

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Виды излучений

Закон радиоактивного распада

Единицы измерения

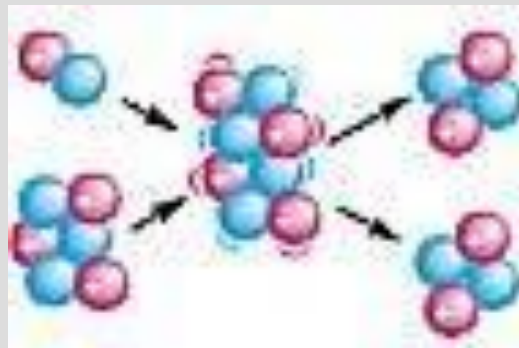
Энергия связи

Ядерные реакции

Реакции деления

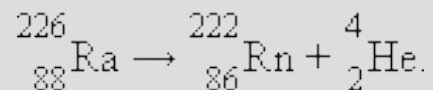
Ядерный реактор

Термоядерный синтез



РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

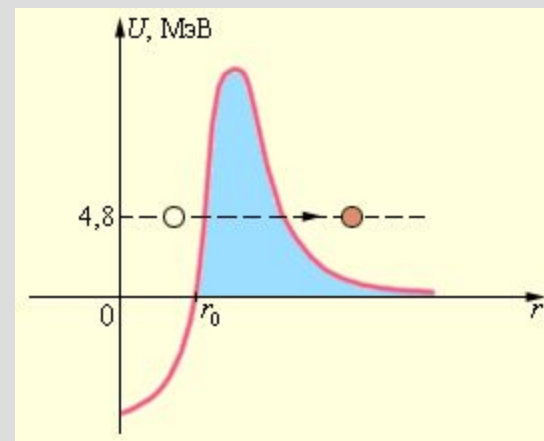
Альфа-распад. Альфа-распадом называется самопроизвольное превращение атомного ядра с числом протонов Z и нейтронов N в другое (дочернее) ядро, содержащее число протонов $Z - 2$ и нейтронов $N - 2$. При этом испускается α -частица – ядро атома гелия.



Альфа-частицы, испускаемые ядрами атомов радия, использовались Резерфордом в опытах по рассеянию на ядрах тяжелых элементов. Скорость α -частиц, приблизительно равна $1,5 \cdot 10^7$ м/с, а соответствующая кинетическая энергия около $7,5 \cdot 10^{-13}$ Дж (приблизительно **4,8 МэВ**).

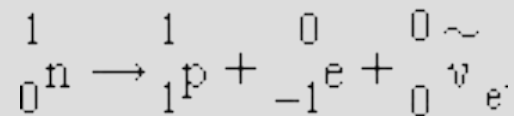
РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

В теории α -распада предполагается, что внутри ядер могут образовываться группы, состоящие из двух протонов и двух нейтронов, т. е. α -частица. Материнское ядро является для α -частиц **потенциальной ямой**, которая ограничена потенциальным барьером. Вылет α -частицы из ядра оказывается возможным только благодаря квантово-механическому явлению, которое называется **туннельным эффектом**.



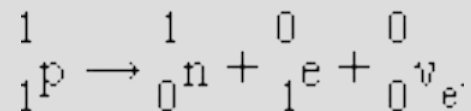
РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Бета-распад. При бета-распаде из ядра вылетает электрон. Электроны возникают при β -распаде в результате превращения нейтрона в протон. Этот процесс может происходить не только внутри ядра, но и со свободными нейтронами. Среднее время жизни свободного нейтрона составляет около 15 минут. При распаде нейтрон превращается в протон и электрон



РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Наряду с электронным β -распадом обнаружен так называемый позитронный β^+ -распад, при котором из ядра вылетают *позитрон* и нейтрино. Позитрон – это частица-двойник электрона, отличающаяся от него только знаком заряда. Существование позитрона было предсказано выдающимся физиком П. Дираком в 1928 г. Через несколько лет позитрон был обнаружен в составе космических лучей. Позитроны возникают в результате реакции превращения протона в нейтрон по следующей схеме:



РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Гамма-распад. В отличие от α - и β -радиоактивности, γ -радиоактивность ядер не связана с изменением внутренней структуры ядра и не сопровождается изменением зарядового или массового чисел.

Как при α -, так и при β -распаде дочернее ядро может оказаться в некотором возбужденном состоянии и иметь избыток энергии. Переход ядра из возбужденного состояния в основное сопровождается испусканием одного или нескольких γ -квантов, энергия которых может достигать нескольких МэВ.

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Закон радиоактивного распада. В любом образце радиоактивного вещества содержится огромное число радиоактивных атомов. Так как радиоактивный распад имеет случайный характер и не зависит от внешних условий, то закон убывания количества $N(t)$ нераспавшихся к данному моменту времени t ядер может служить важной статистической характеристикой процесса радиоактивного распада.

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t},$$

N_0 – начальное число радиоактивных ядер при $t = 0$, коэффициент пропорциональности λ – это вероятность распада ядра за время $\Delta t = 1$ с.

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

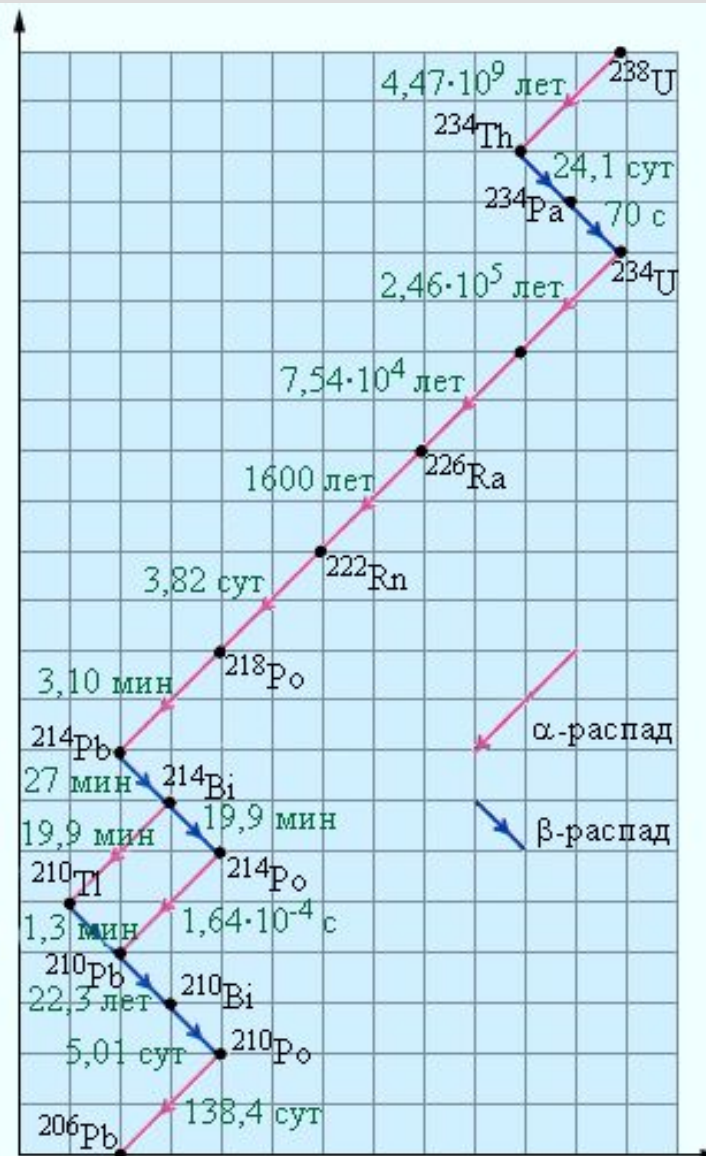
За время $\tau = 1 / \lambda$ количество нераспавшихся ядер уменьшится в $e \approx 2,7$ раза. Величину τ называют *средним временем жизни* радиоактивного ядра.

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-t/T}$$

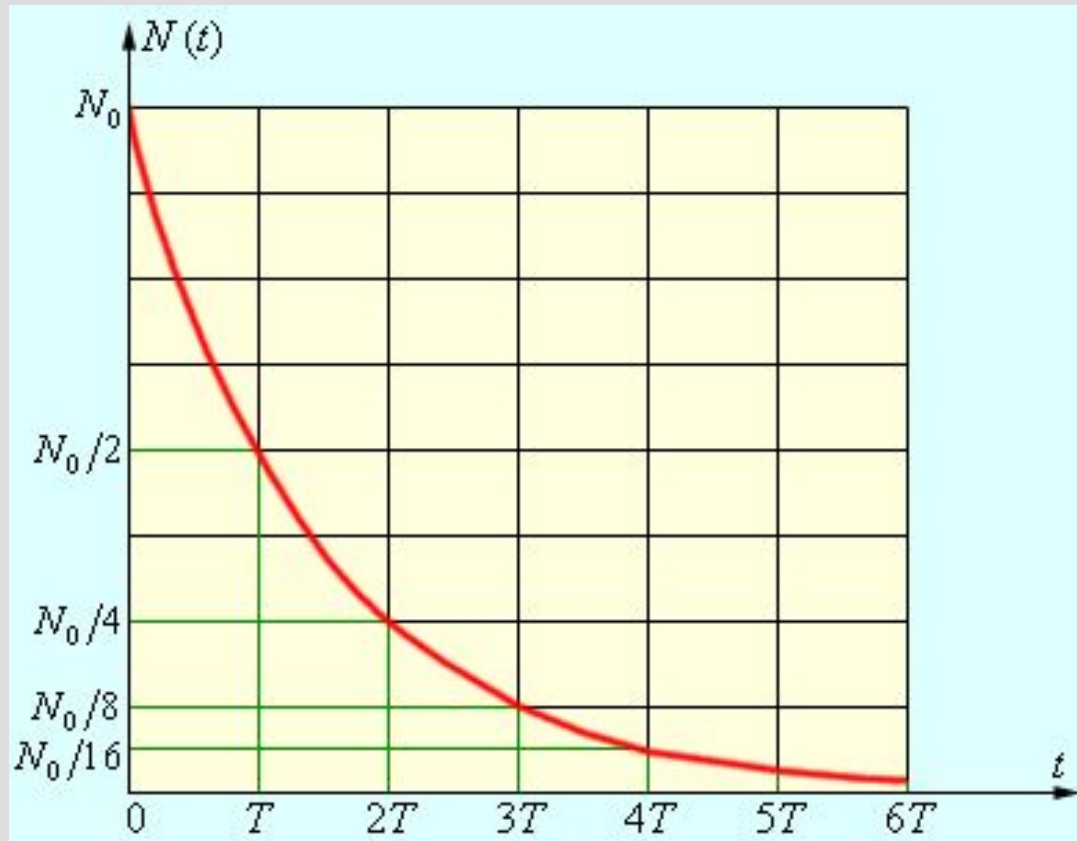
Величина T называется *периодом полураспада*. За время T распадается половина первоначального количества радиоактивных ядер. Величины T и τ связаны соотношением

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln 2 = \tau \ln 2 = 0,693\tau.$$

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.



РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.



РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Для того чтобы охарактеризовать действие радиации на вещество, используют такое понятие, как поглощенная доза - энергия излучения, поглощенная единицей массы. В системе СИ единицей поглощенной дозы является джоуль/кг, но она имеет и собственное название - грей (Гр).

Для описания действия радиации на организм человека используют другую величину - эффективную дозу. Для того чтобы учесть биологическую опасность излучения и неодинаковую чувствительность органов и тканей, поглощенную дозу (грей) умножают на соответствующие коэффициенты и получают эффективную дозу - в зивертах (Зв).

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Среднее значение эффективной дозы, получаемой жителем нашей планеты за год, составляет 2,4 миллизиверта (мЗв).

Доза, получаемая при ежегодном флюорографическом обследовании грудной клетки, составляет 0,1-0,9 мЗв (в зависимости от того, какой флюорограф используется - цифровой или устаревший пленочный).

Одна томография - это гарантированные 3-5 мЗв, полная томография - 15-20 мЗв (в частности, в США, начиная с 2000 года, облучаемость населения выросла с 3 мЗв до 6 мЗв в год именно за счет медицинских исследований).

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Допустимая доза, которую человек может получить от техногенных источников радиации, составляет 1 мЗв/год (отметим, что сюда не включена доза, получаемая в результате медицинских обследований);

Предельно допустимая аварийная доза облучения для профессионалов-атомщиков - 250 мЗв в год.

Справочно: 1 Р приблизительно равен 0,0098 Зв

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Энергия связи ядра равна минимальной энергии, которую необходимо затратить для полного расщепления ядра на отдельные частицы. Масса любого ядра $M_{\text{я}}$ всегда меньше суммы масс входящих в его состав протонов и нейтронов, разность между ними называется дефектом массы:

$$M_{\text{я}} < Zm_{\text{p}} + Nm_{\text{n}}.$$

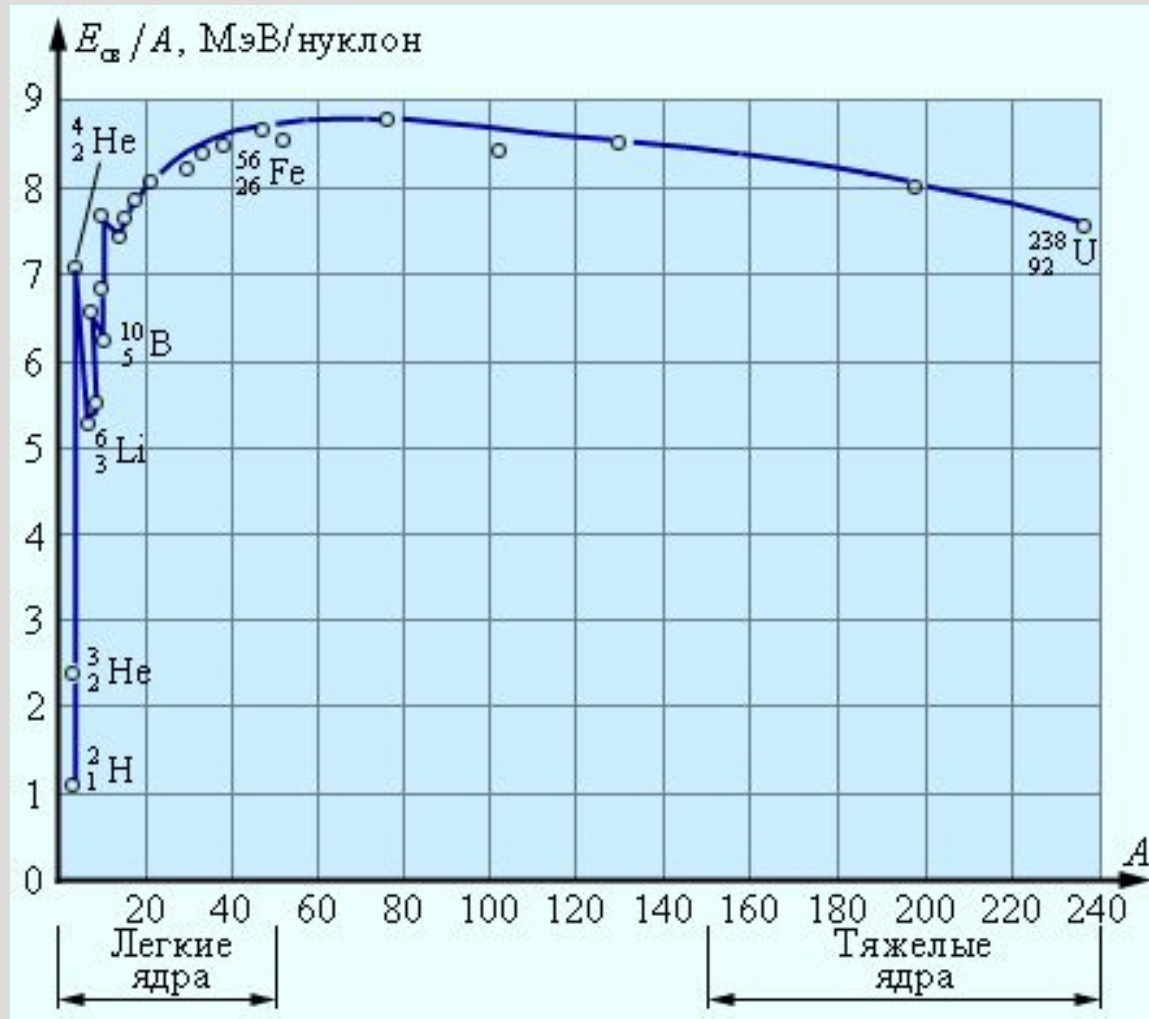
$$\Delta M = Zm_{\text{p}} + Nm_{\text{n}} - M_{\text{я}}.$$

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

В качестве примера рассчитаем энергию связи ядра гелия, в состав которого входят два протона и два нейтрона. Масса ядра гелия $M_{\text{я}} = 4,00260$ а.е.м. Сумма масс двух протонов и двух нейтронов составляет $2m_{\text{p}} + 2m_{\text{n}} = 4,03298$ а.е.м. Следовательно, дефект массы ядра гелия равен $\Delta M = 0,03038$ а.е.м. Расчет по формуле $E_{\text{св}} = \Delta M c^2$ приводит к значению энергии связи ядра: $E_{\text{св}} = 28,3$ МэВ. Это огромная величина. Образование всего 1 г гелия сопровождается выделением энергии порядка 10^{12} Дж. Примерно такая же энергия выделяется при сгорании почти целого вагона каменного угля.

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

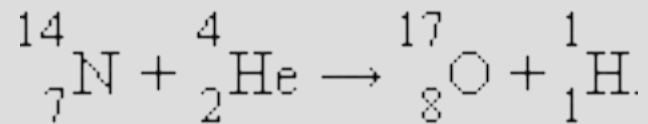
$$E_{\text{св}} = \Delta M c^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2.$$



РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Ядерная реакция – это процесс взаимодействия атомного ядра с другим ядром или элементарной частицей, сопровождающийся изменением состава и структуры ядра и выделением вторичных частиц или γ -квантов.

Первая ядерная реакция была осуществлена Э. Резерфордом в 1919 году в опытах по обнаружению протонов в продуктах распада ядер.



РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

При ядерных реакциях выполняется несколько законов сохранения: импульса, энергии, момента импульса, заряда. В дополнение к этим классическим законам при ядерных реакциях выполняется закон сохранения так называемого *барионного заряда* (т. е. числа нуклонов – протонов и нейтронов). Выполняется также ряд других законов сохранения, специфических для ядерной физики и физики элементарных частиц.

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Энергетическим выходом ядерной реакции называется величина

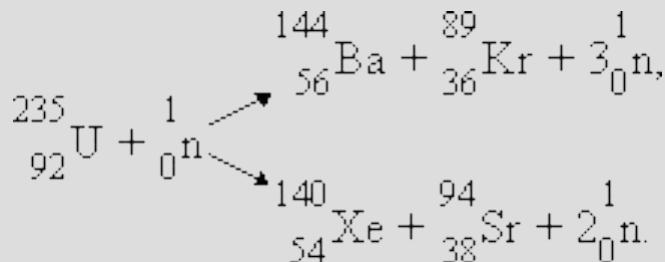
$$Q = (M_A + M_B - M_C - M_D)c^2 = \Delta M c^2.$$

где M_A и M_B – массы исходных продуктов, M_C и M_D – массы конечных продуктов реакции. Величина ΔM называется дефектом масс.

Для того чтобы ядерная реакция имела положительный энергетический выход, удельная энергия связи нуклонов в ядрах исходных продуктов должна быть меньше удельной энергии связи нуклонов в ядрах конечных продуктов.

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Деление тяжелых ядер. Это процесс, при котором нестабильное ядро делится на два крупных фрагмента сравнимых масс. В 1939 году немецкими учеными О. Ганом и Ф. Штрассманом было открыто деление ядер урана. Продолжая исследования, начатые Ферми, они установили, что при бомбардировке урана нейтронами возникают элементы средней части периодической системы – радиоактивные изотопы бария ($Z = 56$), криптона ($Z = 36$) и др.



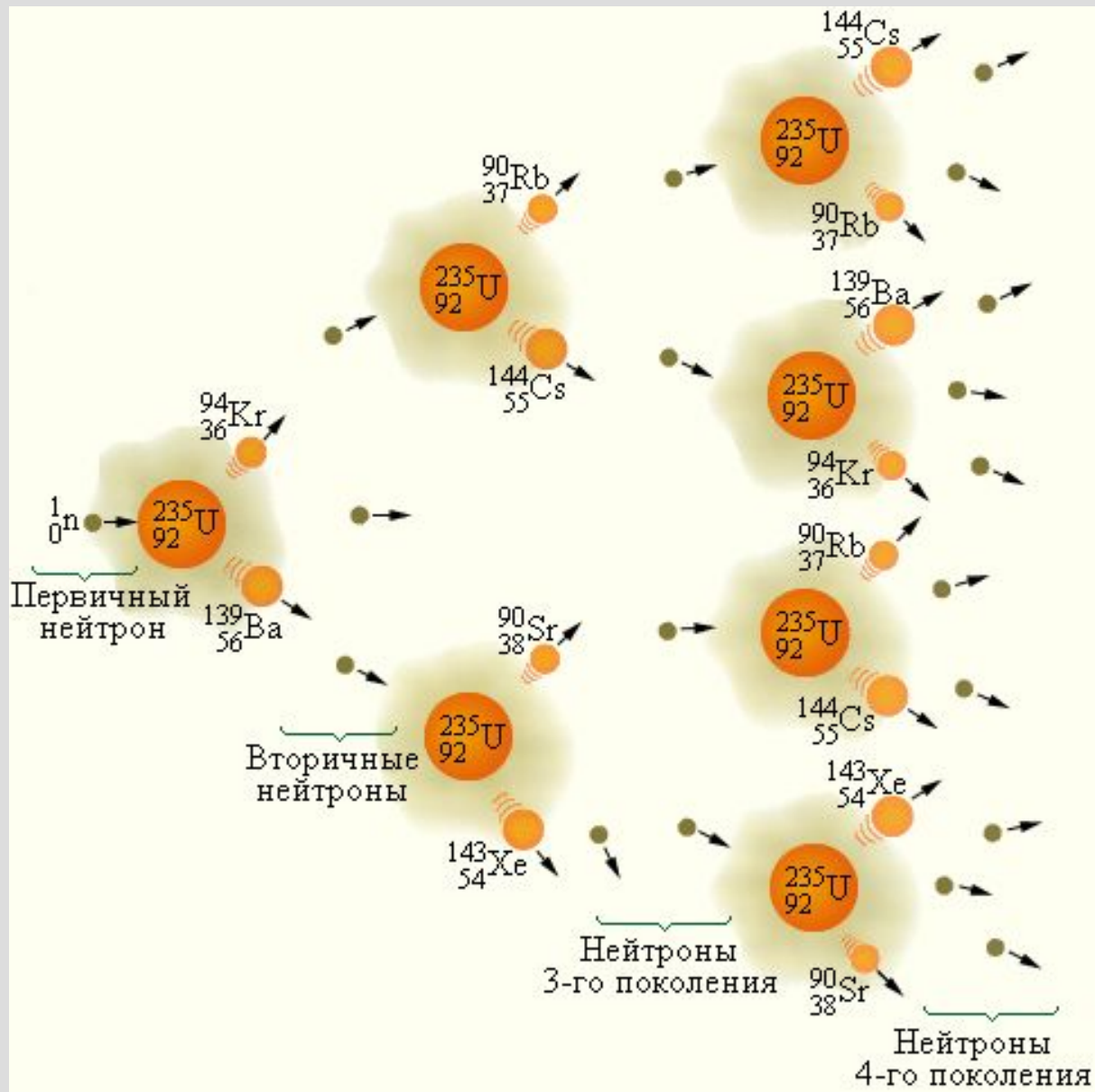
РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Кинетическая энергия, выделяющаяся при делении одного ядра урана, огромна – порядка 200 МэВ.

Удельная энергия связи нуклонов в ядрах с массовым числом $A \approx 240$ порядка 7,6 МэВ/нуклон, в то время как в ядрах с массовыми числами $A = 90–145$ удельная энергия примерно равна 8,5 МэВ/нуклон. Следовательно, при делении ядра урана освобождается энергия порядка 0,9 МэВ/нуклон или приблизительно 210 МэВ на один атом урана.

При полном делении всех ядер, содержащихся в 1 г урана, выделяется такая же энергия, как и при сгорании 3 т угля или 2,5 т нефти.

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

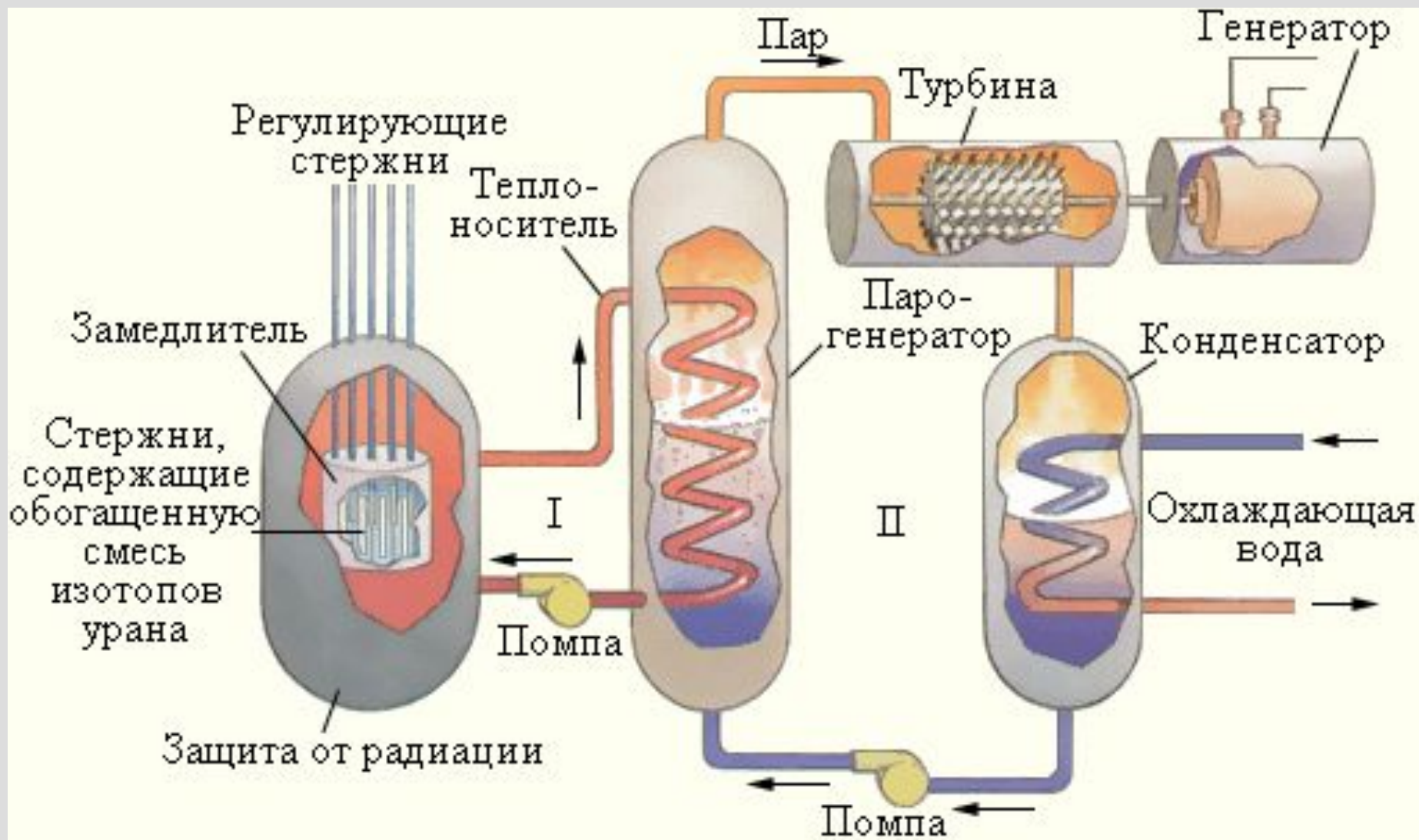


РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

На АЭС происходит три взаимных преобразования форм энергии: ядерная энергия переходит в тепловую, тепловая – в механическую, механическая – в электрическую.

В России эксплуатируется два типа реакторов. Для одноконтурной АЭС (реакторы РБМК, то есть «реактор большой мощности канальный») теплоноситель – паровая смесь – образуется в самом реакторе, разделяется на воду, которая возвращается в контур принудительной циркуляцией, и пар, который направляется затем на турбину. Если контур теплоносителя (вода) и рабочего тела (пара) разделены, то такие АЭС называются двухконтурными. Пример – реакторы ВВЭР («водо-водяной энергетический реактор»), их на российских АЭС больше всего.

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

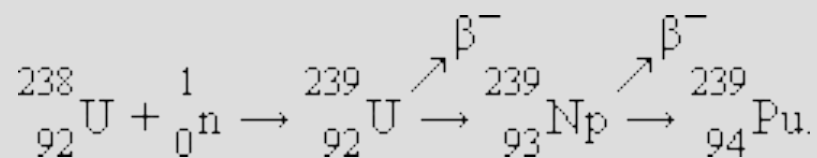


РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.



РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

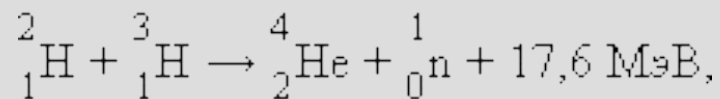
Наряду с ядерным реактором, работающим на медленных нейтронах, большой практический интерес представляют реакторы, работающие без замедлителя на быстрых нейтронах. В таких реакторах ядерным горючим является обогащенная смесь, содержащая не менее 15 % изотопа урана -235. Преимущество реакторов на быстрых нейтронах состоит в том, что при их работе ядра урана-238, поглощая нейтроны, посредством двух последовательных β^- -распадов превращаются в ядра плутония, которые затем можно использовать в качестве ядерного топлива:



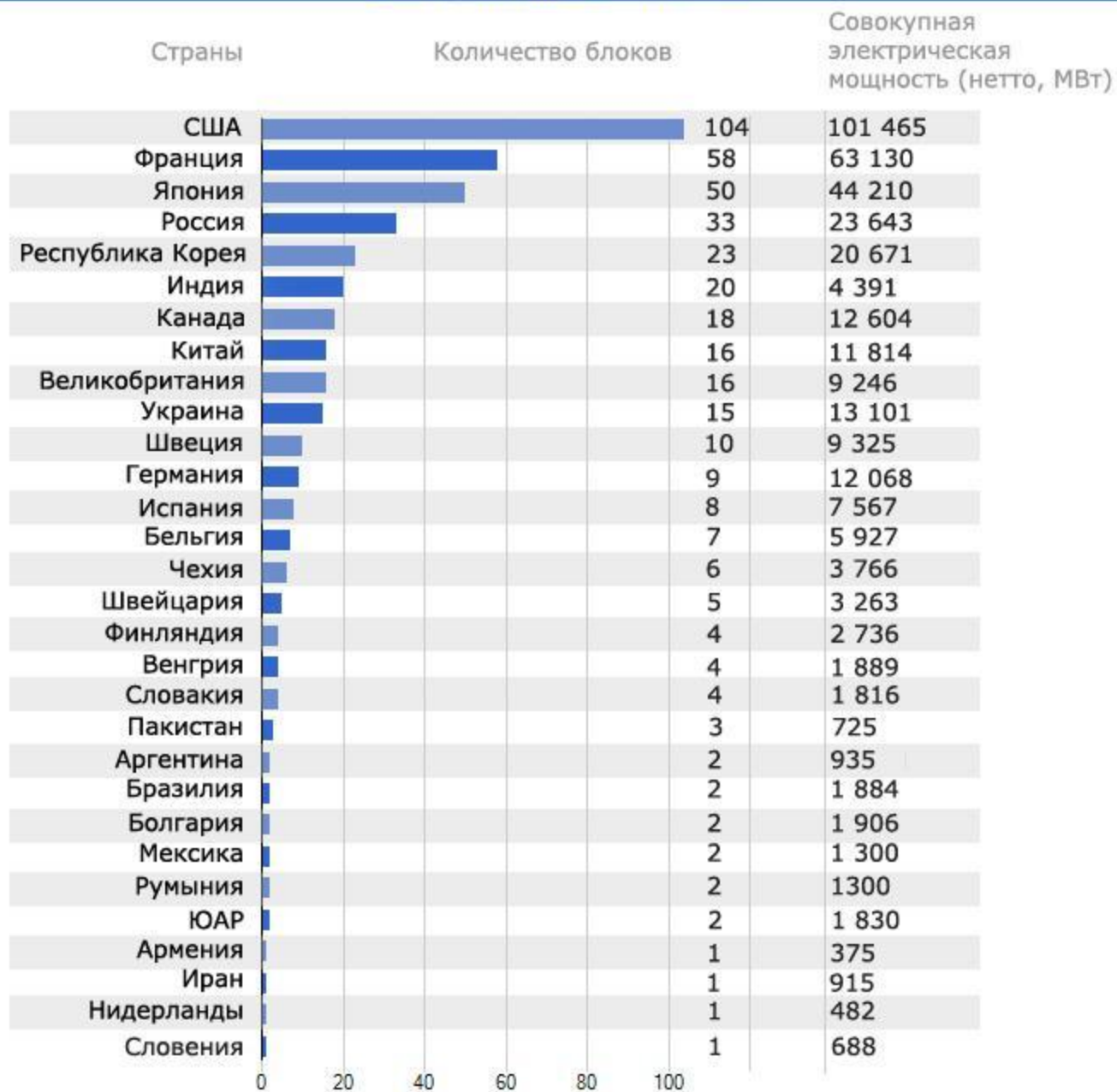
РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Термоядерные реакции. Реакции слияния легких ядер носят название термоядерных реакций, так как они могут протекать только при очень высоких температурах. Расчет необходимой для этого температуры T приводит к величине порядка 10^8 – 10^9 К. При такой температуре вещество находится в полностью ионизированном состоянии, которое называется *плазмой*.

Энергия, которая выделяется при термоядерных реакциях, в расчете на один нуклон в несколько раз превышает удельную энергию, выделяющуюся в цепных реакциях деления ядер. Так, например, в реакции слияния ядер дейтерия и трития выделяется 3,5 МэВ/нуклон.



Действующие реакторы



Всего - 435 реакторов, которые производят 370 003 МВт электроэнергии

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.



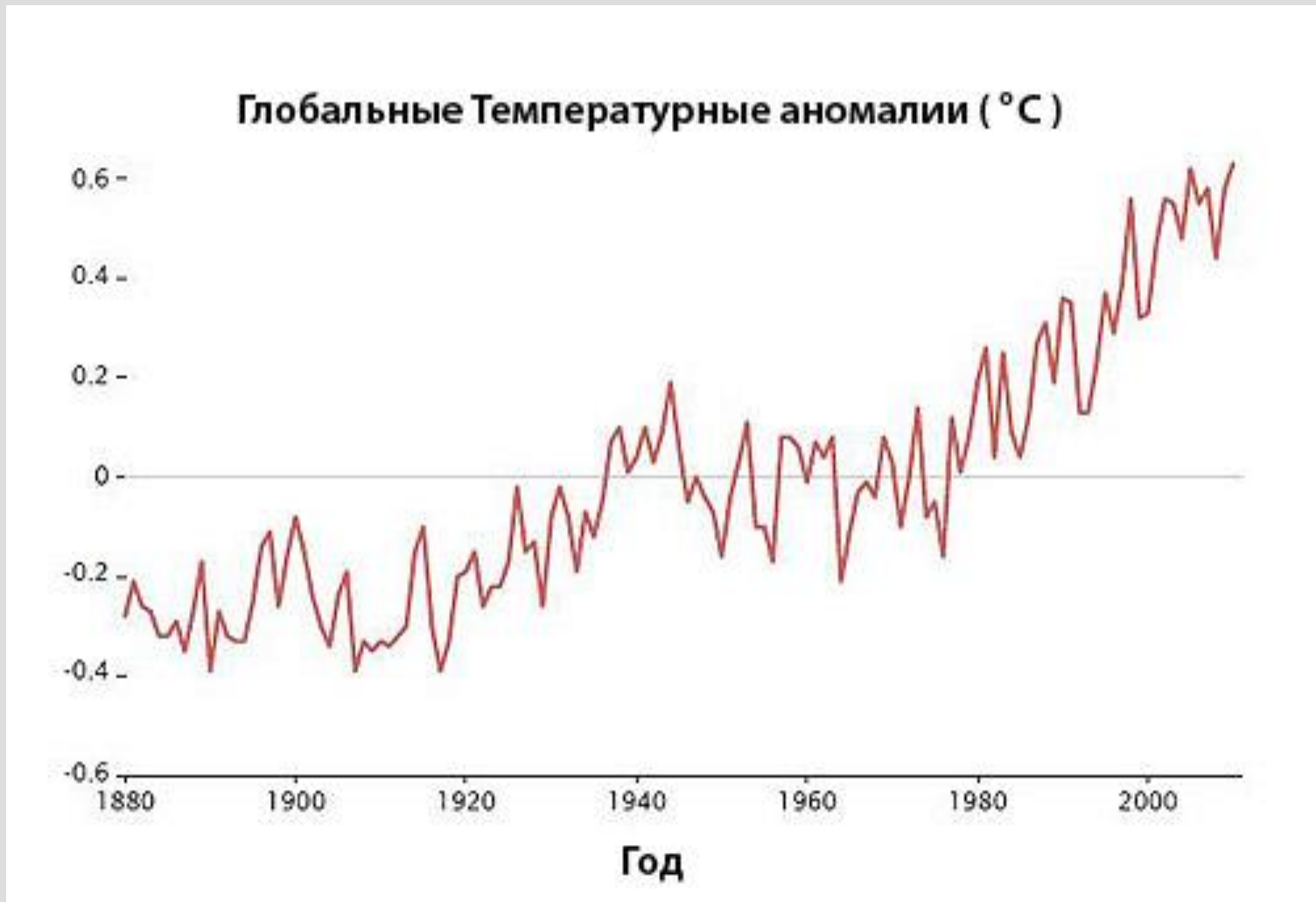
Атомная отрасль сегодня:
250 предприятий, 190 тыс.
человек, из них 10 АЭС (33
реактора) мощность 24,2 ГВт



РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Глобальное потепление — опасный процесс постепенного увеличения среднегодовой температуры атмосферы Земли и Мирового океана. Одна из его причин — «парниковый эффект»: увеличение содержания в атмосфере углекислого газа (CO_2), метана (CH_4), закиси азота (N_2O), перфторуглеродов (ПФУ), гидрофторуглеродов (ГФУ) и гексафторида серы (SF_6). Оно сопровождается повышением средней температуры воздуха у поверхности Земли. Из-за него за период с 1906 по 2005 годы средняя температура Земли поднялась на 0,74 градуса по Цельсию.

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ



РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

По прогнозам исследователей из Аризонского университета (США), если глобальное потепление продолжится, и уровень средней температуры повысится лишь на 2 градуса по Цельсию, к 2100 году уровень моря повысится по сравнению с существующим на 1 метр. В Америке это обернется затоплением 9-10% территории в 180 прибрежных городах. Кроме того, будут затоплены многие города и поселки в Юго-Восточной Азии. В частности, пострадают Шанхай, Калькутта, Бангкок. Довольно тяжело придется и жителям Санкт-Петербурга. А по более серьезным прогнозам уровень повышения вполне может составить от 2 до 4 метров.

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

Для борьбы с климатическими изменениями в декабре 1997 года в Киото представителями 159 стран мира было подписано так называемое Киотское соглашение об уменьшении выбросов «парниковых» газов. Новое соглашение должно было быть подписано в Копенгагене с 7 по 18 декабря 2009 года, однако странам-участникам конференции не удалось придти к консенсусу.

