**02.04**

**Урок № 113-114. Естественная радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Искусственная радиоактивность.** **Способы наблюдения и регистрации элементарных частиц. . Состав атомного ядра. Энергия связи нуклонов в ядре**.

*Здачи урока: познакомить учащихся с понятием строение ядра.*

**Основной материал:** Протон и нейтрон. Протонно-нейтронная модель ядра. Изотопы. Сильное взаимодействие нуклонов. Комптоновская длина волны частицы. Состав и размер ядра.

**Основной материал:** Радиоактивность. Виды радиоактивности: искусственная и естественная. Радиоактивный распад. Альфа – распад. Энергия распада. Бета – распад. Гамма – распад. Период полураспада. Закон радиоактивного распада. Активность радиоактивного вещества. Единица радиоактивности. Радиоактивные серии.

Французский физик А. Беккерель (1852— 1908) в 1896 г. при изучении люминесценции солей урана случайно обнаружил самопроизвольное испускание ими излучения неизвестной природы, которое действовало на фотопластинку, ионизировало воздух, проникало сквозь тонкие металлические пластинки, вызывало люминесценцию ряда веществ. Продолжая исследование этого явления, супруги Кюри — Мария (1867—1934) и Пьер — обнаружили, что беккерелевское излучение свойственно не только урану, но и многим другим тяжелым элементам, таким, как торий и актиний. Они показали также, что урановая смоляная обманка (руда, из которой добывается металлический уран) испускает излучение, интенсивность которого во много раз превышает интенсивность излучения урана. Таким образом удалось выделить два новых элемента — носителя беккерелевского излучения: полоний  и радий  .

Обнаруженное излучение было названо **радиоактивным излучением**, а само явление — испускание радиоактивного излучения — **радиоактивностью**.

Дальнейшие опыты показали, что на характер радиоактивного излучения препарата не оказывают влияния вид химического соединения, агрегатное состояние, механическое давление, температура, электрические и магнитные поля, т. е. все те воздействия, которые могли бы привести к изменению состояния электронной оболочки атома. Следовательно, радиоактивные свойства элемента обусловлены лишь структурой его ядра.

В настоящее время под **радиоактивностью** понимают способность некоторых атомных ядер самопроизвольно (спонтанно) превращаться в другие ядра с испусканием различных видов радиоактивных излучений и элементарных частиц. Радиоактивность подразделяется на **естественную** (наблюдается у неустойчивых изотопов, существующих в природе) и **искусственную** (наблюдается у изотопов, полученных посредством ядерных реакций). Принципиального различия между этими двумя типами радиоактивности нет, так как законы радиоактивного превращения в обоих случаях одинаковы.

Радиоактивное излучение бывает трех типов:  -,  - и  -излучение. Подробное их исследование позволило выяснить природу и основные свойства.

 -Излучение отклоняется электрическим и магнитным полями, обладает высокой ионизирующей способностью и малой проникающей способностью (например, поглощаются слоем алюминия толщиной примерно 0,05 мм).  -Излучение представляет собой поток ядер гелия; заряд  -частицы равен +2е, а масса совпадает с массой ядра изотопа гелия  . По отклонению  -частиц в электрическом и магнитном полях был определен их удельный заряд  , значение которого подтвердило правильность представлений об их природе.

 -Излучение отклоняется электрическим и магнитным полями; его ионизирующая способность значительно меньше (примерно на два порядка), а проникающая способность гораздо больше (поглощается слоем алюминия толщиной примерно 2 мм), чем у  -частиц.  -Излучение представляет собой поток быстрых электронов (это вытекает из определения их удельного заряда).

Поглощение потока электронов с одинаковыми скоростями в однородном веществе подчиняется экспоненциальному закону  , где  и *N* — число электронов на входе и выходе слоя вещества толщиной *х*,  — коэффициент поглощения.  -Излучение сильно рассеивается в веществе, поэтому  зависит не только от вещества, но и от размеров и формы тел, на которые  -излучение падает.

 -Излучение не отклоняется электрическим и магнитным полями, обладает относительно слабой ионизирующей способностью и очень большой проникающей способностью (например, проходит через слой свинца толщиной 5 см), при прохождении через кристаллы обнаруживает дифракцию.  -Излучение представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение с чрезвычайно малой длиной волны

* < 10-10м и вследствие этого — ярко выраженными корпускулярными свойствами, т. е. является потоком частиц —  –квантов (фотонов).
* В 1899 г Эрнест Резерфорд обнаружил неоднородность излучения. Исследуя излучение радия в магнитном поле, он обнаружил, что поток радиоактивного излучения имеет сложную структуру: состоит из трех самостоятельных потоков, названных α-, β- и γ-лучами. При дальнейших исследованиях оказалось, что α-лучи представляют из себя потоки ядер атомов гелия, β-лучи – потоки быстрых электронов, а γ-лучи есть электромагнитные волны с малой длиной волны.
* - Но эти потоки различались еще и своими проникающими способностями.
* -Что же происходит с веществом при радиоактивном излучении? В 1902 году Резерфорд и его сотрудник Содди, проведя опыты с торием, указывают на то, что вещество должно испытывать какие-то изменения. Превращения должны испытывать сами атомы и сопровождаться превращением атомов одного химического элемента в атомы другого химического элемента с испусканием различных частиц.
* Например, радий превращался в радон, отличающийся от исходного вещества и физическими, и химическими свойствами

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Физические свойства | Химические свойства | Агрегатное состояние | Масса ядра | Заряд ядра | Число электронов |
| Металл | **Радий** | Твердое | 226 | 88 | 88 |
| Инертный газ | **Радон** | газ | 222 | 86 | 86 |

* - Превращение атомных ядер часто сопровождается испусканием α-, β-лучей. Если одним из продуктов радиоактивного превращения является ядро атома гелия, то такую реакцию называют α-распадом, если же – электрон, то β-распадом.
* Эти два распада подчиняются правилам смещения, которые впервые сформулировал английский ученый Ф.Содди. Давайте посмотрим, как выглядят эти реакции.
* 1. При α-распаде ядро теряет положительный заряд 2e и его масса убывает на 4 а.е.м. В результате α-распада элемент смещается на две клетки к началу периодической системы Менделеева:
* 2. При β-распаде из ядра вылетает электрон, что увеличивает заряд ядра на 1е, масса же остается почти неизменной. В результате β-распада элемент смещается на одну клетку к концу периодической таблицы Менделеева.
* 3. Кроме альфа- и бета-распадов радиоактивность сопровождается гамма-излучением. При этом из ядра вылетает фотон.
* γ-излучение – не сопровождается изменением заряда; масса же ядра меняется ничтожно мало. (Слайд 33-34)
* Решить задачи:
* ВАРИАНТ 1.
* 1. Написать реакцию распада магния 22 12Mg .
* 2. Написать реакцию распада натрия 2211Na .
* -----------------------------------
* ВАРИАНТ 2.
* 1. Написать реакцию распада урана 23592U.
* 2. Написать реакцию распада плутония 23994Pu .
* -----------------------------------
* ВАРИАНТ 3.
* 1. Написать реакцию распада радия 22688Ra.
* 2. Написать реакцию распада свинца 20982Pb.
* -----------------------------------
* ВАРИАНТ 4.
* 1. Написать реакцию распада серебра 10747Аg.
* 2. Написать реакцию распада кюрия 24796Cm .
* ------------------------------
* ВАРИАНТ 5.
* 1. В результате какого радиоактивного распада натрий
* 2211Na превращается в магний 2211Mg?
* 2. В результате какого радиоактивного распада плутоний 23994Pu превращается в уран 23592U?

* Закон радиоактивного распада носит статистический характер. Вывод формулы закона N0=N2- t/Т, N0- исходное число ядер, N- число не распавшихся ядер, t- время распада, T- период полураспада.
* В развитии знаний о “микромире”, в частности в изучении явлений радиоактивности, исключительную роль сыграли приборы, позволяющие регистрировать ничтожное действие одной-единственной частицы атомных размеров.
* В настоящее время используется много различных методов регистрации заряженных частиц . В зависимости от целей эксперимента и условий, в которых он проводится, применяются следующие методы регистрации частиц:

**Методы регистрации элементарных частиц**

**1.     Сцинтилляционные счетчики**

Первоначально для регистрации элементарных частиц использовались люминесцентные экраны – экраны, покрытые специальным веществом, люминофором, способным преобразовывать поглощаемую ими энергию в световое излучение (люминесцировать). Элементарная частица при попадании в такой экран дает слабую вспышку, настолько слабую, что наблюдать ее можно только в полной темноте. Необходимо было иметь изрядные терпение и внимание, чтобы, сидя в полной темноте, часами подсчитывать количество замеченных вспышек.

В современном сцинтилляционном счетчике подсчет вспышек производится автоматически. Счетчик состоит из сцинтиллятора, фотоумножителя и электронных устройств для усиления и подсчета импульсов.

Сцинтиллятор преобразует энергию частицы в кванты видимого света.

Кванты света попадают в фотоумножитель, который преобразует их в импульсы тока.

Импульсы усиливаются электрической схемой и автоматически сосчитываются.

**2.     Химические методы**

Химические методы основаны на том, что ядерные излучения являются катализаторами некоторых химических реакций, то есть ускоряют или создают возможность их протекания.

**3.     Калориметрические методы**

В калориметрических методах регистрируют количество теплоты, которая выделяется при поглощении излучения веществом. Один грамм радия, например, выделяет в час примерно 585 дж. тепла.

**4.     Методы, основанные на применении эффекта Черенкова**

Ничто в природе не может двигаться быстрее света. Но когда мы так говорим, мы имеем в виду движение света в вакууме. В веществе свет распространяется со скоростью , где *с* – скорость света в вакууме, а *n* – показатель преломления вещества. Следовательно, в веществе свет движется медленнее, чем в вакууме. Элементарная частица, двигаясь в веществе, может превысить скорость света в этом веществе, не превосходя при этом скорость света в вакууме. В этом случае возникает излучение, которое открыл в свое время Черенков. Излучение Черенкова регистрируется фотоумножителями так же, как и в сцинтилляционном методе. Метод позволяет регистрировать только быстрые, то есть обладающие высокими энергиями, элементарные частицы.

Следующие методы не только позволяют зарегистрировать элементарную частицу, но и увидеть ее след.

**5.     Камера Вильсона**

Изобретена Чарльзом Вильсоном в 1912 г., а в 1927 г. он получил за нее Нобелевскую премию. Камера Вильсона – это очень сложное инженерное сооружение. Мы приводим только упрощенную схему.



Рабочий объем камеры Вильсона заполнен газом и содержит в себе пар воды или спирта. При быстром перемещении поршня вниз газ резко охлаждается и пар становится перенасыщенным. Когда в этом пространстве пролетает частица, создающая на своем пути ионы, то на этих ионах образуются капельки  сконденсировавшегося пара. В камере возникает след траектории частицы (трек) в виде узкой полоски капелек тумана. При сильном боковом освещении трек можно видеть и сфотографировать.

**6.     Пузырьковая камера** (изобретена Глезером в 1952 г.)

Пузырьковая камера действует аналогично камере Вильсона. Только в качестве рабочего тела используется не переохлажденный пар, а перегретая жидкость (пропан, жидкий водород, азот, эфир, ксенон, фреон...). Перегретая жидкость, так же как и переохлажденный пар, находится в неустойчивом состоянии. Пролетающая через такую жидкость частица образует ионы, на которых сразу же образуются пузырьки. Жидкостная пузырьковая камера эффективнее газовой камеры Вильсона. Физикам ведь важно не только наблюдать трек пролетевшей частицы. Важно, чтобы в пределах области наблюдения частица столкнулась с другой частицей. Картина взаимодействия частиц гораздо более информативна. Пролетая через более плотную жидкость, в которой высокая концентрация протонов и электронов, частица имеет гораздо больше шансов испытать столкновение.

**7.     Эмульсионная камера**

Впервые использовалась советскими физиками Мысовским и Ждановым. Фотографическая эмульсия изготавливается на основе желатины. Продвигаясь в плотной желатине, элементарная частица подвергается частым столкновениям. За счет этого путь частицы в эмульсии часто очень короткий и его после проявления фотоэмульсии изучают под микроскопом.

**8.     Искровая камера (изобретатель Краншау)**



В камере **А** расположена система сетчатых электродов. На эти электроды подается высокое напряжение с блока питания **Б**. Когда через камеру пролетает элементарная частица **В**, она создает ионизированный след. По этому следу проскакивает искра, которая и делает видимым трек частицы.

**9.     Стриммерная камера**

Стриммерная камера аналогична искровой, только расстояние между электродами больше (до полуметра). Напряжение на электроды подается на очень короткое время с таким расчетом, чтобы настоящая искра не успела бы развиться. Возникнуть успевают только зачатки искры – стриммеры.

**10.            Счетчик Гейгера**

Счётчик Гейгера представляет собой, как правило, цилиндрический катод, вдоль оси, которого натянута проволока – анод. Система заполнена газовой смесью.

При прохождении через счётчик заряженная частица ионизирует газ. Образующиеся электроны, двигаясь к положительному электроду - нити, попадая в область сильного электрического поля, ускоряются и в свою очередь ионизуют молекулы газа, что приводит к коронному разряду. Амплитуда сигнала достигает нескольких вольт и легко регистрируется.

Счётчик Гейгера регистрирует факт прохождения частицы через счётчик, но не позволяет измерить энергию частицы.

|  |
| --- |
|  |

Как известно, все в мире состоит из молекул, которые представляют собой сложные комплексы взаимодействующих атомов. Молекулы - это наи-меньшие частицы вещества, сохраняющие его свойства. В состав молекул входят атомы различных химических элементов.

Химические элементы состоят из атомов одного типа. Атом, мельчай-шая частица химического элемента, состоит из "тяжелого" ядра и вращаю-щихся вокруг электронов (см. рис. 10.1).



Рис. 10.1.

Строение атома. 1 – ядро атома; 2 – электроны; 3 – орбита движения электрона.

Ядра атомов образованы совокупностью положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов. Эти частицы, называемые нуклонами, удерживаются в ядрах короткодействующими силами притяжения, возника-ющими за счет обменов мезонами, частицами меньшей массы (см. рис. 10.2).

Ядро элемента X обозначают как  Х или X-A, например, уран U-235 –  U, где Z - заряд ядра, равный числу протонов, определяющий атомный номер ядра, A - массовое число ядра, равное суммарному числу протонов и нейтронов.



Рис. 10.2. Строение ядра гелия.

n – нейтрон; р – протон; p+ - мезон.

Ядра элементов с одинаковым числом протонов, но разным числом нейтронов называются изотопами (например, уран имеет два изотопа U-235 и U-238); ядра при n = const, z = var – изобарами.

Ядра водорода, протоны, а также нейтроны, электроны (бета-частицы) и одиночные ядра гелия (называемые альфа-частицами), могут существовать автономно вне ядерных структур. Такие ядра или иначе элементарные час-тицы, двигаясь в пространстве и приближаясь к ядрам на расстояния порядка поперечных размеров ядер, могут взаимодействовать с ядрами, как говорят участвовать в реакции. При этом частицы могут захватываться ядрами, либо после столкновения - менять направление движения, отдавать ядру часть кинетической энергии. Такие акты взаимодействия называются ядерными реакциями. Реакция без проникновения внутрь ядра называется упругим рассеянием.

После захвата частицы составное ядро находится в возбужденном со-стоянии. "Освободиться" от возбуждения ядро может несколькими способа-ми - испустить какую-либо другую частицу и гамма-квант, либо разделиться на две неравные части. Соответственно конечным результатам различают реакции - захвата, неупругого рассеяния, деления, ядерного превращения с испусканием протона или альфа-частицы.

Дополнительная энергия, освобождаемая при ядерных превращениях, часто имеет вид потоков гамма-квантов.

Вероятность реакции характеризуется величиной "поперечного сече-ния" реакции данного типа s (вероятность захвата нейтрона с последующим возбуждением ядра). Поперечное сечение реакции данного типа s является количественной характеристикой ядерной реакции, которая характеризует взаимодействие нейтрона со всеми ядрами, находящимися в 1 см3 . Имеют место сечения деления, радиационного захвата, упругого и не упругого рассеивания. Эти сечения называют парциальными. Полное эффективное сечение взаимодействия нейтронов с ядром равно парциальных сумме всех возможных (при данной энергии нейтрона) реакцией. Сумма сечений деле-ния и радиационного захвата называется сечением поглощения.

Важной разновидностью радиоактивных превращений является т.н. спонтанное деление тяжелых ядер, открытое Флеровым и Петржаком в 1942 году. Радиоактивный распад это процесс статистический, т.е. управляемый вероятностными законами.

Период полураспада Т1/2 - время, в течение которого количество вещес-тва за счет радиоактивного распада уменьшается в два раза.

Интенсивность радиоактивного распада измеряется в единицах, назы-ваемых "беккерель" (1 Бк = 1 распад/1 сек). Важная единица интенсивного радиоактивного распада - кюри (1 кюри = 3,7·1010 Бк = 37 ГБк)

Деление тяжелых ядер происходит при захвате нейтронов. При этом испускаются новые частицы и освобождается энергия связи ядра, передава-емая осколкам деления (см. рис. 10.3). Это фундаментальное явление было открыто в конце 30-ых годов немецкими учеными Ганом и Штрасманом, что заложило основу для практического использования ядерной энергии.



Рис. 10.3.

Примерная схема деления ядра атома.

Ядра тяжелых элементов - урана, плутония и некоторых других интен-сивно поглощают тепловые нейтроны. После акта захвата нейтрона, тяжелое ядро с вероятностью ~0,8 делится на две неравные по массе части, называ-емые осколками или продуктами деления. При этом испускаются - быстрые нейтроны (в среднем около 2,5 нейтронов на каждый акт деления), отрица-тельно заряженные бета-частиц и нейтральные гамма-кванты, а энергия связи частиц в ядре преобразуется в кинетическую энергию осколков деления, нейтронов и других частиц. Эта энергия затем расходуется на тепловое воз-буждение составляющих вещество атомов и молекул, т.е. на разогревание окружающего вещества.

После акта деления ядер рожденные при делении осколки ядер, будучи нестабильными, претерпевают ряд последовательных радиоактивных превра-щений и с некоторым запаздыванием испускают "запаздывающие" нейтроны, большое число альфа, бета и гамма-частиц. С другой стороны некоторые ос-колки обладают способностью интенсивно поглощать нейтроны.

При создании определенных условий в процессе распада ядра атома может быть вызвана *цепная реакция деления*. Рассмотрим механизм цепной реакции деления. При делении тяжелых ядер под действием нейтронов воз-никают новые нейтроны. Например, при каждом делении ядра урана U-235 в среднем возникает 2,4 нейтрона. Часть этих нейтронов снова может вызвать деление ядер. Допустим, что в новую реакцию вступают в среднем 2 нейтро-на. Тогда в *k*-м “поколении” из одного нейтрона в среде образуются 2*k* но-вых. Такой лавинообразный процесс и называется цепной реакцией.

Цепная реакция деления идет в среде, в которой происходит процесс размножения нейтронов. Такая среда называется *активной зоной.* Важней-шей физической величиной, характеризующей интенсивность размножения нейтронов, является коэффициент размножения нейтронов в среде *k*. Коэффициент размножения равен отношению количества нейтронов в одном поколении к их количеству в предыдущем поколении. Индекс указывает, что речь идет об идеальной среде бесконечных размеров. Аналогично величине *k*определяется коэффициент размножения нейтронов в физической сис-теме *k*. Коэффициент *k*является характеристикой конкретной установки.

В делящейся среде конечных размеров часть нейтронов будет уходить из активной зоны наружу. Поэтому коэффициент *k* зависит еще от вероятнос-ти *Р* для нейтрона не уйти из активной зоны. По определению

*k* =*k*· *P*.

Величина *Р* зависит от состава активной зоны, ее размеров, формы, а также от того, в какой степени окружающее активную зону вещество отражает нейтроны.

С возможностью ухода нейтронов за пределы активной зоны связаны важные понятия *критической массы и критических размеров*. *Критическим размером* называется размер активной зоны, при котором *k* = 1. *Критической массой* называется масса активной зоны критических размеров. Очевидно, что при массе ниже критической цепная реакция не идет, даже если *k*> 1. Наоборот, заметное превышение массы над критической ведет к неуправля-емой реакции – взрыв.

Если в первом поколении имеется *N* нейтронов, то в *n*-м поколении их будет *N·k·n*. Поэтому при *k* = 1 цепная реакция идет стационарно, при *k* < 1 реакция гаснет, а при *k* > 1 интенсивность реакции нарастает. При *k* = 1 ре-жим реакции называется критическим, при *k*> 1 – надкритическим и при *k* < 1 – подкритическим.

Время жизни одного поколения нейтронов t сильно зависит от свойств среды и имеет порядок от 10–4 до 10–8 с. Из-за малости этого времени для осуществления управляемой цепной реакции надо с большой точностью под-держивать равенство *k* = 1, так как, скажем, при *k* = 1.01 система почти мгно-венно взорвется. Посмотрим, какими факторами определяются коэффициен-ты *k*и *k*.

Первой величиной, определяющей *k*(или *k*), является среднее число нейтронов n, испускаемых в одном акте деления. Число зависит от вида горючего и от энергии падающего нейтрона. Возникшие при делении нейтроны замедляются, диффундируют на некоторое расстояние и поглощаются либо с делением, либо без него. В зависимости от свойств среды нейтроны успевают до поглощения замедлиться до различных энергий.

При наличии хорошего замедлителя основная масса нейтронов успевает замедлиться до тепловых энергий порядка 0,025 эВ. В этом случае *цепная реакция* называется *медленной*, или, что тоже самое, *тепловой*. При отсутствии специального замедлителя нейтроны успевают замедлиться лишь до энергий 0,1 – 0,4 МэВ, так как все делящиеся изотопы – тяжелые и поэтому замедляют плохо. Соответствующие цепные реакции называются *быстрыми* (подчеркнем, что эпитеты “быстрый” и “медленный” характери-зуют скорость нейтронов, а не скорость реакции). Цепные реакции, в кото-рых нейтроны замедляются до энергий от десятков до одного кэВ, называют-ся промежуточными.

При столкновении нейтрона с тяжелым ядром всегда возможен радиа-ционный захват нейтрона (*n*,). Этот процесс будет конкурировать с делением и тем самым уменьшать коэффициент размножения. Отсюда вытекает, что второй физической величиной, влияющей на коэффициенты*k*, *k*, является вероятность деления при захвате нейтрона ядром делящегося изотопа. Для одновременного учета как числа нейтронов на акт деления, так и вероятности радиационного захвата вводится коэффициент h, равный среднему числу вторичных нейтронов на один захват нейтрона делящимся ядром.

Цепная реакция может идти только при h > 1. Качество горючего тем выше, чем больше значение h. Качество ядерного горючего определяется его доступностью и коэффициентом h. В природе встречаются только три изотопа, которые могут служить ядерным топливом или сырьем для его получения. Это изотоп тория 232-Th и изотопы урана 238-U и 235-U. Из них **первые два цепной реакции не дают**, но могут быть переработаны в изотопы, на которых реакция идет. Изотоп 235-U сам дает цепную реакцию. В земной коре тория в несколько раз больше, чем урана. Природный торий практически состоит только из одного изотопа 232-Th. Природный уран в основном состоит из изотопа 238U и только на **0,7 % из изотопа 235-U**.

На практике крайне важен вопрос об осуществимости цепной реакции на естественной смеси изотопов урана, в которой на одно ядро 235-U прихо-дится 140 ядер 238-U. Расчеты показали, что цепная **реакция на медленных нейтронах**в принципе возможна на естественном уране. В принципе, потому что для реального осуществления цепной реакции надо уметь замедлять ней-троны с малыми потерями.

|  |
| --- |
|  |

**На быстрых нейтронах** цепная реакция в естественной смеси (235-U + 238-U) идти не может. Экспериментально установлено, что для чистого ме-таллического урана коэффициент размножения достигает значения единицы при обогащении 5,56 %. Практически оказывается, что реакцию на быстрых нейтронах можно поддерживать лишь в обогащенной смеси, содержащей не меньше **15 %** изотопа 235-U.

Естественную смесь изотопов урана обогащают изотопом 235-U. Обо-гащение является сложным и дорогостоящим процессом из-за того, что химические свойства обоих изотопов почти одинаковы. Приходится пользо-ваться небольшими различиями в скоростях химических реакций, диффузии и др., возникающими вследствие различия масс изотопов. Цепную реакцию на 235-U практически всегда осуществляют в среде с большим содержанием 238-U. Часто используется естественная смесь изотопов, для которой h = 1,32 в области тепловых нейтронов, так как 238-U также полезен. Изотоп 238-U делится нейтронами с энергией выше 1 МэВ. Это деление приводит к неболь-шому дополнительному размножению нейтронов.

Сравним цепные реакции деления на тепловых и быстрых нейтронах.

У тепловых нейтронов сечения захвата (s) велики и сильно меняются при переходе от одного ядра к другому. На ядрах некоторых элементов (на-пример, на кадмии) эти сечения в сотни и более раз превосходят сечения на 235-U. Поэтому к активной зоне установок на тепловых нейтронах предъяв-ляются требования высокой чистоты по отношению к некоторым примесям.

Для быстрых нейтронов все сечения захвата малы и не так уж сильно отличаются друг от друга, так что проблемы высокой чистоты материалов не возникает. Другим преимуществом быстрых реакций является более высокий коэффициент воспроизводства.

Важное отличительное свойство *тепловых реакций* состоит в том, что в активной зоне топливо значительно сильнее разбавлено, т. е. на одно ядро топлива приходится значительно больше не участвующих в делении ядер, чем в быстрой реакции. Например, в тепловой реакции на естественном ура-не на ядро топлива 235-U приходится 140 ядер сырья 238-U, а в быстрой реакции на ядро 235-U может приходиться не более пяти-шести ядер 238-U. Разбавленность топлива в тепловой реакции приводит к тому, что одна и та же энергия в тепловой реакции выделяется в значительно большем объеме вещества, чем в быстрой. Тем самым из активной зоны тепловой реакции легче отводить тепло, что позволяет осуществлять эту реакцию с большей интенсивностью, чем быструю.

Время жизни одного поколения нейтронов для *быстрой реакции* на несколько порядков меньше, чем для тепловой. Поэтому скорость протека-ния быстрой реакции может заметно измениться через очень короткое время после изменения физических условий в активной зоне. При нормальной работе реактора этот эффект несуществен, поскольку в этом случае режим работы определяется временами жизни запаздывающих, а не мгновенных нейтронов.

Для **осуществления цепной реакции** на медленных нейтронах в ак-тивную зону вводят специальные вещества – **замедлители**, которые превра-щают нейтроны деления в тепловые. На практике цепная реакция на медлен-ных нейтронах осуществляется на естественном или слегка обогащенном изотопом 235-U уране. Присутствие большого количества изотопа 238-U в активной зоне усложняет процесс замедления и делает необходимым предъявление высоких требований к качеству замедлителя. Жизнь одного поколения нейтронов в активной зоне с замедлителем приближенно можно разбить на две стадии: замедление до тепловых энергий и диффузия с тепловыми скоростями до поглощения.

На рис. 10.4 показана схема цепной реакции с замедлителем.

Наилучшими элементами-замедлителями являются *водород, дейтерий, бериллий, углерод*. Поэтому используемые на практике замедлители в основ-ном сводятся к тяжелой воде, бериллию, окиси бериллия, графиту, а также обычной воде, которая замедляет нейтроны не хуже тяжелой воды, но погло-щает их в гораздо большем количестве. Замедлитель должен быть хорошо очищен.



Рис. 10.4. Схема цепной реакции в среде с замедлителем

Активная зона, состоящая из однородной смеси урана и замедлителя, называется гомогенной, а система их чередующихся блоков урана и замедлителя называется гетерогенной (рис. 10.5).



Рис. 10.5. Схема расположения ядерного горючего и замедлителя в активной зоне гетерогенной системы. 1 – блоки ядерного горючего; 2 – замедлитель.

Качественно гетерогенная система отличается тем, что в ней образовавшийся в уране быстрый нейтрон успевает уйти в замедлитель, не достигнув резонансных энергий. Дальнейшее замедление идет уже в чистом замедлителе. С другой стороны, наоборот, став в замедлителе тепловым, нейтрон должен для участия в цепной реакции продиффундировать, не поглотившись в чистом замедлителе, до его границы.

Для практического осуществления стационарно текущей цепной реакции надо уметь этой реакцией управлять. Это управление существенно упрощается благодаря вылету запаздывающих нейтронов при делении.

Захват нейтронов не участвующими в цепной реакции ядрами снижает интенсивность реакции, но может быть полезным в отношении образования новых делящихся изотопов. Так, при поглощении нейтронов изотопов урана 238-U и тория 232-Th образуются (через два последовательных b - распада) изотопы плутония 239-Pu и урана 233-U, являющиеся ядерным горючим:

 ,

 .

Эти две реакции открывают реальную возможность *воспроизводства ядерного горючего* в процессе течения цепной реакции. В идеальном случае, т. е. при отсутствии ненужных потерь нейтронов, на воспроизводство может идти в среднем – 1 нейтронов на каждый акт поглощения нейтрона ядром горючего.

Долговременная стратегия развития "большой" атомной энергетики предполагает переход к прогрессивной технологии замкнутого топливного цикла, основанной на использовании так называемых *быстрых* ядерных реакторов и переработке топлива, выгруженного из реакторов атомных станций, для последующего возврата в энергетический цикл невыгоревших и вновь образовавшихся делящихся изотопов.

В "быстром" реакторе бoльшую часть актов деления ядерного топлива вызывают быстрые нейтроны с энергией более 0,1 МэВ (отсюда и название "быстрый" реактор). При этом в реакторе происходит деление не только очень редкого изотопа U-235, но и U-238 - основной составляющей природ-ного урана (~99,3%), вероятность деления которого в спектре нейтронов "теплового реактора" очень низка. Принципиально важно, что в "быстром" реакторе при каждом акте деления ядер образуется большее количество нейтронов, которые могут быть использованы для интенсивного превраще-ния U-238 в делящийся изотоп плутония Pu-239. Это превращение происхо-дит в результате ядерной реакции:



Нейтронно-физические особенности быстрого реактора таковы, что процесс образования в нем плутония может иметь характер расширенного воспроизводства, когда в реакторе образуется вторичного плутония больше, чем выгорает первоначально загруженного. Процесс образования избыточ-ного количества делящихся изотопов в ядерном реакторе получил название **"бридинг" (от англ. breed - размножать)**. С этим термином связано приня-тое в мире название быстрых реакторов с плутониевым топливом - реакторы-**бридеры**, или размножители.

Практическая реализация процесса бридинга имеет принципиальное значение для будущего атомной энергетики. Дело в том, что такой процесс дает возможность практически полностью использовать природный уран и тем самым почти в сто раз увеличить "выход" энергии из каждой тонны добытого природного урана. Это открывает путь к практически неисчерпа-емым топливным ресурсам атомной энергетики на длительную историчес-кую перспективу. Поэтому общепризнано, что использование бридеров - необходимое условие создания и функционирования атомной энергетики большого масштаба.

После того как в конце 1940-х годов была осознана принципиальная возможность создания быстрых реакторов-размножителей, в мире начались интенсивные исследования их нейтронно-физических характеристик и поиски соответствующих инженерных решений. В нашей стране инициа-тором исследований и разработок по быстрым реакторам стал академик Украинской академии наук Александр Ильич Лейпунский, который до своей кончины в 1972 году был научным руководителем Обнинского Физико-энер-гетического института (ФЭИ).

|  |
| --- |
|  |

Реактором называется устройство, в котором поддерживается управ-ляемая цепная реакция деления. При работе реактора происходит выделение тепла за счет экзотермичности реакции деления. Основной характеристикой реактора является его мощность – количество тепловой энергии, выделяю-щейся в единицу времени. Мощность реактора измеряете в мегаваттах (106 Вт). Мощность в 1 МВт соответствует цепной реакции, в которой происходит 3,1016 актов деления в секунду. Имеется большое количество разных видов реакторов. Одна из типичных схем теплового реактора изображена на рис. 10.6.



Рис. 10.6. Схема гетерогенного теплового реактора

Основной частью реактора является активная зона, в которой протекает реакция и тем самым выделяется энергия. В тепловых реакторах и в реакторах на промежуточных нейтронах активная зона состоит из горючего, как правило, смешанного с неделящимся изотопом (обычно 238-U) и из замедлителя. В активной зоне реакторов на быстрых нейтронах замедлителя нет.

Объем активной зоны варьируется от десятых долей литра в некоторых реакторах на быстрых нейтронах до десятков кубометров в больших тепловых реакторах. Для уменьшения утечки нейтронов активной зоне придают сферическую или близкую к сферической форму (например, цилиндр с высо-той, примерно равной диаметру, или куб).

В зависимости от относительного расположения горючего и замедлителя **различают гомогенные и гетерогенные реакторы**.

Примером гомогенной активной зоны может служить раствор уранил-сульфатной соли (U2SO4) в обычной или тяжелой воде. Более распростране-ны гетерогенные реакторы. В гетерогенных реакторах активная зона состоит из замедлителя, в который помещаются кассеты, содержащие горючее. По-скольку энергия выделяется именно в этих кассетах, их называют тепло-выделяющими элементами или сокращенно ТВЭЛами. Активная зона с от-ражателем часто заключается в стальной кожух.

***Ответить на вопросы.***

1. Какие возможны процессы взаимодействия атома с фотоном?

2. Какой источник излучения называют лазером?

3. Как используются лазеры в различных областях науки, техники и медицины?

**Тест** «Лазеры. Методы наблюдения и регистрации элементарных частиц.»

Задание № 1

Действие какого прибора для регистрации элементарных частиц основано на ударной ионизации

Выберите один из 4 вариантов ответа:

1)Счетчика Гейгера

2)Пузырьковой камеры

3)Толстослойной фотоэмульсии

4)Камеры Вильсона

Задание № 2

Действие какого прибора для регистрации элементарных частиц основано на конденсации

перенасыщенного пара на ионах с образованием капель воды

Выберите один из 4 вариантов ответа:

1)Счетчика Гейгера

2)Пузырьковой камеры

3)Толстослойной фотоэмульсии

4)Камеры Вильсона

Задание № 3

Можно ли с помощью камеры Вильсона регистрировать незаряженные частицы?

Выберите один из 5 вариантов ответа

1)Можно, если они имеют маленькую массу (электрона)

2)Можно, если они имеют большую массу (нейтроны)

3)Можно, если они имеют маленький импульс

4)Можно, если они имеют большой импульс

5)Нельзя

Задание № 4

Какие частицы входят в состав атомного ядра?

Выберите несколько из 4 вариантов ответа:

1) Электроны

2) Протоны

3) Нейтроны

4) Позитроны

***Теория берётся из любого источника.***

***Задания выполняются в тетрадях, фотографируются и отправляются преподавателю по адресу: kartel.mih@yandex.ru***