

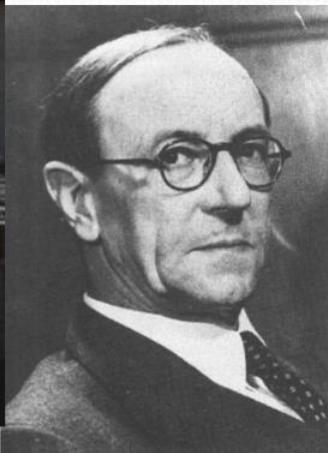
Фотоядерные реакции

1. Взаимодействие γ -квантов с электронами атомных оболочек:

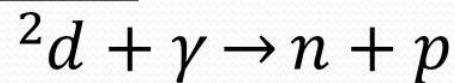
 - фотоэффект,
 - комптон-эффект,
 - образование электрон-позитронной пары;
2. Взаимодействие γ -квантов с атомными ядрами:

 - рассеяние γ -квантов атомными ядрами (упругое и неупругое),
 - фотоядерные реакции.

Фотоядерные реакции – процессы, при которых происходит поглощение фотонов ядрами с последующим расщеплением их на различные частицы.



Первая фотоядерная
реакция была открыта
Морисом Гольдхабером и
Джеймсом Чедвиком в 1934 г.

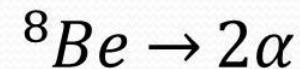


$$E_\gamma = 2,62 \text{ МэВ}$$

$$E_p = 0,2 \text{ МэВ}$$

$$B_d = E_\gamma - E_n - E_p = 2,22 \text{ МэВ}$$

Вторая фотоядерная реакция



$$B_n = 1,6 \text{ МэВ}$$



$$\begin{array}{c} (\gamma,n) \\ (\gamma,p) \end{array}$$

$$\begin{array}{c} (\gamma,2n) \\ (\gamma,np) \\ (\gamma,2p) \\ (\gamma,3n) \\ (\gamma,\alpha) \end{array}$$

$$(\gamma,f)$$

$$A(\gamma, b)B$$
$$Q = -B_b$$

Фотоядерные реакции – эндоэнергетические.
Иключение: (γ, α) , (γ, f)

$$p_A=p_\gamma$$

$$E_A=\frac{{p_A}^2}{2M}=\frac{{p_\gamma}^2}{2M}=\frac{{E_\gamma}^2}{2Mc^2}$$

$${E_A}^*=E_\gamma-E_A=E_\gamma(1-\frac{{E_\gamma}^2}{2Mc^2})$$

$${E_A}^*\geq |Q|$$

$$|Q|=E_{\rm pop}(1-\frac{E_{\rm pop}}{2Mc^2})$$

$$E_{\text{пор}} \approx |Q|$$

Для более точной оценки:

$$|Q| = E_{\text{пор}} \left(1 - \frac{|Q|}{2Mc^2}\right)$$

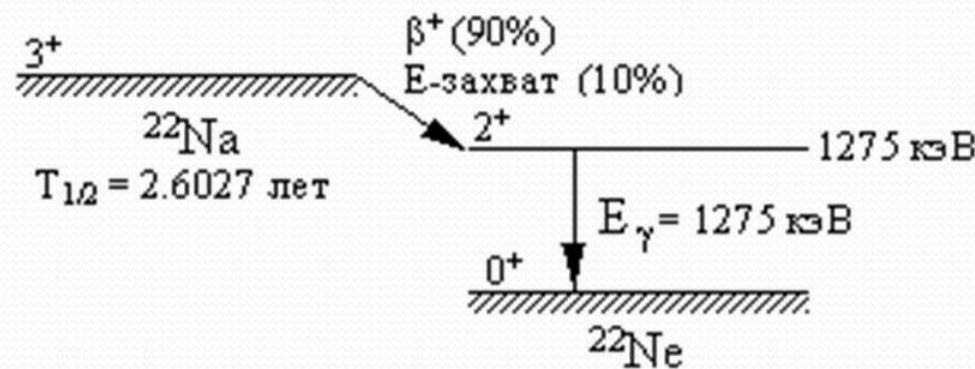
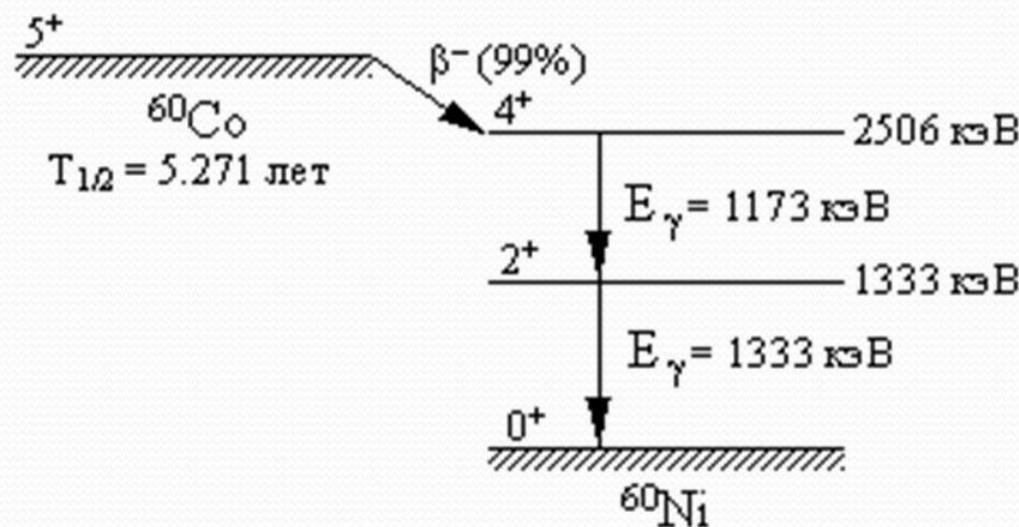
$$E_{\text{пор}} = |Q| \left(1 + \frac{|Q|}{2Mc^2}\right)$$

Источники фотонов

1. Радиоактивные источники.

Для исследований фотоядерных реакций пригодны лишь те радионуклиды, свойства которых удовлетворяют следующим условиям:

- Энергия испускаемых γ -квантов должна быть больше пороговой энергии изучаемых реакций;
- Период полураспада радионуклида не должен быть ни слишком большим, ни слишком малым;
- Квантовый выход n_γ для фотонов требуемой энергии должен быть как можно больше (не менее 2-3%)



Источники фотонов

+ радиоактивных источников:

- ✓ Простота и дешевизна;
- ✓ Стого определенная энергия фотонов в каждой линии γ -спектра;
- ✓ Почти постоянная или слабо изменяющаяся во времени интенсивность.

Источники фотонов

- радиоактивных источников:
 - ✓ Сложный характер их энергетического спектра;
 - ✓ Энергии получаемых γ -квантов не превышают 3 МэВ.

Источники фотонов

2. Источники с использованием реакции (n,γ)



Источники фотонов

- + источников с использованием реакции (n,γ) :
- ✓ Возможность получать фотоны с энергиями, превышающими пороговые энергии многих фотоядерных реакций.

Источники фотонов

- источников с использованием реакции (n,γ) :
- ✓ Невозможность плавного регулирования энергии первичных фотонов;
- ✓ Наличие в энергетическом спектре нескольких групп фотонов с различными энергиями;
- ✓ Сильный фон постороннего γ -излучения и нейтронов из реактора.

Источники фотонов

3. Источники с использованием ядерных реакций с заряженными частицами.

Наибольшее распространение в источниках данного типа получила реакция радиационного захвата протона (p, γ).

4. Источники тормозного излучения.

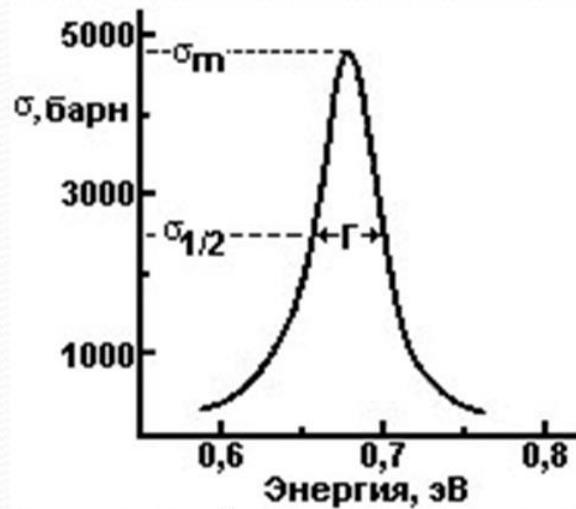
Возникающее при прохождении через вещество быстрых электронов тормозное излучение представляет собой поток фотонов с непрерывным энергетическим спектром.

Ядерный фотоэффект

Явление прямого вырывания протонов из ядра - ядерный фотоэффект.

Роль ядерного фотоэффекта для средних и тяжелых ядер относительно невелика: все реакции (γ, n) и часть реакций (γ, p) с вылетом низкоэнергетических протонов идут через составное ядро.

Гигантский дипольный электрический резонанс



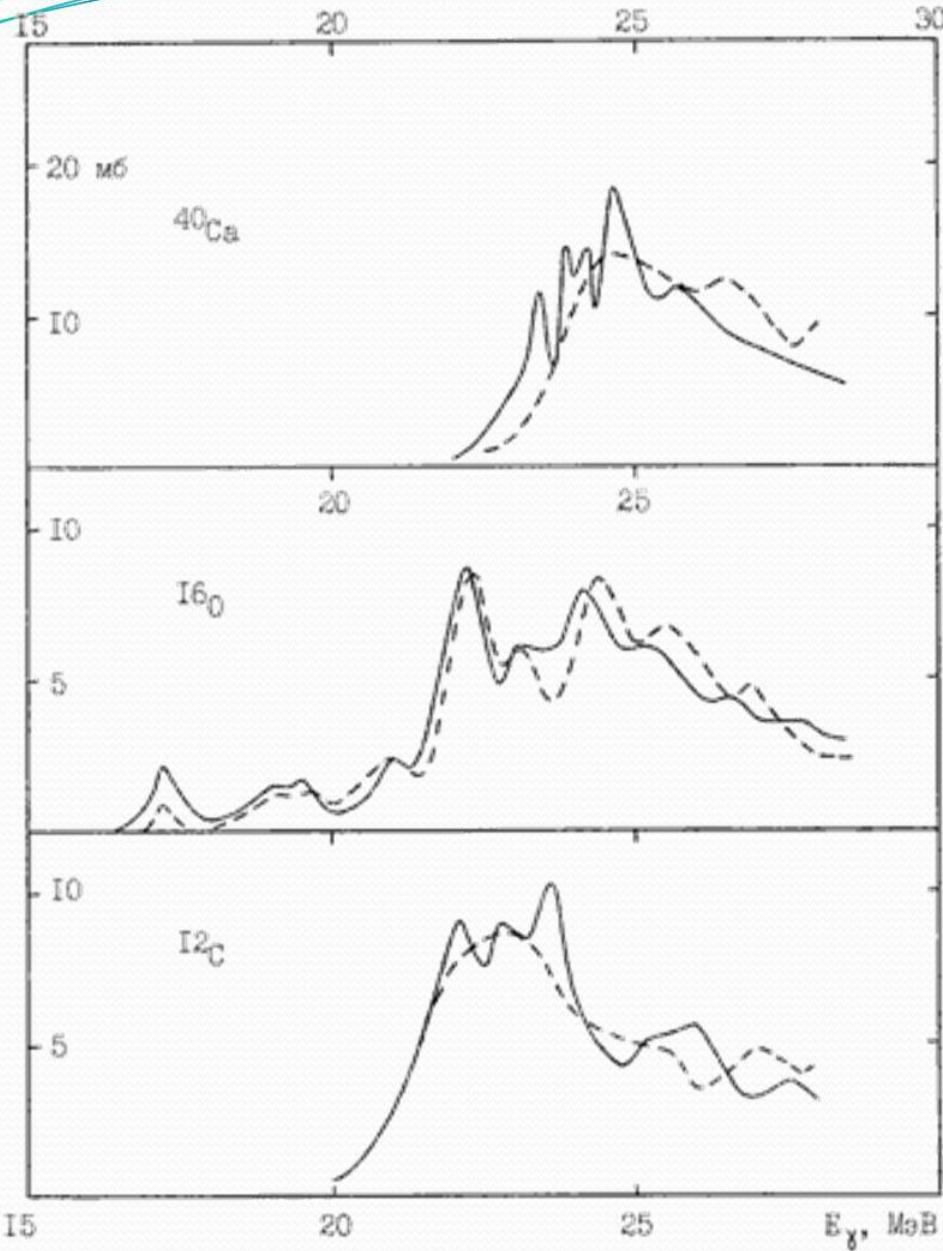
При измерениях эффективных сечений реакций (γ, n) было установлено: сечение сначала плавно возрастает, а затем, пройдя через максимум, также плавно убывает.

Ширина фотоядерного резонанса - 3-7 МэВ.

Явление – гигантский резонанс – колебания протонов относительно нейтронов под действием электромагнитной волны.

Параметры, характеризующие гигантские резонансы при фотоядерных реакциях:

1. Резонансная энергия, при которой сечение проходит через максимум;
2. Ширина резонанса, измеренная на половине его высоты;
3. Эффективное сечение в максимуме.



Сечения фотонейтронной
реакции для ядер
 ^{12}C , ^{16}O , ^{40}Ca
(Сплошные линии - данные
непосредственных
измерений, пунктир -
результат пересчета из
экспериментальных
парциальных фотопротонных
сечений)