

Строение ядра. Ядерные реакции.

Мотивационная характеристика изучаемой темы: Радиоактивность и радиоактивные изотопы все шире применяются в различных исследованиях. С помощью радиоактивной метки можно определить концентрацию вещества в растворе. Помимо высокой чувствительности метод позволяет определять одновременно 10-15 элементов. Анализ не связан с разрушением исследуемого образца, что особенно важно при изучении уникальных объектов. Таким методом было определено высокое содержание ядовитого мышьяка в сохранившихся в медальоне волосах Наполеона.

Радиоуглеродный метод позволяет определить возраст найденных органических объектов. Радиоизотопы применяются в термодинамике, кинетике, электрохимии, при изучении механизмов органических реакций. Применение метода радиоактивных индикаторов позволило лучше понять процессы, протекающие в растениях и организмах человека и животных.

Использование экспрессной аппаратуры, дающей возможность регистрировать излучение короткоживущих радионуклидов, позволяет проводить исследования с использованием радионуклидов в разных системах, в том числе *in vivo* в живых организмах. Если период полураспада радионуклида составляет не более 2-3 ч, то уже приблизительно через 1-2 сут в организме, в который были введены такие радионуклиды, радиоактивных атомов нет - они полностью распались. Поэтому применение таких радионуклидов безопасно. Оказывается возможным применять радионуклиды для медицинской диагностики, анализа продуктов питания и других веществ.

Радионуклиды находят широкое применение в медицинской практике. Обнаружено, что онкологические опухоли неустойчивы к действию излучения, возникающего при радиоактивном распаде, а некоторые соединения, содержащие радиоактивную метку, при их внутривенном введении в кровь способны избирательно сорбироваться злокачественными опухолями. Это явление можно использовать при ранней диагностике соответствующих заболеваний: опухоль, поглотившую радионуклид, можно определить по результатам радиометрического сканирования тела пациента. Далее, добившись поглощения опухолью введенного в кровь меченого препарата, можно достичь внутреннего облучения опухоли и в отдельных случаях ее разрушения.

Радий и другие естественные радиоизотопы широко применяются для диагностики и лучевой терапии раковых заболеваний. Использование для этой цели искусственных радиоизотопов значительно повысило эффективность лечения.

Например, радиоактивный йод, введенный в организм в виде раствора иодида натрия, селективно накапливается в щитовидной железе и поэтому применяется в клинической практике для определения нарушений функции щитовидной железы и при лечении базедовой болезни.

Препараты, меченные иодом-131, широко используют в практике обследования больных, у которых нарушена работа почек. В этом случае в вену вводят радиоактивный иод в составе соединения, которое не поглощается щитовидной железой. Далее около почек пациента размещают два радиометрических датчика, позволяющие контролировать скорость прохождения через почки введенного радионуклида. Результаты позволяют установить, какая из почек поражена и сколько оперативно должно быть проведено лечение.

С помощью меченого по натрию физиологического раствора измеряется скорость кровообращения и определяется проходимость кровеносных сосудов конечностей. Радиоактивный фосфор применяется для измерения объема крови и лечения эритремии.

Цель: Закрепить знания о строении атома, ядерных реакциях.

Формируемые компетенции:

- способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);
- готовность решать стандартные задачи профессиональной деятельности с использованием информационных, библиографических ресурсов, медико - биологической терминологии, информационно-коммуникационных технологий и учетом основных требований информационной безопасности (ОПК-1);
- готовность к использованию основных физико - химических, математических и иных естественнонаучных понятий и методов при решении профессиональных задач (ОПК-7);
- способность и готовность к проведению противоэпидемических мероприятий, организации защиты населения в очагах особо опасных инфекций, при ухудшении радиационной обстановки, стихийных бедствиях и иных чрезвычайных ситуациях (ПК-3).
- способность к участию в проведении научных исследований (ПК-21).

В результате изучения темы студент должен:

знать: строение атомного ядра: протоны, нейтроны, массовое число, нуклиды и изотопы; ядерные реакции и радиоактивность; влияние радиоактивного излучения на живые организмы.

уметь: составлять уравнения некоторых ядерных реакций и рассчитывать количества изотопов исходя из данных периода полураспада.

владеть: навыками применения радиоактивных изотопов в исследованиях.

Вопросы необходимые для освоения темы:

1. Строение атомного ядра: протоны, нейтроны, массовое число, нуклиды и изотопы.
2. Ядерные реакции и радиоактивность.
3. Влияние радиоактивного излучения на живые организмы. Применение радиоактивных изотопов в исследованиях.

Обучающий материал:

Типы радиоактивных превращений:

Название	Происходящий процесс	Полученное ядро в сравнении с исходным
Альфа-распад	Испускание альфа-частицы	$A-4, Z-2$
Бета-распад	Испускание электрона и антинейтрино	$A, Z+1$
Позитронный распад	Испускание позитрона и нейтрино	$A, Z-1$
Электронный захват	Захват электрона и испускание нейтрино	$A, Z-1$
Гамма-распад	Испускание фотона высокой энергии (гамма-кванта)	A, Z
Спонтанное деление	Ядро распадается на два или более ядра меньшей массы, а также другие частицы	-
Ядерный синтез	При слиянии двух ядер образуется ядро большей массы	-

A - массовое число, Z – заряд (количество протонов).

Позитрон – частица, имеющая такую же массу, как и электрон, но обладающая положительным зарядом (античастица по отношению к электрону). Нейтрино и антинейтрино – частицы, не обладающие ни массой покоя, ни зарядом.

Гамма-кванты, представляющие собой высокоэнергетические фотоны, также лишены массы покоя и электрического заряда.

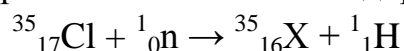
Если нам известна одна из частиц, получившаяся при распаде, то можно вычислить и другую частицу, поскольку во время ядерной реакции соблюдается, так называемый, баланс масс ядерной реакции.

Суть ядерной реакции схематически можно выразить так:

Реагенты, вступающие в реакцию → Продукты, получившиеся в результате реакции

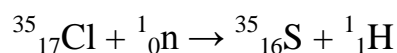
Ядерная реакция считается *сбалансированной*, если сумма атомных номеров элементов в левой части выражения будет равна сумме атомных номеров элементов, полученных после реакции. Это же условие должно соблюдаться и для сумм массовых чисел.

Предположим, что происходит ядерная реакция: изотоп хлора (хлор-35) бомбардируется нейтроном с образованием изотопа водорода (водород-1):



Какой X-элемент будет находиться в правой части уравнения реакции?

Исходя из баланса масс ядерной реакции, атомный номер неизвестного элемента будет равен 16. В Периодической таблице под этим номером находится элемент сера (S). т.о., можно сказать, что в результате нашей ядерной реакции при бомбардировке изотопа хлора (хлор-35) нейтроном получается изотоп водорода (водород-1) и изотоп серы (сера-35). Этот процесс называют еще **ядерным превращением**.



При помощи подобных ядерных превращений ученые научились получать искусственные изотопы, которые не встречаются в природе.

Время, за которое распадается половина первоначального количества радионуклида, называется его периодом полураспада. Время периода полураспада не зависит ни от концентрации, ни от времени и сохраняется постоянным на протяжении всей реакции.

Для радионуклида калий-40 период полураспада $1,3 \cdot 10^9$ лет; такой большой период полураспада свидетельствует что, несмотря на то, что в природном калии всегда содержится примесь радиоактивного ${}^{40}\text{K}$ (в настоящее время – в количестве 0,01%), скорость его распада настолько мала, что не представляет опасности для живых организмов.

А вот у радионуклида стронций-90 $t_{1/2} = 28,7$ года, поэтому он имеет высокую активность и очень опасен, особенно при попадании в организм, где он концентрируется в костях вместе с очень близким к нему по свойствам кальцием. Еще более высокой активностью обладает радионуклид йода ${}^{131}\text{I}$, который образовался в больших количествах при чернобыльской аварии.

Однако опасен этот радионуклид только первые недели своего образования, так как высокая активность означает одновременно и высокую скорость распада; для этого нуклида $t_{1/2} = 8$ суток.

Известны изотопы с очень малыми периодами полураспада, измеряемыми тысячными долями секунды.

Для реакций ядерного распада как реакций первого порядка:

$$t_{0,5} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,69}{k},$$

где $t_{0,5}$ – период полураспада, единица измерения – секунда (минута, год), k – константа реакции, единица измерения – секунда (минута, год) в минус первой степени.

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{c_0}{c_t},$$

где t – время, за которое исходное количество изотопа c_0 распадается до значения c_t

$$c_t = c_0 \cdot e^{-kt}$$

e – основание натурального логарифма, равное 2,718

Периоды полураспада некоторых радионуклидов, применяемых в медицине

Нуклид	$t_{1/2}$	Нуклид	$t_{1/2}$
^{14}C	$5,71 \cdot 10^3$ лет	^{226}Ra	1600 лет
^{144}Ce	284,4 сут	^{228}Ra	5,76 года
^{51}Cr	27, 703 сут	^{222}Rn	3,824 сут
^{137}Cs	30,17 года	^{106}Ru	367 сут
^{131}I	8,054 сут	^{90}Sr	28,7 года
^{192}Ir	74,08 сут	^{95}Zr	64 сут

Задача 1. При хранении таблеток анальгина установлено, что константа скорости разложения при 20°C составляет $1,5 \cdot 10^{-9}\text{C}^{-1}$. Определите срок хранения таблеток (время разложения 10 % вещества) при 20°C

Решение. Из размерности константы скорости следует, что это реакция первого порядка. Для реакции первого порядка

$$t = \frac{\ln c_0 - \ln c}{k}.$$

$\ln c_0 - \ln c = kt$, отсюда k если c_0 принять за 1, то $c = 0,09$. Тогда

$$t = \frac{0 - \ln 0,9}{1,5 \cdot 10^{-9}} = \frac{0,10536}{1,5 \cdot 10^{-9}} = 19500\text{ч} = 812,5\text{сут}.$$

Ответ: 812,5 сут. ≈ 813 сут.

Задача 2. Какая из приведенных ниже формул правильно выражает зависимость между временем половинного превращения вещества в реакции первого порядка $t_{0,5}$ и средней продолжительностью жизни молекул:

$$1) \frac{t_{0,5}}{\tilde{t}} = 1 \qquad 2) \frac{t_{0,5}}{\tilde{t}} = \ln 2$$

Ответ: 2

Задача 3. Для реакции (I) – $k = 11,5$ л/(моль · мин); для реакции (II) – $k = 0,03$ моль/(л · мин); для реакции (III) – $k = 0,025$ мин $^{-1}$. Изменяются ли величины (и как) этих констант, если:

а) время выразить в секундах; б) количество вещества выразить в миллимолях?

Каков порядок этих реакций?

Решение. 1) для всех реакций k уменьшится в 60 раз;

2) k_1 уменьшится в 1000 раз, реакция второго порядка; k_2 увеличится в 1000 раз, реакция нулевого порядка; k_3 не изменится, реакция первого порядка. Следовательно, величина константы скорости уравнения первого порядка не зависит от способа выражения концентрации, а нулевого и второго порядка – зависят.

Задача 4. Период полураспада радиоактивного фосфора 14,3 дня. Через сколько времени активность препарата АТФ, меченного по фосфору, уменьшится в 5 раз?

Решение. Вычислим значение константы скорости

$$k = \frac{0,69}{t_{0,5}} = \frac{0,69}{14,3} = 0,0483 \text{день}^{-1}$$

Рассчитаем время, за которое активность уменьшится в 5 раз, т.е. остается 20 % исходной активности:

$$t = \frac{2,3}{0,0483} \lg \frac{100}{20} = 33,3 \text{дня.}$$

Ответ: 33,3 дня