

«АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО».

Радиоактивность – способность некоторых элементов к спонтанному (самопроизвольному) излучению. Радиоактивный распад подчиняется закону:

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

N_0 – количество активных атомов в начале наблюдения,

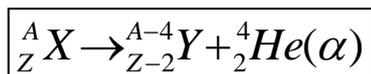
N – количество атомов, оставшихся активными спустя время t ,

T – период полураспада (время, за которое распадается половина от начального числа активных атомов) – данная величина для различных веществ различна и заносится в справочные таблицы.

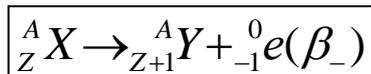
Альфа- и бета-частицы, гамма-излучение.

При помещении радиоактивного излучения в магнитное поле выделили три составляющих радиоактивного излучения:

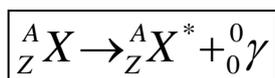
- Альфа-лучи (положительно заряженный поток двукратно ионизированных атомов гелия).



- Бета-лучи (отрицательно заряженный поток электронов).



- Гамма-лучи (электрически нейтральный поток квантов электромагнитного поля с высокой энергией).



В данных формулах X – исходный элемент, Y – элемент после радиоактивного превращения, Z – зарядовое число, A – массовое число.

Методы регистрации ионизирующих излучений.

- Газоразрядный счетчик Гейгера.

- Трековые приборы (паровая и пузырьковые камеры, масс-спектрограф).
- Метод толстослойных фотоэмульсий.

Опыт Резерфорда по рассеянию альфа-частиц.

Согласно модели Томсона положительный заряд атома считался размазанным по всему объему атома, а электроны вкрапленными в эту плотную структуру.

В 1911 г. в результате наблюдения за рассеянием альфа-частиц на тонкой золотой фольге Э.Резерфорд установил, что весь положительный заряд и практически вся (99%) масса атома сосредоточены в компактной области (на пять! порядков меньше размеров самого атома). Н.Бор предложил планетарную модель атома: в центре атома – ядро, вокруг него по строго определенным орбитам обращаются электроны.

Квантовые постулаты Бора.

- Атом находится в одном из возможных дискретных стационарных энергетических состояний. При этом он не излучает и не поглощает энергию.
- При поглощении энергии атом переходит в состояние с более высокой энергией. При излучении энергии атом переходит на более низкий энергетический уровень.

Энергетические уровни рассчитаны только для простейшего, с одним электроном, атома водорода: $E_n = -13,6 \text{ эВ}/n^2$, где n – главное квантовое число, номер энергетического уровня. Энергия кванта определяется как разница энергий уровней атома: $\varepsilon = E_k - E_n$, где k - номер уровня в начале перехода, а n - номер уровня в конце перехода.

Непрерывные и линейчатые спектры.

Спектром называется набор длин волн (или частот) излучения (или поглощения).

Спектр излучения вещества, находящегося в атомарном состоянии, выглядит как тонкие цветные линии на темном фоне. Положение и цвет линий зависит энергий переходов между уровнями в атоме. Например, для водорода среди возможных переходов между энергетическими уровнями оказалось, что в диапазоне видимого света лежат 4 линии (переходов с 3,4,5,6 энергетических уровней на 2 энергетический уровень). Спектры веществ неповторимы и служат «паспортом» данному веществу.

Спектр излучения вещества, находящегося в молекулярном состоянии, выглядит как цветные полосы на темном фоне.

Плотные тела дают непрерывный радужный спектр.

В 1851 г. Фраунгофером было открыто, что вещества активно поглощают на тех же частотах, что и излучают. Спектр поглощения веществом, находящемся в атомарном состоянии, выглядит в виде темных линий на радужном фоне.

Спектральный анализ.

Получая спектр объекта однозначно определяют его химический состав, физическое состояние, массу, размеры, дальность, скорость движения, возраст и прочие характеристики. Спектральный анализ является серьезной астрофизической задачей и подробно здесь рассматриваться не будет.

Лазер.

Знания о поглощении и излучении атомами света позволили создать *лазер* – квантовый генератор оптического диапазона, основанный на принципе усиления света индуцированным

(вынужденным) излучением. Лазерное излучение отличается большой энергией и мощностью, узостью светового пучка, синфазностью, одночастотностью и одинаковой поляризацией с вызвавшим его излучением. Лазеры используются в локации и связи, медицине, промышленности.

Состав ядра атома.

В атомном ядре связаны нуклоны – два типа элементарных частиц – протоны 1_1p и нейтроны 1_0n . Количество несущих положительный заряд протонов совпадает с количеством электронов, обращающихся вокруг ядра. Данное количество показывается зарядовым числом. Количество нейтронов определяется разницей между массовым и зарядовым числами.

Изотопы.

Элементы с одинаковым зарядовым числом, но разным массовым числом называются *изотопами*. Согласно составу атомного ядра изотопы отличаются количеством нейтронов внутри ядер. Изотопы отличаются по физическим свойствам, но химически неотличимы. Изотопы есть у всех элементов периодической системы. Начиная с 83-го номера (висмут) все изотопы радиоактивны. Встречаются радиоактивные изотопы и у элементов с меньшими номерами.

Энергия связи атомных ядер.

Для удержания протонов и нейтронов в ядре требуется энергия. Как оказалось, масса ядра меньше суммы масс всех нуклонов, составляющих ядро. Этот дефект масс и обеспечивает ядро энергией

$$\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_{\text{ядра}}$$

$$E_{\text{связи}} (\text{МэВ}) = \Delta m (\text{a.e.m.}) \cdot 931,5 \left(\frac{\text{МэВ}}{\text{a.e.m.}} \right)$$

связи. В квантовой физике принята внесистемная единица измерения массы: атомная единица массы (а.е.м.) $1 \text{ а.е.м.} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. В формуле дефекта масс Z – количество протонов, N – количество нейтронов в ядре, $m_p = 1,007825 \text{ а.е.м.}$ – масса протона, $m_n = 1,008665 \text{ а.е.м.}$ – масса нейтрона. Энергия связи выражается в мегаэлектрон-вольтах. $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$. Энергию связи, приходящуюся на один нуклон, называют удельной энергией связи. По данной величине можно судить о стабильности ядер.

Ядерные реакции – изменение атомных ядер при взаимодействии друг с другом или элементарными частицами.

Энергетический выход ядерной реакции равен разности энергий покоя ядер до и после реакции. Реакции с выделением энергии (экзотермические) проходят спонтанно. Реакции с поглощением энергии (эндотермические) проходят после подведения энергии.

$$E_{\text{выход}}(\text{МэВ}) = (m_{\text{до}} - m_{\text{после}})(\text{а.е.м.}) \cdot 931,5 \left(\frac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м.}} \right)$$

Реакция деления ядер – образование дочерних ядер с меньшими зарядовыми числами. Пример: ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{142}\text{Ba} + {}_{36}^{91}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$ (реакция Гана - Штрассмана).

Ядерный реактор.

Образование новых нейтронов в вышеуказанной реакции приводит к цепному (повторяющемуся и разрастающемуся) характеру реакции. Управление реакцией сводится к замедлению того количества нейтронов, которые могут привести реакцию к лавинному характеру и выделению большого количества энергии за малый промежуток времени (взрыву).

Среди реакций деления есть несколько подобных реакции Гана-Штрассмана, обладающих большим энергосходом. Для их осуществления необходимо получение изотопов, способных к делению.

Устройство для выработки энергии с помощью управляемых ядерных реакций – *ядерный реактор*.

Использование ядерной энергии сопряжено также с трудностями консервации радиоактивных продуктов реакций.

Термоядерная реакция – синтез более тяжелых элементов из более легких под действием высоких температур. В природе осуществляются в недрах звезд и являются источником их энергии. При термоядерных реакциях водород превращается в гелий, гелий в литий и т.д.

Биологическое действие радиоактивных излучений.

Поражение живых клеток радиоактивными излучениями приводят к *лучевой болезни*. Нарушается электрическая нейтральность клеток и как следствие физиологические обменные процессы в организме. Страдают в первую очередь делящиеся клетки (клетки крови, костного мозга, пищеварительного тракта, половые клетки).

Дозой облучения называется энергия излучения, приходящаяся на единицу массы объекта. Однако, опасность поражения зависит не только от дозы облучения, но и времени воздействия излучений и типа (качества) излучений.

Слабое действие радиации предотвращает развитие раковых клеток, так как они тоже являются делящимися.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ «АТОМ и ЯДРО».

Пример №1. Счетчик Гейгера вблизи радиоактивного препарата фтора зарегистрировал 100 отсчетов в секунду, а через 22 мин. – 87 отсчетов в секунду. Определите период полураспада данного радиоактивного изотопа.

Дано:	Решение:
$N_0 = 100$ $N = 87$ $t = 22$ мин.	Закон радиоактивного распада: $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$. Прологарифмируем данное уравнение по
Найти: T - ?	основанию 2: $-\frac{t}{T} = \log_2\left(\frac{N}{N_0}\right)$ и преобразуем: $\frac{t}{T} = \log_2\left(\frac{N_0}{N}\right) \rightarrow \frac{t}{T} = \log_2(N_0) - \log_2(N) \rightarrow$ $\rightarrow T = \frac{t}{\log_2(N_0) - \log_2(N)} = \frac{22 \text{ мин.}}{\log_2(100) - \log_2(87)} =$ $= 109,5$ мин.

Пример №2 Рассчитать дефект масс, энергию связи и удельную энергию связи ядра $^{24}_{11}\text{Na}$. Данные о массах частиц взять из справочных таблиц.

Дано:	Решение:
$m_p = 1,007825$ а.е.м. $m_n = 1,008665$ а.е.м. $m_{\text{Na}} = 23,990964$ а.е.м.	В ядре $^{24}_{11}\text{Na}$ содержится $Z=11$ протонов и $N=A-Z=24-11=13$ нейтронов. По формуле дефекта масс: $\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_{\text{ядра}}$ $\Delta m = 11 \cdot 1,007825 + 13 \cdot 1,008665 - 23,990964 =$

	$=0,207754$ а.е.м. Вычислим энергию связи ядра: $E_{\text{связи}} (\text{МэВ}) = \Delta m (\text{а.е.м.}) \cdot 931,5 \left(\frac{\text{МэВ}}{\text{а.е.м.}} \right)$ $E_{\text{связи}} = 0,207754 \cdot 931,5 = 193,5$ МэВ. Рассчитаем удельную энергию связи ядра: $E_{\text{уд.связи}} \left(\frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}} \right) = \frac{E_{\text{связи}} (\text{МэВ})}{A (\text{нуклон})}$ $E_{\text{уд.связи}} = 193,5 / 24 = 8,06$ МэВ/нуклон.
--	---

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

«АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО»

1. Дефект массы ядра ^{23}Na равен 0,20037 а.е.м. Определить массу ядра натрия.
2. Определить число нейтронов в ядре изотопа кислорода, дефект массы которого равен 0,14154 а.е.м., а масса атома 16,99913 а.е.м.
3. Запишите реакцию α -распада ^{212}Po .
4. Изотоп азота захватывает α -частицу с выделением протона. Определите номер второго продукта реакции.
5. Испустив три одинаковые частицы, изотоп актиния-225 превратился в изотоп висмута-213. Какие это частицы?
6. Вычислите в кулонах заряд ядра атома олова.
7. Укажите второй продукт ядерной реакции ${}^9_4\text{Be} + \alpha \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + ?$.
8. Во сколько раз удельная энергия связи нуклонов в ядре урана-235 больше, чем в ядре гелия-4. Масса ядра урана 235,04253 а.е.м., масса ядра гелия 4,00260 а.е.м.
9. Какая доля радиоактивных атомов остается нераспавшейся через интервал времени равный двум периодам полураспада?

10. Определите энергетический выход реакции синтеза кислорода, получающегося в результате бомбардировки азота протонами, если энергия покоя ядра азота равна 13039,97 МэВ, энергия покоя протона равна 938,28 МэВ, энергия покоя ядра кислорода равна 13963,77 МэВ.

11. Сколько и каких одинаковых частиц испускает изотоп ксенона-140, превращаясь при этом в изотоп церия-140?

12. При переходе электрона в атоме водорода с одного энергетического уровня на другой был излучен свет с частотой $4,57 \cdot 10^{14}$ Гц. На сколько уменьшилась энергия атома?

13. При радиоактивном распаде препарата полония, первоначальная масса которого 0,1 мг, счетчик зарегистрировал испускание $3 \cdot 10^{17}$ альфа-частиц. При этом масса полония уменьшилась на 2%. Определить массу атома гелия.

14. Сколько (по массе) радиоактивного вещества останется по истечении одних, двух, трех и четырех суток, если вначале его было 100 г? Период полураспада вещества равен двум суткам. Через сколько суток весы с чувствительностью 0,01 г покажут отсутствие радиоактивного вещества?

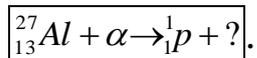
15. Радиоактивный изотоп углерода в старом куске дерева составляет 0,0416 массы этого изотопа в живых растениях. Каков возраст этого куска дерева? Период полураспада изотопа равен 5570 годам.

16. Как изменится атомная масса и номер элемента, если из ядра будет выброшен протон?

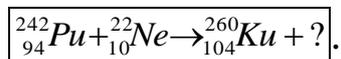
17. Найти дефект масс, энергию связи и удельную энергию связи ядра изотопа алюминия-27. Масса ядра этого изотопа 26,981541 а.е.м.

18. Найти дефект масс, энергию связи и удельную энергию связи ядра изотопа лития-7. Масса ядра этого изотопа 7,01601 а.е.м.

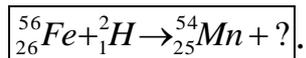
19. Найдите недостающие компоненты ядерной реакции:



20. Найдите недостающие компоненты ядерной реакции:

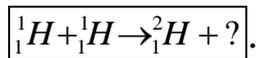


21. Найдите недостающие компоненты ядерной реакции:



22. Найдите недостающие компоненты ядерной реакции: $\boxed{{}_6^{14}\text{C} \rightarrow {}_7^{14}\text{N} + ?}$

23. Найдите недостающие компоненты ядерной реакции:



24. Во сколько раз длина волны излучения, возникающего при переходе атома водорода с третьего энергетического уровня на второй, больше, чем длина волны излучения, возникающего при переходе атома водорода со второго энергетического уровня на основной (первый)?

25. Найти мощность реактора, в котором делится 1 г урана ${}^{235}\text{U}$ в сутки. Энергетический выход при делении одного ядра принять равным 185 МэВ.