



РАДИОАКТИВНОСТЬ:
несекретные материалы

Акатов А. А., Коряковский Ю. С.

РАДИОАКТИВНОСТЬ:
несекретные материалы

Информационные центры по атомной энергии
Москва, 2012

УДК 621.039

ББК 31.4

Акатов А. А., Коряковский Ю. С.

Радиоактивность: несекретные материалы. — 2012. — 32 с.

© АНО «ИЦАО», 2012 / Акатов А. А., Коряковский Ю. С., 2012

От Первой в мире атомной электростанции до ядерной энергетики будущего.
От добычи радия из урановой руды до разработки гелиевого месторождения на Луне.

От классических основ до инновационных разработок.
Несекретные материалы об атоме и радиации.

Введение

Слово «атом» (от греч. *ἄτομος*) в переводе означает «неделимый»: наименьшая часть материи, кирпичик, строительный материал Вселенной. На протяжении тысячелетий, прошедших с момента зарождения этого понятия, знания о законах природы изменились коренным образом вместе с этим менялись и представления об атоме, однако его неделимость в течение долгого времени оставалась незыблемым постулатом.

Начало крушению основ было положено в 1896 году, когда было открыто явление радиоактивности. Что такое радиоактивность? Это способность атома к превращению в атом другого элемента, сопровождающемуся испусканием различных частиц. Следовательно, атом обладает сложной структурой, способной (вопреки устоявшимся взглядам) к трансформации.

За годы исследований радиоактивности был накоплен колоссальный опыт, без которого не может обойтись современная наука, промышленность и медицина. Но что, по большому счету, можно сказать о самой радиоактивности, о радиации? Они сложны для понимания. Они и полезны, и вредны – в зависимости от способа применения. Но можно ли сказать, что они при этом интересны, занимательны, увлекательны? Несомненно.

Пасмурная погода как двигатель прогресса

Принято говорить, что явление радиоактивности было открыто 1 марта 1896 года Антуаном Анри Беккерелем. Но это не совсем правильно. По сути дела, Беккерель обнаружил излучение, испускаемое радиоактивными ядрами, которое затем назвали *радиацией*. И заслуга его заключается в том, что ученому удалось ухватить конец нити, следуя которой, удалось выйти на качественно новый уровень знаний о законах природы.

Часто говорят, что открытие было совершено «случайно», забывая об особенной атмосфере, окружавшей Беккереля до знаменательного дня 1 марта 1896, когда было положено начало ядерной физике.

Что это за атмосфера, и в чем заключалось ее влияние? Дед ученого – Антуан Сезар Беккерель, был профессором, членом Парижской Академии наук. Именно он положил начало семейному интересу к явлению фосфоресценции (свечения, характерного для светлячков, древесины или рыбы, и т.д.), увидев однажды в Венеции, как светится по ночам Адриатическое море. Он же начал собирать богатейшую коллекцию фосфоресцирующих минералов, которую значительно расширил отец первооткрывателя – Александр Эдмонд Беккерель, профессор физики и руководитель Национального музея естественной истории. Вместе со своим сыном Анри он с 1872 года принимается за изучение фосфоресценции минералов урана. В свете этих фактов уже не кажется случайным, что 26 февраля 1896 года Антуан Анри Беккерель (к тому времени уже опытный ученый) оказался в лаборатории, занятый исследованием воздействия минералов урана на фотопластинку, завернутую в черную бумагу. Беккерель-младший пытался показать, что под действием лучей солнца минерал начинает испускать X-лучи, совсем недавно открытые Рентгеном и обладающие способностью засвечивать фотопластинку, проходя через черную бумагу. Опыт уже увенчался

успехом – на фотопластинке появились отпечатки, – однако требовалось его повторить, получить воспроизводимые результаты. Все было готово к повторному эксперименту, но утром 26 февраля установилась пасмурная погода. Беккерель собрал приготовленные пластинки, кусочки урановой соли и убрал все это в ящик своего стола до более ясных дней.

Неблагоприятная погода сохранялась три дня, но 1 марта солнце, наконец, вышло из-за туч – а это означало, что можно было вновь приступить к опытам. Однако сначала Беккерель решил проявить пластинки, чтобы убедиться в качестве фотоэмульсии.

Проявив их, он обнаружил совершенно неожиданный результат: на фотопластинках четко выделялись силуэты урановых образцов. Это означало, что и без воздействия солнца минералы испускали невидимые лучи, проходящие сквозь черную бумагу и засвечивающие фотопластинку. Эти лучи позднее были названы радиацией, а поиск источника *радиации*, начавшийся вслед за открытием Беккереля, позволил установить и описать явление *радиоактивности*.

Рисунок 1

Уранил сульфат калия, с которым работал Беккерель

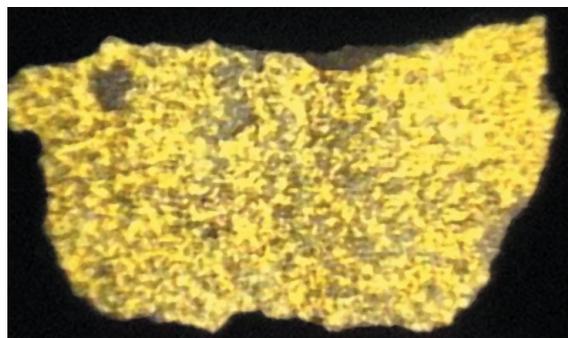
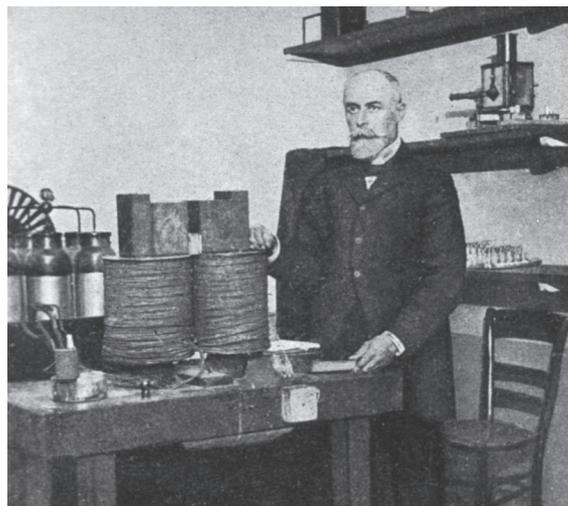


Рисунок 2

Беккерель в лаборатории



Сколько нужно урана, чтобы получить 100 мг радия?

Открытие А.А. Беккерелем радиации, испускаемой определенными минералами, крайне заинтересовало европейских ученых того времени. В частности, урановые лучи привлекли пристальное внимание французских ученых – Марии Склодовской-Кюри и ее супруга Пьера Кюри. Они задались целью установить: какой именно элемент, содержащийся в подопытном минерале урана, отвечает за испускание этих лучей?

Рисунок 3

Уранинит, с которыми работали Мария и Пьер Кюри



В результате ряда экспериментов им удалось показать, что радиоактивность связана именно с атомами урана: чем больше урана, тем более интенсивным оказывалось невидимое излучение. Однако ураном дело не ограничилось: чуть позже Мария Кюри обнаружила, что *торий* также испускает лучи Беккереля; а это означало, что могут существовать и другие радиоактивные элементы. Супруги начинают исследовать минералы из коллекции французской Академии наук, и результаты оправдывают их ожидания: активными оказываются лишь те образцы, которые содержат торий или уран. Однако радиоактивность этих минералов оказывается значительно выше, чем можно было бы ожидать, исходя из содержания в них урана (или тория). Вывод мог быть только один: в минералах, кроме урана и тория, должны содержаться еще и другие радиоактивные элементы.

Ученые взялась за исследования с удвоенной силой. Прекрасные химики, они начинают выделять из раствора минерала уранинита все элементы, входящие в его состав в поисках фракции, в которой концентрировалась бы неизвестная радиоактивность. И находят две такие фракции! Следовательно, новых элементов два: один из них Мария предложила назвать «полонием» (в честь своей родины – Польши), а второй, сходный по свойствам с барием, получил имя «радий», которое происходит от латинского слова *radius* (луч).

Рисунок 4

Мария и Пьер Кюри экспериментируют с радием



Содержание радия в уранините было исчезающе малым. Но необходимо было получить более-менее значимое количество нового элемента, чтобы изучить его химические свойства и определить атомный вес. Проблема заключалась в том, что в те годы уран почти не использовался, и только в Богемии (территория современной Чехии) были шахты Иоахимстали, в которых он добывался: урановые соли добавляли в знаменитое богемское стекло для придания ему дымчатой окраски. Но урановая смолка (минерал урана) – дорогой минерал, и он был ученым не по карману. Мария и Пьер предполагают, что радий и полоний должны оставаться в отбросах производства, которые они и покупают на собственные деньги. Правда, австрийское правительство, бывшее собственником шахт, отпускает им тонну отходов безвозмездно, с готовностью продать остальное на выгодных условиях.

В течение четырех лет (1898-1902), в сарае с текущей крышей и асфальтовым полом (бывшем помещении для вскрытия трупов – прозекторской) супруги вручную, применяя химические методы, переработали несколько тонн отходов – и все ради того, чтобы получить всего лишь 100 мг хлорида радия. Но этого оказалось достаточно для определения его атомного веса (по результатам измерений - 225) и химических свойств (радий оказался близок к барию). 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. Позднее это свойство стало повсеместно использоваться для подсветки циферблатов часов и шкал приборов. Сейчас такие приборы не используются – по современным меркам они дают слишком высокий радиационный фон.

Рисунок 5

*Циферблат
с люминофором,
содержащим
радий*



От ошибок не застрахован никто

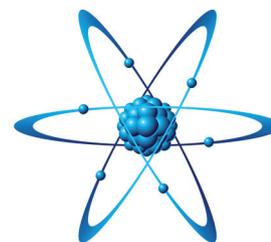
Мнение авторитетного ученого по-своему опасно: поскольку к нему прислушиваются, а его слова воспринимают в качестве определенной гарантии. Поэтому заблуждения знаменитых личностей, поддержанные их последователями, могут оказать неблагоприятное влияние на развитие той или иной отрасли знаний. И пусть в случае с радиоактивностью подобные ошибки не имели фатальных последствий, они все равно интересны с точки зрения истории науки.

Например, открытие явления радиоактивности переполюшило весь научный мир, поскольку рушило устоявшиеся, казавшиеся незыблемыми представления о неделимости атома. И понять глубину смятения большинства ученых можно, знакомясь с «Основами химии» 1906 года, в которых Дмитрий Иванович Менделеев писал: «... я вовсе не склонен... признавать даже гипотетическую превращаемость элементов друг в друга». Великий ученый ошибался, видимо, думая, что возможность трансформации одного элемента в другой нарушит стройность Периодической системы. Время показало, что это не так.

Чуть позже (в 1930 году) английский ученый Эрнест Резерфорд, который сделал для развития 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!» Это свидетельствует об общем отношении к радиации, бытовавшем в научной среде – исследователи зачастую относились к невидимым лучам всего лишь как к интересной игрушке.

Рисунок 6

Атом



Незадолго до смерти Резерфорду 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.

Рисунок 7

Эрнест Резерфорд с коллегами в Кавендишской лаборатории в Кембридже



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 напишет: *«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»*. А вот Энрико Ферми, – один из ключевых персонажей в создании американского ядерного оружия, – так не считал: в его представлении, последствия исследований, положительные или отрицательные, были чем-то второстепенным; главным же было то, что они являли собой *«превосходную физику»*...

Впервые в истории

На начальном этапе ядерной гонки наша страна проигрывала главному конкуренту – США. Первый ядерный реактор (устройство, предназначенное для организации незатухающей контролируемой реакции деления ядер урана) был запущен в 1942 году под трибунами футбольного стадиона Чикагского Университета. Реакторы требовались для того, чтобы получить плутоний – перспективную начинку для ядерных бомб. Однако уже в тот период, когда разрабатывалось атомное оружие, возникла мысль об использовании тепловой энергии, выделяющейся при делении ядер урана, для производства электричества. За основу взяли устройство обычных тепловых станций: вода, нагреваясь, превращается в пар и идет на турбину, вращая ротор электрогенератора; разница в том, что в котлах тепловых установок испарение воды происходит за счет сгорания топлива, а в реакторе – за счет цепной ядерной реакции.

Казалось бы, эта идея лежала на поверхности, но впервые она была реализована Советским Союзом. Уже в 1944 году руководитель советского атомного проекта Игорь Васильевич Курчатов убеждал И.В. Сталина в перспективности использования атомных котлов для мирных целей; работы по созданию атомной электростанции начались в 1948 году, а 27 июня 1954 года СССР объявил о запуске **Первой в мире АЭС** в подмосковном г. Обнинске. Она имела мощность 5 МВт, вполне достаточную для удовлетворения потребностей города, и долгие 48 лет проработала в безаварийном режиме.

Рисунок 8

Мемориальная табличка на здании Первой АЭС



Рисунок 9

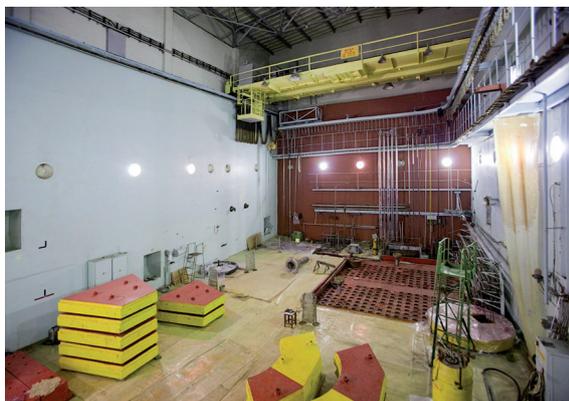
Пульт управления
Первой в мире АЭС



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. В июле 2012 года в мире действовал 433 энергоблока общей мощностью 371 гигаватт, а в стадии строительства находилось 63 блока.

Рисунок 10

Обнинская АЭС,
реакторный зал



Но отечественный опыт применения энергии атома для мирных целей не ограничился созданием АЭС, поскольку первое в мире надводное судно с ядерным двигателем также было построено в нашей стране: 12 сентября 1959 года с верфи Адмиралтейского завода на ходовые испытания отправился первый атомный ледокол – «Ленин». В составе Мурманского морского пароходства ледокол проработал 30 лет, проведя через льды множество кораблей, и в 1989 году был поставлен на вечную стоянку в г. Мурманске.

Сейчас на его борту создана музейная экспозиция и открыт информационный центр по атомной энергии.

На сегодняшний день Россия является единственным государством мира, эксплуатирующим атомный ледокольный флот. 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». По плану «Росатома» в 2016 году должен быть спущен на воду атомный ледокол нового класса – ЛК-60я (проект 22220). Атомные ледоколы в новом веке должны стать одним из ключевых элементов в освоении богатств Арктики.

Еще один интересный проект, которым Россия подтверждает свои лидерские позиции в атомном машиностроении – плавучая атомная электростанция. Первый плавучий энергоблок, разработанный на основе успешной эксплуатации силовых установок атомных ледоколов, в ближайшие годы будет введен в эксплуатацию.

Рисунок 11

Первый в мире ледокол «Ленин» на вечной стоянке в Мурманске



Рисунок 12

Современный атомный ледокол на работе



От энергии радиоактивного распада к электроэнергии

Особенность радиоактивных ядер в их нестабильности: с определенной вероятностью они превращаются в другие ядра, испуская при этом радиацию (более правильный термин – ионизирующее излучение).

Радиация, испускаемая радиоактивными ядрами, несет значительную энергию. Когда она проходит через какой-либо материал, эта энергия превращается в тепловую, и материал начинает нагреваться.

Процесс спонтанного распада радиоактивных ядер неуправляем, но, оказывается, его энергию тоже можно использовать. Процесс трансформации энергии радиоактивного распада в электричество реализован в радиоизотопных источниках электроэнергии, в которых используются самые различные принципы преобразования.

Например, в радиоизотопных термоэлектрических генераторах (РИТЭГх) используются термоэлементы. Термоэлементом называется цепь, составленная из разнородных проводников или полупроводников: если температура двух контактирующих материалов различается, то в цепи возникает особый вид электродвижущей силы – термо-ЭДС, и при замыкании цепи протекает ток. Используя тепло радиоактивного распада для нагревания одного из контактов, мы создаем термо-ЭДС и получаем чрезвычайно стабильный и долговечный источник электричества, с которым не могут сравниться обычные аккумуляторы.

Эти выдающиеся свойства РИТЭГов определили их применение в качестве источников питания навигационных маяков и радиомаяков (в частности, на трассе Северного морско-

го 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 радиоизотопными источниками электричества. Сегодня «Вояджер-1» – первый космический аппарат, достигший границ Солнечной системы и вышедший за ее пределы – продолжает надежно работать. Ученые полагают, что радиоизотопные термоэлектрические генераторы будут функционировать до 2025 года (а запущен «Вояджер-1» был в 1977 году). Советские «Луноходы» обогревались теплом радиоактивного распада. На ряде космических аппаратов были установлены ядерные реакторы «Бук» и «Топаз». Сегодня они выведены на орбиту захоронения, находящуюся в 1000 км от Земли.

Радиоизотопные источники энергии незаменимы при исследовании дальнего космоса, тех его точек, где солнечный свет уже невозможно использовать для получе-

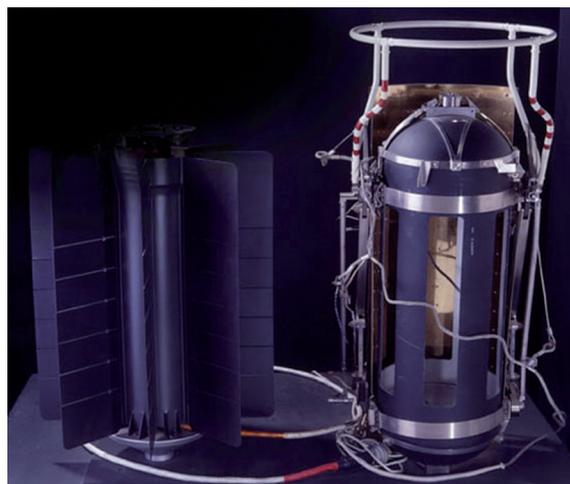
Рисунок 13

РИТЭГи устанавливают на маяках



Рисунок 14

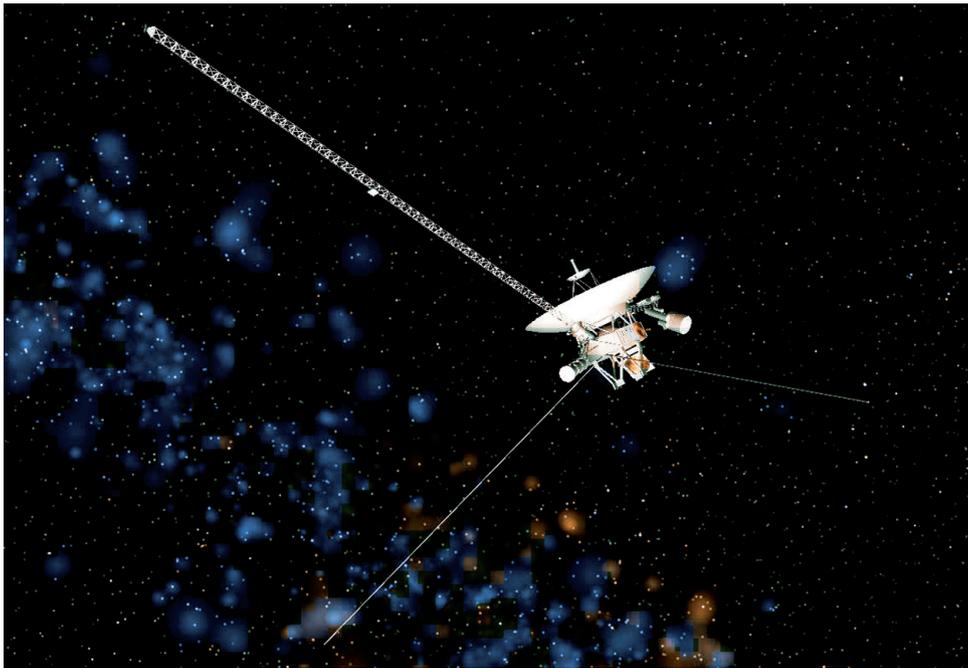
РИТЭГ космического корабля NASA



ния электричества при помощи фотоэлементов; кроме этого, они могут быть использованы в межзвездных зондах, боевых лазерах космического применения, беспилотной технике, глубоководных станциях постоянного базирования, медицине и робототехнике (основной источник питания роботов-андроидов). Таким образом, с использованием явления радиоактивности становится возможным претворить в жизнь идеи, которые раньше проходили исключительно по разряду научной фантастики.

Рисунок 15

«Вояджер-1» – первый аппарат, вышедший за пределы Солнечной системы



Быстрые реакторы лучше «медленных»?

Хорошо известно, что в ядерных реакторах происходит управляемая цепная реакция деления ядер урана. Реализуется она следующим образом: в ядро урана попадает нейтрон, ядро переходит в нестабильное состояние и распадается на два осколка. При этом выделяется колоссальное количество энергии, и вылетает 2-3 нейтрона. Эти нейтроны обладают большой кинетической энергией, поэтому их называют быстрыми. Для того, чтобы деление ядер шло более эффективно, нейтроны искусственно «тормозят», используя специальные материалы-замедлители (воду или графит). В результате скорость нейтронов снижается, и они из быстрых превращаются в тепловые.

Практически во всех реакторах АЭС в активной зоне «летают» тепловые нейтроны, поэтому такие реакторы называют тепловыми. Но бывают и исключения.

На тепловых нейтронах делится только уран-235, но его в природной смеси изотопов маловато – всего 0,7 %. А вот уран-238 является основным природным изотопом урана – его около 99,3 %, однако в тепловых реакторах он не используется, по сути – это бесполезный балласт. Определенное количество урана-238 превращается в плутоний-239 (альтернативный делящийся материал), но его образуется немного.

Но если сделать реактор без замедлителя, тогда ситуация меняется. Основное преимущество подобного реактора (называемого быстрым реактором) в том, что мы получаем возможность эффективного использования урана-238. А ведь его в 140 раз больше, чем урана-235. Схема следующая: в реакторе на быстрых нейтронах уран-238 активно преобразуется в плутоний-239, причем количество вновь полученного ядерного горючего оказывается

больше, чем израсходованного; поэтому быстрые реакторы также называют бридерами – т.е. размножителями. По современным оценкам, топлива для современной (тепловой) атомной энергетики осталось на сотню лет. Но если построить достаточное количество реакторов на быстрых нейтронах, то запасов урана хватит на десять тысяч лет. Таким образом, природа дала нам в руки мощнейшие энергетические активы, которые можно и нужно использовать.

Рисунок 16

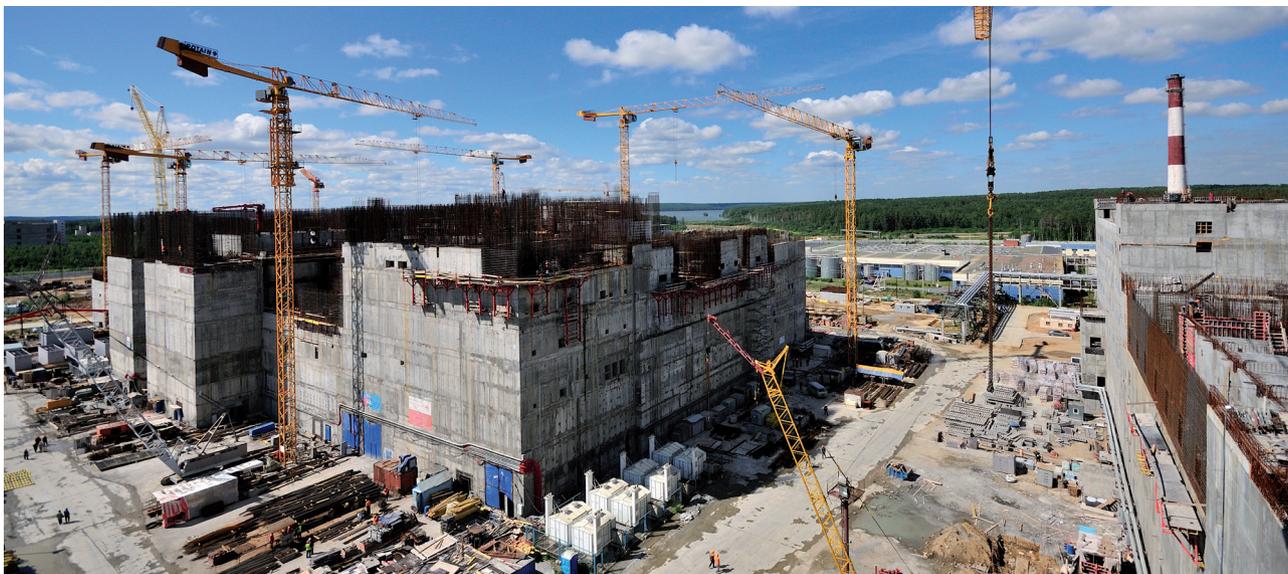
Белоярская АЭС



Мировое сообщество пока только обдумывает эти перспективы. Попытки эксплуатации промышленного «быстрого» реактора в США и Франции завершились неудачей, а Россия вот уже более трех десятилетий эксплуатирует блок на быстрых нейтронах БН-600 (Белоярская АЭС в Свердловской области). Причем Россия не собирается терять свои преимущества в этой сфере, поэтому в 2014 году на Белоярской АЭС планируется ввод в эксплуатацию блока с реактором БН-800, а в последующем – и более мощных установок. Сегодня не имеющий аналогов в мире российский опыт эксплуатации крупномасштабных быстрых реакторов привлекает интересы Индии, Китая, Южной Кореи, Франции и США, которые планируют развитие собственной «быстрой» энергетики.

Рисунок 17

Строительство энергоблока с БН-800



Чего ждать от современной АЭС?

С момента запуска в 1954 году Первой в мире АЭС в г. Обнинске началось интенсивное развитие ядерной энергетики в нашей стране и других наиболее развитых государствах. Причем, на протяжении многих десятилетий ядерные реакторы благополучно работали без каких-либо значимых проблем, что создало своего рода успокаивающий фон. Потенциальная опасность выхода цепной реакции деления из-под контроля стала представляться незначительной и несерьезной, а к самим реакторам начали относиться примерно так же, как к котлам тепловых станций.

«Первый звонок» прозвенел 28 марта 1979 года, когда во многом по причине некорректных действий персонала расплавилась часть активной зоны АЭС «Три-Майл-Айленд» (США, штат Пенсильвания). 26 апреля 1986 года произошла Чернобыльская авария, причинами которой стали недочеты проектировщиков реактора и грубейшие нарушения персоналом требований безопасности. В результате землетрясения и последовавшего цунами 11 марта 2011 года началось развитие аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии – эти события также оказались связаны с несовершенством систем безопасности на реакторах конструкции шестидесятих годов.

Итак, мирный атом дал понять, что требует к себе самого уважительного отношения, поэтому наступило время переосмысления подходов к обеспечению безопасности АЭС. В новых конструкциях атомных станций значительно усовершенствованы системы безопасности, требования к персоналу и управлению, нормативная документация.

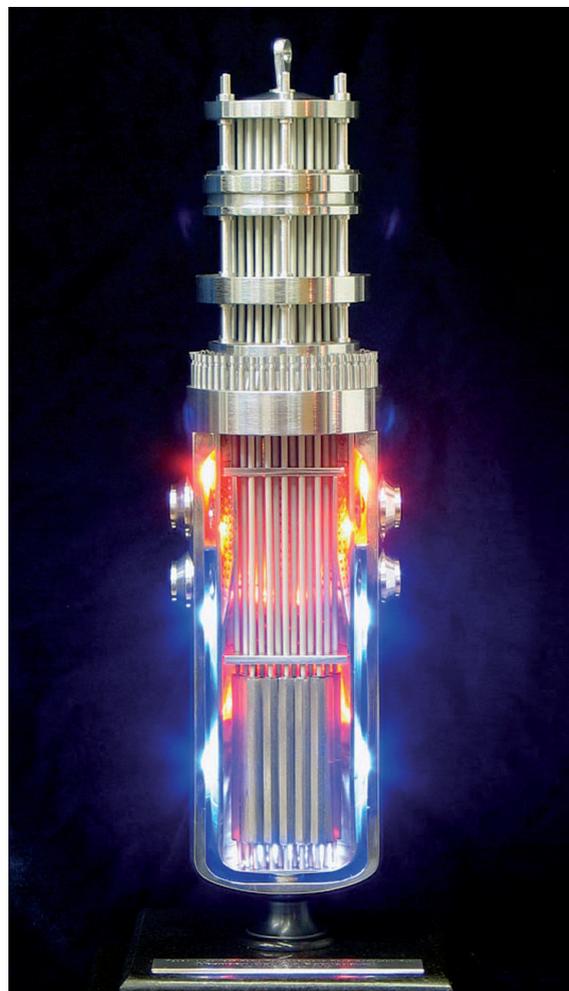
Современные энергоблоки, которые планируется вводить в эксплуатацию в России, значительно отличаются от реакторов чернобыльского типа. Во-первых, они имеют

принципиально иную конструкцию, а во-вторых, в них использован весь накопленный за последние десятилетия опыт безаварийной (!) эксплуатации водо-водяных энергетических реакторов (ВВЭР).

В соответствии с 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 строящихся в России блоках (с реакторами ВВЭР-1200) этот показатель еще меньше, и не превышает 10^{-6} на реактор в год. Это означает, что на данном конкретном блоке подобная авария может случиться раз в миллион лет. Какими методами это достигается? Корпус реактора устроен так, что расплавленная активная зона может удерживаться в нем до 72 часов, этого времени хватит на то, чтобы взять аварию под контроль. Именно поэтому в проектах новых блоков встречается термин «управление аварией» – он означает, что, даже если авария произошла, тяжелые последствия можно предотвратить.

Рисунок 18

Реактор ВВЭР-1200



Если говорить о тяжелой аварии с выходом радиоактивности за пределы энергоблока, то ее вероятность не должна превышать 10^{-6} – 10^{-7} на реактор в год. На проектируемых блоках достигнута цифра около 10^{-7} на реактор в год, т.е. подобная авария может произойти раз в 10 миллионов лет. Это такая малая величина, что ее можно считать равной нулю,... поскольку она сравнима с вероятностью падения самолета прямо нам на голову.

Рисунок 19

АЭС-2006 с реакторами ВВЭР



Рисунок 20

Строительство Ленинградской АЭС-2



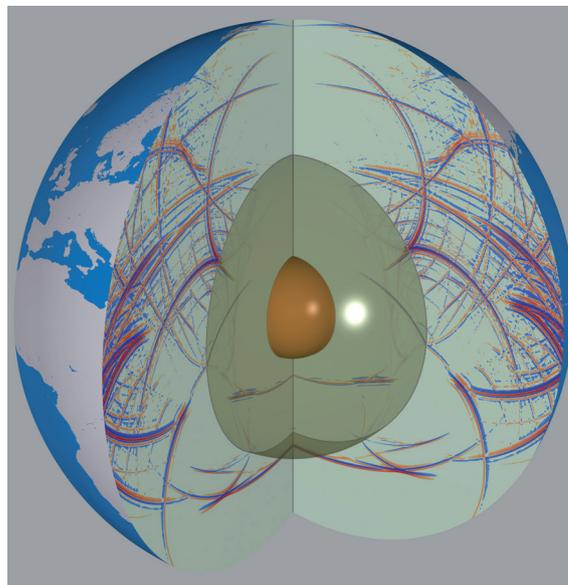
«Личная» радиоактивность

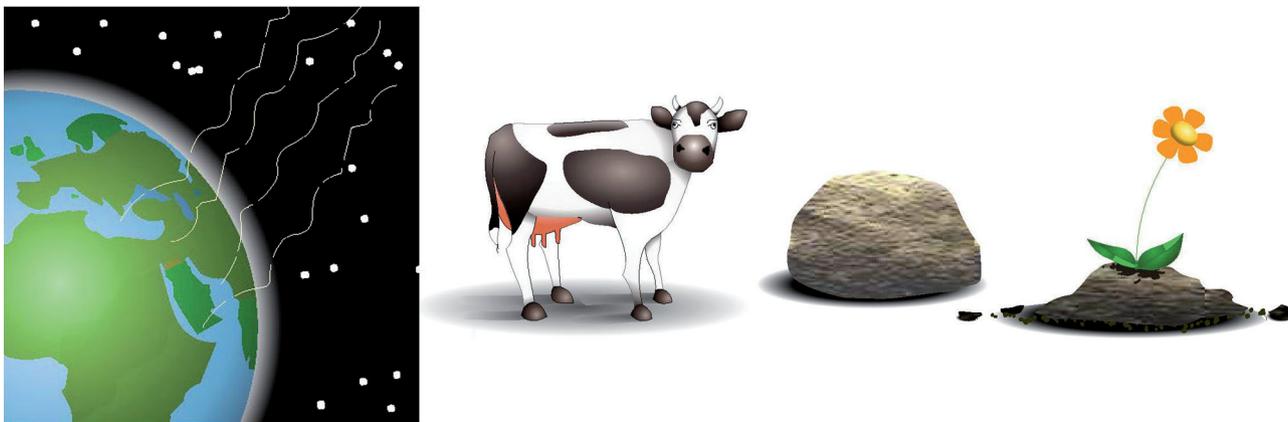
Считается, что с радиоактивностью не стоит связываться, и лучше держаться от нее подальше. Парадоксально, но тогда человеку пришлось бы держаться подальше от... себя самого, что в принципе невозможно. Радиоактивность – это естественное свойство любой природной материи. И человека в том числе, поскольку человек – часть природы.

Радиоактивные вещества всегда содержались в земной коре и мантии, в воздухе и живых организмах. Это касается широко известных урана и тория (все изотопы этих элементов радиоактивны), и некоторых изотопов стабильных элементов. Основным «легким» радиоактивным изотопом является калий-40, который встречается в любом объекте на Земле. Калий-40 и некоторые другие радионуклиды называют реликтовыми – это имя они получили потому, что из-за малой скорости распада они сохранились практически с момента образования Солнечной системы. Калий-40 вносит очень существенный вклад в естественный радиационный фон.

Рисунок 21

Земля в разрезе





Вообще, существует теория, согласно которой без влияния радиации жизнь на Земле не появилась бы совсем. Во всяком случае, опыты показывают, что при изоляции животных от естественной радиации наступает угнетение их активности и ухудшаются жизненно важные показатели; поэтому природная радиоактивность важна и для человека – стоит хотя бы вспомнить о благотворном воздействии на здоровье радоновых ванн.

Калий-40 абсолютно идентичен по химическим свойствам нерадиоактивному калию – очень важному элементу, без которого организм не может нормально функционировать, поэтому этот радиоактивный изотоп присутствует и в нашем теле. В организме взрослого человека содержится около 20 мг радиоактивного калия-40; только благодаря этому радионуклиду в человеческом теле происходит около 300 тысяч радиоактивных распадов в минуту! В теле человека присутствуют и другие радионуклиды, в том числе уран и торий, но в значительно меньших количествах.

Колебания природного фона

Если включить дозиметр, то он никогда не покажет «0» – даже в самом экологически чистом, свободном от влияния человека месте на Земле. Для большинства территорий нашей страны обычное значение радиационного фона составляет 0,10-0,14 микрозивертов в час (мкЗв/ч); этот фон обусловлен природными радиоактивными веществами и космическим излучением.

Но если подняться на самолете на высоту десять километров, где атмосфера хуже защищает от космических лучей, фон составит 2-2,5 мкЗв/ч, что примерно в 20 раз выше «наземного» фона. С другой стороны, и на поверхности Земли есть места, в которых естественный фон значительно повышен. Но создает ли это жителям тех областей какие либо проблемы?

Природными источниками радиации являются более 60 естественных радионуклидов. Основной вклад в дозу внешнего облучения вносят изотопы, испускающие гамма-излучение (это нуклиды радиоактивных семейств урана и тория, а также калий-40). В тех местностях, где содержание тория и урана в почве увеличено, наблюдаются повышенный фон – это называют радиационными аномалиями. К примеру,

- **во Франции** 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.
- **Индия** (штат Керала) – 7000 человек живут в районе со средним фоном 0,43 мкЗв/ч. Здесь вдоль прибрежной полосы встречаются места выхода на поверхность монацитовых песков, содержащих около 10% по массе тория 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 в воде урана колеблется от 0,7 до 50 мкЗв/ч.

Зоны с повышенной радиоактивностью есть и в России – например, на Алтае и в Карелии. А средний житель Финляндии, где на поверхность выходят гранитные породы, получает дозу, которая в 2,5-3,0 раза выше, чем для россиянина.

Однако, согласно заключению ученых, повышенный фон не влияет на развитие онкологических заболеваний, частоту врожденных аномалий, отклонения в физическом развитии, детскую смертность и т.п. Иными словами, если в определенной области дозиметр показывает значения выше привычных, это еще не является поводом для беспокойства.

Рисунок 23

Радиационный фон на гранитных набережных Невы в 3-4 раза выше, чем в среднем по городу

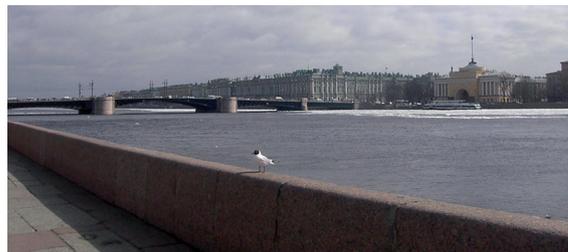


Рисунок 24

Радоновые ванны полезны для здоровья



Что полезного на Луне?

Существует ряд полезных ископаемых, представляющих собой ценное промышленное сырье, но их добыча и переработка обходятся в круглую сумму. Это относится, в частности, к рассеянным элементам, содержание которых в недрах очень мало. Соответственно, чтобы их получить, необходимо извлечь и переработать большой объем руды: например, выше мы обсуждали, что для получения мизерного количества радия требуется несколько тонн минерала урана. Правда, радий сейчас, по большому счету, никому не нужен. А что нужно?

Вот пример: человечество все ближе и ближе подходит к практическому использованию процессов, происходящих в недрах Солнца и других звезд. Внутри нашего светила при очень высоких температурах и давлениях идут реакции синтеза более тяжелых элементов из более легких. Основной процесс – протон-протонный цикл – слияние четырех ядер водорода с образованием ядра гелия. Колоссальное количество энергии, которое при этом выделяется, согревает нашу планету.

Поскольку упомянутые реакции идут только при очень высоких температурах, их называют термоядерными. Термоядер-

Рисунок 25

Образец лунного грунта



ные процессы – очень заманчивый источник энергии. Во-первых, для их протекания необходимо очень немного топлива, во-вторых, термоядерная энергетика стала бы одним из самых экологически чистых видов производства энергии.

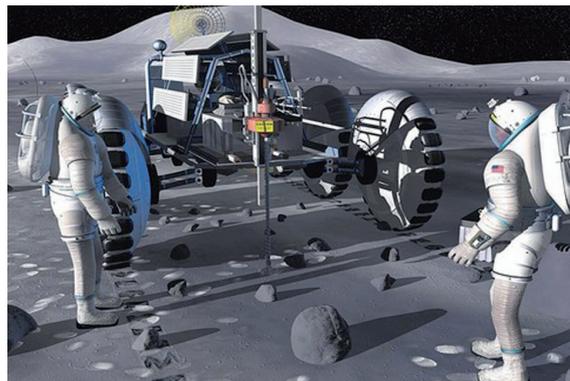
Первый термоядерный реактор, строящийся во Франции, будет работать на смеси ядер изотопов водорода – дейтерия и трития. Они не очень дешевы, но технология получения изотопов водорода хорошо отработана. Однако в ходе этой реакции выделяются нейтроны, обладающие большой энергией, которые делают конструкционные материалы реактора радиоактивными. Таким образом, работа термоядерного реактора сопровождается образованием радиоактивных отходов. Тем не менее, их количество будет меньшим по сравнению с обычным ядерным реактором, работающим на уране.

Из этой ситуации есть выход – заменить тритий на гелий-3. Реакция с гелием-3 дает такое же количество энергии, но при этом не образуются нейтроны, т.е. снижается образование радиоактивных отходов.

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 на Земле слишком дорого. Но гелий-3 поступает из солнечного ветра, а значит, он может накапливаться на поверхности планет и спутников, не имеющих атмосферы. В лунном грунте

Рисунок 26

Добыча гелия-3 на Луне – пока еще воображаемая

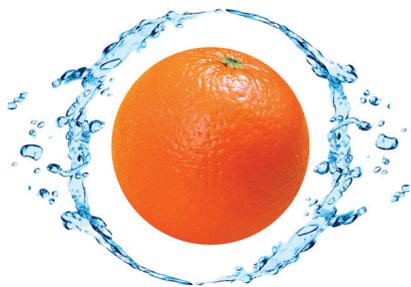


(реголите) гелий-3 постепенно аккумулировался в течение миллиардов лет облучения солнечным ветром. По минимальным оценкам на Луне можно добыть до 500 тысяч тонн этого изотопа (в атмосфере Земли – около 35 тысяч тонн); максимальные оценки дают до 10 миллионов тонн. Конечно, в настоящее время получение «лунного» гелия – не самый реалистичный проект, особенно если учесть, что для извлечения одной тонны гелия-3 необходимо переработать 100 миллионов тонн лунного грунта. Однако развитие науки и техники – процесс непрерывный, поэтому сбрасывать со счетов возможности подобной космической программы было бы преждевременно.

Это была лишь краткая выжимка из всей массы интересных фактов об атоме и радиации. Многие не менее занимательные истории, события, сведения остались в стороне – может быть, знакомство с ними окажется еще более интересным? И если есть желание продолжить экскурсию в мир атомной энергии, то начните свой путь с сайтов myatom.ru (информационные центры по атомной энергии), russianatom.ru (радиационная обстановка на предприятиях Росатома), rosatom.ru (Госкорпорация «Росатом»).

Содержание

<i>Введение</i>	3
<i>Пасмурная погода как двигатель прогресса</i>	4
<i>Сколько нужно урана, чтобы получить 100 мг радия?</i>	6
<i>От ошибок не застрахован никто</i>	9
<i>Впервые в истории</i>	12
<i>От энергии радиоактивного распада к электроэнергии</i>	15
<i>Быстрые реакторы лучше «медленных»?</i>	18
<i>Чего ждать от современной АЭС?</i>	21
<i>«Личная» радиоактивность</i>	24
<i>Колебания природного фона</i>	26
<i>Что полезного на Луне?</i>	28



завтра будет!

Информационные центры
по атомной энергии

www.myatom.ru