
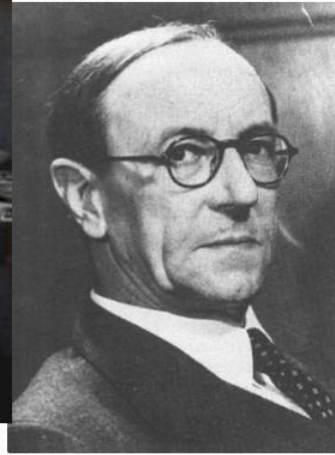


# Фотоядерные реакции

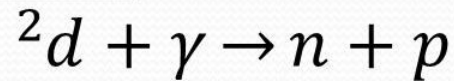
1. Взаимодействие  $\gamma$ -квантов с электронами атомных оболочек:
  - фотоэффект,
  - комптон-эффект,
  - образование электрон-позитронной пары;
2. Взаимодействие  $\gamma$ -квантов с атомными ядрами:
  - рассеяние  $\gamma$ -квантов атомными ядрами (упругое и неупругое),
  - фотоядерные реакции.



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.

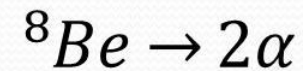


$$E_\gamma = 2,62 \text{ МэВ}$$

$$E_p = 0,2 \text{ МэВ}$$

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

Вторая фотоядерная реакция



$$B_n = 1,6 \text{ МэВ}$$



$(\gamma, n)$

$(\gamma, p)$

$(\gamma, 2n)$

$(\gamma, np)$

$(\gamma, 2p)$

$(\gamma, 3n)$

$(\gamma, \alpha)$

$(\gamma, f)$

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

$$Q = -B_b$$

Фотоядерные реакции – эндоэнергетические.

Исключение:  $(\gamma, \alpha)$ ,  $(\gamma, f)$

$$p_A = p_\gamma$$

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

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

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

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



$$E_{\text{пор}} \approx |Q|$$

Для более точной оценки:

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

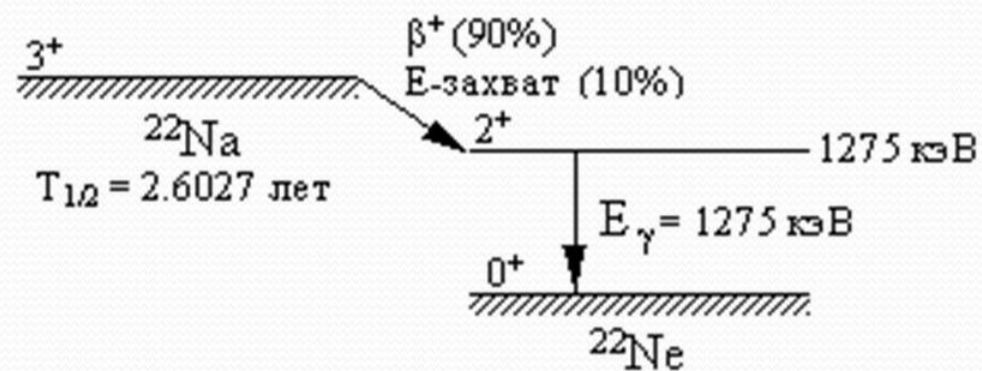
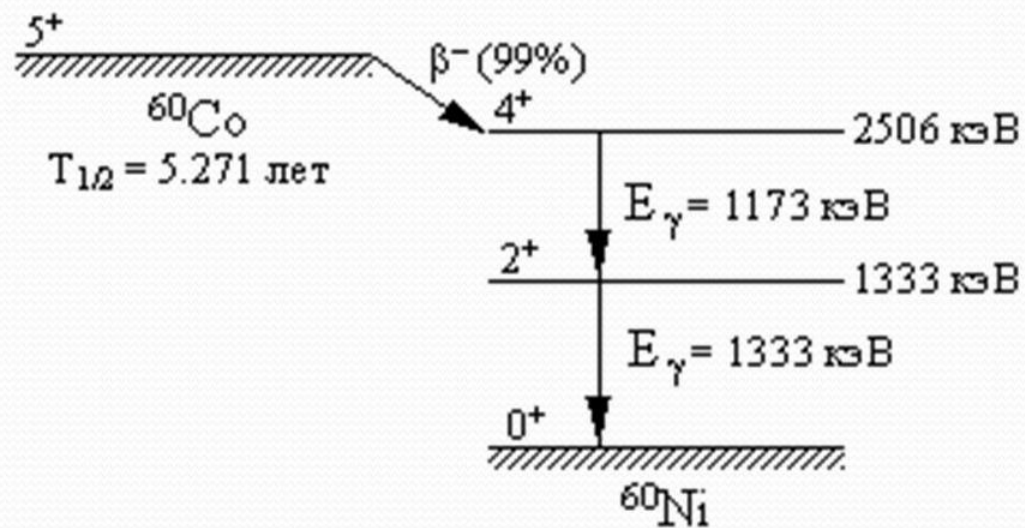
$$E_{\text{пор}} = |Q| \left(1 + \frac{|Q|}{2Mc^2}\right)$$

# Источники фотонов

## 1. Радиоактивные источники.

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

- Энергия испускаемых  $\gamma$ -квантов должна быть больше пороговой энергии изучаемых реакций;
- Период полураспада радионуклида не должен быть ни слишком большим, ни слишком малым;
- Квантовый выход  $n_\gamma$  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  $\gamma$ -спектра;
- ✓ Почти постоянная или слабо изменяющаяся во времени интенсивность.

# Источники фотонов

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

# Источники фотонов

2. Источники с использованием реакции (n,γ)



# Источники фотонов

- † источников с использованием реакции  $(n, \gamma)$ :
- ✓ Возможность получать фотоны с энергиями, превышающими пороговые энергии многих фотоядерных реакций.

# Источники фотонов

- источников с использованием реакции  $(n, \gamma)$ :
- ✓ Невозможность плавного регулирования энергии первичных фотонов;
- ✓ Наличие в энергетическом спектре нескольких групп фотонов с различными энергиями;
- ✓ Сильный фон постороннего  $\gamma$ -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 ( $p, \gamma$ ).

4. Источники тормозного излучения.

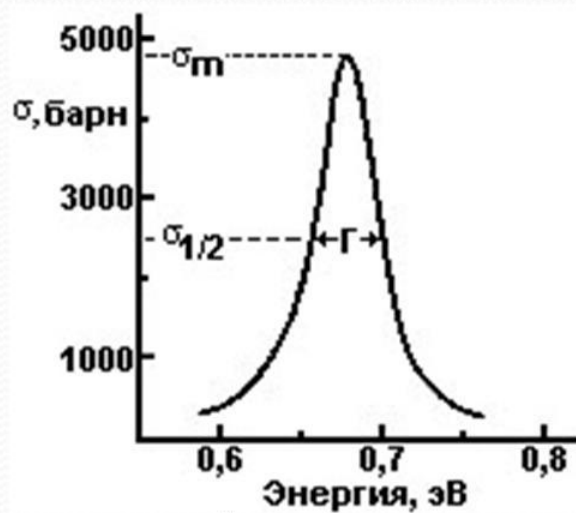
Возникающее при прохождении через вещество быстрых электронов тормозное излучение представляет собой поток фотонов с непрерывным энергетическим спектром.

# Ядерный фотоэффект

Явление прямого вырывания протонов из ядра - ядерный фотоэффект.

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


# Гигантский дипольный электрический резонанс



При измерениях эффективных сечений реакций ( $\gamma, n$ ) было установлено: сечение сначала плавно возрастает, а затем, пройдя через максимум, так же плавно убывает.

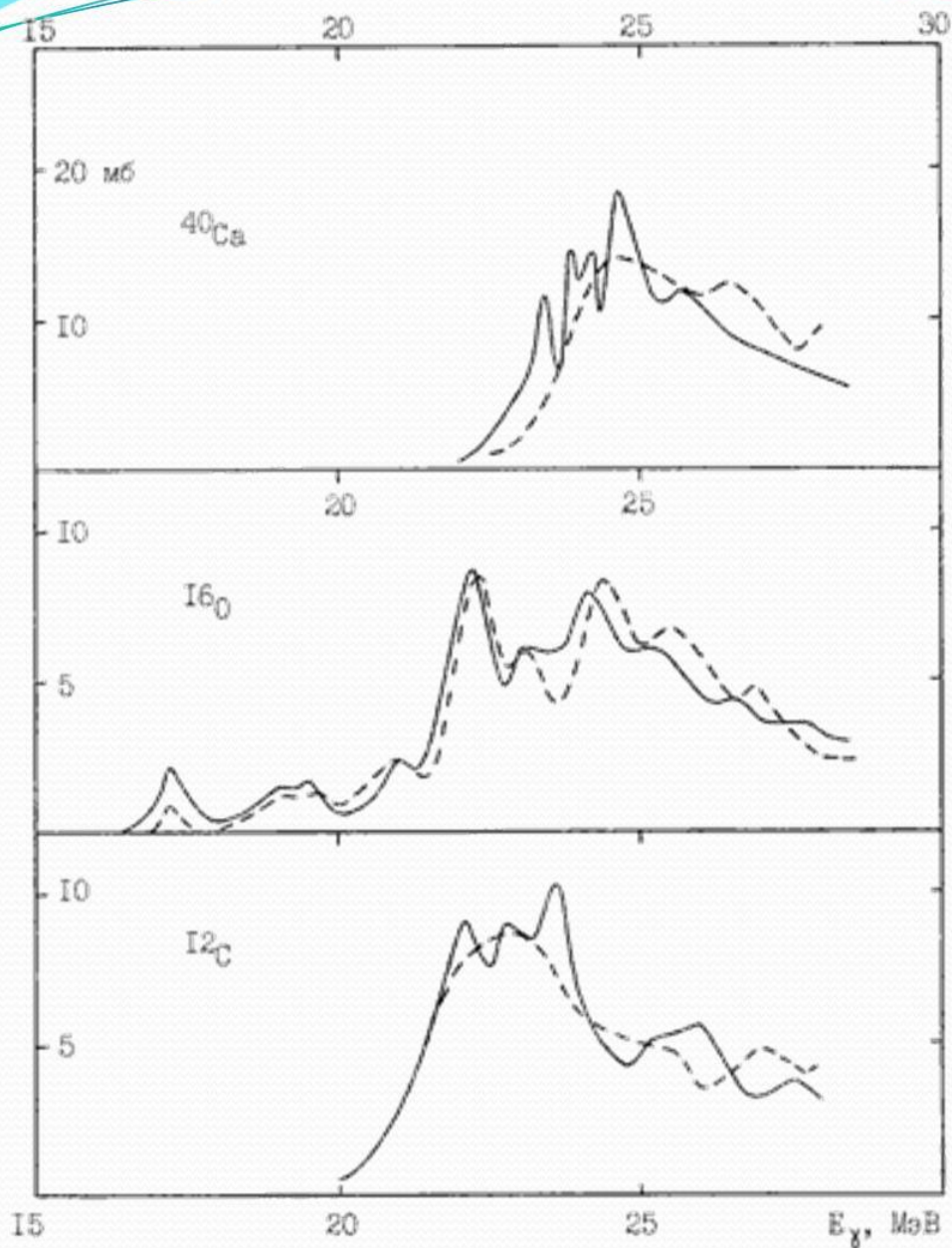
Ширина фотоядерного резонанса - 3-7 МэВ.

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  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{40}\text{Ca}$   
 (Сплошные линии - данные непосредственных измерений, пунктир - результат пересчета из экспериментальных парциальных фотопротонных сечений)