться полезным для организма**. Действительно, радиоактивные источники (например, радоновые ключи) дарят людям здоровье, способствуют снятию нервных напряжений, заживлению ран, лечению заболеваний опорно-двигательного или дыхательного аппарата.

Так что **нет никаких оснований бояться** перелетов или поездок в районы с повышенным природным фоном.

ЗА ТОПЛИВОМ – НА ЛУНУ?

**На Луне сконцентрировано термоядерное топливо.
Лететь или не лететь?**

Человечество все ближе и ближе подходит к практическому использованию процессов, происходящих на самой близкой к нам звезде. Согласно современным представлениям, в недрах Солнца при очень высоких температуре и давлении идут реакции слияния более легких элементов с образованием более тяжелых. Основной процесс – протон-протонный цикл – слияние четырех ядер водорода с образова-



Луна

нием ядра гелия. При этом выделяется значительная энергия, поэтому Солнце способно согревать атмосферу ближних планет.

Поскольку упомянутые реакции идут только при очень высоких температурах и давлениях, их называют термоядерными. Термоядерные процессы – очень заманчивый источник энергии. Во-первых, для их протекания необходимо очень немного топлива, ведь нашему «желтому карлику» – Солнцу около 4,6 млрд. лет, а его общий жизненный цикл (до образования «белого карлика») составит не менее 13 млрд. лет. Во-вторых, термоядерная энергетика станет одним из самых экологически чистых видов производства энергии.

Какое топливо необходимо для проведения термоядерной реакции? По всей видимости, реакторы первого поколения будут работать на **смеси ядер изотопов водорода – дейтерия и трития**. Эта реакция наиболее легко осуществима, тем более, что топливные компоненты достаточно дешевы (их легко получить). Однако в ходе этой реакции выделяются высокоэнергетические (движущиеся с высокой скоростью) нейтроны, которые активируют конструкционные материалы реактора и теплообменника, что приводит к **увеличению образования радиоактивных отходов**.

Можно ли избавиться от этих нежелательных нейтронов? Оказывается, можно. Необходимо только заменить тритий на гелий-3. Реакция дейтерия с гелием-3 протекает с таким же тепловыделением, но при этом не образуются нейтроны, т.е. снижается уровень радиационного загрязнения и повреждения конструкционных материалов.



База на Луне

Ядро гелия-3 (гелион) состоит из двух протонов и одного нейтрона. На Земле гелий-3 добывают в очень небольших количествах, исчисляемых несколькими десятками граммов за год. Добывать этот изотоп из земной атмосферы невыгодно (изотопная распространенность в сочетании с гелием-4 0,000137 %). Но гелий-3 поступает из солнечного ветра (потока частиц, движущихся от нашей звезды), а значит, он может накапливаться на поверхности планет и спутников, не имеющих атмосферы. В лунном грунте (реголите) гелий-3 постепенно накапливался в течение миллиардов лет облучения солнечным ветром. В результате тонна лунного грунта содержит 0,01 г гелия-3 и 28 г гелия-4; это изотопное соотношение (~0,04 %) значительно выше, чем в земной атмосфере. По минимальным оценкам на Луне можно добыть до 500 тысяч тонн этого изотопа (в атмосфере Земли – около 35 тысяч тонн); максимальные оценки дают до 10 миллионов тонн.

Однако **для получения одной тонны гелия-3 необходимо переработать 100 миллионов тонн реголита** (участок лунной поверхности площадью 20 км² на глубину 3 м). Для энергоснабжения только России в год потребуется 20 тонн гелия-3, попробуйте представить себе масштабы работы на спутнике! Так что, скорее всего, в ближайшей исторической перспективе разработки на Луне не окупятся. Что делать? Учеными разработан простой и достаточно дешевый способ производства гелия-3 из широко распространённого в природе лития-6 на существующих атомных электростанциях. Тем не менее,

с идеей лунной базы прощаться не следует – с развитием техники планы добычи гелия-3 на Луне могут оказаться более реальными.

Мы рассказали всего лишь о десяти интересных фактах из жизни атома. Конечно, их гораздо больше.

Будем ждать ваших интересных фактов по адресу irrt@mail.ru.

Обязательно учтем Ваше мнение при подготовке следующих изданий.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНТЕРЕСНЫЕ ФАКТЫ ОБ АТОМЕ и РАДИАЦИИ	1
У ПРИРОДЫ НЕТ ПЛОХОЙ ПОГОДЫ	2
ПОЭЗИЯ КАК ДОБЫЧА РАДИЯ	4
ВЕЛИКИЕ ТОЖЕ ОШИБАЮТСЯ	6
ПЕРВЫЕ В МИРЕ	8
АТОМНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО	10
БЫСТРЫЕ НЕЙТРОНЫ	12
НУЛИ ПОСЛЕ ЗАПЯТОЙ.....	14
НОМО «ACTIVUS»	15
«ГОРЯЧИЕ ТОЧКИ»	17
ЗА ТОПЛИВОМ – НА ЛУНУ?.....	19

ПОЛЕЗНЫЕ ССЫЛКИ

Государственная корпорация по
атомной энергии «Росатом» www.rosatom.ru

Общественный совет
Госкорпорации «Росатом» www.osatom.ru

«Атомэнергпром», компания, кон-
солидирующая гражданские активы
атомной отрасли, ОАО www.atomenergoprom.ru

«Концерн Энергоатом», эксплуати-
рующая организация российских АЭС,
ОАО www.rosenergoatom.ru

Радиационная обстановка на объек-
тах «Росатома» www.russianatom.ru

Ростехнадзор, лицензирующий орган
государственной власти (в т.ч. в обла-
сти атомной энергетики) www.gosnadzor.ru

Московский «Атомэнергпроект» www.aep.ru

Нижегородский «Атомэнергпроект» www.niaep.ru

Санкт-Петербургский «Атомэнергпроект» www.spbaep.ru

ОКБ «Гидропресс», генеральный
проектировщик реакторной установки
ВВЭР-1200, ФГУП www.grpress.podolsk.ru



Библиотечка
Общественного совета
Госкорпорации «Росатом»

Публикации, выходящие в серии
«Библиотечка Общественного совета Росатома»,
призваны расширить знания читателей о радиации
и радиационной безопасности,
безопасном использовании атомной энергии
и перспективах развития атомной энергетики
в России и в мире



www.osatom.ru

Отпечатано в ОАО «Дом печати – ВЯТКА»
Заказ 3912. Тираж 10 000.