



ЭНЕРГИЯ АТОМА:
открытия, изобретения,
технологии



Акатов А. А., Коряковский Ю. С.

ЭНЕРГИЯ АТОМА:
открытия, изобретения,
технологии

Информационные центры по атомной энергии
Москва, 2012

УДК 621.039.8

ББК 31.4

Акатов А. А., Коряковский Ю. С.

Энергия атома: открытия, изобретения, технологии. — 2012. — 24 с.

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

В нашем буклете всего десять пунктов, но мы предлагаем расширить этот список вместе. Присылайте свои предложения на электронный адрес info@myatom.ru с пометкой «Топ-лист ядерных технологий».

Краткое введение

С тех пор как было открыто явление радиоактивности (1896) прошло уже более века. Еще несколько десятилетий понадобилось ученым, чтобы во всех тонкостях постичь суть этого явления и научиться использовать его в практических целях. Сегодня наша жизнь немыслима без открытий, изобретений и технологий, связанных с использованием энергии, заключенной в ядре атома. Атомные электростанции производят электричество для городов и деревень, атомные ледоколы «провожат» крупные грузовые суда по Северному морскому пути, атомные подводные лодки охраняют морские рубежи нашей Родины, радиоактивные вещества и радиация позволяют выявлять и лечить тяжелые заболевания... Примеры полезного применения явления радиоактивности, радиации, атомной энергии можно приводить очень долго.

Мы расскажем о самых важных «ядерных» открытиях, изобретениях и технологиях, и вы сами сможете решить, чем является атомная энергия для человечества — мощным средством для решения различных проблем современной техногенной цивилизации или всего лишь ее опасным побочным продуктом.

Рентгеновская трубка

1895

В 1895 году никто в мире еще не подозревал (да и не мог подозревать) о существовании такого явления, как радиоактивность. Исследования велись в традиционных областях физики, в том числе, многие ученые работали с катодной трубкой — стеклянной трубкой с впаянными в нее электродами, находящейся под глубоким вакуумом. При пропускании достаточно высокого тока через трубку у катода появляется красивое однообразное зеленое свечение, наполняющее всю трубку. До этого свечение наблюдали только у анода. Новое явление назвали «катодными лучами», и стали выяснять его природу. Довольно быстро удалось показать, что «катодные лучи» — это электроны, частицы, о существовании которых ранее только предполагали. Открытие электрона (1897) принадлежит английскому физiku Дж. Дж. Томсону, который также много работал с катодными трубками и даже отметил, что хотя электроны и не способны проходить сквозь стекло, но при работе трубки

Рисунок 1

Вильгельм Конрад Рентген



помещенное более чем в метре от нее стекло начинает фосфоресцировать, а фотобумага — зачерняется. Значит, существует еще и какое-то невидимое излучение, выходящее из трубки и обладающее высокой энергией. Правда, никто не придавал этому явлению большого значения. И только немецкий физик Вильгельм Конрад Рентген, работая с катодной трубкой и заметив свечение лежавшего неподалеку куска картона с нанесенным на него платино-цианистым барием, сделал вывод об открытии этого нового вида излучения (1895). Он дал ему наименование «X-лучи» и установил важное свойство — эти лучи «просвечивали» тело человека и другие объекты, позволяя сфотографировать их внутреннюю структуру. Сегодня в честь первооткрывателя мы называем X-лучи рентгеновскими и применяем их для безоперационного обнаружения внутренних заболеваний человека (рентгенодиагностика), лечения онкологических заболеваний — разрушения раковых клеток (рентгенотерапия), для определения внутренней структуры материалов и поиска дефектов (рентгеновская дефектоскопия), в физико-химическом анализе (рентгеноструктурный и рентгеноспектральный анализ). Благодаря открытию В.-К. Рентгена всего через год было объявлено об открытии явления, полностью перевернувшего научные представления о мире, — явления радиоактивности.

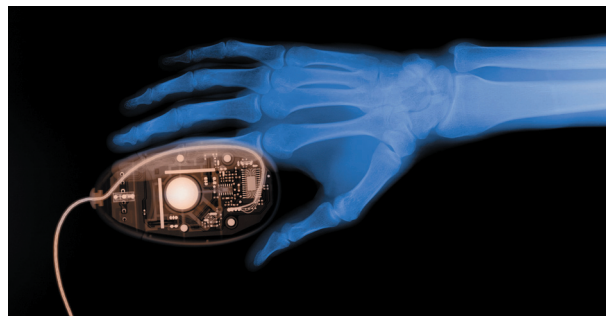
Рисунок 2

Рентгенодиагностический комплекс



Рисунок 3

Рентгеновский снимок



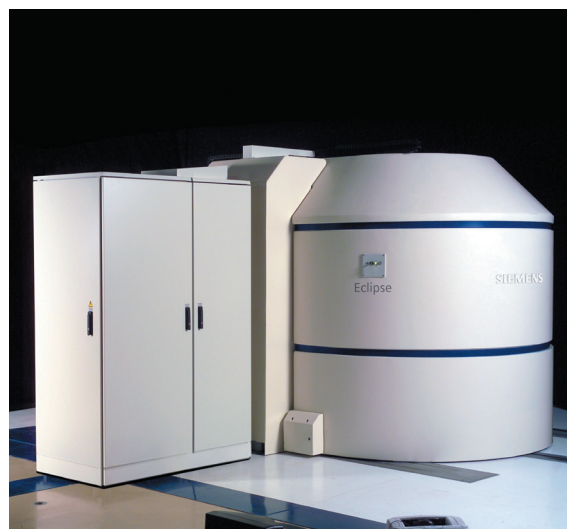
Радиофармпрепараты

1898

Первым радиофармпрепаратом (радиоактивным фармацевтическим препаратом) стал радий. Сразу после его открытия (1898) стало ясно, что испускаемое этим новым радиоактивным элементом излучение способно излечивать онкологические заболевания кожи, разрушая раковые клетки. Затем его стали помещать в иглы, которые вводили в раковые опухоли. Так или иначе, положительный эффект радиации при диагностике и излечении онкологических заболеваний вызвал повышенный интерес, особенно после получения искусственных радиоактивных элементов. Дело в том, что при помощи методов, схожих с теми, что использовали супруги Кюри, можно получать радиоактивные изотопы биогенных элементов — элементов, входящих в состав тела человека. Вводя такие изотопы в организм в очень небольших количествах можно отслеживать деятельность внутренних систем человека, следить за обменом веществ. Фотографируя тело человека, которому введен радиофармпрепарат, можно получить наглядную картину внутренних процессов, идентифицировать заболевания различных органов. Естественно, что радиоактивный изотоп вводится не самостоятельно, а в составе

Рисунок 4

*Ускоритель (циклотрон)
для синтеза радиофармпрепаратов*



сложной органической молекулы, которую можно синтезировать так, чтобы она избегала или концентрировалась в больном органе. Тогда, если на фотографии мы увидим недостаток или избыток радиоактивного изотопа в подозреваемом органе, это будет свидетельствовать о его поражении. С помощью органических молекул, содержащих радионуклиды и избирательно поглощаемых опухолью, или специальных капсул с радионуклидами, помещаемых в опухоль, можно производить внутреннюю терапию онкологических заболеваний. Сегодня радиоактивные фармацевтические препараты на основе, например, технеция-99m или йода-123 широко применяются при лечении самых разных злокачественных опухолей.

Изобретение радиофармпрепаратов ознаменовало собой важный перелом в диагностировании и лечении заболеваний внутренних систем человеческого организма, стало знаменательным событием в борьбе человека против одного из самых страшных заболеваний — рака, и дало надежду миллионам больных по всему миру.

Рисунок 5 ПЭТ-томограф



Рисунок 6 Сканирование мозга при помощи ПЭТ-томографии

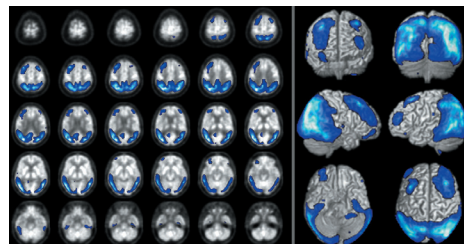


Рисунок 7 Генератор технеция-99m (радионуклида, применяемого в медицине)



Радиоизотопные источники энергии 1913

При радиоактивном распаде ядра испускается излучение, обладающее высокой энергией. Идея использовать эту энергию выглядела довольно заманчиво, но как это осуществить? Решение нашли довольно быстро, и уже в 1913 году английский физик Генри Гвин Джеффрис Мозли представил первый радиоизотопный источник электроэнергии (Beta Cell — бета-элемент). Он представлял собой стеклянную сферу, посеребренную изнутри, в центре которой на изолированном электроде располагался радиевый источник ионизирующей радиации. Электроны, испускаемые при радиоактивном распаде радия, создавали разность потенциалов между серебряным слоем стеклянной сферы и электродом с радиевой солью. Однако работы по созданию промышленных источников тормозились отсутствием больших количеств изотопов. Эта проблема была решена после изобретения ядерного реактора: осколки деления, извлекаемые из топлива, стали использовать для производства радиоизотопных электрогенераторов.

Рисунок 8

Внешний вид РИТЭГов

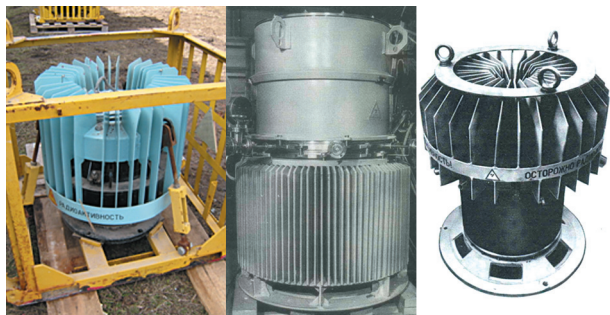


Рисунок 9

«Викинг» у Марса



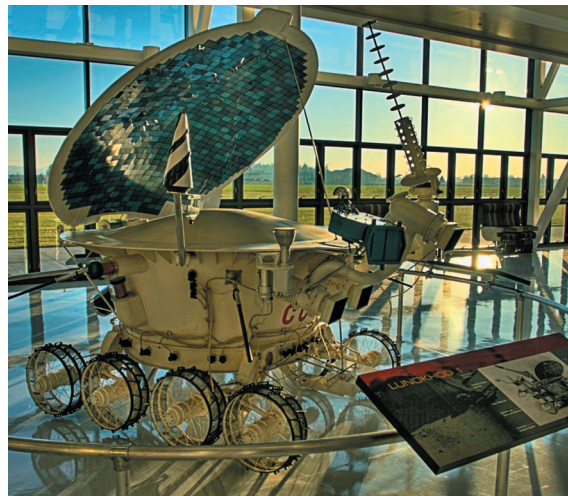
Рисунок 10

Маяк с РИТЭГом



Рисунок 11

Приборы «Лунохода-1» обогривались теплом радиоактивного распада



Важными преимуществами таких источников получения электроэнергии являются: практическое отсутствие необходимости обслуживания, компактность и громадная энергоемкость радиоактивных изотопов. По массовой энергоемкости радиоизотопные источники превосходят химические источники тока в десятки и сотни тысяч раз. Это и предопределило их сферу применения: космические аппараты, глубоководные аппараты, удаленные территории. Сегодня многие маяки и радиомаяки в Арктике получают электропитание от т.н. РИТЭГов (радиоизотопных термоэлектрических генераторов), в которых тепловая энергия распада превращается в электрическую путем термоэлектрического преобразования. В будущем радиоизотопные источники тока станут незаменимыми при покорении дальнего космоса, для питания электрокардиостимуляторов, а также в качестве основного источника тока для роботов.

Ускорители частиц

1927

Считается, что о машине для ускорения заряженных частиц первым задумался Резерфорд, высказавший эту идею в 1927 году на сессии Лондонского Королевского общества. Но у отца-основателя ядерной физики были предшественники. В 1919 году 17-летний школьник из Осло Рольф Видероз прочел в газете, что Резерфорд разбил на осколки ядра азота, бомбардируя их

Рисунок 12

Большой адронный коллайдер — вид сверху



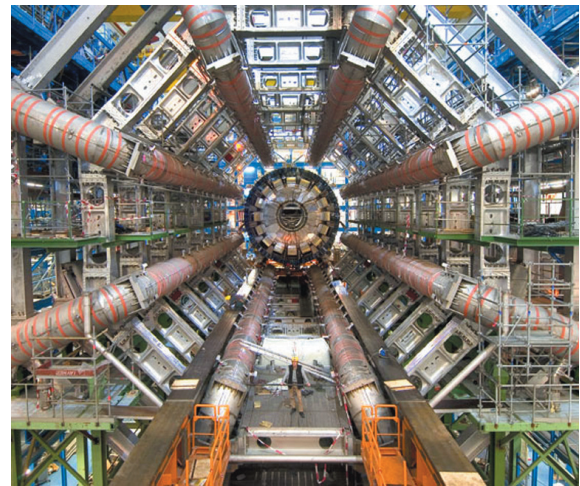
альфа-частицами, испускаемыми радиевым источником. Мальчик сообразил, что скорость частиц и, следовательно, сила удара увеличатся, если разогнать их в постоянном электрическом поле. Через несколько лет он рассчитал подобное устройство, а потом попытался построить его.

На сегодняшний день в мире построено огромное количество ускорителей. Их можно принципиально разделить на две большие группы. Это линейные ускорители, где пучок частиц однократно проходит ускоряющие промежутки (разность потенциалов), и циклические ускорители, в которых пучки движутся по замкнутым кривым типа окружностей, проходя ускоряющие промежутки помногу раз. Например, Большой адронный коллайдер, находящийся в ЦЕРНе (Европейском Центре ядерных исследований), является циклическим ускорителем и представляет собой кольцо с периметром 27 км. Он потребляет 12 000 МВт электроэнергии.

Для чего человечество строит ускорители? Ну, во-первых, из чисто научного интереса: ускорители позволяют лучше понять глубинные свойства материи, изучить поведение элементарных частиц, «взглянуть» на Вселенную в первые секунды после ее рождения, усовершенствовать наши представления о мире. Но существуют и чисто утилитарные применения: в пищевой промышленности — для стерилизации продуктов питания, в медицине — при лечении онкологических заболеваний, в дефектоскопии материалов — для обнаружения их внутренних дефектов, при производстве полупроводниковых устройств — для инъекции примесей.

Рисунок 13

*Внутреннее устройство
Большого адронного коллайдера*

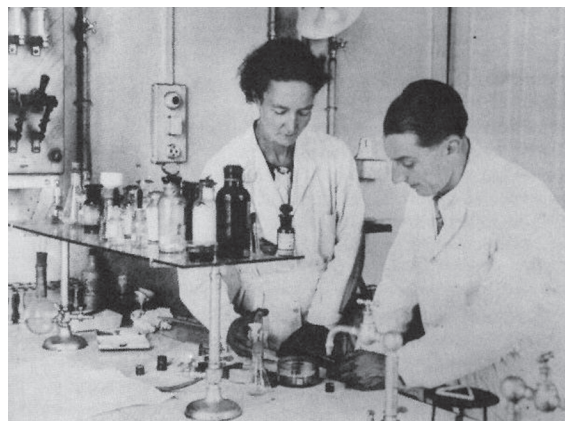


Получение искусственных ИЗОТОПОВ И ЭЛЕМЕНТОВ 1934

Как известно, первую в истории человечества ядерную реакцию провел в 1919 году выдающийся английский физик Эрнест Резерфорд. Он сумел превратить ядро азота-14 в ядро кислорода-17 путем бомбардировки исходных ядер альфа-частицами. Но полученный изотоп кислорода уже существовал на Земле и был стабильным (не распадался). А вот супругам Ирен Кюри и Фредерику Жолио-Кюри удалось получить первый искусственный радиоактивный изотоп, не встречающийся на Земле — фосфор-30. Они облучали алюминий альфа-частицами. Как оказалось, облучение заряженными частицами позволяет получать новые изотопы, особенно если разгонять эти частицы на ускорителях. После открытия нейтрона (1932) его также стали применять для получения новых изотопов и элементов, поскольку он обладал нулевым зарядом и поэтому легко проникал сквозь электронную оболочку и внедрялся в ядро. Методом нейтронной бомбардировки вскоре были получены элементы, не встре-

Рисунок 14

Супруги Жолио-Кюри



чающиеся в земных условиях — технеций (1937), нептуний (1939), плутоний (1940), прометий (1945) и др. Периодическая таблица достаточно быстро приросла тяжелыми элементами. На сегодня она расписана до 109 элемента (мейтнерия), который был получен в 1982 году путем столкновения (и слияния) ядер висмута-209 и железа-58. Для получения сверхтяжелых ядер уже недостаточна

бомбардировка исходных ядер легкими частицами или нейтронами. Элементы после сотого получали уже при слиянии двух тяжелых ядер. Продвижение в область элементов тяжелее 106 стало возможным после открытия в 1974 г. т.н. реакций «холодного слияния». В этих реакциях в качестве материала мишени используются ядра стабильных изотопов — свинца-208 или висмута-209, которые бомбардируются ионами тяжелее аргона. Не так давно в Объединенном институте ядерных исследований получили 118 элемент (сообщение об этом появилось в 2006 г.). И оказалось, что чем тяжелее элемент, тем меньше время он существует. Например, за 0,9 миллисекунд распадается половина изначально существовавших ядер этого элемента. Физики довольны — новый элемент. Но какой же прок от их получения, если они распадаются так быстро, что их не удастся обработать? Ученые предполагают, что где-то за 120 элементом начинается Остров Стабильности, включающий довольно устойчивые сверхтяжелые элементы, на основе которых удастся создать компактные источники энергии, усовершенствовать ядерную энергетику. А сегодня — трудно назвать отрасль экономики, где не использовались бы искусственные радиоактивные изотопы.

Рисунок 15

Сегодня ученые реализовали мечту средневековых алхимиков – они научились превращать элементы друг в друга

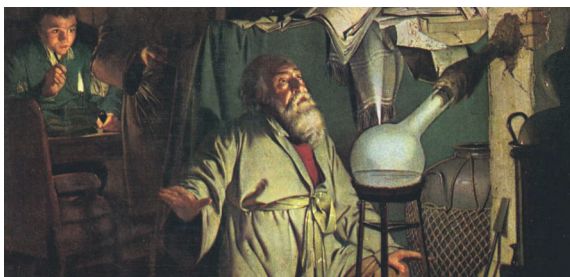
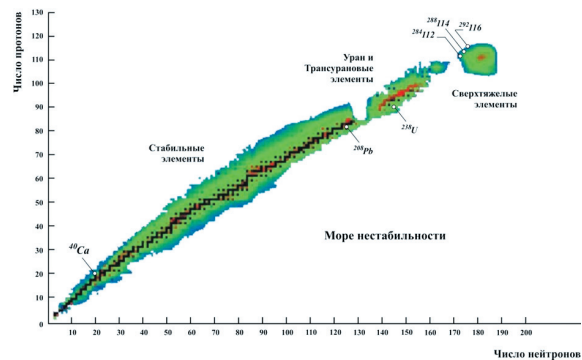


Рисунок 16

Остров стабильности



Ядерный реактор

1942

Как уже упоминалось, под действием нейтронов можно осуществлять ядерные реакции и получать новые изотопы. В 1939 году было открыто еще более любопытное явление — под действием нейтрона ядро урана-235 распадалось на два неравных осколка, выделялось огромное количество энергии и 2-3 нейтрона. Ученым сразу стало понятно, что неуправляемая реакция может иметь форму взрыва, поскольку число нейтронов при каждом делении увеличивается в 2-3 раза. Выяснилось, что подобным свойством обладает и плутоний-239, причем его для создания атомной бомбы необходимо примерно в 5 раз меньше, чем урана-235. Но плутоний на Земле не встречается, и единственный способ его производства — облучение урана нейтронами. Для получения большого количества плутония необходимы мощные нейтронные потоки, которые на тот момент представлялось возможным реализовать только в большой массе природного урана — по сути, в ядерном реакторе.

Рисунок 17 Энрико Ферми

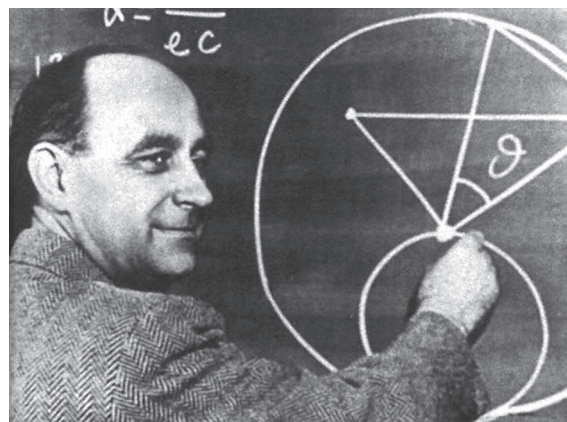


Рисунок 18 Отливка плутония

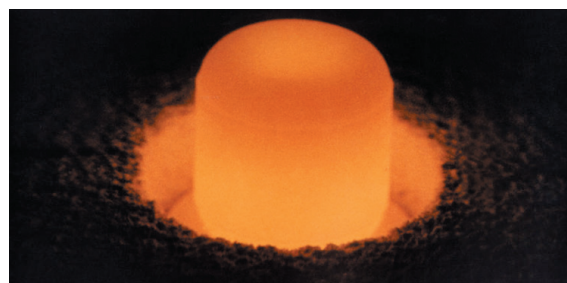


Рисунок 19

Образцы плутония

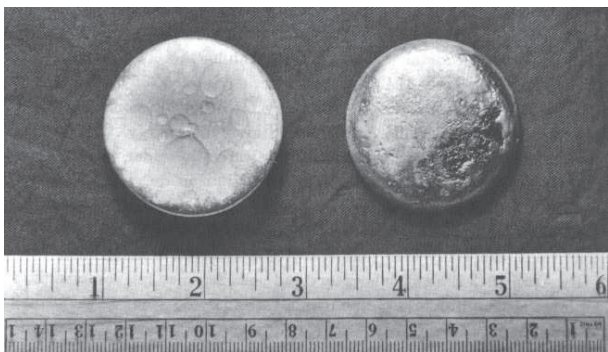


Рисунок 20

Ученые наблюдают за работой первого реактора CP-1



Работы по созданию первого ядерного реактора CP-1 были начаты в США, и уже в декабре 1942 года он был запущен. Реактор CP-1 разрабатывался группой ученых под руководством итальянского физика Энрико Ферми и строился под трибунами футбольного стадиона университета Чикаго с привлечением студентов. Он состоял из графитовых блоков, между которыми были расположены шары из природного урана и его двуокиси. (Графит в реакторах используется для замедления нейтронов. Дело в том, что реакция деления идет именно на медленных нейтронах, тогда как испускаемые непосредственно при делении нейтроны имеют очень высокую энергию и носят название «быстрых». Графит позволяет их замедлить).

Конечно, сначала ядерные реакторы разрабатывались исключительно с целью получения оружейного плутония. Но сегодня они применяются на атомных электростанциях — для производства электричества, на подводных лодках и надводных судах — как двигатель, а также для научных исследований, получения радиоактивных изотопов и трудно синтезируемых химических веществ, применяемых во всех отраслях экономики.

Атомная бомба 1945

Нельзя не упомянуть об этом изобретении. Самое страшное оружие в истории человечества, способное уничтожить жизнь на Земле, стало первым шагом на пути овладения энергией атома. Оно создавалось для устрашения, и американцы, первыми создавшие и испытавшие в 1945 году ядерный заряд, не преминули указать всему миру на новый фактор в международных отношениях. Жестокие и неоправданные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки (1945) были в первую очередь демонстрацией силы перед Советским Союзом. Уже 14 декабря 1945 года была выпущена директива Объединенного комитета военного планирования, где ставилась задача на подготовку внезапной атомной бомбардировки 20 советских городов — основных политических и промышленных центров Советского Союза. К середине 1948 года в Комитете начальников штабов был составлен план ядерной войны с СССР, получивший кодовое название «Чариотир». Только

Рисунок 21

Альберт Эйнштейн

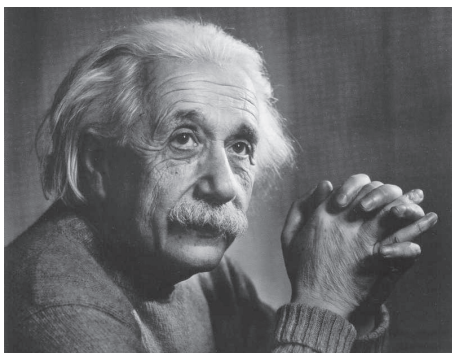


Рисунок 22

Испытательная вышка для первого ядерного устройства (США)



за первые 30 дней намечалось сбросить 133 ядерные бомбы на 70 советских городов. Однако в начале 1949 года американские военные признали, что США пока не готовы к ядерной войне с СССР, и необходимо срочное увеличение численности военной авиации.

Пожалуй, только подвиг советского народа и академика И. В. Курчатова — создание атомной бомбы в кратчайшие сроки (1949) — позволил избежать уничтожения нашего государства. После сообщения об испытаниях ядерного оружия в Советском Союзе американцами был разработан план «Тройан», в котором предусматривалось начать боевые действия 1 января 1950 года. К счастью, этим планам не суждено было сбыться. Однако, началась «ядерная гонка» двух супердержав, было накоплено огромное количество ядерных боеголовок.

Как это ни парадоксально, сегодня ядерный арсенал, которым обладают крупнейшие государства, является единственным фактором, удерживающим мир от крупной войны. Ученые наглядно показали, что эта война станет последней в истории человечества.

Рисунок 23

Первая советская атомная бомба РДС-1

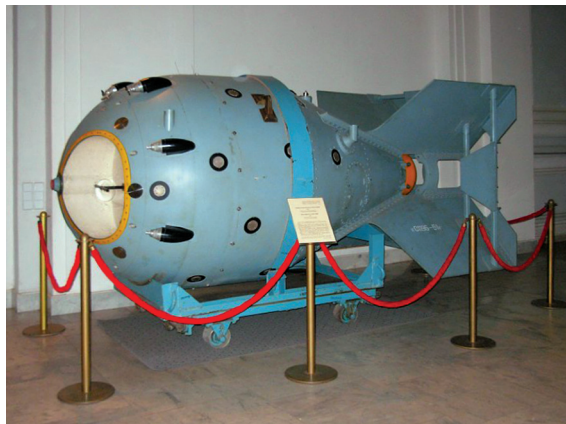


Рисунок 24

Испытания ядерного оружия



Радиоизотопная датировка 1946

С тех пор как человечество заинтересовалось своей историей, важным фактором стала датировка (определение возраста) археологических находок. Явление радиоактивности и здесь пришло на помощь ученым. Американский физико-химик Уиллард Франк Либби в 1946 году разработал метод радиоуглеродного анализа. Он позволяет производить датирование биологических останков, предметов и материалов биологического происхождения путём измерения содержания в материале радиоактивного изотопа углерод-14 по отношению к стабильным изотопам углерода. Дело в том, что углерод присутствует в атмосфере, а значит и в биологических тканях в виде трех изотопов: двух стабильных с массами 12 и 13 и радиоактивного — с массой 14. Углерод-14 постоянно образуется в атмосфере под действием излучения Солнца и его изотопная доля сохраняется примерно постоянной на всем земном шаре. Когда организм умирает

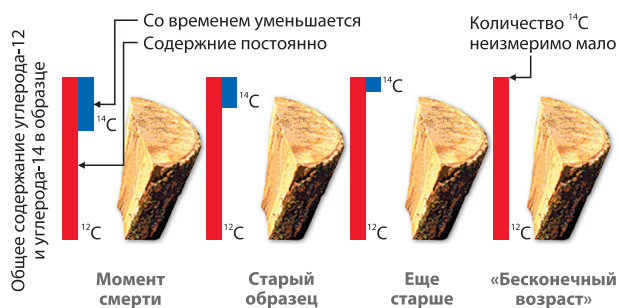
Рисунок 25

Уиллард Либби



Рисунок 26

После смерти содержание ^{12}C остается постоянным, а содержание ^{14}C уменьшается



(это относится и к спилленным растительным организмам), обмен со средой прекращается. Углерод-14 начинает постепенно распадаться, и по его доле можно судить о возрасте объекта. Измерение возраста предмета радиоуглеродным методом возможно только тогда, когда соотношение изотопов в образце не было нарушено за время его существования, то есть образец не был загрязнён углеродосодержащими материалами более позднего или более раннего происхождения, радиоактивными веществами и не подвергался действию сильных источников радиации. Погрешность метода в настоящее время, как считается, находится в пределах от семидесяти до трёхсот лет.

Рисунок 27



Рисунок 28



Существует также метод датировки по соотношению урана и продукта его распада — стабильного свинца, а также по парам калий-аргон и рубидий-стронций. Этим методом обычно определяют возраст горных пород. Уран позволил установить примерный возраст Земли — 4,6 млрд. лет. В 2001 году при помощи метода радиоизотопной датировки по спектроскопическим данным был определен возраст звезды CS 31082-001, принадлежащей нашей Галактике (Млечному Пути). Он составил 12,5 млрд. лет.

Атомная электростанция 1954

Мы уже говорили, что в ядерном реакторе происходит цепная реакция деления ядер урана. При этом выделяется колоссальная энергия и, в результате, ядерное топливо разогревается. Когда реакторы использовались для наработки оружейного плутония, это тепло просто снимали при помощи воды, циркулирующей через активную зону реактора и омывающей топливо. Горячую воду потом сбрасывали в водоемы. Чуть позже пришла идея о том, что при помощи реактора воду можно превращать в пар, который затем направлять на турбину, соосно с которой установлен генератор. Такая установка будет производить электроэнергию, а также может снабжать близкие населенные пункты горячей водой для отопления домов. Так появилась идея атомной электростанции, причем Первая в мире АЭС была построена у нас в подмосковном Обнинске (1954).

Поскольку энергоемкость ядерного топлива чрезвычайно велика, то его необ-

Рисунок 29

Атомная электростанция



Рисунок 30

Первая в мире АЭС



Рисунок 31

Кольская АЭС



Рисунок 32

АЭС Темелин (Чехия)



ходимо значительно меньше, чем угля или газа. Кроме того, атомная станция не загрязняет атмосферу парниковыми газами и пылью, не потребляет кислород и не вызывает появление кислотных дождей. Все эти факторы заставили Российскую Федерацию в начале XXI века принять решение об интенсивном развитии национальной атомной энергетики. Будут построены новые атомные станции, причем не только стационарные, но и плавучие, которые будут решать вопросы энергообеспечения прибрежных районов.

Во всем мире развитие атомной энергетики рассматривается как обязательная составляющая экономического роста. Заявления о планах развития атомной энергетики на сегодняшний день сделали Великобритания, Финляндия, Румыния, Болгария, Чехия, Словакия, Литва, Украина, Беларусь, Казахстан, Китай, Индия, Пакистан, Южная Корея, Иран, США, Канада, Франция, Бельгия, Аргентина, Австралия и Россия.

Термоядерный реактор 1968

Указанный год нельзя назвать датой изобретения термоядерного реактора, но это чрезвычайно важная веха в истории термоядерной энергетики. В 1968 году в Новосибирске был продемонстрирован первый токамак — установка для осуществления термоядерного синтеза — разработанный под руководством академика Л. А. Арцимовича в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова в Москве. Токамак — это сокращение от словосочетания «**т**ороидальная **к**амера с **м**агнитными **к**атушками». В этой тороидальной камере (похожей на полый бублик) магнитным полем удерживается разогретая до ста миллионов градусов Цельсия плазма, состоящая из дейтерия и трития. В нагретой до чудовищных температур плазме дейтерий и тритий сливаются, и происходит синтез ядер гелия. При этом выделяется огромная энергия.

Сегодня изобретение советских ученых положено в основу международного

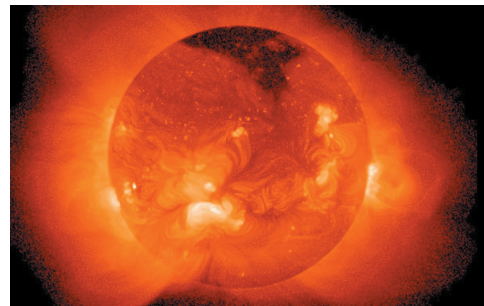
Рисунок 33

Лев Андреевич Арцимович



Рисунок 34

На Солнце идет термоядерная реакция



проекта экспериментального термоядерного реактора ITER и считается наиболее перспективным для разработки термоядерных электростанций в дальнейшем. Недавно предложен следующий шаг — реактор DEMO-C, т.е. демонстрационный блок, который может лечь в основу коммерческих термоядерных электростанций.

Если нам удастся решить имеющиеся проблемы и разработать достаточно дешевые блоки (по оценкам ученых это станет возможным во второй половине века), то человечество получит поистине неисчерпаемый источник энергии, поскольку термоядерные реакторы работают на изотопах водорода. Термоядерный реактор более безопасен в радиационном отношении по сравнению с ядерным реактором, производит меньше радиоактивных отходов и не представляет интереса для террористов. Однако термоядерная энергетика — это лишь отдаленная перспектива, и на ближайшее будущее разумной альтернативы атомным электростанциям просто нет.

Рисунок 35 *Токамак изнутри*

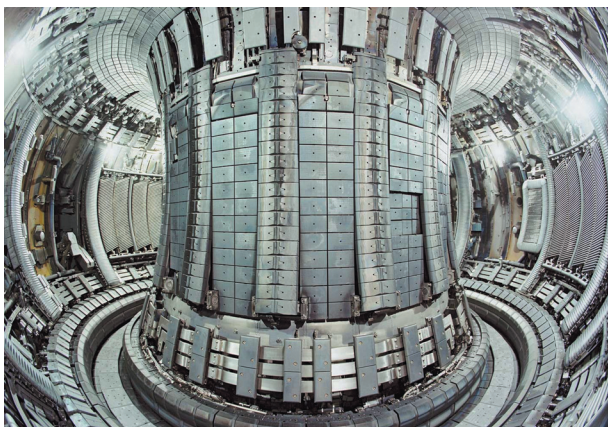
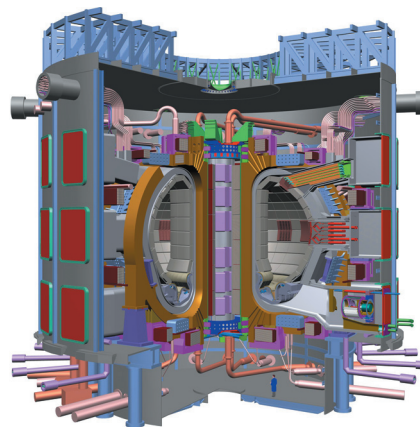


Рисунок 36 *ИТЭР — международный термоядерный реактор*



Содержание

<i>Краткое введение</i>	3
<i>Рентгеновская трубка (1895)</i>	4
<i>Радиофармпрепараты (1898)</i>	6
<i>Радиоизотопные источники энергии (1913)</i>	8
<i>Ускорители частиц (1927)</i>	10
<i>Получение искусственных изотопов и элементов (1934)</i>	12
<i>Ядерный реактор (1942)</i>	14
<i>Атомная бомба (1945)</i>	16
<i>Радиоизотопная датировка (1946)</i>	18
<i>Атомная электростанция (1954)</i>	20
<i>Термоядерный реактор (1968)</i>	22



завтра будет!

Информационные центры
по атомной энергии

www.myatom.ru