**Белорусский государственный университет**

**Факультет радиофизики и компьютерных технологий**

Реферат

на тему

“Деление атомных ядер. Цепная реакция”

**Выполнила:**

Шкурная Мария

**Преподаватель:**

Соловьев С. А.

**Минск, 2024**

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение…………………………………………………………………….….….3

1. Способы получения энергии……………….……..……….……..…………….3

2. Взаимодействие нейтронов с ядерным веществом, реакция деления ядер...4  
3. Жизненный цикл нейтронов..…………………………….………………….....9  
Заключение……………………………………………………………………….11

**ВВЕДЕНИЕ**

Деление атомных ядер — это фундаментальный процесс, лежащий в основе современной ядерной физики и энергетики. Этот процесс представляет собой распад тяжелых ядер атомов (таких как уран-235 или плутоний-239) на более легкие ядра с выделением огромного количества энергии. Механизм деления связан с взаимодействием атомного ядра и нейтрона, которое вызывает цепную реакцию: продукты деления порождают новые нейтроны, способные инициировать дальнейшие акты деления.

Цепная реакция, управляемая в ядерных реакторах, используется для производства электроэнергии, а неконтролируемая цепная реакция лежит в основе действия ядерного оружия. Понимание физических основ и управление этим процессом имеют огромное значение для развития науки, технологии и обеспечения энергетической безопасности.

**1. ОСНОВЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

*Способы получения энергии*

         В наше время, с каждым годом возрастают потребности человечества в энергии. На получение необходимого количества энергии затрачивается примерно 30% производственных усилий человека. Совершенно очевидно, что полный запас энергии в природе в соответствии с законом сохранения энергии не меняется. Поэтому процесс получения энергии представляет собой перевод энергии из связанной (энергия покоя ) в свободную форму (энергию относительного движения тел). Свободная энергия быстро рассеивается в пространстве, поэтому ее можно использовать.

        Необходимо уметь вызывать процессы, которые приводят к убыли массы тел и эквивалентному выигрышу свободной энергии. Конечно, получать энергию можно лишь при условии существования достаточного количества топлива. Пусть микрочастицы вещества топлива находятся в состоянии с энергией E1 и существует другое возможное состояние этих частиц с энергией E2(E1>E2). В принципе есть возможность перехода во второе состояние, но ему препятствует существование энергетического барьера, то есть некоторого необходимого промежуточного состояния с энергией E’(E’>E1). Таким образом процесс сжигания топлива должен быть инициирован некоторым внешним возбуждением.

*Способы организации реакции горения, цепные реакции*

         Существует два способа возбуждения реакции горения топлива. Первый - использование кинетической энергии столкновения частиц (термоядерный процесс). Другой способ состоит в использовании энергии связи присоединяющихся частиц. Для возбуждения такой реакции нужно направлять в топливо активные частицы.

         Достаточно большое количество вещества может испытать превращение лишь при самоподдерживающейся цепной реакции. Цепная реакция обладает следующим важным свойством - акт реакции возбуждается при поглощении частицы, а в результате ее должны появляться вторичные активные частицы.

         При ядерных превращениях носителем цепного процесса может служить нейтрон, поскольку он не имеет электрического заряда и может беспрепятственно сближаться с атомными ядрами. Среди известных ядерных реакций лишь одна обладает свойством цепных реакций. Это реакция деления тяжелых ядер, которые легко возбуждаются нейтроном и дают в среднем 2,5 на акт деления вторичных нейтронов. Основную трудность представляет собой не организация цепной реакции, а получение чистых делящихся веществ. Важной чертой цепных ядерных реакций является тот факт, что их скорости не зависят от температуры среды, что является их главным преимуществом перед процессами с тепловым возбуждением.

**2.  ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕЙТРОНОВ С ЯДЕРНЫМ ВЕЩЕСТВОМ, РЕАКЦИЯ ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР.**

*Общие сведения о ядерных реакциях взаимодействия нейтронов с ядрами*

         В связи с вышесказанным совершенно очевидно, какое значение сегодня имеет использование ядерной энергии. Устройство, предназначенное для организации и поддержания цепной реакции деления ядер с целью получения энергии называется ядерным энергетическим реактором.

В основе работы ядерного реактора лежат процессы взаимодействия нейтронов с ядерным веществом, наиболее важными из которых являются - реакция деления ядер, реакция радиационного захвата (поглощения) и реакция рассеяния.

Ядерные реакции подчиняются законам квантовой механики, поэтому можно говорить лишь о вероятности протекания той или иной из них. Мерой вероятности данного типа реакции является эффективное (микроскопическое) сечение.

*Эффективные сечения ядерных реакций*

         Рассмотрим тонкую пластинку, содержащую Nя ядер, на которую падает поток нейтронов со скоростью v и концентрацией n.

Найдем количество реакций того или иного типа.

         Пусть количество реакций равно R, тогда

         R = j Nя s   (1)

j = n\*v - плотность потока нейтронов, s - микроскопическое сечение взаимодействия. s измеряется в барнах ( 1 б = 10-24 см2 ).

Можно записать уравнение (1) для трех основных ядерных реакций:

         Rf = j Nя sf                 - реакция деления

         Rc = j Nя sc - реакция радиационного захвата

         Rs = j Nя ss              - реакция рассеяния

         stotal = sf + sc+ ss

Микроскопические сечения взаимодействия всех реакций зависят от массового числа ядра и от энергии нейтрона. При этом вид зависимости s(EН) определяется тем, к какой области принадлежит энергия нейтрона EН . В соответствии с этим принято делить область энергий на три части: Область тепловых нейтронов, где E <0,625 эВ; область промежуточных нейтронов или резонансная область, где  0,625 эВ < E < 0.1 МэВ; область быстрых нейтронов, где E > 0.1 МэВ;

*Реакция радиационного захвата и реакция рассеяния*

         Рассмотрим коротко два важных типа ядерных реакций - захвата (поглощения) и рассеяния , а затем перейдем к подробному описанию третьего - реакции деления ядер, которая необходима для поддержания цепной реакции.

*Реакция рассеяния*

         Существует два типа реакций рассеяния: упругое взаимодействие, при котором суммарная кинетическая энергия взаимодействующих нейтрона и ядра не меняется после реакции и неупругое взаимодействие, при котором часть кинетической энергии идет на возбуждение конечного ядра и затем испускается в виде g-кванта.

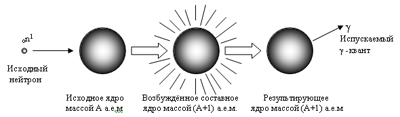


Реакция неупругого рассеяния происходит лишь при определенных значениях энергии нейтрона (Eпор » 0,1 МэВ), в то время как энергия упругого рассеяния возможна всегда.

         Значение реакции рассеяния в ядерной энергетике трудно переоценить, поскольку именно на ней основаны системы замедления нейтронов в реакторе. В качестве веществ-замедлителей обычно используют тяжелую и легкую воду, графит.

*Реакция поглощения (захвата)*

         Данная реакция играет важную роль в физике реактора, поскольку она является конкурирующей по отношению к реакции деления.

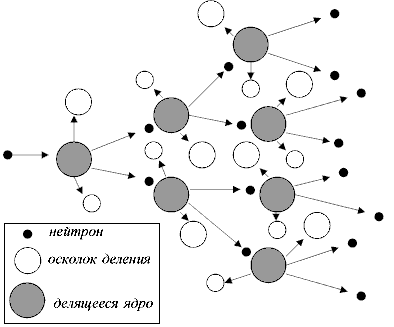


В результате нейтрон выбывает из цепной реакции. sc зависит от энергии нейтрона и от массового числа A. В области тепловых нейтронов сечение подчиняется закону  sc(E) обратно пропорционально скорости нейтрона v (или квадратному корню  из E). При увеличении энергии нейтрона начинается резонансная область, в которой sc имеет множество максимумов и минимумов.

*2.4 Реакция деления ядер*

         Данная реакция наиболее специфична для ЯР. Схематично эту реакцию можно представить так:

*Общая схема реакции деления*

         Под действием нейтрона ядро тяжелого элемента делится на две части (осколка) отношение масс которых обычно (для часто используемых элементов) близко к 95/140. Нуклиды, которые делятся нейтронами - это тяжелые нуклиды. Некоторые из них делятся тепловыми нейтронами:  U235, Pu239, Pu241 (в природе встречается только U235, содержание которого в естественном U238 составляет 0.714%). Другие нуклиды, например, естественный уран, делятся только быстрыми нейтронами. Вообще говоря, процесс не протекает по строгой схеме, поскольку существует много вариантов деления на различные осколки.

*Энергетический баланс реакции деления*

         Рассмотрим энергетический баланс реакции деления.

Пусть Eнач = 0.025 эВ - средняя энергия теплового движения при 200 С. Тогда Eвыдел= 200 МэВ.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Продукт реакции | Вид получаемой энергии | E, МэВ |
| Кинетическая энергия осколков | тепло | 167 |
| Кинетическая энергия g | тепло | 6 |
| Кинетическая энергия n | тепло | 5 |
| Кинетическая энергия b | тепло | 8 |
| Кинетическая энергия u | энергия теряется | 12 |

*Сечение деления.*

         Зависимость sf(E) имеет достаточно сложный вид, поскольку на кривую E-1/2 накладывается много резонансов. Если бы характер этой зависимости описывался формулой sf(E) = E-1/2, то график зависимости f(E) = sf E1/2 для U235 в области тепловых нейтронов, изображенный на рис. 1 имел вид прямой, параллельной оси абсцисс. Однако на практике эта зависимость имеет приведенный на рис. 1 вид, с резонансом в точке E = 0,3 эВ.

         На рис. 2 приведена схематичная зависимость sf и stotal от E в случае когда деление ядра элемента возможно и тепловыми нейтронами. На рис. 3 приведена зависимость сечения деления для U238, из которой видно, что деление этого ядра возможно только быстрыми нейтронами  (Eпор > 1). Сечения деления ядер нейтронами различных энергий можно определить по специальным таблицам.

*Образование нейтронов*

         Как видно из приведенной выше схемы, при реакции деления кроме новых ядер могут появляться g-кванты, b-частицы распада, g-кванты распада, нейтроны деления и нейтрино. С точки зрения цепной ядерной реакции наиболее важным является образование нейтронов. Среднее число появившихся в результате реакции деления нейтронов обозначают uf . Эта величина зависит от массового числа делящегося ядра и энергии взаимодействующего с ним нейтрона. образовавшиеся нейтроны обладают различной энергией (обычно от 0,5 до 15 МэВ), что характеризуется спектром нейтронов деления. Для U235 среднее значение энергии нейтронов деления равно 1.93 МэВ.

         В процессе ядерной реакции могут появляться как ядра способствующие поддержанию цепной реакции (те которые испускают запаздывающий нейтрон), так и ядра, оказывающие неблагоприятное воздействие на ее ход (если они обладают большим сечением радиационного захвата).

*Запаздывающие нейтроны*

         Заканчивая рассмотрение реакции деления, нельзя не упомянуть о таком важном явлении как запаздывающие нейтроны. Те нейтроны, которые образуются не непосредственно при делении тяжелых нуклидов (мгновенные нейтроны), а в результате распада осколков называются запаздывающими нейтронами. Характеристики запаздывающих нейтронов зависят от природы осколков. Обычно запаздывающие нейтроны делят на 6 групп по следующим параметрам: T - среднее время жизни осколков, bi - доля запаздывающих нейтронов среди всех нейтронов деления, bi/b - относительная доля запаздывающих нейтронов данной группы, E - кинетическая энергия запаздывающих нейтронов.

         В следующей таблице приведены характеристики запаздывающих нейтронов при делении U235

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № группы | T, сек. | bi | bi/b , % | E, МэВ |
| 1 | 80.0 | 0.21 | 3.3 | 0.25 |
| 2 | 32.8 | 1.40 | 21.9 | 0.56 |
| 3 | 9.0 | 1.26 | 19.6 | 0.43 |
| 4 | 3.3 | 2.52 | 39.5 | 0.62 |
| 5 | 0.88 | 0.74 | 11.5 | 0.42 |
| 6 | 0.33 | 0.27 | 4.2 | - |

Nзап / (Nзап + Nмгн) = b = 0.0065;  Tзап » 13 сек.; Tмгн » 0.001 сек.

**3. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ НЕЙТРОНОВ**

*Возможность цепной реакции*

         В результате деления ядра появляется в среднем 2.5 нейтрона. Поэтому можно организовать цепную реакцию деления, при которой новые нейтроны, в свою очередь активируют реакцию деления ядер топлива. Однако помимо реакции деления всегда присутствуют конкурирующая реакция радиационного захвата и утечка нейтронов из активной зоны реактора. В состав АЗ всегда входят теплоноситель, конструкционные материалы и замедлитель, которые увеличивают захват нейтронов.

         Таким образом мы приходим к необходимости изучения того, при каких условиях возможна цепная реакция деления в ЯР на тепловых нейтронах (именно такие реакторы обычно применяются для энергетических целей). Нужно отметить, что мы будем рассматривать реакторы, использующие естественный U238,обогащенный U235. Для простоты будем считать, что активная зона реактора - бесконечная и гомогенная.

*Основные характеристики цепной реакции*

         Рассмотрим соотношения, характеризующие протекание цепной реакции деления.

*Коэффициент размножения на быстрых нейтронах*

         Пусть в среде есть N быстрых нейтронов, они будут взаимодействовать с ядрами среды, в том числе и с ядрами U238, те из них которые имеют энергию выше порога деления (1 МэВ) могут вызывать деление урана и образование новых быстрых нейтронов. При этом их энергия будет меньше порога деления.

         Коэффициент размножения на быстрых нейтронах m - число нейтронов ушедших под порог деления U238 на один быстрый нейтрон (появившийся в результате деления ядер U235).

         Величина m тем больше, чем больше доля U238 в топливе. Можно оценить, что mmax = 1.35 (если доля U238 равна 100%). Для тепловых реакторов m = 1.01 - 1.03.

*Вероятность избежать радиационного захвата*

         Пусть в среде есть N нейтронов, энергия которых меньше порога деления U238. За счет рассеяния но ядрах среды они теряют свою энергию и попадают в область энергии, в которой находятся гигантские резонансы сечения захвата U238. Введем величину j - вероятность избежать радиационного захвата.

         j тем больше, чем быстрее нейтронам в процессе замедления удастся преодолеть резонансную область. j уменьшается при увеличении доли ядер U238 в среде. В гомогенном реакторе j » 0.65, а в гетерогенном j » 0.93.

*Коэффициент теплового использования*

         Пусть в среде есть N тепловых нейтронов, тогда в процессе диффузии часть из них захватится в топливе. Обозначим долю захваченных в топливе нейтронов q. Ясно, что коэффициент теплового использования можно увеличить, используя гетерогенную структуру активной зоны реактора.

*Количество испускаемых U235 быстрых нейтронов*

         Пусть в топливе поглотилось N тепловых нейтронов. Ясно, что не всякое поглощение приводит к делению и испусканию новых быстрых нейтронов. Введем величину uтэф равную количеству вторичных нейтронов деления на один тепловой нейтрон, поглощенный в топливе. Ясно, что uтэф тем больше, чем выше доля U235 в топливе.

*Жизненный цикл нейтронов*

         Рассмотрим жизненный цикл нейтронов в тепловом ЯР, активная зона которого бесконечна и гомогенна.

         Пусть на некотором этапе цепной реакции в рассматриваемой среде присутствует N1 быстрых нейтронов деления 1 поколения. За счет взаимодействия с ядрами U238 под порог деления этих ядер (1 МэВ) уйдет m N1 нейтронов (m - коэффициент размножения на быстрых нейтронах).

         В результате рассеяния на ядрах среды эти нейтроны будут замедляться и попадут в область промежуточных энергий. Миновать эту область, избежав поглощения ядрами U238 удастся m j N1 нейтронам (j - вероятность избежать радиационного захвата).

         Часть из этих нейтронов, которые теперь стали тепловыми, захватится в топливе. Количество захваченных в топливе нейтронов будет равно  m j q N1 (q - коэффициент теплового использования).

         Некоторые из нейтронов, захваченных в топливе инициируют деление ядер U235 и появление новых быстрых нейтронов. Количество нейтронов второго поколения N2 = uтэф m j q N1.

         Можно вывести коэффициент размножения нейтронов в бесконечной гомогенной среде:

K¥ = Ni+1/Ni = uтэф m j q  - формула 4-х сомножителей.

Для конечных сред можно ввести коэффициент

Kэф = uтэф m j q P, где P - вероятность избежать утечки.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Деление атомных ядер и цепные реакции играют важнейшую роль в развитии науки и технологий. Несмотря на очевидные преимущества, такие как высокая энергоёмкость и экологическая чистота при нормальной эксплуатации, использование ядерной энергии требует строгого контроля и обеспечения безопасности.

1. Иванов А. П., Сидоров В. К. Основы ядерной физики. М.: Наука, 2018.
2. Петров К. М. Физика атомного ядра и элементарных частиц. СПб.: Политехника, 2020.
3. https://www.all-fizika.com/article/index.php?id\_article=2211
4. http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e180.htm