

## Ядерный реактор: мультимедийный урок физики

### Урок физики в 11 классе

**В. С. Головейко,**  
учитель физики высшей категории

**Тема урока:** Деление тяжелых ядер. Цепные ядерные реакции. Ядерный реактор.

**Цели урока:**

**образовательные:**

✓ актуализировать имеющихся у учащихся знания; продолжить формирование понятий: деление ядер урана, цепная ядерная реакция, условия ее протекания, критическая масса;

✓ ввести новые понятия: ядерный реактор, основные элементы ядерного реактора, устройство ядерного реактора и принцип его действия, управление ядерной реакцией, классификация ядерных реакторов и их использование;

✓ рассмотреть вопрос об экологических проблемах использования атомной энергии;

**развивающие:**

✓ продолжить формирование умений наблюдать и делать выводы;

✓ развивать интеллектуальные способности и любознательность учащихся;

✓ установить взаимосвязь теории и практики;

✓ дальнейшее развитие умений и навыков анализировать информацию и делать выводы;

✓ поддерживать интерес к данной теме и предмету при показе видеофрагментов;

**воспитательные:**

✓ продолжить воспитание отношения к физике как к экспериментальной науке;

✓ воспитывать добросовестное отношение к труду, дисциплинированность, положительное отношение к знаниям.

✓ воспитание чувства коммуникабельности, доброжелательности и умения слушать друг друга.

**Тип урока:** изучение нового материала.

**Ход урока:**

**I. Организационный момент**

**Учитель.** Ребята! Сегодня на уроке мы с вами вспомним изученный ранее материал по ядерной физике, рассмотрим деление ядер урана, цепную ядерную реакцию, условия ее протекания, критическую массу, узнаем, что такое ядерный реактор, основные элементы ядерного реактора, устройство ядерного реактора и принцип его действия, управление ядерной реакцией, классификацию ядерных реакторов и их использование.

**II. Проверка изученного материала**

**Тест по теме: «Радиоактивность»**

**Вариант 1**

1. В результате радиоактивного распада изотоп урана  ${}^{238}_{92}\text{U}$  превращается в изотоп тория  ${}^{234}_{90}\text{Th}$ . При этом испускается

1. нейтрон      2. протон      3.  $\beta$ -частица      4.  $\alpha$ -частица

2. Ядро атома калия  ${}^{39}_{19}\text{K}$  содержит

1. 19 протонов, 39 нейтронов      2. 19 протонов, 20 нейтронов  
3. 20 протонов, 19 нейтронов      4. 39 протонов, 19 нейтронов

3.  $\alpha$ -частицы представляют собой поток

1. протонов      2. нейтронов      3. ядер гелия      4. быстрых электронов

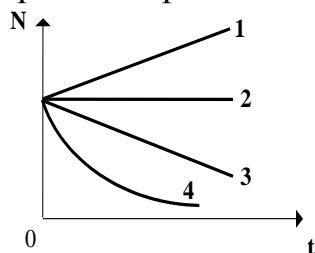
4. От  $\alpha$ -частиц можно защититься

1. бумагой толщиной 0,1 мм  
2. алюминиевой пластиной толщиной несколько мм  
3. свинцовая пластина толщиной 1 см ослабит это излучение в 2 раза

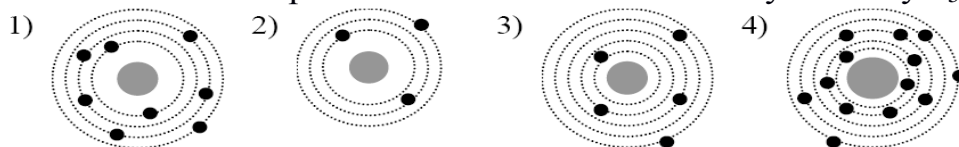
5. Устойчивость атомного ядра обусловлена действием

1. гравитационных сил      2. ядерных сил  
3. кулоновских сил      4. магнитных сил

6. Какой из графиков зависимости числа не распавшихся ядер (N) от времени правильно отражает закон радиоактивного распада (см. рисунок)?



7. На рисунке изображены схемы четырех атомов. Черными точками обозначены электроны. Какая схема соответствует атому  ${}^5_{13}\text{B}$  бора?



8. Период полураспада ядер атомов радия-226 составляет 1620 лет. Это означает, что в образце, содержащем большое число атомов радия,

1. за 1620 лет атомный номер каждого атома радия уменьшится вдвое  
2. одно ядро радия распадается каждые 1620 лет  
3. половина изначально имевшихся ядер радия распадается за 1620 лет  
4. все изначально имевшиеся ядра радия распадутся через 3240 лет

9. Какие частицы способны наиболее эффективно осуществить ядерную реакцию?

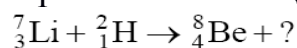
1. нейтроны      2. протоны      3. электроны      4. ядра гелия

10. В результате серии радиоактивных распадов уран  ${}^{238}_{92}\text{U}$  превращается в свинец  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ . Какое количество  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов он испытывает при этом?

1. 8  $\alpha$  и 6  $\beta$       2. 6  $\alpha$  и 8  $\beta$       3. 10  $\alpha$  и 5  $\beta$       4. 5  $\alpha$  и 10  $\beta$

### Вариант 2

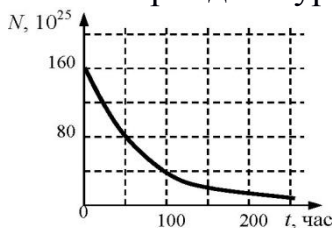
1. В результате бомбардировки лития ядрами дейтерия образуется ядро бериллия и частица



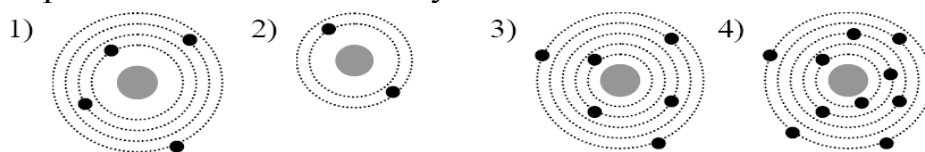
1. протон      2. нейтрон      3. электрон      4.  $\alpha$ -частица

2. Ядро атома бора  ${}^1_5\text{B}$  содержит
1. 5 протонов, 11 нейтронов
  2. 5 протонов, 6 нейтронов
  3. 11 протонов, 5 нейтронов
  4. 11 протонов, 6 нейтронов
3.  $\beta$ -частицы представляют собой поток
1. протонов
  2. нейтронов
  3. ядер гелия
  4. быстрых электронов
4. От  $\beta$ -частиц можно защититься
1. бумагой толщиной 0,1 мм
  2. алюминиевой пластиной толщиной несколько мм
  3. свинцовая пластина толщиной 1 см ослабит это излучение в 2 раза
5. При попадании медленного нейтрона в ядро урана происходит деление ядра. Какие силы разгоняют осколки ядра?
1. гравитационные силы
  2. магнитные силы
  3. кулоновские силы
  4. ядерные силы

6. Дан график зависимости числа не распавшихся ядер эрбия от времени. Каков период полураспада этого изотопа?



1. 25 часов
  2. 50 часов
  3. 100 часов
  4. 200 часов
7. На рисунке изображены схемы четырех атомов, соответствующие модели атома Резерфорда. Черными точками обозначены электроны. Атому бериллия  ${}^9_4\text{Be}$  соответствует схема



8. Из 20 одинаковых радиоактивных ядер за 1 мин испытало радиоактивный распад 10 ядер. За следующую минуту испытают распад
1. 5 ядер
  2. 10 ядер
  3. от 0 до 5 ядер
  4. от 0 до 10 ядер
9. Какое излучение наиболее опасно для жизни при одинаковой поглощенной дозе излучения?
1. фотоны любых энергий
  2.  $\alpha$ -частицы
  3.  $\beta$ -частицы
  4. протоны
10. Ядро полония  ${}^{214}_{84}\text{Po}$  превращается в ядро висмута  ${}^{210}_{83}\text{Bi}$  в результате радиоактивных распадов
1. 1 $\alpha$  и 1 $\beta$
  2. 1 $\alpha$  и 2 $\beta$
  3. 2 $\alpha$  и 1 $\beta$
  4. 2 $\alpha$  и 2 $\beta$

Ответы к тесту

	Вариант 1		Вариант 2
1.	4	1.	2
2.	2	2.	2
3.	3	3.	4

4.	1	4.	2
5.	2	5.	3
6.	4	6.	2
7.	3	7.	1
8.	3	8.	4
9.	1	9.	2
10.	1	10.	1

### *Проверка теста*

### **III. Фронтальный опрос-беседа**

1. Что такое естественная радиоактивность?
2. Кем она была открыта? Изучена?
3. Что собой представляют  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  излучения?
4. Как можно повлиять на время распада ядер?
5. Чем отличается распад ядер от ядерных реакций?
6. Какими частицами наиболее эффективно можно бомбардировать ядра атомов? Почему?
7. Ядра каких химических элементов наиболее устойчивы? Чем это можно объяснить?

### **IV. Изучение нового материала**

Механизм деления ядер урана.

Пример ядерной реакции деления ядра урана.

Критическая масса.

Коэффициент размножения.

Неуправляемая ядерная реакция.

Управляемая ядерная реакция.

### **V. Выполнение теста для закрепления.**

1. Какие частицы участвуют в делении ядер урана?
  - А. протоны;
  - Б. нейтроны;
  - В. электроны;
  - Г. ядра гелия.
2. Какая масса урана является критической?
  - А. наибольшая, при которой возможно протекание цепной реакции;
  - Б. любая масса;
  - В. наименьшая, при которой возможно протекание цепной реакции;
  - Г. масса, при которой реакция прекратится.
3. Чему приблизительно равна критическая масса урана  $^{235}\text{U}$ ?
  - А. 9 кг;
  - Б. 20 кг;
  - В. 50 кг;
  - Г. 90 кг.

4. Какие вещества из перечисленных ниже могут быть использованы в ядерных реакторах в качестве замедлителей нейтронов?

- А. графит;
- Б. кадмий;
- В. тяжёлая вода;
- Г. бор.

5. Для протекания цепной ядерной реакции на АЭС нужно, чтобы коэффициент размножения нейтронов был:

- А. равен 1;
- Б. больше 1;
- В. меньше 1.

6. Регулирование скорости деления ядер тяжелых атомов в ядерных реакторах осуществляется:

- А. за счет поглощения нейтронов при опускании стержней с поглотителем;
- Б. за счет увеличения теплоотвода при увеличении скорости теплоносителя;
- В. за счет увеличения отпуска электроэнергии потребителям;
- Г. за счет уменьшения массы ядерного топлива в активной зоне при вынимании стержней с топливом.

7. Какие преобразования энергии происходят в ядерном реакторе?

- А. внутренняя энергия атомных ядер превращается в световую энергию;
- Б. внутренняя энергия атомных ядер превращается в механическую энергию;
- В. внутренняя энергия атомных ядер превращается в электрическую энергию;
- Г. среди ответов нет правильного.

8. В 1946 году в Советском Союзе был построен первый ядерный реактор. Кто был руководителем этого проекта?

- А. С. Королев;
- Б. И. Курчатов;
- В. Д. Сахаров;
- Г. А. Прохоров.

9. Какой путь вы считаете самым приемлемым для повышения надежности АЭС и предотвращения заражения внешней среды?

- А. разработка реакторов, способных автоматически охладить активную зону реактора независимо от воли оператора;
- Б. повышение грамотности эксплуатации АЭС, уровня профессиональной подготовленности операторов АЭС;
- В. разработка высокоэффективных технологий демонтажа АЭС и переработки радиоактивных отходов;
- Г. расположение реакторов глубоко под землей;
- Д. отказ от строительства и эксплуатации АЭС.

10. Какие источники загрязнения окружающей среды связаны с работой АЭС?

- А. урановая промышленность;
- Б. ядерные реакторы разных типов;
- В. радиохимическая промышленность;
- Г. места переработки и захоронения радиоактивных отходов;

- Д. использование радионуклидов в народном хозяйстве;  
Е. ядерные взрывы.

Ответы: 1 Б; 2 В; 3 В; 4 А, В; 5 А; 6 А; 7 В; 8 Б; 9 Б, В; 10 А, Б, В, Г, Е.

#### **VI. Решение задач**

Мощность двигателя атомного ледокола 15 МВт, а КПД – 24 %. Определите запас топлива ( $^{235}\text{U}$ ), необходимого для месячного плавания лодки. (170 г)

#### **VII. Итоги урока.**

- ✓ Что нового узнали сегодня на уроке?
- ✓ Что понравилось на уроке?
- ✓ Какие вопросы по теме урока остались у вас?

*Теоретический материал*

**Деление тяжелых ядер.** В отличие от радиоактивного распада ядер, сопровождающегося испусканием  $\alpha$ - или  $\beta$ -частиц, реакции деления – это процесс, при котором нестабильное ядро делится на два крупных фрагмента сравнимых масс.

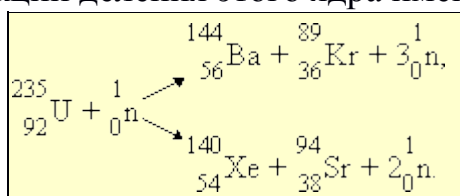
В 1939 году немецкими учеными О. Ганом и Ф. Штрассманом было открыто деление ядер урана. Продолжая исследования, начатые Ферми, они установили, что при бомбардировке урана нейтронами возникают элементы средней части периодической системы – радиоактивные изотопы бария ( $Z=56$ ), криптона ( $Z=36$ ) и др.

Уран встречается в природе в виде двух изотопов:  ${}_{92}^{238}\text{U}$  (99,3%) и  ${}_{92}^{235}\text{U}$  (0,7%). При бомбардировке нейтронами ядра обоих изотопов могут расщепляться на

два осколка. При этом реакция деления  ${}_{92}^{235}\text{U}$  наиболее интенсивно идет на медленных (тепловых) нейтронах, в то время как ядра  ${}_{92}^{238}\text{U}$  вступают в реакцию деления только с быстрыми нейтронами с энергией порядка 1 МэВ.

Основной интерес для ядерной энергетики представляет реакция деления ядра  ${}_{92}^{235}\text{U}$ .

В настоящее время известны около 100 различных изотопов с массовыми числами примерно от 90 до 145, возникающих при делении этого ядра. Две типичные реакции деления этого ядра имеют вид:



Обратите внимание, что в результате деления ядра, инициированного нейтроном, возникают новые нейтроны, способные вызвать реакции деления других ядер. Продуктами деления ядер урана-235 могут быть и другие изотопы бария, ксенона, стронция, рубидия и т.д.

Кинетическая энергия, выделяющаяся при делении одного ядра урана, огромна – порядка 200 МэВ. Оценку выделяющейся при делении ядра энергии можно сделать с помощью [удельной энергии связи](#) нуклонов в ядре. 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.

Продукты деления ядра урана нестабильны, так как в них содержится значительное избыточное число нейтронов. Действительно, отношение  $N/Z$  для наиболее тяжелых ядер порядка 1,6 (рис. 6.6.2), для ядер с массовыми числами от 90 до 145 это отношение порядка 1,3–1,4. Поэтому ядра-осколки испытывают серию последовательных  $\beta^-$ -распадов, в результате которых число протонов в ядре увеличивается, а число нейтронов уменьшается до тех пор, пока не образуется стабильное ядро.

При делении ядра урана-235, которое вызвано столкновением с нейтроном, освобождается 2 или 3 нейтрона. При благоприятных условиях эти нейтроны могут попасть в другие ядра урана и вызвать их деление. На этом этапе появятся уже от 4 до 9 нейтронов, способных вызвать новые распады ядер урана и т. д. Такой лавинообразный процесс называется **цепной реакцией**. Схема развития цепной реакции деления ядер урана представлена на рис. 6.8.1.

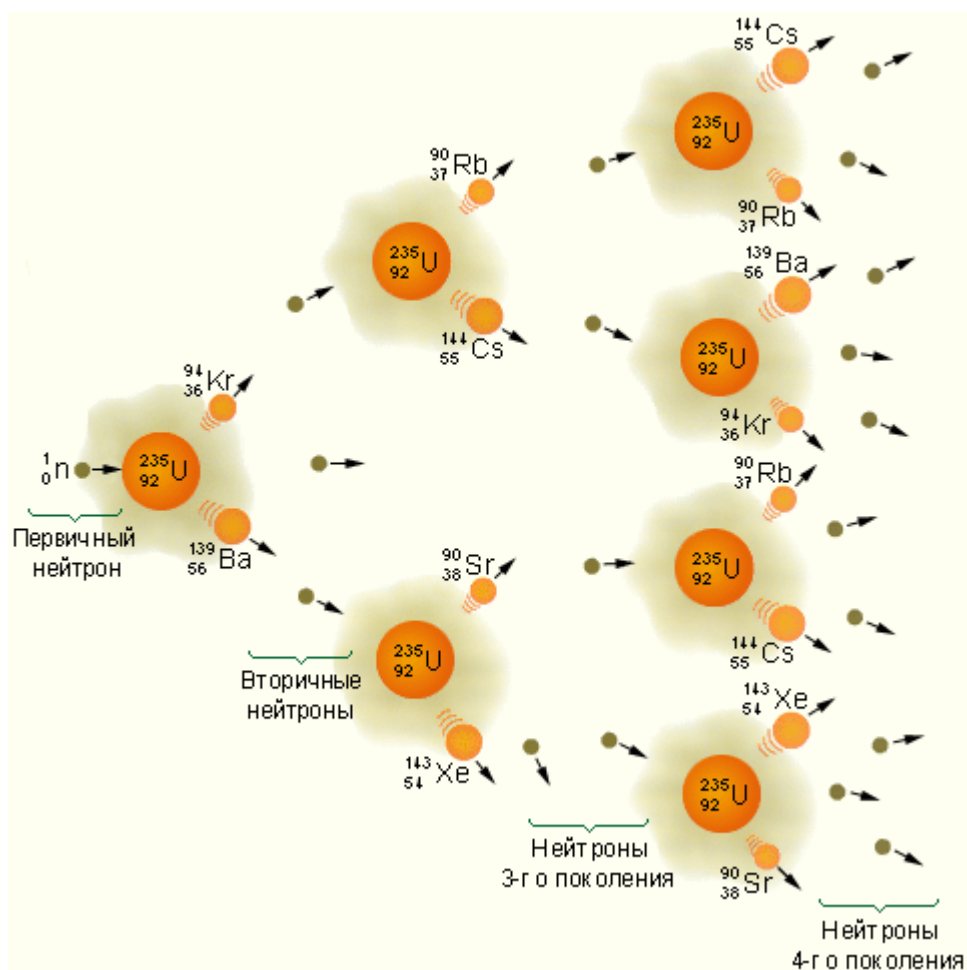


Рисунок 6.8.1.

Схема развития цепной реакции.

Для осуществления цепной реакции необходимо, чтобы так называемый **коэффициент размножения нейтронов** был больше единицы. Другими словами, в каждом последующем поколении нейтронов должно быть больше, чем в предыдущем. Коэффициент размножения определяется не только числом нейтронов, образующихся в каждом элементарном акте, но и условиями, в которых протекает реакция – часть нейтронов может



поглощаться другими ядрами или выходить из зоны реакции. Нейтроны, освобожденные при делении ядер урана-235, способны вызвать деление лишь ядер этого же урана, на долю которого в природном уране приходится всего лишь 0,7 %. Такая концентрация оказывается недостаточной для начала



цепной реакции. Изотоп также может поглощать нейтроны, но при этом не возникает цепной реакции.

Цепная реакция в уране с повышенным содержанием урана-235 может развиваться только тогда, когда масса урана превосходит так называемую **критическую массу**. В небольших кусках урана большинство нейтронов, не попав ни в одно ядро, вылетают наружу. Для чистого урана-235 критическая масса составляет около 50 кг. Критическую массу урана можно во много раз уменьшить, если использовать так называемые **замедлители** нейтронов. Дело в том, что нейтроны, рождающиеся при распаде ядер урана, имеют слишком большие скорости, а вероятность захвата медленных нейтронов ядрами урана-235 в сотни раз больше, чем быстрых. Наилучшим замедлителем нейтронов является **тяжелая вода** D<sub>2</sub>O. Обычная вода при взаимодействии с нейтронами сама превращается в тяжелую воду.

Хорошим замедлителем является также графит, ядра которого не поглощают нейтронов. При упругом взаимодействии с ядрами дейтерия или углерода нейтроны замедляются до тепловых скоростей.

Применение замедлителей нейтронов и специальной оболочки из бериллия, которая отражает нейтроны, позволяет снизить критическую массу до 250 г.

В атомных бомбах цепная неуправляемая ядерная реакция возникает при быстром соединении двух кусков урана-235, каждый из которых имеет массу несколько ниже критической.

Устройство, в котором поддерживается управляемая реакция деления ядер, называется **ядерным** (или **атомным**) **реактором**. Схема ядерного реактора на медленных нейтронах приведена на рис. 6.8.2.

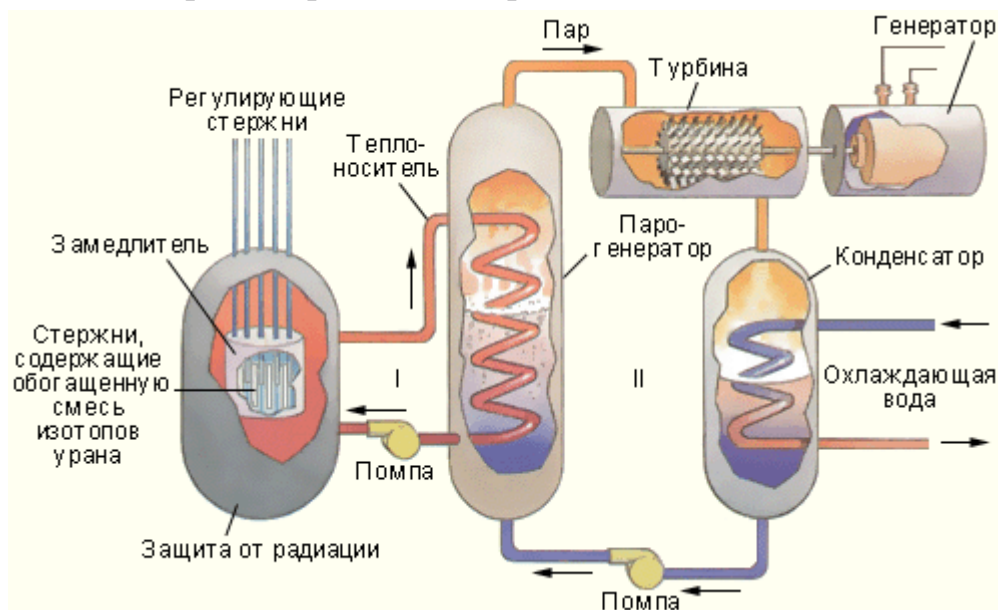


Рисунок 6.8.2.

## Схема устройства ядерного реактора

Ядерная реакция протекает в активной зоне реактора, которая заполнена замедлителем и пронизана стержнями, содержащими обогащенную смесь изотопов урана с повышенным содержанием урана-235 (до 3 %). В активную зону вводятся регулирующие стержни, содержащие кадмий или бор, которые интенсивно поглощают нейтроны. Введение стержней в активную зону позволяет управлять скоростью цепной реакции.

Активная зона охлаждается с помощью прокачиваемого теплоносителя, в качестве которого может применяться вода или металл с низкой температурой плавления (например, натрий, имеющий температуру плавления 98 °С). В парогенераторе теплоноситель передает тепловую энергию воде, превращая ее в пар высокого давления. Пар направляется в турбину, соединенную с электрогенератором. Из турбины пар поступает в конденсатор. Во избежание утечки радиации контуры теплоносителя I и парогенератора II работают по замкнутым циклам.

Турбина атомной электростанции является тепловой машиной, определяющей в соответствии со вторым законом термодинамики общую эффективность станции. У современных атомных электростанций

$$\frac{1}{3}$$

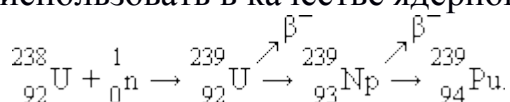
коэффициент полезного действия приблизительно равен  $\frac{1}{3}$ . Следовательно, для производства 1000 МВт электрической мощности тепловая мощность реактора должна достигать 3000 МВт. 2000 МВт должны уноситься водой, охлаждающей конденсатор. Это приводит к локальному перегреву естественных водоемов и последующему возникновению экологических проблем.

Однако, главная проблема состоит в обеспечении полной радиационной безопасности людей, работающих на атомных электростанциях, и предотвращении случайных выбросов радиоактивных веществ, которые в большом количестве накапливаются в активной зоне реактора. При разработке ядерных реакторов этой проблеме уделяется большое внимание. Тем не менее, после аварий на некоторых АЭС, в частности на АЭС в Пенсильвании (США, 1979 г.) и на Чернобыльской АЭС (1986 г.), проблема безопасности ядерной энергетики встала с особенной остротой.

Наряду с описанным выше 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  ${}_{92}^{238}\text{U}$ . Преимущество реакторов на быстрых нейтронах состоит в том, что при их работе ядра урана-238, поглощая нейтроны, посредством двух последовательных  $\beta^-$ -распадов превращаются в ядра плутония, которые затем можно использовать в качестве ядерного топлива:



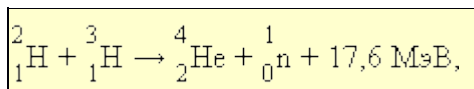
Коэффициент воспроизводства таких реакторов достигает 1,5, т. е. на 1 кг урана-235 получается до 1,5 кг плутония. В обычных реакторах также образуется плутоний, но в гораздо меньших количествах.

Первый ядерный реактор был построен в 1942 году в США под руководством Э. Ферми. В нашей стране первый реактор был построен в 1946 году под руководством И. В. Курчатова.

2. **Термоядерные реакции.** Вторым путем освобождения ядерной энергии связан с реакциями синтеза. При слиянии легких ядер и образовании нового ядра должно выделяться большое количество энергии. Это видно из кривой зависимости удельной энергии связи от массового числа  $A$  (рис. 6.6.1). Вплоть до ядер с массовым числом около 60 удельная энергия связи нуклонов растет с увеличением  $A$ . Поэтому синтез любого ядра с  $A < 60$  из более легких ядер должен сопровождаться выделением энергии. Общая масса продуктов реакции синтеза будет в этом случае меньше массы первоначальных частиц.

Реакции слияния легких ядер носят название **термоядерных реакций**, так как они могут протекать только при очень высоких температурах. Чтобы два ядра вступили в реакцию синтеза, они должны сблизиться на расстояние действия ядерных сил порядка  $2 \cdot 10^{-15}$  м, преодолев электрическое отталкивание их положительных зарядов. Для этого средняя кинетическая энергия теплового движения молекул должна превосходить потенциальную энергию кулоновского взаимодействия. Расчет необходимой для этого температуры  $T$  приводит к величине порядка  $10^8$ – $10^9$  К. Это чрезвычайно высокая температура. 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

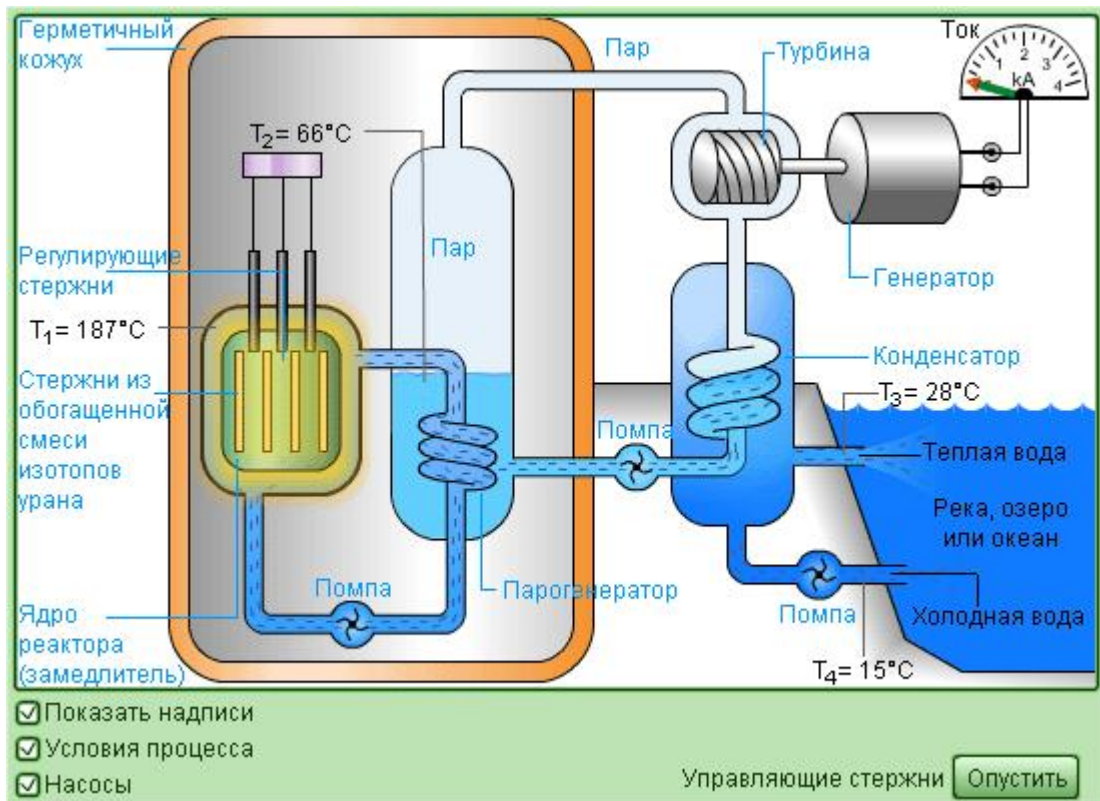


выделяется 3,5 МэВ/нуклон. В целом в этой реакции выделяется 17,6 МэВ. Это одна из наиболее перспективных термоядерных реакций.

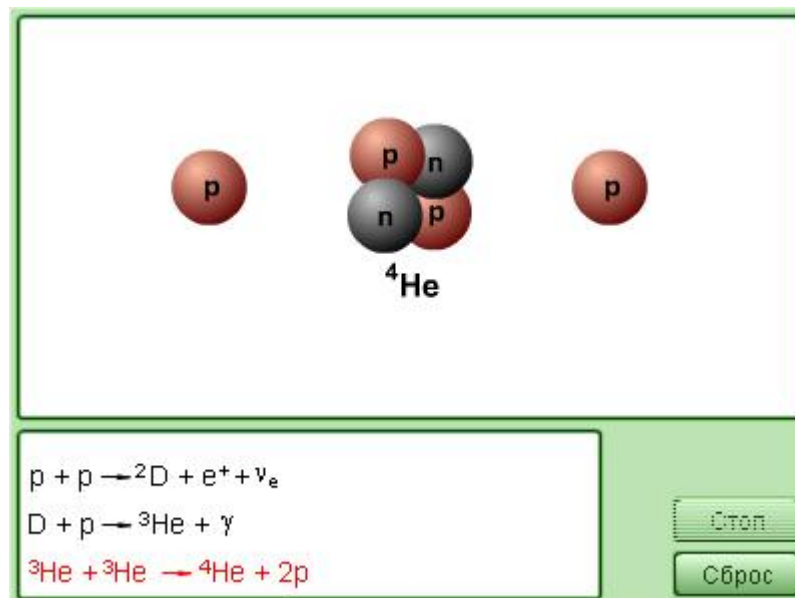
Осуществление **управляемых термоядерных реакций** даст человечеству новый экологически чистый и практически неисчерпаемый источник энергии. Однако получение сверхвысоких температур и удержание плазмы, нагретой до миллиарда градусов, представляет собой труднейшую научно-техническую задачу на пути осуществления управляемого термоядерного синтеза.

На данном этапе развития науки и техники удалось осуществить только **неуправляемую реакцию синтеза** в водородной бомбе. Высокая температура, необходимая для ядерного синтеза, достигается здесь с помощью взрыва обычной урановой или плутониевой бомбы.

Термоядерные реакции играют чрезвычайно важную роль в эволюции Вселенной. Энергия излучения Солнца и звезд имеет термоядерное происхождение.



Модель. Ядерный реактор.



Модель. Синтез гелия.



Модель. Ядерные превращения.

### Историческая справка

Игорь Васильевич Курчатов— выдающийся советский физик, академик, основатель и первый директор Института атомной энергии с 1943 г. по 1960 г., главный научный руководитель атомной проблемы в СССР, один из основоположников использования ядерной энергии в мирных целях. Академик АН СССР (1943). Испытания первой атомной советской бомбы проводились в 1949 году. Через четыре года проводились успешные испытания первой в мире водородной бомбы. А в 1949 году Игорь Васильевич Курчатов начал работу над проектом атомной электростанции. Атомная электростанция – вестник мирного использования атомной энергии. Проект был успешно закончен: 27 июля 1954 наша атомная электростанция стала первой в мире! Курчатов ликовал и веселился как ребенок!

Первая атомная станция была построена в СССР в Обнинске в 1954г. Сейчас в России насчитывается 10 атомных станций, 3 строящихся и еще 6 в проекте.

Итак, человечество решило проблему энергии, получает ее благодаря цепной реакции деления ядер урана. Кроме того, уменьшилось потребление угля, нефти, газа, кислорода из атмосферы, не выбрасываются в атмосферу парниковые газы. Ядерная энергетика обеспечивает получение самой дешевой энергии. Но, возникли другие проблемы: как предотвратить заражение окружающей среды радиоактивными осколками деления, как обеспечить защиту населения в момент аварийных ситуаций?

Сейчас все внимание приковано к событиям в Японии на станции Фукусима. 11 марта в результате землетрясения были остановлены в аварийном режиме 3 энергоблока. В течение следующих нескольких дней произошли взрывы на 1, 2 и 3 энергоблоках. Их причина – образование водорода в результате пароциркониевой реакции при высокой температуре. Нарушена целостность

активной зоны и ТВЭЛов. Вышла из строя система охлаждения. Для охлаждения реактора началась операция по сбросу морской воды с военных вертолетов. В крышах 5 и 6 энергоблоков просверлены отверстия для предотвращения скопления водорода и взрыва. Из 20-километровой зоны эвакуированы люди. В радиусе 30 км запрещены воздушные перелеты. Ясно одно, на Фукусиме произошла радиационная авария – потеря управления источником радиационного излучения, вызванная землетрясением, которая привела к облучению людей и радиоактивному загрязнению окружающей среды.

26 апреля 1986 года ровно 25 лет назад произошла катастрофа на Чернобыльской атомной станции. Город Припять стал зоной отчуждения, покинутой людьми. Так, наверно, должна выглядеть Земля после ядерной войны вдали от эпицентра, где не было ударной волны, электромагнитного импульса, светового излучения. Только радиация. Это территория оккупированная радиацией, оставленная человеком, зона отчуждения.

В 1903 году П.Кюри с беспокойством говорил в своей нобелевской речи: «Можно думать, что в преступных руках радий станет очень опасным, и здесь уместно задать вопрос, заинтересовано ли человечество в дальнейшем раскрытии секретов природы, достаточно ли оно созрело для того, чтобы с пользой применить полученные знания, не могут ли они повлиять отрицательно на будущее человечества?». Хотелось бы надеяться, что из этих трагических событий сделают правильные выводы.

Определение ядерного реактора.

Ядерным реактором называется устройство, в котором осуществляется и поддерживается управляемая цепная реакция деления некоторых тяжелых ядер.

Первый ядерный реактор был построен в 1942 году в США под руководством Э. Ферми. В нашей стране первый реактор был построен в 1946 году под руководством И. В. Курчатова.

Основными элементами ядерного реактора являются:

ядерное горючее (уран 235, уран 238, плутоний 239);

замедлитель нейтронов (тяжелая вода, графит и др.);

теплоноситель для вывода энергии, образующейся при работе реактора (вода, жидкий натрий и др.);

Регулирующие стержни (бор, кадмий) - сильно поглощающие нейтроны

Защитная оболочка, задерживающая излучения (бетон с железным наполнителем).

*Принцип действия ядерного реактора*

Ядерное топливо располагается в активной зоне в виде вертикальных стержней, называемых тепловыделяющими элементами (ТВЭЛ). ТВЭЛы предназначены для регулирования мощности реактора.

Масса каждого топливного стержня значительно меньше критической, поэтому в одном стержне цепная реакция происходить не может. Она начинается после погружения в активную зону всех урановых стержней.

Активная зона окружена слоем вещества, отражающего нейтроны (отражатель) и защитной оболочкой из бетона, задерживающего нейтроны и другие частицы.

Отвод тепла от топливных элементов. Теплоноситель - вода омывает стержень, нагретая до  $300^{\circ}\text{C}$  при высоком давлении, поступает в теплообменники.

Роль теплообменника - вода, нагретая до  $300^{\circ}\text{C}$ , отдает тепло обычной воде, превращается в пар.

#### *Управление ядерной реакцией*

Управление реактором осуществляется при помощи стержней, содержащих кадмий или бор. При выдвинутых из активной зоны реактора стержнях  $K > 1$ , а при полностью вдвинутых —  $K < 1$ . Вдвигая стержни внутрь активной зоны, можно в любой момент времени приостановить развитие цепной реакции. Управление ядерными реакторами осуществляется дистанционно с помощью ЭВМ.

#### *Реактор на медленных нейтронах.*

Наиболее эффективное деление ядер урана-235 происходит под действием медленных нейтронов. Такие реакторы называются реакторами на медленных нейтронах. Вторичные нейтроны, образующиеся в результате реакции деления, являются быстрыми. Для того чтобы их последующее взаимодействие с ядрами урана-235 в цепной реакции было наиболее эффективно, их замедляют, вводя в активную зону замедлитель — вещество, уменьшающее кинетическую энергию нейтронов.

#### *Реактор на быстрых нейтронах.*

Реакторы на быстрых нейтронах не могут работать на естественном уране. Реакцию можно поддерживать лишь в обогащенной смеси, содержащей не менее 15% изотопа урана. Преимущество реакторов на быстрых нейтронах в том, что при их работе образуется значительное количество плутония, который затем можно использовать в качестве ядерного топлива.

#### *Гомогенные и гетерогенные реакторы.*

Ядерные реакторы в зависимости от взаимного размещения горючего и замедлителя подразделяются на гомогенные и гетерогенные. В гомогенном реакторе активная зона представляет собой однородную массу топлива, замедлителя и теплоносителя в виде раствора, смеси или расплава. Гетерогенным называется реактор, в котором топливо в виде блоков или тепловыделяющих сборок размещено в замедлителе, образуя в нем правильную геометрическую решетку.

#### *Преобразование внутренней энергии атомных ядер в электрическую энергию.*

Ядерный реактор является основным элементом атомной электростанции (АЭС), преобразующей тепловую ядерную энергию в электрическую. Преобразование энергии происходит по следующей схеме:  
внутренняя энергия ядер урана —  
кинетическая энергия нейтронов и осколков ядер —  
внутренняя энергия воды —  
внутренняя энергия пара —  
кинетическая энергия пара —  
кинетическая энергия ротора турбины и ротора генератора —  
электрическая энергия.

### *Использование ядерных реакторов.*

В зависимости от назначения ядерные реакторы бывают энергетические, конверторы и размножители, исследовательские и многоцелевые, транспортные и промышленные.

Ядерные энергетические реакторы используются для выработки электроэнергии на атомных электростанциях, в судовых энергетических установках, атомных теплоэлектроцентралях, а также на атомных станциях теплоснабжения.

Реакторы, предназначенные для производства вторичного ядерного топлива из природного урана и тория, называются конверторами или размножителями. В реакторе-конверторе вторичного ядерного топлива образуется меньше первоначально израсходованного.

В реакторе-размножителе осуществляется расширенное воспроизводство ядерного топлива, т.е. его получается больше, чем было затрачено.

Исследовательские реакторы служат для исследований процессов взаимодействия нейтронов с веществом, изучения поведения реакторных материалов в интенсивных полях нейтронного и гамма-излучений, радиохимических в биологических исследований, производства изотопов, экспериментального исследования физики ядерных реакторов.

Реакторы имеют различную мощность, стационарный или импульсный режим работы. Многоцелевыми называются реакторы, служащие для нескольких целей, например, для выработки энергии и получения ядерного топлива.

### *Экологические катастрофы на АЭС*

1957 г. – авария в Великобритании

1966 г. – частичное расплавление активной зоны после выхода из строя охлаждения реактора неподалеку от Детройта.

1971 г. – много загрязненной воды ушло в реку США

1979 г. – крупнейшая авария в США

1982 г. – выброс радиоактивного пара в атмосферу

1983 г. – страшная авария в Канаде (20 минут вытекала радиоактивная вода – по тонне в минуту)

1986 г. – авария в Великобритании

1986 г. – авария в Германии



1986 г. – Чернобыльская АЭС  
1988 г. – пожар на АЭС в Японии

Современные АЭС оснащены ПК, а раньше даже после аварии реакторы продолжали работать, так как не было автоматической системы отключения.

### **Атомная бомба**

- один из видов ядерного оружия, в котором используется неуправляемый процесс деления атомных ядер, т.е. цепная реакция.

Принцип работы атомной бомбы, заключается в расщеплении ядер тяжёлых элементов (уран-235 или плутоний-239). В результате реакции распада избыточная масса излучается в виде лишних нуклонов (нейтронов или протонов) с выделением большого количества энергии.

Атомная бомба на основе урана -235 стала первым ядерным оружием и была сброшена США на японский город Хиросима в 1945 г. Эта бомба весила 2722 кг и имела ядерный заряд из обогащенного урана-235 массой 20 кг.

Детонирование ядерного заряда в такой бомбе происходит, когда соединяются две части уранового заряда, обладающие докритической массой.

Для взрыва ядерной бомбы содержание урана-235 в ядерном заряде не должно быть ниже 80 %, поэтому природный уран приходится обогащать.

Критическая масса урана-235, превышение которой необходимо для проведения неуправляемой ядерной реакции, достаточно велика.

Поэтому урановые бомбы на данный момент не распространены.

Современные более совершенные атомные бомбы производятся на основе, например, плутония, обладающего более низкой критической массой.

Первая атомная плутониевая бомба на основе плутония-239, сброшенная США на Нагасаки в 1945 г., была с зарядом из плутония-239 (массой 5 кг), 3.5 м в длину и 1.5 м в диаметре, мощностью более 20 кт и весила 3175 кг.

Плутониевая атомная бомба представляет собой подобие нескольких сфер, вложенных друг в друга:

- внутри корпус бомбы окружен оболочкой из обычного взрывчатого вещества, создающего при ударе и взрыве ударную волну к центру;

- далее идет оболочка из алюминия, разделяющая взрывчатое вещество и ядерный заряд;

- затем ближе к центру - оболочка из урана, служащая отражателем для нейтронов;

- следующий слой - сам ядерный заряд из плутония-239. Критическая масса плутония составляет 9,65 кг, хотя эту массу можно и уменьшить, предварительно сжав плутоний в результате взрыва обычной взрывчатки.

- в центре находится шар радиусом порядка 2 см из бериллия, покрытый слоем полония или плутония-238, который после действия взрывчатки смешивается с бериллием и дает мощный выброс нейтронов, необходимых для резкого снижения критической массы плутония и ускорения начала реакции.

Интересно, что в результате взрыва ядерный заряд не успевает «израсходоваться» полностью. Над Хиросимой и Нагасаки «сгорело» всего 0,7 кг урана и 1,2 кг плутония соответственно.