

# Прямой ядерный фотоэффект на около-поверхностных состояниях тяжелых деформированных ядер

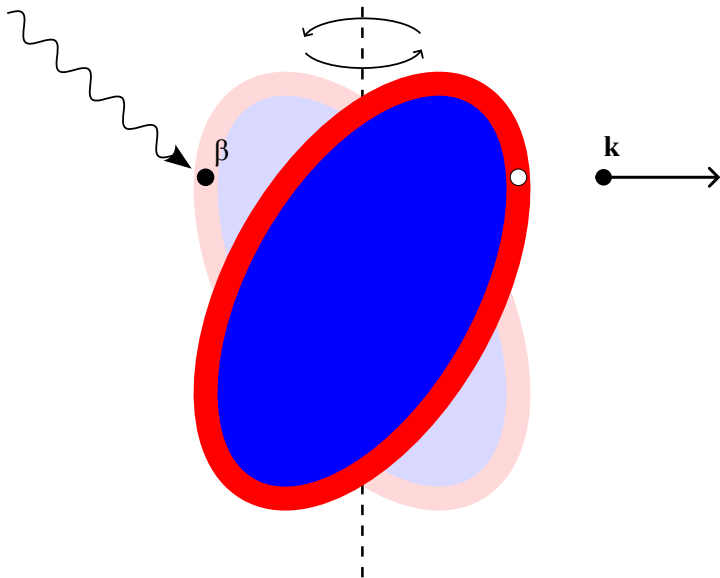
В. Н. Орлин, К. А. Стопани

Семинар памяти профессора Б. С. Ишханова  
Фотоядерные исследования. Состояние и перспективы  
23 октября 2025 г.

# Постановка задачи

- ▶ Direct Nucleon Knock-Out (DKO)
- ▶ Противоречие релятивистских и нерелятивистских расчетов на  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{40}\text{Ca}$  при  $E_\gamma \geq 60$  МэВ
- ▶  $E_\gamma \leq 40$  МэВ
- ▶ Рассматриваются тяжелые деформированные ядра (аксиальные). В этом случае ввиду отсутствия сферической симметрии присутствует связь между состояниями вращательной полосы остова и орбитальным движением выбиваемого нуклона.
- ▶ Адиабатическое условие: частота вращательного движения  $\ll$  частоты вибраций поверхности. В этом случае в. ф. ядра сепарируется в произведение внутреннего состояния и вращательной части.

## Описание модели



## Описание модели

- Основное состояние начального ядра

$$|i\rangle = |J_0 M_0\rangle = \sqrt{\frac{2J_0+1}{8\pi^2}} D_{M_0, \Omega+K}^{J_0}(\omega) \phi'_{\beta\Omega} \chi'_{\beta K}.$$

- Конечное состояние

$$|f\rangle = \Omega_- \left[ \sqrt{\frac{2I_n+1}{8\pi^2}} D_{M_n, K}^{I_n}(\omega) \chi'_{\beta K} |ks\rangle \right] = \Omega_- |n\rangle |ks\rangle \equiv |n, ks^{(-)}\rangle.$$

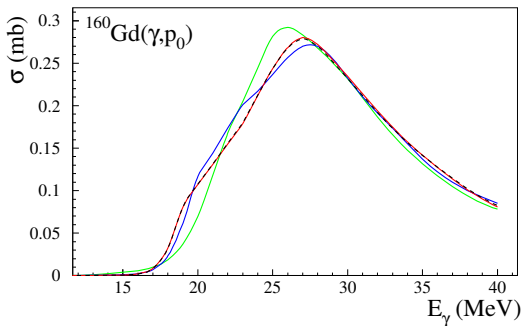
- В выходном канале реакции  $H = T + H_{\text{конечн}} + V$ , где потенциал движения нуклона в поле конечного ядра

$V = V_{\text{с-о}}(\text{сферич.}) + V_{\text{ядерн}}(\text{деформ.}) + V_{\text{кул}}(\text{деформ.})$  взят из модели глобального оптического потенциала Koning and Delaroche 2003.  $|n\rangle$  — состояние вращательной полосы.

- $\chi'_{\beta K}$  — состояние конечного ядра в деформированной ОМО в потенциале  $V$ .  $|n\rangle$  — состояние вращательной полосы на  $\chi'_{\beta K}$ .
- Учитываются  $E1$  и  $E2$  переходы под действием налетающего фотона.

# Параметры модели

- ▶  $\mathcal{T}$  — момент инерции конечного ядра.
- ▶  $n_{\max} = 4 \div 6$  — число уровней вращательной полосы.
- ▶  $\beta_{\max} = 5 \div 6$  — число задействованных уровней вблизи границы Ферми.
- ▶  $N_{\max}$  и  $\varepsilon_{\max}$  — размерность осцилляторного базиса.

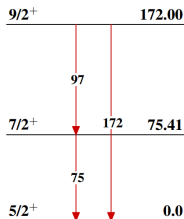


$\varepsilon_{\max} = 100, 150 \text{ MeV}, N_{\max} = 20, 25, 30.$

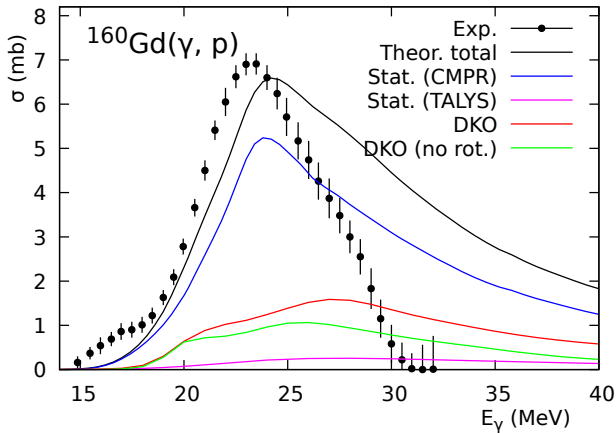
# Результаты

$$\delta = 0.335$$

Band(A):  $\pi 5/2[413]$  band  
( $11/2^+$ ) 291

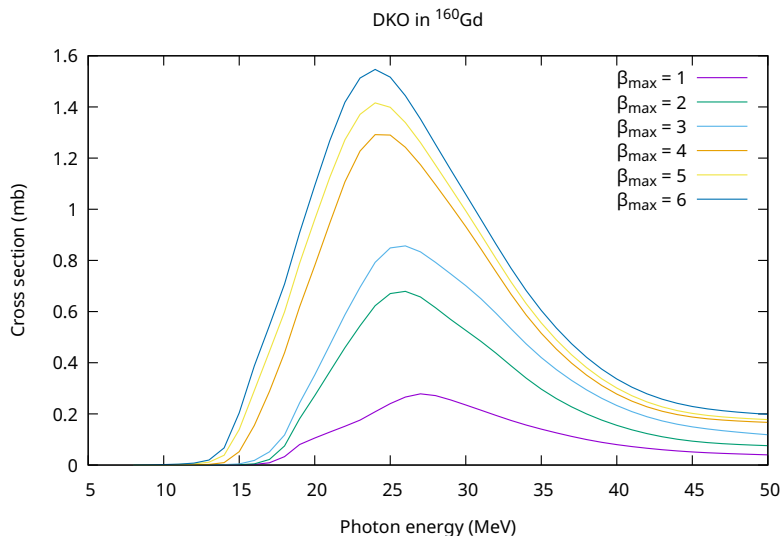


$$\mathcal{T} = 50 \hbar^2/\text{MeV}.$$

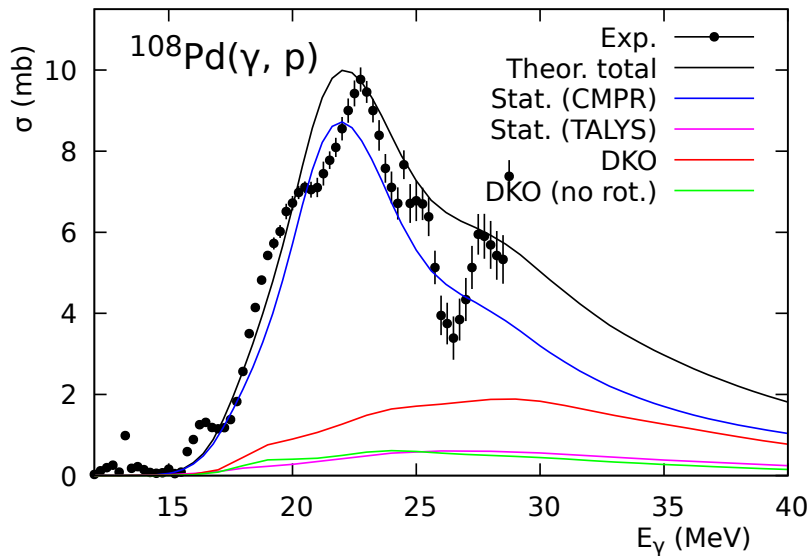


# Результаты

## Влияние числа задействованных поверхностных уровней

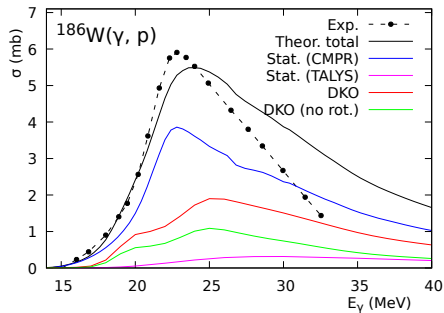
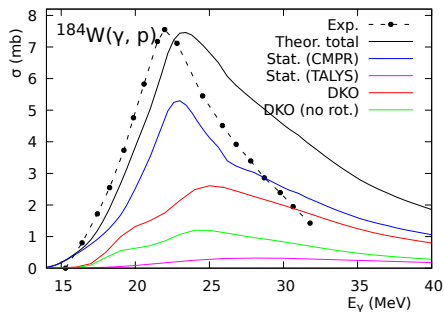


# Результаты

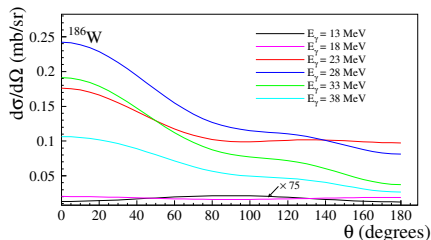
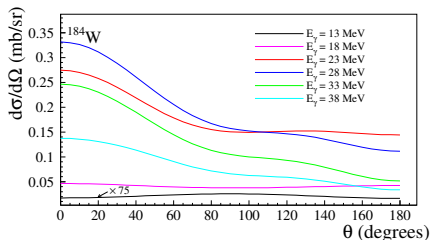
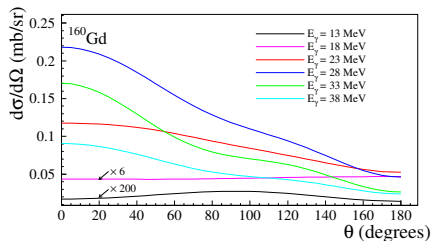
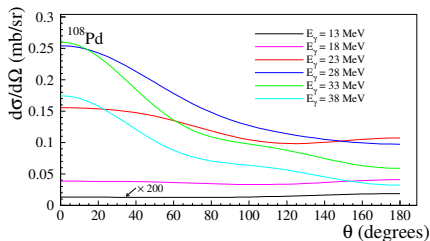


$$\delta = 0.15$$

# Результаты

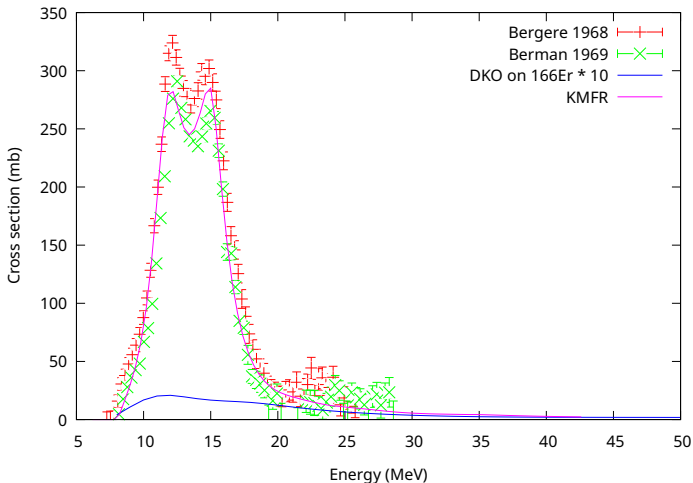
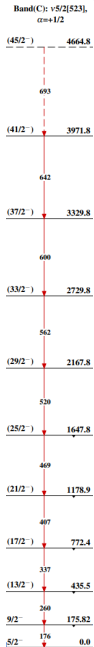


# Угловые распределения



При малых  $E_\gamma$  направление вылета вперед экранировано.

# Реакции с вылетом нейтронов: $^{165}\text{Ho}(\gamma, nX)$



Положение пика воспроизведено, но величина  $\ll$  эксп. Здесь  $n_{\text{max}} = 6$ . Задействовав всю полосу и большее  $\beta_{\text{max}}$ , можно претендовать на коррекцию результата КМФР.

# Заключение

- ▶ Прямой ядерный фотоэффект с около-поверхностных состояний тяжелых деформированных ядер представляет существенную поправку к сечениям фотопротонных реакций при  $E_\gamma \leq 40$  МэВ.
- ▶ Возможны и другие каналы прямых фотоядерных реакций при более высоких энергиях.
- ▶ Вместо близости к уровню Ферми задействованные уровни можно выбирать по принципу максимума поверхностной концентрации. Эффект образования пар.
- ▶ Величина ДКО составляет несколько мб и слабо меняется на соседних изотопах.
- ▶ Приведены все, доступные в базах данные по фотопротонным сечениям на тяжелых ядрах.

Спасибо за внимание!