
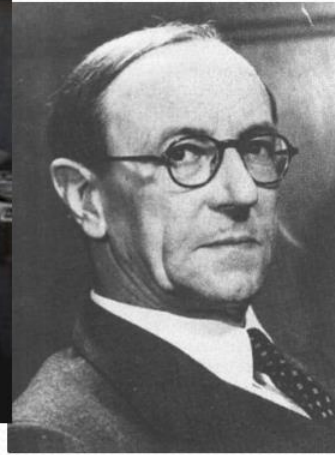


Фотоядерные реакции

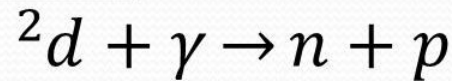
1. Взаимодействие γ -квантов с электронами атомных оболочек:
 - фотоэффект,
 - комптон-эффект,
 - образование электрон-позитронной пары;
2. Взаимодействие γ -квантов с атомными ядрами:
 - рассеяние γ -квантов атомными ядрами (упругое и неупругое),
 - фотоядерные реакции.



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.

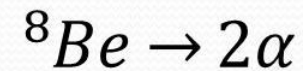


$$E_{\gamma} = 2,62 \text{ МэВ}$$

$$E_p = 0,2 \text{ МэВ}$$

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

Вторая фотоядерная реакция



$$B_n = 1,6 \text{ МэВ}$$


$$A + \gamma \rightarrow b + B$$

$$(\gamma, n)$$

$$(\gamma, p)$$

$$(\gamma, 2n)$$

$$(\gamma, np)$$

$$(\gamma, 2p)$$

$$(\gamma, 3n)$$

$$(\gamma, \alpha)$$

$$(\gamma, f)$$

$$A(\gamma, b)B$$

$$Q = -B_b$$

Фотоядерные реакции – эндоэнергетические.

Исключение: (γ, α) , (γ, f)

$$p_A = p_\gamma$$

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

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

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

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

$$E_{\text{пор}} \approx |Q|$$

Для более точной оценки:

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

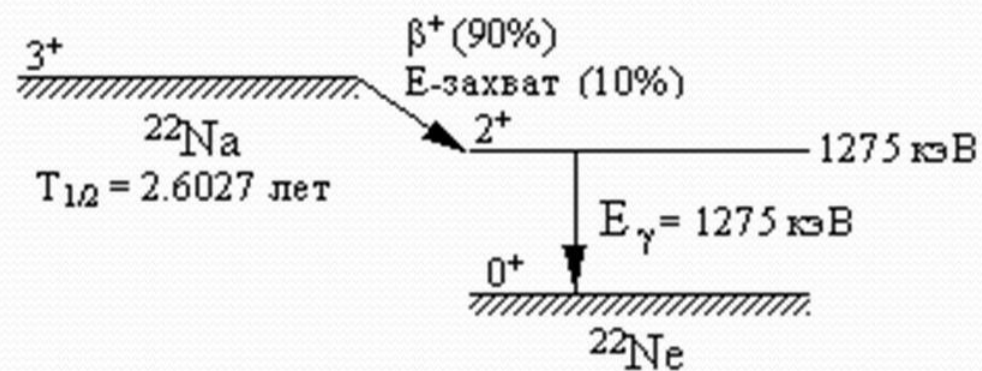
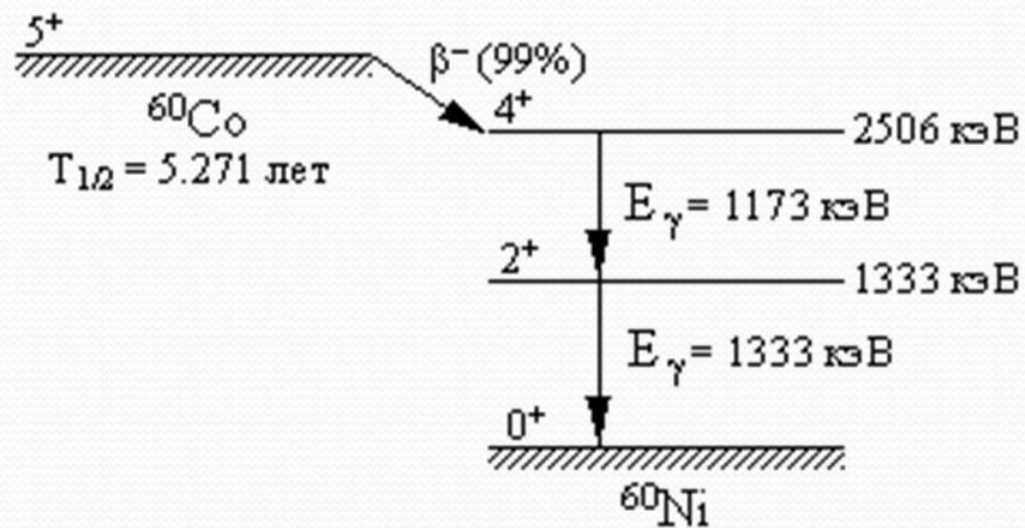
$$E_{\text{пор}} = |Q| \left(1 + \frac{|Q|}{2Mc^2}\right)$$

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;
- ✓ Строго 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.

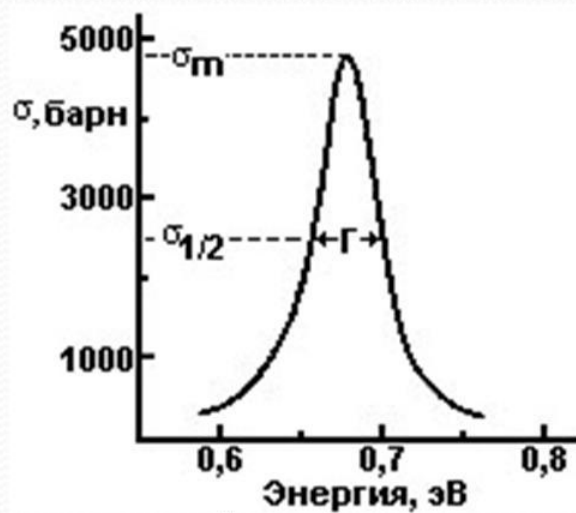
Возникающее при прохождении через вещество быстрых электронов тормозное излучение представляет собой поток фотонов с непрерывным энергетическим спектром.

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, так же плавно убывает.

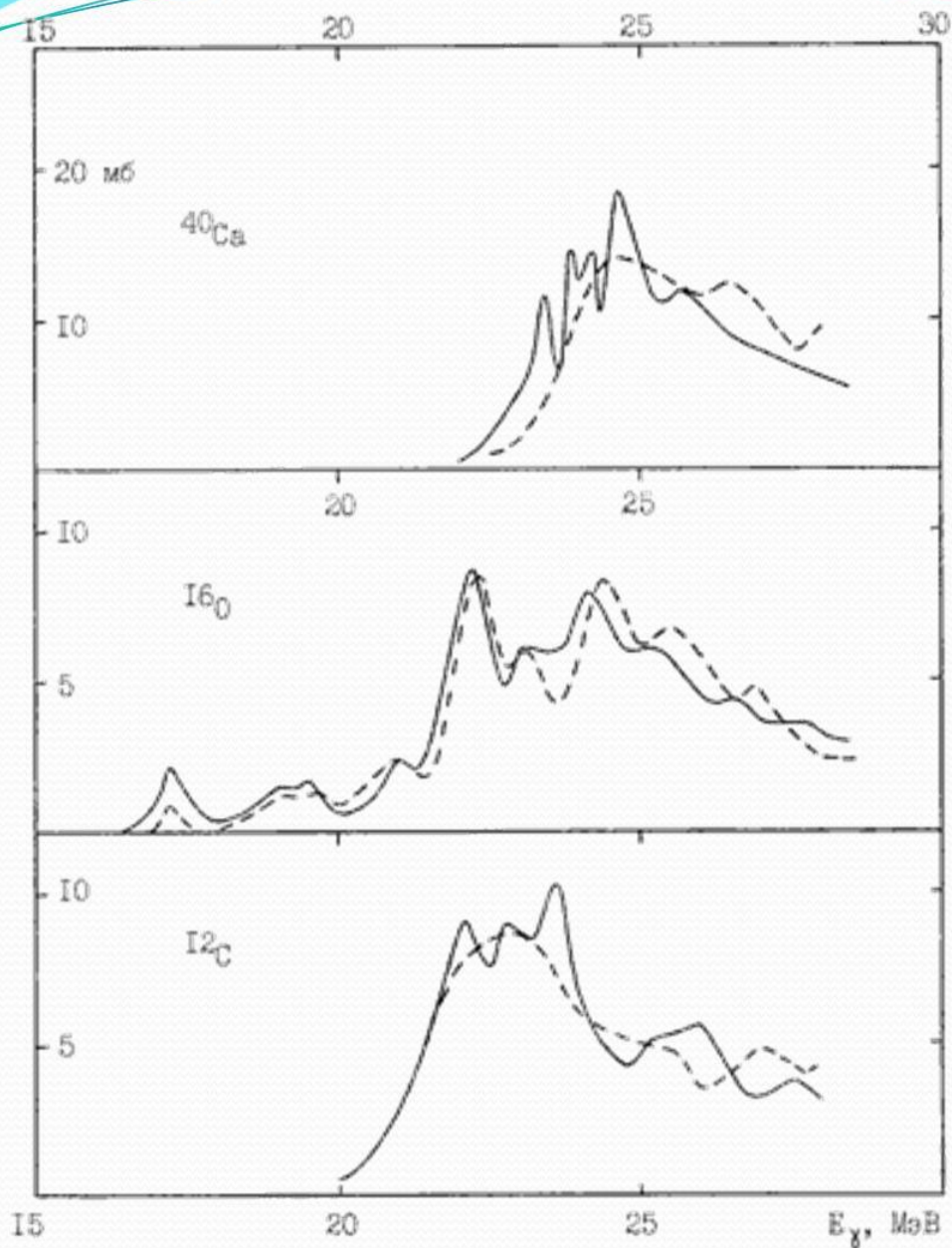
Ширина фотоядерного резонанса - 3-7 МэВ.

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)