БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Радиоактивное излучение и радиоактивность

Составил: инж. В.А. Календо

Минск 2006

Содержание

1. Строение вещества

. Виды ядерных распадов

.1 Альфа-распад

.2 Бета-распад

. Законы радиоактивности

. Взаимодействие ядерных излучений с веществом

. Биологическое воздействие ионизирующего излучения

. Радиационный фон

. Количественные характеристики радиоактивности

. Детекторы (счетчики) ионизирующих излучений

.1 Полупроводниковый детектор

.2 Сцинтилляционный детектор

.3 Газоразрядный детектор

.4 Ионизационная камера

. Приборы для регистрации ядерных излучений

Контрольный вопросы

Список литературы

1. Строение вещества

Все вещества в природе состоят из молекул. Молекула - мельчайшая частица вещества, обладающая всеми его химическими свойствами. Все молекулы состоят из атомов химических элементов. Атом - мельчайшая частица химического элемента, обладающая всеми его свойствами. Все химические элементы (> 100) расположены в определенных местах периодической таблицы Менделеева. Место под номером один в периодической системе химических элементов отведено водороду (Н).

Рассмотрим модель строения атома и его ядра для водорода в "нормальных" условиях.

Атом водорода представляет собой сферу, поверхностью которой является электрон (e). В центре сферы находится ядро, в котором сосредоточена почти вся (более 99,95%) масса атома. Резко выраженной границы атом и ядро не имеют.



Рис. 1. Модель атома 

Электрон обладает элементарным отрицательным электрическим зарядом (1,6021892 \* 10 -19 Кл). Так как атом электрически нейтрален, то ядро обладает таким же, как электрон, но положительным зарядом. Для любого химического элемента заряд ядра будет:

= | e | Z (1)

где: |e| - элементарный электрический заряд;- порядковый номер химического элемента в таблице Менделеева.

Таким образом, порядковый номер химического элемента в таблице Менделеева определяется числом положительных элементарных зарядов в ядре или числом электронов на оболочках нейтрального атома.

Носителем положительного заряда ядра является протон (р) с массой

=1,6726\*10-27 кг

Следовательно, ядро Н состоит из одного протона.

У других химических элементов ядро состоит из протонов и нейтронов. Нейтрон (n) - частица, не имеющая электрического заряда и обладающая массой, примерно равной массе протона. Силы притяжения, связывающие протоны и нейтроны в атомном ядре, называются ядерными силами. Другое название этого явления - сильное взаимодействие.

Протон и нейтрон по способности к сильному взаимодействию не отличаются друг от друга, поэтому в ядерной физике их рассматривают как единую частицу-нуклон - в двух различных состояниях. Нуклоны в состоянии без электрического заряда называется нейтроном, нуклон в состоянии с электрическим зарядом называется протоном.

Число протонов в ядре равно порядковому номеру элемента в периодической системе Менделеева и обозначается знаком Z. Число нейтронов в ядре обозначается знаком N. Общее число протонов и нейтронов в ядре обозначается знаком А и называется массовым числом.

А = Z+N (2)

Ядра с одинаковым числом протонов, но различным числом нейтронов являются ядрами различных изотопов одного и того же химического элемента. Из-за различного числа нейтронов, ядра различных изотопов одного химического элемента обладают разными массами и могут отличаться по физическим свойствам, например по способности к радиоактивному распаду. Из-за одинакового заряда ядра, атомы различных изотопов одного химического элемента имеют одинаковое строение электронных оболочек и поэтому обладают одинаковыми химическими свойствами.

Обозначается изотоп символом химического элемента (Х) с указанием слева вверху массового числа А и слева внизу числа протонов Z в атомном ядре: 

Например, самый легкий изотоп водорода, ядро которого состоит из одного протона, обозначается символом . Тяжелый изотоп водорода - дейтерий, ядро которого содержит один протон и один нейтрон, обозначается символом .

Конкретное ядро с данными А и Z иногда называют нуклидом.

В настоящее время известно от Z = 1 до Z = 109 и около 2000 изотопов.

Не всякое атомное ядро, состоящее из протонов и нейтронов, может существовать неограниченно долго. Многие из них способны к самопроизвольным превращениям в другие атомные ядра. Устойчивыми являются лишь те атомные ядра, которые обладают минимальным запасом полной энергии среди всех ядер, в которые данное ядро могло бы самопроизвольно превратиться. Из ~ 2000 изотопов только ~ 300 устойчивы.

2. Виды ядерных распадов

.1 Альфа-распад

Альфа - распадом называется распад атомного ядра на альфа-частицу (α - первая буква греческого алфавита) (ядро атома гелия ) и ядро-продукт. a-радиоактивны почти все ядра тяжелых элементов с порядковым номером Z > 82. При вылете α-частицы из ядра, число протонов в ядре уменьшается на два и продукт α-распада оказывается ядром химического элемента с порядковым номером на две единицы меньше исходного, массовое число ядра-продукта меньше массового числа исходного ядра на четыре единицы. Например, продуктом α- распада ядра изотопа урана является ядро изотопа тория :

ядерный ионизирующий излучение радиоактивность

®  (3)

Начальная кинетическая энергия всех a- частиц, испускаемых ядрами одного изотопа, одинакова или испускается a-частица с двумя-тремя разными значениями начальной кинетической энергии. Энергетический спектр a-частиц дискретный и может идентифицировать распавшийся изотоп.

При a-распаде атомных ядер часто часть энергии a-распада идет на возбуждение ядра-продукта. Ядро-продукт спустя короткое время (10-3….10-6 с) после вылета a-частицы испускает один или несколько гамма-квантов (g- третья буква греческого алфавита) и переходит в нормальное состояние. g-жесткое (с длиной волны ~ 10-11 м) электромагнитное излучение. Таким образом, a-распад ядер может сопровождаться испусканием g-квантов.

2.2 Бета-распад

Явление b-распада (b - вторая буква греческого алфавита) представляет собой самопроизвольное превращение атомного ядра путем испускания электрона (е-) или позитрон (е+ - частица аналогичная электрону, но имеющая единичный заряд положительной полярности). В основе этого явления лежит способность протонов и нейтронов к взаимным превращениям. Масса свободного нейтрона больше массы протона и электрона вместе взятых - следовательно, запас полной энергии нейтрона больше запаса энергий протона и электрона. Поэтому нейтрон может самопроизвольно превращаться в протон с испусканием электрона и антинейтрино ():

® p + (е + ) (4)

Скобки обозначают вылет частицы из ядра.

Ядра, в которых происходят превращения n → p, называются b - радиоактивными. В результате превращения одного из нейтронов в протон заряд ядра увеличивается на единицу. Ядро-продукт b - распада оказывается ядром одного из изотопов химического элемента с порядковым номером в таблице Менделеева, на единицу большим порядкового номера исходного ядра. При b - распаде ядро изотопа  продуктом распада является ядро изотопа .

 ®  + (ē + n) (5)

Массовое число ядра-продукта b-распада остается прежним, так как число нуклонов в ядре не изменилось.

b-распад, как и a-распад, может сопровождаться g-излучением. g-излучение сопровождает b-распад в тех случаях, когда часть энергии затрачивается на возбуждение ядра-продукта. Возбужденное ядро через 10-3 ….10-6 сек. освобождается от избытка энергии путем испускания одного или нескольких g-квантов.

Превращение p→ n сопровождается испусканием позитрона и нейтрино (n). Это превращение также может сопровождаться испусканием g-квантов

р → n + (e+ + n ) (6)

Электронный захват может быть записан:

р + е- → n + (n) (7)

Энергетический спектр b-частиц сплошной. b-частицы имеют всевозможные энергии, начиная от нуля до некоторого максимального значения, называемого максимальной энергией b-спектра (Еβmax).

b-частицы имеют различные значения энергии потому, что часть энергии b-распада уносит частица нейтрино (n) или антинейтрино ().

Позитронный b-распад наблюдается у искусственно полученного изотопа фосфора (облучение  потоком a-частиц).

 ®  + (е+ + n) (8)

Позитрон возникает в атомном ядре в результате превращения одного из протонов в нейтрон. Энергию для превращения получает от других нуклонов ядра.

У всех без исключения элементов могут быть получены изотопы при бомбардировке атомных ядер стабильных изотопов a-частицами, p, n и другими частицами.

Процесс g-излучения не является самостоятельным типом радиоактивности, так как он происходит без изменения массового и зарядового числа ядер.

3. Закон радиоактивности

Радиоактивность - самопроизвольное превращение нестабильных атомных ядер в другие, которое сопровождается испусканием элементарных частиц (β) или ядер (α), в результате чего образуется новый атом, который по своим химическим свойствам отличается от исходного.

Для радиоактивности установлены следующие законы и определения:

Радиоактивный распад не зависит от внешних условий (температуры, давления, химических воздействий и др.)

a-частицы и g-излучение имеют дискретные значения энергии.

Самопроизвольный (спонтанный) распад атомных ядер следует закону

 (9)

где е - основание натурального логарифма 2,71828;  - количество ядер в данном объеме вещества в момент времени t=0, N - количество ядер в том же объеме к моменту времени t, λ - постоянная распада. Постоянная λ имеет смысл вероятности распада ядра за 1 сек.: она равна доле ядер, распадающихся за 1 сек. Величина 1/λ называется средней продолжительностью жизни радиоактивного изотопа. Для характеристики устойчивости ядер относительно распада пользуются понятием о периоде полураспада , равном времени, в течение которого исходное количество ядер данного вещества распадается наполовину. Связь величин λ и :

 (10)

Число распадов ядер данного препарата в единицу времени называется активностью препарата.

Активность:

 (11)

Новые ядра, получившиеся после радиоактивного распада, занимают в периодической системе элементов другие места (закон смещения)

При a-распаде

® + ; (12)

 (13)

При b-распаде (электронном) 

® + ; (14)

(позитронном) ® + ; (15)

где Х,Y - символы химических элементов, соответствующие материнскому и дочернему ядрам.

Ионизирующее излучение - излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов. Радиация будет ионизирующей в том случае, если она способна разрывать химические связи молекул. Ионизирующее излучение может состоять из заряженных и незараженных частиц. Энергию частиц ионизирующего излучения измеряют в электровольтах (эВ): 1эВ = 1,6 \* 10-19 Дж = 1,6 \* 10-12 эрг (1эВ\*106=1МэВ).

Поток ионизирующих частиц - число частиц, проходящих через данную поверхность за единицу времени. Поток ионизирующих частиц измеряется числом частиц в единицу времени (с-1).

 (16)

Плотность потока ионизирующих частиц - отношение числа частиц, проникающих в элементарную сферу за единицу времени, к площади поперечного сечения этой сферы. Единица измерения плотности потока ионизирующих частиц - число частиц/ см2мин.

 (17)

Периоды полураспада некоторых значимых радиоактивных изотопов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Периоды полураспада некоторых значимых радиоактивных изотопов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Актиний | a10 суток |  |  |
| Америций | a, g430 лет |  |  |
| Йод | b,g8 суток |  |  |
| Иридий | b, g75 суток |  |  |
| Калий | b, g1,28\*109 лет |  |  |
| Кобальт | b, g5,3 года |  |  |
| Магний | b10 минут |  |  |
| Плутоний | a, g2,4 \* 104 лет |  |  |
|  | a, g6537лет |  |  |
| Радий | a10-3 с |  |  |
|  | a, g1620 лет |  |  |
| Радон | a55,6 с |  |  |
|  | a3,8 суток |  |  |
| Стронций | b5,1 суток |  |  |
|  | b28 лет |  |  |
| Торий | a, g7000 лет |  |  |
| Уран | a, g4,5 \* 109 лет |  |  |
| Углерод | b5730 лет |  |  |
| Фосфор | b14,3 суток |  |  |
| Цезий | b, g2,1 года |  |  |
|  | b, g30 лет |  |  |
| Цирконий | b, g65 суток |  |  |

4. Взаимодействие ядерных излучений с веществом

При прохождении через вещество частицы ядерного распада (кроме нейтрино) взаимодействуют с электронными оболочками и ядрами атомов, встречающихся на пути. В результате взаимодействия частицы с электроном оболочки, последний получает дополнительную энергию и переходит на одну из более удаленных от ядра оболочек или совсем покидает атом (молекулу). В первом случае происходит возбуждение, во втором - ионизация. При ионизации свободные электроны могут присоединяться к нейтральным атомам (молекулам) с образованием отрицательных ионов. Для многоатомных молекул возможна диссоциативная ионизация, т.е. распад молекулы с одновременной ионизацией продуктов диссоциации. Возникшие ионы могут соединяться с нейтральными атомами (молекулами) и образовывать комплексные ионы.

При прохождении вблизи атомного ядра электрон испытывает торможение в его электрическом поле. Излучение, возникающее при прохождении электрона через поле атома или ядра, называется тормозным (рентгеновским).

Длина пробега частицы зависит от заряда, массы, начальной энергии и среды, в которой происходит движение. Длина пробега увеличивается с возрастанием начальной энергии частицы и уменьшением плотности среды. При одинаковой начальной энергии тяжелые частицы обладают меньшими скоростями, чем легкие. Медленно движущиеся частицы взаимодействуют с атомами более эффективно и быстрее растрачивают имеющийся у них запас энергии.

b-частицы, вылетающие из атомных ядер со всевозможными начальными энергиями, обладают различными пробегами в веществе.

Для грубой оценки средней длины пробега b - частиц в веществе применима формула:

Rb = (0, 5 Еb - 0,1) r (18)

где Rb - средняя длина пробега, см

Еb - энергия b- частиц, МэВ

r- плотность вещества, г/смз

Например, от потока b- частиц с максимальной энергией 2 МэВ полностью защищает слой алюминия толщиной 3,5 мм.

a- частицы, обладающие значительно большей массой, чем b - частицы, при столкновениях с электронами атомных оболочек испытывают очень небольшие отклонения от первоначального направления движения и движутся почти прямолинейно. Пробеги a -частиц в веществе очень малы. a-частица с энергией 4 МэВ "пробегает" в воздухе примерно 2,5 см. В воде или мягких тканях животного или человека, плотность которых в 770 раз превышает плотность воздуха, длина пробега уменьшается во столько же раз и составляет десятые-сотые доли мм. Благодаря небольшой проникающей способности b и a- излучения обычно не представляют опасности при внешнем облучении. Плотная одежда может поглотить значительную часть b - частиц и совсем не пропустить a - частицы. Однако, при попадании внутрь организма человека с пищей, водой и воздухом или загрязнении радиоактивным веществом поверхности открытого участка тела a и b - излучения могут причинить значительный вред.

g-кванты и нейтроны не обладают электрическими зарядами и поэтому свободно проходят сквозь большинство встречающихся на их пути атомов. Но и для них вещество не является совершенно прозрачным. Пути пробега g - квантов и нейтронов в воздухе измеряются сотнями метров в твердом веществе - десятками см и даже метрами. g - кванты, как и заряженные частицы, взаимодействуют, в основном, с электронными оболочками атомов. При прохождении вблизи атомного ядра g - квант может превратиться в пару частиц электрон- позитрон. Вторичные электроны, возникающие в результате взаимодействия g - излучения с веществом, производят ионизацию и возбуждение атомов и молекул среды.

Проникающая способность g - лучей увеличивается с ростом энергии g - квантов и уменьшается с увеличением плотности вещества- поглотителя. Ослабление g - лучей в веществе для узких пучков\* происходит по закону

= Io e-mx (19)

где I - интенсивность g - лучей на глубине Х;- их интенсивность до входа в вещество;

е - основание натурального логарифма 2,71828

Величина m называется линейным коэффициентом ослабления g - излучения и имеет смысл обратной длины, на которой ослабление составляет e раз.

Нейтроны при движении в веществе с электронными оболочками атомов не взаимодействуют и возбуждать и ионизировать не могут. При столкновении с атомными ядрами они испытывают рассеяние или вызывают ядерные реакции с выходом из ядра заряженных частиц и g - квантов. Таким образом, конечными результатами взаимодействия с веществом любого вида излучения являются ионизация, возбуждение атомов и молекул среды, а иногда, при осуществлении ядерных реакций и образование химических элементов или изотопов.

g-лучи и потоки нейтронов - наиболее проникающие виды излучений, поэтому при внешнем облучении они представляют наибольшую опасность.

Геометрия опыта, при которой детектор регистрирует не рассеянное и рассеянное излучения - геометрия широкого пучка.

5. Биологическое действие ионизирующего излучения

Ионизирующее излучение представляет собой одно из редких явлений природы, степень воздействия которого на организм совершенно неэквивалентна величине поглощенной энергии.

Летальная доза облучения для млекопитающих составляет 10 Гр, хотя поглощаемая при этом тканями энергия способна повысить температуру тела всего на тысячные доли градуса. Более того, непосредственные прямые нарушения в химических связях, возникающие вслед за облучением, также ничтожны. В настоящее время считается, что основной причиной лучевого поражения являются возникающие в организме после облучения цепные реакции, которые после возникновения поддерживаются независимо от породившей их причины.

На первом этапе взаимодействия ионизирующих излучений с клеточным веществом образуются ионизированные и возбужденные атомы и молекулы, которые в течении 10-6 с взаимодействуют между собой и с различными молекулярными системами, давая начало химически активным центрам (свободные радикалы, ионы, ион-радикалы). В этот же период возможно образование разрывов связей в молекулах как за счет непосредственного взаимодействия с ионизирующим излучением, так и за счет внутри и межмолекулярной передачи энергии возбуждения. Явления, возникающие на первом этапе взаимодействия ионизирующего излучения, принято называть пусковым, поскольку они в дальнейшем определяют ход развития лучевых поражений.

Следующим этапом являются биохимические изменения, которые происходят как через несколько секунд после облучения, так и через десятилетия. Они могут явиться причиной немедленной гибели клеток или таких изменений, которые впоследствии могут привести к онкологическим или наследственным заболеваниям.

Мерой воздействия любого вида ядерного излучения на вещество (организм) является поглощенная доза излучения Д. Доза излучения есть отношение средней энергии, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе вещества в этом объеме.

Д = ΔЕ / Δm (20)

Единицей поглощенной дозы в системе СИ является грей (Гр)

Гр = 1 Дж/кг (21)

Используется внесистемная единица - рад

рад = 10-2 Гр (22)

Разные виды излучения обладают различными ионизационными свойствами, поэтому даже при одинаковой поглощенной дозе они оказывают разные поражающие действия на организм.

Эквивалентная доза Н - дозиметрическая величина, введенная для оценки возможного ущерба здоровью человека от хронического воздействия ионизирующего излучения произвольного состава, которая равна произведению поглощенной дозы в данном элементе объема биологической ткани на средний коэффициент качества К ионизирующего излучения в этом элементе объема:

Н = ДК (23)

В системе Си единицей измерения эквивалентной дозы является Зиверт (Зв.), вне системной - бэр (биологический эквивалент рентгена)

1 бэр = 10-2 Зв (24)

Значение коэффициента качества излучения для некоторых излучений равно:

g-излучение, рентгеновское, b -частицы -1, протоны и нейтроны с Е < 10 МэВ -10, a-с Е< 10 МэВ -20

Мощность эквивалентной дозы Р -отношение приращения эквивалентной дозы за интервал времени к этому приращению. Единица измерения - Зв/с (Зв/ч) Внесистемная - бэр/с

Зв /с = 100 бэр / с (25)

Эффективная эквивалентная доза Е - сумма произведений дозы, полученной каждым организмом, на соответствующий весовой (взвешенный) коэффициент, учитывающий различную чувствительность различных органов и тканей организма к излучению:

Е =  (26)

Эффективную эквивалентную дозу, полученную органами и тканями, оценивают по коэффициенту радиационного риска. Он отражает суммарный эффект облучения различных органов организма. Измеряется в зивертах (Зв)

Экспозиционная доза Х - это количественная характеристика рентгеновского и g-излучения, которая выражает энергию фотонного излучения, преобразованную в кинетическую энергию заряженных частиц (ионов) в единице массы атмосферного воздуха (Ки/кг; 1 Ки/ кг = 3876 Р; 1 Р = 2, 58 \* 10 -4 Ки/кг) Р- рентген

Мощность экспозиционной дозы - отношение приращения экспозиционной дозы за интервал времени к этому приращению. Единица измерения - рентген/ час; Р/ч

Предел дозы - наибольшее среднее значение индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год у критической группы лиц, при котором равномерное облучение в течении 70 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.

6. Радиационный фон

Все источники радиации на нашей планете можно разделить на естественные, существующие помимо воли человека и искусственные, созданные человеком.

Избежать облучения от естественных источников совершенно невозможно. Земные естественные источники радиации составляют 5/6 годовой эквивалентной дозы, получаемой населением и только 1/6 приходится на космическое излучение.

Наиболее весомый вклад вносит невидимый, не имеющий запаха и вкуса газ радон (Rn) На его долю со всеми дочерними продуктами распада приходится ¾ годовой индивидуальной эквивалентной дозы облучения, получаемой от земных естественных источников. Большую часть этой дозы человек получает вместе с вдыхаемым воздухом, особенно в непроветриваемых помещениях. В природе Rn встречается в двух формах: 222Rn- продукт распада 238U и 220Rn -продукт распада Th, высвобождаясь из земной коры.

Кроме радона вклад в "земную радиацию" вносят изотопы 40К и 87Rb. Небольшой вклад вносят изотопы 14С и 3Н образующиеся под действием космических лучей (протоны и a - частицы с энергиями 1 - 1015 МэВ в качестве первичных и е-; е+; g- в качестве вторичных) в атмосфере.

К искусственным источникам радиации: медицинская диагностика, телевидение, угольные электростанции, облучение естественной радиацией во время полета на самолете, добавились атомные электростанции и продукты их функционирования и аварий.

7. Количественные характеристики радиоактивности

Активность - мера радиоактивности представляет собой число распадов радиоактивных ядер в единицу времени

А = N / t (27)

где N - количество ядерных распадов;- время, за которое произошло N распадов в 1 секунду.

В системе СИ за единицу активности принято одно ядерное превращение в секунду, которое называется Беккерель (Бк). Внесистемной единицей является Кюри (Кu)

Кu = 3,7 \* 10 10 Бк; 1 Бк = 2,7 \* 10 -11 Кu (28)

Величина активности характеризует лишь наличие радиоактивного элемента и интенсивность испускаемого им излучения, не определяя ни тип элемента, ни тип самого излучения.

Удельная активность Аm - это отношение активности образца к его массе

 (29)

где m - масса в килограммах.

Объемная активность Аv - это отношение активности образца к его объему

Аv = А / v (30)

- объем м3 (см3, литр, миллилитр и т.д.)

Поверхностная активность Аs - это отношение активности образца к поверхности, с которой образец был собран

Аs = A / s (31)

- площадь. В практике поверхностная активность выражается в Кюри на квадратный километр (или Бк/м2).

Аs = A / S (Ku / км2) (32)

Таблица 2

Соотношение между единицами измерения активности и характеристиками поля ионизирующего излучения в СИ и внесистемных единицах

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Величина и ее символ | Внесистемные единицы | Единицы СИ | Связь между единицами |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Экспозиционная доза, Х | Рентген (Р) | Кулон на кг (Кл/кг) | 1р=2,58\*10-4Кл/кг 1 Кл/кг=3,88\*103Р |
| Мощность\* экспозиционной дозы, Х' | Рентген в секунду (Р/с) | Ампер на кг (А/кг) | 1 Р/с=2,58\*10-4А/кг 1 А/кг=3,88\*103 Р/с |
| Активность\*\*, А | Кюри (Ku) | Беккерель (Бк)=1 распад в сек. (расп./с) | 1 Ku=3,7\*1010 Бк 1 Бк=2,7\*10-11 Ku |
| Поглощенная доза, Д | Рад (рад) | Грей (Гр)= 1 Дж на кг (Дж/кг) | 1 рад=10-2 Гр 1 Гр=100 рад |
| Эквивалентная доза, Н Н=Д\*К | Бэр (бэр) | Зиверт (Зв) | 1 бэр=10-2Зв 1 Зв=100 бэр 1 Зв=114,5 Р |
| Эффективная доза, Е | Бэр (бэр) | Зиверт (Зв) | 1 бэр=10-2 Зв 1 Зв=100 бэр |
| Коэффициент качества излучения, К | К - регламентированное значение ОБЭ для данного вида и энергии радиационного излучения, установленное для контроля радиационной безопасности при хроническом облучении (безразмерный). | Кγ,β=1 Кα=20 Кn=3…10 |
| ОБЭ - относительная биологическая эффективность излучения. | Отношение поглощенной дозы образцового излучения (Д0), вызывающего определенный биологический эффект, к поглощенной дозе данного излучения (Д), вызывающий такой же биологический эффект. ОБЭ=Д0/Д | В качестве образцового принято рентгеновское излучение с граничной энергией 200кэВ. |

Мощность дозы (Х', Д', Н') определяется величиной дозы (Х, Д, Н), деленной на время (Р/с, Гр/с, Зв/с).

Приведенные активности - отношение активности к массе пробы, объему пробы или поверхности с которой эта проба была взята:





8. Детекторы (счетчики) ядерных излучений

Детекторы (счетчики) применяются для регистрации ионизирующих излучений.

Действие детекторов основано на регистрации взаимодействия исследуемых частиц с веществом, которое проявляется в образовании свободных электронов, ионов, люминисцентном свечении, излучении Вавилова- Черенкова, а также в прохождении реакции, сопровождающихся тепловыми явлениями.

Основными характеристиками детекторов являются:

энергетическое разрешение, характеризующая погрешность, с которой определяется энергия регистрируемой частицы;

эффективность регистрации, отношение числа зарегистрированных частиц к общему числу частиц, прошедших через детектор;

время разрешения - минимальный промежуток времени, необходимый детектору для восстановления своей работоспособности;

пространственное разрешение - минимальное расстояние между траекториями регистрируемых частиц, при котором эти частицы различимы.

Эти характеристики достаточно полно приводятся в технических документах на приборы, где конкретный тип детектора (счетчика) применяется.

.1 Полупроводниковый детектор

Монокристалл кремния или германия, выполненный в виде пластины размером до сотен квадратных миллиметров и обладающий электронно-дырочным p-n переходом. На противоположных поверхностях напыляются электроды, к которым подводится запирающее напряжение в несколько вольт. Частица, проникающая в кристалл, за счет ионизации, образует дополнительную пару дырка-электрон, перемещающуюся в электрическом поле и создающие на выходе импульс тока. Заряд, собранный на электродах, пропорционален энергии выделенной частицей в кристалле. Измеряемая энергия частиц соответствует точности до 0,1 % и имеют время разрешения до 10-8 с.

.2 Сцинтилляционный детектор

Детектор состоит из сцинтиллятора (специальные кристаллы, жидкости, пластмассы, благородные газы), в котором пролетающая частица производит наряду с ионизацией атомов и молекул их возбуждение. При возвращении в исходное состояние они люминистируют, т.е. излучают фотоны. На основе представления о фотоне, как частице, которая может излучаться и поглощаться как целое проявляемое в явлении фотоэффекта (испускание электронов под действием электромагнитного излучения) применяются для регистрации ядерных частиц в сцинтилляционных детекторах (сцинтиллятор и фотокатод фотоумножителя как единое целое).

Ядерная частица, проникая в сцинтиллятор, вызывает возбуждение атомов и молекул. Возвращаясь в исходное состояние, они возвращают полученную от частицы энергию в виде квантов света (фотонов). Фотоны выбивают электроны с фотокатода. Фотокатоды- тонкий слой редкоземельных элементов, нанесенный на внутреннюю поверхность торца фотоэлектронного умножителя (ФЭУ)

ФЭУ - стеклянный баллон с выкаченным воздухом. Внутри расположены диноды (аноды из металла с коэффициентом вторичной эмиссии 2…10)

Электрическое поле внутри ФЭУ создается резистивным делителем Rд. Потенциал фокусирующей диаграммы Д заставляет фотоэлектроны с катода (Ф) попадать на 1-ый динод. Вторичные электроны с первого динода ускоряются электрическим полем и попадают на второй динод и т.д. (до 14). К аноду устремляется поток электронов увеличенный до 106 раз и более, вызывая на резисторе нагрузки (Rн) импульс напряжения.



Рис. 3. Схема и принцип работы ФЭУ: 1-N-диноды; А - анод; ФК - фотокатод; ФД - фокусирующая диафрагма

.3 Газоразрядный детектор

Газоразрядный детектор (счетчик Гейгера-Мюллера) представляет собой металлический цилиндр с тонкой проволокой по центру разделенные изоляторами. Внутри цилиндра находится газовая смесь аргона с парами метилового спирта при давлении около 0,1 атмосферы. К корпусу счетчика приложено отрицательное напряжение до 1000 В. К нити, через нагрузочный резистор -положительный потенциал. При попадании частицы в объем счетчика происходит ионизация молекул и атомов газа. Разгоняясь приложенным напряжением, электроны и ионы вызывают ударную ионизацию газовой смеси, возникает лавинный разряд. Импульс напряжения подается для последующего усиления. Из-за уменьшения напряженности поля между нитью и корпусом коронный разряд гаснет и счетчик готов к приему новой частицы. Для уменьшения времени восстановления в газовую смесь добавляют галогены, что сокращает время восстановления до 100-200 мкс. Такие счетчики ингда называют галогенными. Газовый разряд возникает при любых энергиях влетающих частиц, что не позволяет их индифицировать, но позволяют вести их счет.

Для индификации частиц по энергиям напряжение питания понижается до величины, при котором коронный разряд не возникает. В этом случае газовый счетчик работает как пропорциональный. Большей энергии частиц соответствует больший импульс напряжения на резисторе нагрузки. В пропорциональных счетчиках очень жесткие требования к источнику питания.



На основе газовых детекторов разработаны дозиметры индивидуального пользования, позволяющие контролировать экспозиционную дозу облучения.

Основу дозиметра составляет полый цилиндр, наполненный газом. В центре расположен изолированный от корпуса электрод. К корпусу и электроду присоединяется конденсатор, емкостью в несколько десятков нанофарад и с очень малыми токами утечки. В торце цилиндра имеется прозрачное окошечко со шкалой, на которую проектируется тень от кварцевой нити при освещении дозиметра.

После зарядки конденсатора, под действием потенциала центрального электрода, кварцевая нить отклоняется к нулевой отметке шкалы. При попадании g-квантов в объем счетчика, происходит ионизация газа. Образовавшиеся ионы снижают заряд конденсатора, кварцевая нить смещается. Подбирая объем цилиндра, емкость конденсатора, газовую смесь индивидуальные дозиметры позволяют контролировать дозы облучения от единиц миллирентген до десятков рентген. Размеры дозиметра не превышают размеров авторучки. Считывают показания дозиметра перед его очередной зарядкой.



.4 Ионизационная камера

Ионизационная камера (ИК) применяется для регистрации рентгеновского излучения и малых доз g - излучения и является детектором непрерывного действия.

ИК - сфера из материала пропускающего даже мягкое рентгеновское излучение с покрытием внутренней поверхности графитом. Внутрь сферы вводится изолированный электрод-анод. К аноду и графитовому покрытию подводится высокое (до 1000 В) напряжение. Рабочей средой является атмосферный воздух. Появление ионов вызывает электрический ток, пропорциональный количеству влетевших фотонов.

Для регистрации нейтронов используются галогенные счетчики, помещенные в экраны из водородосодержащих веществ (парафин, глицерин и т.д.) толщиной до 30-40 см. Нейтроны выбивают из вещества экрана протоны, которые регистрируются счетчиком.



9. Приборы для регистрации ядерных излучений

Приборы для регистрации ядерных излучений условно можно разделить на четыре группы:

Индикаторы - предназначены для обнаружения измерения и оценки мощности дозы b - и g- излучений.

Рентгенометры - для измерения мощности доз рентгеновского и g- излучений в диапазоне от 10-6 до сотен рентген в час.

Радиометры - измерители радиоактивности (степени заражения a-, b-, g- излучателями)

Дозиметры - для определения суммарной дозы облучения.

Структурные схемы приборов практически одинаковы.



1. Детектор (счетчик). 2. Усилитель. 3. Устройство индикации. 4. Источник питания. 5. Высоковольтный источник.

В качестве первичных источников питания используется сеть переменного тока или гальванические батареи (аккумуляторы)

Контрольные вопросы

Какой заряд имеет атомное ядро? Как посчитать заряд ядра химического элемента?

Как обеспечивается электрическая нейтральность атома химического элемента в "нормальных" условиях?

Что определяет номер химического элемента в таблице Менделеева?

Что определяет понятие нуклон?

Какие слагаемые определяют массовое число химического элемента?

Что означают понятия изотоп, нуклид?

Как обозначается изотоп конкретного химического элемента?

Как вычислить число нейтронов в ядре нуклида?

Какой процесс происходит при a- распаде?

Записать a - распад в общем виде

Дать общую характеристику a - частицы (заряд, массовое число, энергетический спектр, проникающую способность)

Каким видом излучения может сопровождаться a - распад?

Что представляет собой b- распад? Что лежит в основе b - распада?

Каким видом излучения сопровождается b - распад? Дать характеристику этого вида излучения.

Дать общую характеристику b - частицы (заряд, массовое число, энергетический спектр)

Почему g - излучение не является самостоятельным типом радиоактивного распада?

Записать в общем виде b- распад.

Что называют радиоактивностью?

Перечислить основные определения радиоактивности. Пояснить законы радиоактивного распада.

Что такое период полураспада?

Что определяет закон смещения при радиоактивном распаде?

Что такое ионизирующее излучение?

В каких единицах измеряется энергия ионизирующих (элементарных) частиц?

Дать общую характеристику взаимодействия ядерных излучений с веществом (ионизация, тормозное излучение, люминисценсия).

Какие факторы определяют проникающую способность ядерных частиц в веществе?

Чем объяснить малую проникающую способность a- (b) - частиц?

Что имеется ввиду при определении внешнего (внутреннего) облучения организма человека?

Чем объяснить большую проникающую способность g- излучения?

Какие виды ядерных излучений представляют наибольшую опасность для организма человека при внешнем (внутреннем) облучении и почему?

Общая характеристика взаимодействия радиоактивного облучения с живой тканью организма?

Дать определения дозам облучения (поглощенная, эквивалентная, экспозиционная)

Что определяет коэффициент качества излучения?

Чему равен коэффициент качества a- излучения и почему?

Назвать источники радиационного фона.

Перечислить слагаемые естественного радиационного фона.

Охарактеризовать пути проникновения радиации в организм человека?

Чем определяется мера радиоактивности вещества? Единицы измерения?

Дать определение удельной, объемной, поверхностной радиоактивности. Единицы измерения? Их взаимосвязь?

Зачем нужны ядерные детекторы?

Пояснить принцип работы полупроводникового, сцинтилляционного, газоразрядного ядерного детектора.

Дать классификацию приборов для регистрации ядерных излучений.

Структурная схема прибора для регистрации ядерных излучений. Назначение составляющих структурной схемы.

Список литературы

1. Б.М. Яворский и А.А. Детлаф. Справочник по физике. М.: «Наука», 1979.

. Элементарный учебник физики. Т3 Редактор Г.С. Ландсберг. М.:"Наука", 1986.

. Ф. Бопп. Введение в физику ядра адронов и элементарных частиц. М, «Мир», 1999.

. И.И. Наркевич, Э.И. Волмянский, С.И. Лобко Физика для ВТУзов. Минск, "Вышэйшая школа", 1994.

. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества. Справочник. Ред. Л.А. Ильин, В.А. Филова. Л.. «Химия», 1990.

. В.А. Бударков, В.А. Киришин, А.Е. Антоненко. Радио-биологический справочник. Минск: «Ураджай», 1992.