

## «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,

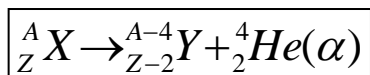
$N$  – количество атомов, оставшихся активными спустя время  $t$ ,

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

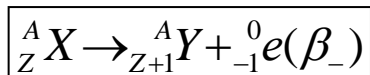
### Альфа- и бета-частицы, гамма-излучение.

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

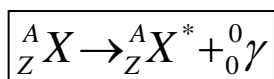
- Альфа-лучи (положительно заряженный поток двукратно ионизированных атомов гелия).



- 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

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

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

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: $\frac{t}{T} = \log_2\left(\frac{N_0}{N}\right) \rightarrow \frac{t}{T} = \log_2(N_0) - \log_2(N) \rightarrow$ $\rightarrow T = \frac{t}{\log_2(N_0) - \log_2(N)} = \frac{22 \text{ мин.}}{\log_2(100) - \log_2(87)} =$ $= 109,5 \text{ мин.}$

**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  $^{23}\text{Na}$  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  $\alpha$ -распада  $^{212}\text{Po}$ .
4. Изотоп азота захватывает  $\alpha$ -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?

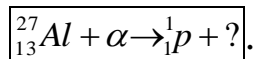
15. Радиоактивный изотоп углерода в старом куске дерева составляет 0,0416 массы этого изотопа в живых растениях. Каков возраст этого куска дерева? Период полураспада изотопа равен 5570 годам.

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

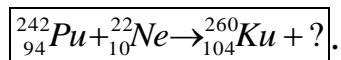
17. Найти дефект масс, энергию связи и удельную энергию связи ядра изотопа алюминия-27. Масса ядра этого изотопа 26,981541 а.е.м.

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

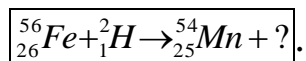
19. Найдите недостающие компоненты ядерной реакции:



20. Найдите недостающие компоненты ядерной реакции:

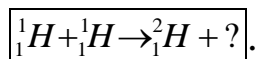


21. Найдите недостающие компоненты ядерной реакции:



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.