

Министерство образования и молодежной политики Свердловской области
Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение
Свердловской области
«Уральский колледж технологий и предпринимательства»
(ГАПОУ СО «УКТП»)

Преподаватель (1КК) ЯБАБАРОВА АЛЁНА МУХАМЕДХАТЯМОВНА
Обратная связь осуществляется: эл.почта: jababarova2016@yandex.ru

Дисциплина _____ Физика _____

Тема: Ядерная физика (6 часов).

Вид учебного занятия: изучение нового материала.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ЗАНЯТИЯ

Уважаемые студенты! Изучите материал лекции, в рабочей тетради решите задачи.

Атомная и ядерная физика

Конспект

Ядро атома состоит из нуклонов:

протонов

нейтронов

Любой элемент таблицы Менделеева можно представить: ${}_Z^AX$

Z - это

порядковый номер элемента в таблице Менделеева;

число протонов в ядре (*заряд ядра атома равен произведению элементарного электрического заряда e на его порядковый номер Z : $q=eZ$*);

число электронов в атоме (*атом в целом электрически нейтрален*)

A - это

массовое число (в таблице Менделеева);

общее число нуклонов в ядре: $A = Z + N$, где N - *число нейтронов в ядре*.

Ядерные реакции - превращения одних атомных ядер в другие при взаимодействии их с элементарными частицами или друг с другом.

Радиоактивность - способность атомных ядер некоторых элементов спонтанно распадаться, превращаясь в ядра другого элемента.

Закон сохранения зарядового числа (закон сохранения заряда): сумма нижних индексов частиц, вступивших в ядерную реакцию, равна сумме нижних индексов частиц, полученных в результате реакции.

Закон сохранения массового числа (закон сохранения массы): сумма верхних индексов частиц, вступивших в реакцию, равна сумме верхних индексов частиц, полученных в результате реакции.

Дефект массы ядра $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_x$

Энергия связи атомного ядра $\Delta E_{св} = \Delta mc^2$

Энергия ядерной реакции $\Delta E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ}$

Альфа-частицы (α) - это ядра атома гелия: ${}_2^4\text{He}$.

Бета-частицы (β) - это электроны, летящие со скоростью, близкой к скорости света: $v = 0,99c$; ${}_1^0e$.

Гамма-кванты (γ) - жесткое электромагнитное излучение малой длины волны ($\lambda = 10^{-11} : 10^{-12} \text{ м}$)

${}_Z^AX \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{Z-2}^{A-4}Y$ Правило смещения при α -распаде

${}_Z^AX \rightarrow {}_{-1}^0e + {}_{Z+1}^AY$ Правило смещения при β -распаде

Закон радиоактивного распада

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}} \text{ или } N = N_0 e^{-\lambda t},$$

$$\lambda = 2,71828$$

Период полураспада T - время, в течение которого распадается половина наличного числа радиоактивных атомов.

Строение ядра

Уравнение Иваненко - Гейзенберга

$$A = Z + N$$

A – массовое число,

Z – порядковый номер элемента,

N – число нейтронов в ядре

Посмотрите: массовое число A говорит о том, какое количество нуклонов входит в ядро.

Оказалось, что, по таблице Менделеева определяя массовое число химического элемента, мы определяем число нуклонов в ядре атома.

Z , как мы говорили, будет порядковый номер и число протонов в ядре. N в данном случае – это число нейтронов. Таким образом, мы можем из этого уравнения определить число нейтронов, число протонов, зная массовое число и порядковый номер. Здесь необходимо отметить важный момент. Дело в том, что в 1913 году еще один ученый Содди (вы помните, что этот человек работал вместе с Резерфордом) установил интересную вещь. Выяснено было, что существуют химические элементы с абсолютно одинаковыми химическими свойствами, но разным массовым числом. Такие элементы, у которых одинаковые химические свойства, но разное массовое число, стали называть изотопами. Изотопы – это химические элементы с одинаковыми химическими свойствами, но с различной массой атомных ядер.

Еще надо добавить, что у *изотопов разная радиоактивность*.

1

У водорода этих изотопов три. Первый изотоп ${}^1_1\text{H}$ называется протий. Обратите внимание, что порядковый номер ставится внизу, вот это число Z , а сверху пишется массовое число – это число

1

А. Сверху A , внизу Z , и если мы понимаем, что ${}^1_1\text{H}$ это обозначает, что в ядре атома протия самый простой химический элемент, самый распространенный во вселенной. Там всего лишь 1 протон, а нейтронов в этом ядре совсем нет. Есть второй вид водорода – это дейтерий. Наверное, многие слышали такое слово. Обратите внимание: порядковый номер 1, а массовое число равно 2. Так что ядро дейтерия состоит уже из 1 протона и из одного нейтрона. И есть еще один изотоп водорода. Называется тритий. Тритий как раз (порядковый номер первый), а массовое число говорит о том, что в ядре этого изотопа находятся 2 нейтрона.

И еще один элемент – это уран. Совсем другая сторона таблицы Менделеева. Это уже тяжелые элементы. У урана 2 изотопа распространенных. Это уран 235. Порядковый номер 92, а массовое число 235. Сразу можно говорить о том, чем отличается ядро одного элемента от другого. Второй изотоп: тоже порядковый номер 92, а массовое число 238. Очень часто, когда идет речь об изотопах, в частности урана, никогда не говорят порядкового номера. Просто говорят «уран», называют химический элемент и говорят его массовое число – 238. Или уран 235. Мы обсуждаем этот вопрос по той простой причине, что знаем, как сегодня этот химический элемент важен для энергетики нашей страны и вообще мировой энергетики в целом.

Следующий вопрос, который мы должны затронуть, вытекает из сказанного. Как эти частицы, эти нуклоны удерживаются внутри ядра? Мы называли различные химические элементы, изотопы различные, особенно у тяжелых элементов, там, где нуклонов, т.е. протонов и нейтронов, много. Как, каким образом они удерживаются внутри ядра? Мы знаем, что в маленьком ядре расстояния, размеры ядра очень и очень малы, бывает собрано большое количество частиц нуклонов. Как эти нуклоны там так плотно, тесно удерживаются, какими силами? Ведь за счет электростатического отталкивания эти частицы должны очень быстро распадаться, разлетаться. Мы знаем, что разноименные только заряды притягиваются, частицы, заряженные разноименными зарядами. Если частицы заряжены одноименно, понятно, что они должны отталкиваться. Внутри ядра находятся протоны. Они положительно заряжены. Размер ядра очень мал. В этом же ядре находятся еще и нейтроны, значит, должны быть силы, которые удерживают вместе те и другие частицы. Эти самые силы называют ядерными силами.

Ядерные силы – это силы притяжения, действующие между нуклонами. Можно сказать, что у этих сил существуют свои особые свойства.

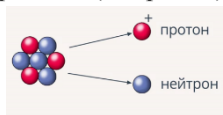
Первое свойство, о котором мы должны сказать, – это то, что ядерные силы должны превосходить силы электростатического отталкивания. И это так, когда удалось их определить, то выяснилось, что они в 100 раз превосходят силы электростатического отталкивания. Еще одно очень важное замечание, что действуют ядерные силы на малом расстоянии. Например, 10^{-15}м – это и есть диаметр ядра, эти силы действуют. Но стоит только увеличиться размеру ядра до 10^{-14} , казалось, совсем немного, то это приводит к тому, что ядро обязательно распадется. На этом расстоянии уже ядерные силы не действуют. А силы электростатического отталкивания продолжают действовать и именно они отвечают за то, что ядро распадается.

Еще можно сказать о ядерных силах то, что они не центральны, т.е. они не действуют вдоль прямой, соединяющей эти частицы. И то, что ядерные силы не зависят от того, обладает частица зарядом или не обладает, потому что в ядро входят и протоны, и нейтроны. Вместе эти частицы находятся. Таким образом, вывод: эти частицы, нуклоны, удерживаются в ядре за счет ядерных сил, и эти силы действуют только в ядре.

Ядерные силы

Вспомним основные положения электростатики, одно из которых гласит, что одноименные заряды отталкиваются. Как мы знаем, в состав любого элемента входят незаряженные нейтроны и

положительно заряженные протоны (см. рис. 1), которые на крайне близких расстояниях испытывают



большие силы отталкивания.

Соответственно, чтобы ядра элементов сохраняли свою целостность, необходимы какие-то силы, которые бы подавляли электрическое отталкивание протонов, такие силы принято называть ядерными.



Стоит отметить, что эти силы на сегодняшний день являются самыми мощными из всех, которые мы знаем. Видимо, это является одной из причин, по которой воздействие данных сил, принято называть **сильным взаимодействием**.

Энергия связи ядра

Чем же в таком случае можно охарактеризовать прочность ядра какого-либо химического элемента? Как известно, прочность любого соединения удобно оценивать исходя из того, какую работу нужно приложить, чтобы его разрушить. Когда вводили понятие «энергия связи», как раз и пользовались аналогичным принципом. Энергия связи ядра определяется величиной той работы, которую необходимо совершить для расщепления ядра на составляющие его нуклоны. Многочисленные эксперименты, проведенные с массами ядер элементов и с массами нуклонов, показывают очень любопытный результат. Выясняется, что масса ядра и сумма масс нуклонов, которые в него входят, оказывается различной. Причем масса ядра всегда меньше суммы масс нуклонов. Изначально этот результат поражает, потому что если купить два яблока массами по 200 грамм каждое и положить в один пакет, то масса их станет 400 грамм, а не, например, 380 грамм. Что же происходит с ядрами химических элементов?

На самом деле никаких противоречий логике в нашем случае нет. К нам на помощь приходит специальная теория относительности, которая была в свое время разработана выдающимся ученым Альбертом Эйнштейном. Одно из основных положений данной теории гласило, что между энергией и массой вещества существует определенная взаимосвязь. Причем как масса может переходить в энергию, так и наоборот. В нашем случае мы и можем наблюдать переход части масс нуклонов в энергию связи ядра. Формула соотношения между массой покоя тела и его энергией покоя выглядит

так: $E_0 = m_0 c^2$, где $c \cong 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$ – скорость света в вакууме. На сегодняшний день это одна из самых известных формул в физике даже для тех, кто ею не особо интересуется. Из данной формулы легко получить взаимосвязь изменения энергии, то есть работы, которую необходимо для этого совершить, и изменения массы тела.

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

Эта формула описывает энергию связи ядра, под Δm понимают разницу между суммарной массой нуклонов и массой ядра элемента – её принято называть **дефектом масс ядра**:

$\Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_{\text{я}})$, где Z – количество протонов в ядре; N – количество нейтронов; m_p – масса покоя протона ($1,007276\ 466812(90)$ а.е.м. или $1,6726485 \cdot 10^{-27}$ кг); m_n – масса покоя нейтрона ($1,00866491600(43)$ а.е.м. или $1,6749543 \cdot 10^{-27}$ кг); $m_{\text{я}}$ – масса ядра;
 $1 \text{ а.е.м.} = 1,660540\ 2(10) \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Вычисление энергии связи в МэВ

Поскольку энергии микромира крайне малы по сравнению с энергиями, которые мы используем в повседневной жизни, использовать для них системную единицу [Дж] крайне неудобно. Специально для этого была введена такая величина, как электронвольт.

Один электронвольт равен работе, которую должно совершить поле при перемещении элементарного заряда между разностью потенциалов 1 В. Величина 1 электронвольта равна значению элементарного заряда в джоулях: **$1 \text{ эВ} \cong 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$** .

Деление ядер урана

В 1938 году немецкими учёными Отто Ганом и Фрицом Штрассманом (см. Рис. 1) было открыто явление деления ядер урана под воздействием медленных нейтронов. Использование именно

нейтронов в данном эксперименте обусловлено их электронейтральностью. Отсутствие кулоновского отталкивания от протонов в ядре позволяло нейтронам легко в него проникать.

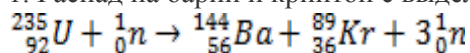
Нейтрон: $q_n = 0$ $m_n = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг

При попадании нейтрона в ядро урана-235 оно деформируется и принимает вытянутую форму. Так как ядерные силы действуют на крайне малых расстояниях, то они не могут противодействовать электростатическому отталкиванию противоположных частей вытянутого ядра, и оно разрывается на части. При этом излучается 2–3 нейтрона, а осколки, не сильно отличающиеся по массе, разлетаются с огромной скоростью (см. Рис. 2).

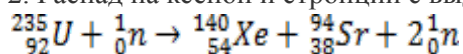


Существует несколько возможных результатов деления ядра урана-235:

1. Распад на барий и криптон с выделением трёх нейтронов:



2. Распад на ксенон и стронций с выделением двух нейтронов:



Делением ядра называется ядерная реакция деления тяжёлого ядра, возбуждённого захватом нейтрона, на две приблизительно равные части, называемые осколками деления.

Ядра урана-238 могут делиться лишь под влиянием нейтронов большой энергии (быстрых нейтронов). Такую энергию имеют только 60 % нейтронов, появляющихся при делении ядра урана-238. Примерно только 1 из 5 образовавшихся нейтронов вызывает деление ядра.

Механизм превращения энергии во время деления ядра. Единица измерения энергии

Поскольку масса покоя тяжёлого ядра урана больше суммы масс покоя осколков, образующихся в результате распада, то реакция деления протекает с выделением энергии. Вычислить эту энергию можно по аналогии с энергией связи.

$$E = \Delta mc^2, \text{ где}$$

$$\Delta m = m_0({}_{92}^{235}\text{U}) - (m_0({}_{56}^{144}\text{Ba}) + m_0({}_{36}^{89}\text{Kr}))$$

Кулоновские силы, разгоняя осколки ядра, придают им определённую кинетическую энергию. Однако эти осколки тормозятся окружающей средой, преобразуя свою кинетическую энергию во внутреннюю энергию окружающей среды. Таким образом, вследствие деления ядер урана наблюдается колоссальный нагрев всего окружающего пространства. Для примера, при полном делении всех ядер одного грамма урана выделится энергия эквивалентная сгоранию 2,5 т нефти. Использовать стандартную единицу измерения энергии (Дж) для ядер не совсем удобно, так как энергия одного ядра крайне мала. Для микромира была введена специальная единица измерения – электронвольт.

Один электронвольт равен работе, которую должно совершить поле при перемещении элементарного заряда между разностью потенциалов 1 В.

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Цепная ядерная реакция

Любой из нейтронов, вылетающий из ядра, может попасть в соседнее ядро и вызвать излучение им новых нейтронов, которые, в свою очередь, попадут в новые ядра, и те излучат новые нейтроны. В результате получается процесс, который поддерживает сам себя. Такой процесс называется цепной ядерной реакцией.

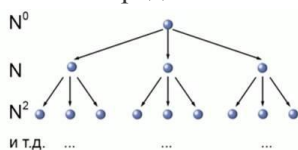
Цепная ядерная реакция – самоподдерживающаяся реакция деления тяжелых ядер, в которой непрерывно воспроизводятся нейтроны, делящие все новые и новые ядра.

Суть такой реакции заключается в том, что на первом этапе распада выделяется,

допустим, N нейтронов, на следующем этапе – N^2 нейтронов, и т. д. (см. Рис. 3). Количество нейтронов в реакции растёт в геометрической прогрессии. Это приводит к тому, что колоссально растёт выделяемая энергия, которая позволяет реакции поддерживать саму себя.

Возможны различные варианты протекания цепных ядерных реакций, эти процессы позволяют описывать физической величиной, которая называется критической массой.

Критическая масса (m_k) – минимальное количество делящегося вещества, необходимое для начала самоподдерживающейся цепной ядерной реакции. Критическая масса известна для различных радиоактивных элементов (для урана-235 она составляет 48 кг).



В зависимости от массы рассматриваемого образца цепные ядерные реакции делят на следующие формы протекания:

1. Если масса образца меньше критической массы ($m < m_k$), то число нейтронов убывает и реакция затухает.
2. Если масса образца больше критической массы ($m > m_k$), то число нейтронов лавинообразно увеличивается, реакция становится неуправляемой, что приводит к взрыву.
3. Если масса образца соответствует критической, протекает управляемая цепная реакция.

Условия протекания реакции деления урана

Условия протекания реакции:

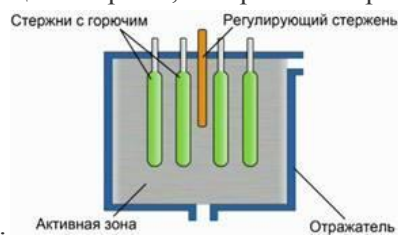
замедление нейтронов достаточное процентное содержание изотопов ^{235}U управление количеством нейтронов, участвующих в реакции

Вы знаете: чтобы протекала ядерная реакция хотя бы с одним ядром, в это ядро должен попасть медленный нейтрон. Что такое медленный нейтрон? Медленный нейтрон – это такой нейтрон, скорость которого сравнима со скоростью теплового движения молекул газа при нормальных условиях. Такие нейтроны называются медленными (или тепловыми). Следовательно, нейтроны, полученные каким-либо способом, мы должны обязательно замедлить. Сделать их скорости такими, чтобы они могли подойти вплотную к ядрам урана-235 и начать взаимодействовать. Кроме этого, нам обязательно нужно подготовить уран так, чтобы там было достаточное количество изотопов ^{235}U . В природном уране, который добывается на рудниках, составная часть ^{235}U очень небольшая. Его содержится всего лишь только 0,7%. Чтобы началась цепная реакция в таком образце, надо, чтобы процент содержания ^{235}U был значительно больше. Считается, что процент обогащенного урана должен составлять 10% и выше. С таким содержанием уже можно говорить о начале цепной реакции. Важно помнить еще: чтобы реакция была управляемой, число нейтронов, появляющихся в единицу времени, должно быть величиной постоянной. Все, что мы сейчас обсудили, – это и есть основные положения, которые используются при создании ядерного реактора.

Устройство ядерного реактора

Итак, мы рассмотрели теоретические аспекты работы реактора, теперь давайте ознакомимся с его устройством. Главная часть любого реактора – активная зона. В активной зоне происходят реакции деления. Там выделяется наибольшее количество тепла. Кроме того, в активной зоне реактора обязательно должен находиться замедлитель, как раз та самая часть, которая уменьшает скорость нейтронов, позволив им взаимодействовать с другими ядрами. Кроме этого, при работе реактора обязательно присутствует утечка нейтронов из активной зоны; чтобы повысить безопасность и вместе с тем увеличить возможность нейтронов оставаться в активной зоне нужен отражатель. Нельзя забывать, что во время ядерных реакций образуется большое количество теплоты, которое необходимо все время непрерывно отводить. Для этой цели через активную зону обязательно

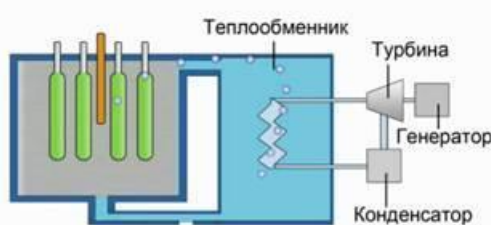
пропускают теплоноситель. Мы рассмотрели общие вопросы, теперь посмотрим на схеме, из чего



и как, из каких частей состоит ядерный реактор.

Обратите внимание, что именно в активной зоне располагаются стержни с горючим. Это те стержни, которые наполнены обогащенным ураном, и именно тогда, когда этих стержней достаточно количество в активной зоне, начинается ядерная реакция. Кроме этого, для обеспечения безопасности и регулировки реакции обязательно сюда помещается стержень, а чаще всего это пластины, которые выполнены из элемента бора. Бор очень хорошо поглощает нейтроны, поэтому, вдвигая и выдвигая регулятор, мы можем регулировать количество нейтронов в активной зоне. Обязательно – отражатель, который не дает нейтронам покинуть активную зону, возвращает их обратно. Как правило, отражатель выполняется из бериллия. И следующее – это теплоноситель, который прокачивается через активную зону и отводит тепло. В большинстве случаев теплоносителем является вода, причем чаще всего тяжелая вода. Она также выполняет функцию замедлителя, обратите внимание. Замедлителем может быть тяжелая вода, вода, которая содержит изотопы водорода – дейтерий, тритий, а также углерод. Углерод тоже достаточно хороший замедлитель. Теплоноситель должен все время двигаться внутри, отводить тепло, и это должен быть замкнутый цикл.

Конечно, такого рода рисунок – это только принципиальная схема. На самом деле устройство атомного реактора гораздо сложнее, потому что мы должны полностью исключить присутствие человека там, где происходят все эти действия. Теплоноситель, отнимая тепло от активной зоны, сам обладает большой энергией и отдает свою энергию в теплообменники другому носителю тепла. В результате такой двойной передачи тепла образуется перегретый пар под высоким давлением и при высокой температуре, который потом поступает в турбины на электростанциях



для вырабатывания электроэнергии.

Естественно, вся активная зона защищена очень толстым слоем специального бетона, который преграждает путь к радиоактивным излучениям.

История ядерных реакторов

Мы рассмотрели первый вид ядерного реактора. Первый ядерный реактор был пущен в 1942 году в США под руководством Энрико Ферми. Первая управляемая реакция была произведена там же. В СССР, в России, первый ядерный реактор был пущен в 1946 году.

Различные виды современных реакторов

На сегодняшний день существует несколько видов ядерных реакторов. Сейчас используются в основном реакторы двух типов, так называемые гомогенные, когда теплоноситель, замедлитель и ядерное горючее находятся вместе, как бы в перемешанном виде, в активной зоне. И гетерогенные. Что это за реакторы? Это те, в которых отдельно находится горючее в определенных либо пластинах, либо стержнях, а теплоноситель, замедлитель отдельно находится в активной зоне. У такого типа и у иного типа реакторов есть свои преимущества и недостатки.

Особый интерес представляют реакции, которые протекают в реакторах на быстрых нейтронах, где реакция протекает уже не с ^{235}U , а с ^{238}U , с изотопами, ядрами ^{238}U . Но здесь есть одна существенная деталь. Активная зона реактора на быстрых нейтронах очень мала. С этим связана сложность отвода тепла от активной зоны. Поэтому на сегодняшний день реакторов на быстрых нейтронах не так много, но они существуют, за ними будущее. Хотелось бы отметить, что, помимо использования энергии, которая получается в результате реакций деления, на сегодняшний день

разрабатывается возможность промышленного получения энергии в результате термоядерного синтеза. О термоядерном синтезе мы поговорим на будущих уроках.

Биологическое влияние радиации

Ионизация

Радиация оказывает на живые существа пагубное влияние. Альфа-, бета-, гамма-излучение при прохождении через вещество может его ионизировать, то есть выбивать из его атомов и молекул электроны.

Ионизация – процесс образования ионов из нейтральных атомов и молекул.

Ионизация живых тканей нарушает их правильную работу, что приводит к разрушительному воздействию на живые клетки.

Характеристики ионизирующего излучения

В любой точке земного шара человек всегда находится под воздействием радиации, такое воздействие называют радиационным фоном.

Радиационный фон – ионизирующее излучение земного и космического происхождения. Степень воздействия радиации на организм зависит от нескольких факторов:

- поглощённая энергия излучения;
- масса живого организма и количество энергии, приходящееся на один килограмм его веса.

Поглощённая доза излучения (D) – энергия ионизирующего излучения, поглощённая облучаемым веществом и рассчитанная на единицу массы.

$$D = \frac{E}{m},$$

где E – энергия поглощённого излучения, m – масса тела.

$[D] = \text{Гр (грей)}$ – единица измерения, названная в честь английского физика Льюиса Грэя.

Для измерения воздействия несильных излучений используют внесистемную единицу измерения – рентген. Сто рентген равны одному грею:

$$100 \text{ Р} = 1 \text{ Гр}$$

$$1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

При одинаковой поглощённой дозе излучения её воздействие на живые организмы зависит от типа излучения и от органа, который подвергается данному излучению.

Принято сравнивать воздействие от различных излучений с рентгеновским излучением либо с гамма-излучением. Для альфа-излучения эффективность воздействия в 20 раз превышает гамма-излучение. Эффективность воздействия быстрых нейтронов в 10 раз превышает гамма-излучение. Для описания характеристики воздействия введена величина, которая называется коэффициентом качества (для альфа-излучения он равен 20, для быстрых нейтронов – 10).

Коэффициент качества (K) показывает, во сколько раз радиационная опасность от воздействия на живой организм данного вида излучения больше, чем от воздействия гамма-излучения (γ -излучения) при одинаковых поглощённых дозах.

Для того чтобы учесть коэффициент качества, введено понятие – эквивалентная доза излучения (H), которая равна произведению поглощённой дозы и коэффициента качества.

$$H = D \cdot K$$

$[H] = \text{Зв (зиверт)}$ – единица измерения, названная в честь шведского учёного Рольфа Максимилиана Зиверта.

Различные органы живых организмов имеют разную чувствительность к ионизирующему излучению. Для оценки данного параметра введена величина – коэффициент радиационного риска. При оценке воздействия радиационного излучения на живые организмы важно учитывать время его действия. В процессе радиоактивного распада количество радиоактивных атомов в веществе уменьшается, следовательно, уменьшается интенсивность облучения. Для возможности оценки количества оставшихся радиоактивных атомов в веществе используется величина, которая называется периодом полураспада.

Период полураспада (T) – это промежуток времени, в течение которого исходное число радиоактивных ядер в среднем уменьшается вдвое. С использованием периода полураспада вводится закон радиоактивного распада (закон полураспада), который показывает, сколько атомов радиоактивного вещества останется через определённое время распада.

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}},$$

где N – количество нераспавшихся атомов;

N_0 – начальное количество атомов;

t – прошедшее время;

T – период полураспада.

Значения периодов полураспада для различных веществ являются уже вычисленными и известными табличными величинами.

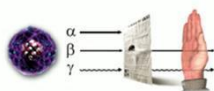
Методы защиты от ионизирующего радиационного излучения



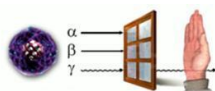
Как минимум, при исследовании нельзя брать в руки радиационные образцы, для этого используются специальные держатели. При опасности попадания в зону излучения необходимо пользоваться средствами защиты дыхательных путей: масками и противогазами, а также специальными костюмами.

Для защиты от данного излучения достаточно одежды, которая покрывает все участки тела, главное не допустить попадание α -частиц в лёгкие с радиоактивной пылью.

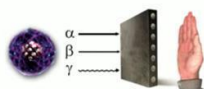
Защита от этого излучения затруднена. Для изоляции от β -излучения потребуется, например, пластинка из алюминия толщиной несколько миллиметров или пластинка из стекла.



Бумага задерживает только α -излучение



Стекло задерживает α -излучение и β -излучение



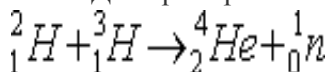
Бетонная плита задерживает α -излучение, β -излучение, γ -излучение

Воздействие β -излучения Наибольшей проникающей способностью обладает гамма-излучение. Его задерживают толстым слоем свинца или бетонными стенами толщиной в несколько метров, поэтому индивидуальные средства защиты для человека от такого излучения не предусмотрены.

Определение термоядерной реакции и её примеры

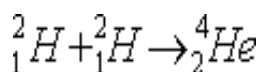
Термоядерными реакциями (или просто термоядом) называют реакции слияния легких ядер в одно целое новое ядро, в результате которого выделяется большое количество энергии. Оказывается, большая энергия выделяется не только в результате деления тяжелых ядер, еще больше энергии выделяется, когда легкие ядра сливаются вместе, соединяются. Этот процесс называют **синтезом**. А сами реакции – термоядерным синтезом, термоядерными реакциями.

Какие же элементы участвуют в этих реакциях? Это в первую очередь изотопы водорода и изотопы гелия. Для примера можно привести следующую реакцию:



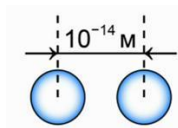
Два изотопа водорода (дейтерий и тритий), соединяясь вместе, дают ядро гелия, еще образуется нейтрон. Когда протекает такая реакция, выделяется огромная энергия $E = 17,6 \text{ МэВ}$.

Не забывайте, что это всего лишь на одну реакцию. И еще одна реакция. Два ядра дейтерия, сливаясь вместе, образуют ядро гелия:



В этом случае выделяется тоже большое количество.

Условия протекания термоядерной реакции



Обращаю ваше внимание: чтобы такие реакции протекали, нужны определенные условия. В первую очередь нужно сблизить ядра указанных изотопов. Ядра имеют положительный заряд, в данном случае действуют кулоновские силы, которые расталкивают эти заряды. Значит, нужно преодолеть эти кулоновские силы, чтобы приблизить одно ядро к другому. Это возможно только в том случае, если сами ядра обладают большой кинетической энергией, когда скорость у этих ядер довольно велика. Чтобы добиться этого, нужно создать такие условия, когда ядра изотопов будут обладать этой скоростью, а это возможно только при очень высоких температурах. Только так мы сможем разогнать изотопы до скоростей, которые позволят им сблизиться на расстояние приблизительно 10^{-14} м.

Это расстояние как раз то, с которого начинают действовать ядерные силы. Значение необходимой температуры составляет порядка $t^\circ = 10^7 - 10^8^\circ\text{C}$. Достигнуть такой температуры можно, когда произведен ядерный взрыв. Таким образом, чтобы произвести термоядерную реакцию, мы сначала должны произвести реакцию деления тяжелых ядер. Именно в этом случае мы добьемся высокой температуры, а уже потом данная температура даст возможность сблизить ядра изотопов до расстояния, когда они могут соединиться. Как вы понимаете, именно в этом заложен принцип так называемой водородной бомбы.

Применение термоядерного синтеза

Нас, как мирных людей, интересует в первую очередь использование термоядерной реакции в мирных целях для создания тех же самых электростанций, но уже новейшего типа.

Управляемый термоядерный синтез

В настоящее время ведутся разработки по тому, как создать управляемый термоядерный синтез. Для этого используются различные методы, один из них: использование лазеров для получения высоких энергий и температур. С помощью лазеров их разгоняют до высоких скоростей, и в этом случае может протекать термоядерная реакция.

В результате термоядерной реакции выделяется огромное количество тепла, то место в реакторе, в котором будут находиться взаимодействующие друг с другом изотопы, нужно хорошо изолировать, чтобы вещество, которое будет находиться при высокой температуре, не взаимодействовало с окружающей средой, со стенками того объекта, где оно находится. Для такой изоляции используется магнитное поле. При высокой температуре ядра, электроны, которые находятся вместе, представляют собой новый вид материи – плазму. Плазма – это частично или полностью ионизированный газ, а раз газ ионизирован, то он чувствителен к магнитному полю. Плазма – электропроводящая, при помощи магнитных полей можно придавать ей определенную форму и удерживать в определенном объеме. Тем не менее, техническое решение управления термоядерной реакцией остается пока неразрешенным.

Термоядерные реакции во Вселенной

В заключение хотелось бы еще отметить: термоядерные реакции играют важную роль в эволюции нашей Вселенной. В первую очередь отметим, что термоядерные реакции протекают на Солнце. Можно сказать, что именно энергия термоядерных реакций – это та энергия, которая сформировала нынешний облик нашей Вселенной.

Задачи

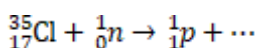
Ядро $^{238}_{92}\text{U}$ претерпело ряд α - и β -распадов. В результате образовалось ядро $^{206}_{82}\text{Pb}$. Определите число α - и β -распадов.

Решение:

При альфа-распаде зарядовое число уменьшается на 2 единицы, а массовое - на 4 единицы. При бета-распаде заряд ядра увеличивается на единицу, а его масса не меняется. При превращении ядра урана в ядро свинца масса уменьшается на $238 - 206 = 32$ а.е.м., а заряд на $92 - 82 = 10$ зарядов электрона, и тогда заряд ядра уменьшается на $8 \cdot 2 - 6 = 10$ единиц заряда электрона, а масса уменьшается на $8 \cdot 4 = 32$ а.е.м.

Правильный ответ: 8 альфа-распадов и 6 бета-распадов.

2. Закончите уравнение ядерной реакции, с клавиатуры впишите численные значения ответа в пустые клеточки.



Решение:

Учитывая законы сохранения электрического заряда и массы, получаем:

$$17+0=1+16;$$

$$35+1=1+34.$$

Таким образом, получаем элемент с порядковым номером 16 и массовым числом 34 (сера S)

Ответ: $^{34}_{16}\text{S}$

Вычисление связи ядра

Задача 1

Найдите энергию связи ядра лития ^6_3Li , если его масса равна 6,01513 а.е.м.

Решение

Для начала запишем известные величины.

$$m_{\text{я}} \cong 6,01513 \text{ а.е.м}$$

$$m_{\text{p}} \cong 1,00728 \text{ а.е.м}$$

$$m_{\text{n}} \cong 1,00866 \text{ а.е.м}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$1 \text{ а.е.м.} \cong 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Найти нужно энергию связи ядра $E_{\text{св}}$.

Запишем формулу для вычисления энергии связи: $E_{\text{св}} = \Delta m c^2$.

Также нам нужна формула для дефекта масс: $\Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_{\text{я}})$.

Количество протонов в ядре равно порядкового номеру лития, который указан в нижней линии его записи, то есть $Z = 3$. Количество нейтронов находим по формуле $N = A - Z$, где $A = 6$ – нуклонное число (верхний индекс записи), тогда $N = 6 - 3 = 3$.

Теперь вычислим дефект масс и переведем его в кг:

$$\Delta m = (3 \cdot 1,00728 + 3 \cdot 1,00866 - 6,01513) \cdot 1,66057 \cdot 10^{-27} = 0,05428 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Для подсчета ответа в таких задачах нужна точность. Теперь подставим это значение в формулу для энергии связи ядра:

$$E_{\text{св}} = 0,05428 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 4,8852 \cdot 10^{-12} \text{ (Дж)} = 4,8852 \text{ (пДж)}$$

Ответ: $E_{\text{св}} = 4,8852 \text{ (пДж)}$