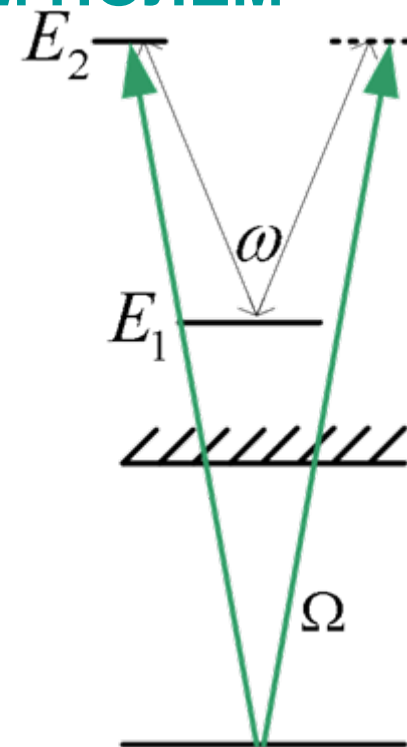
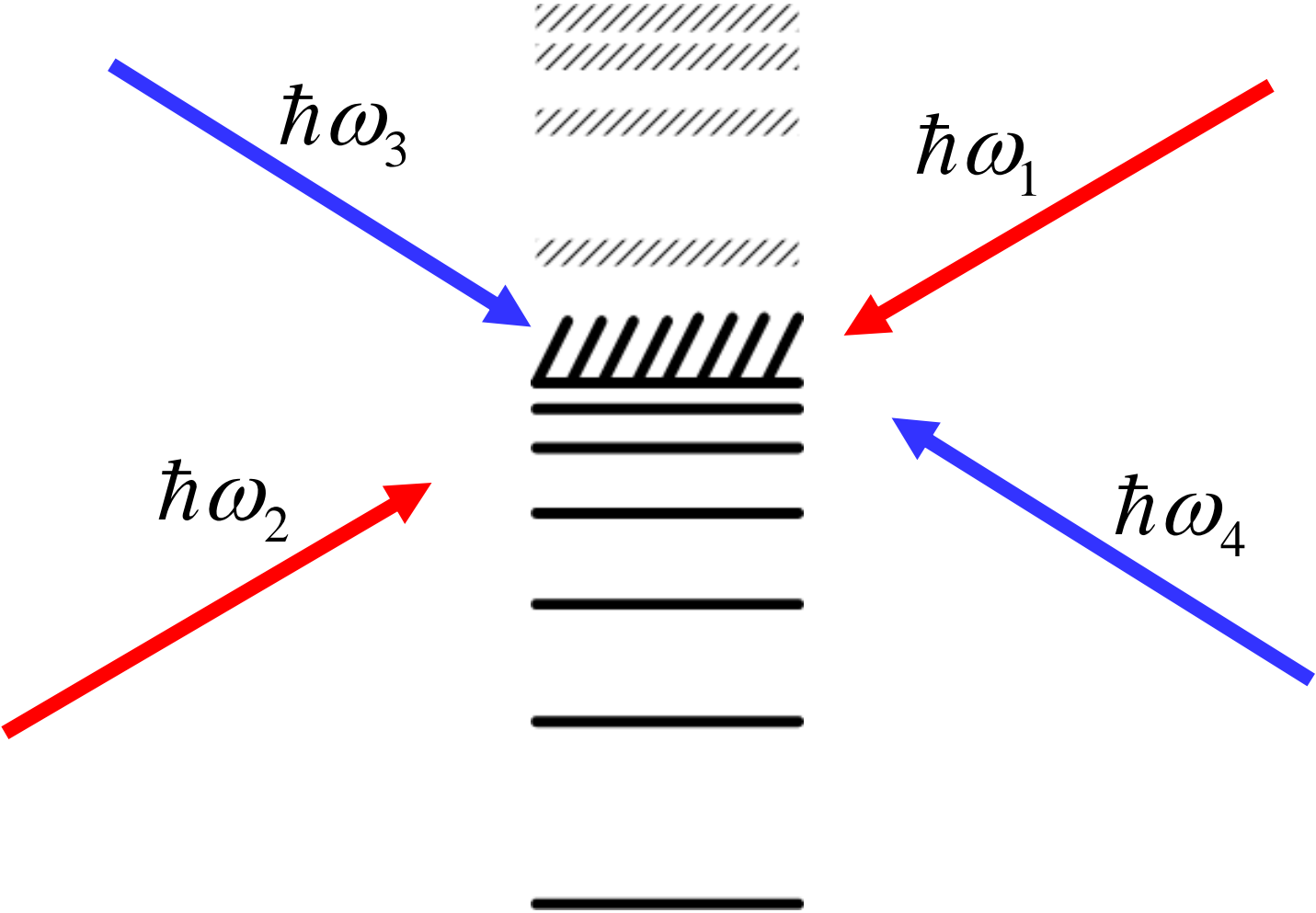


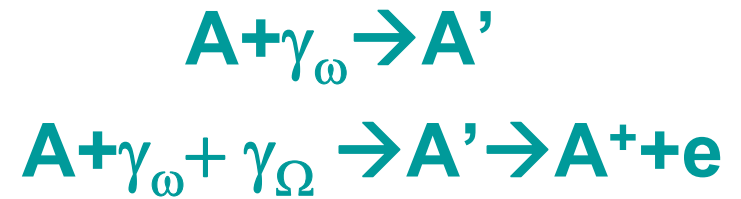
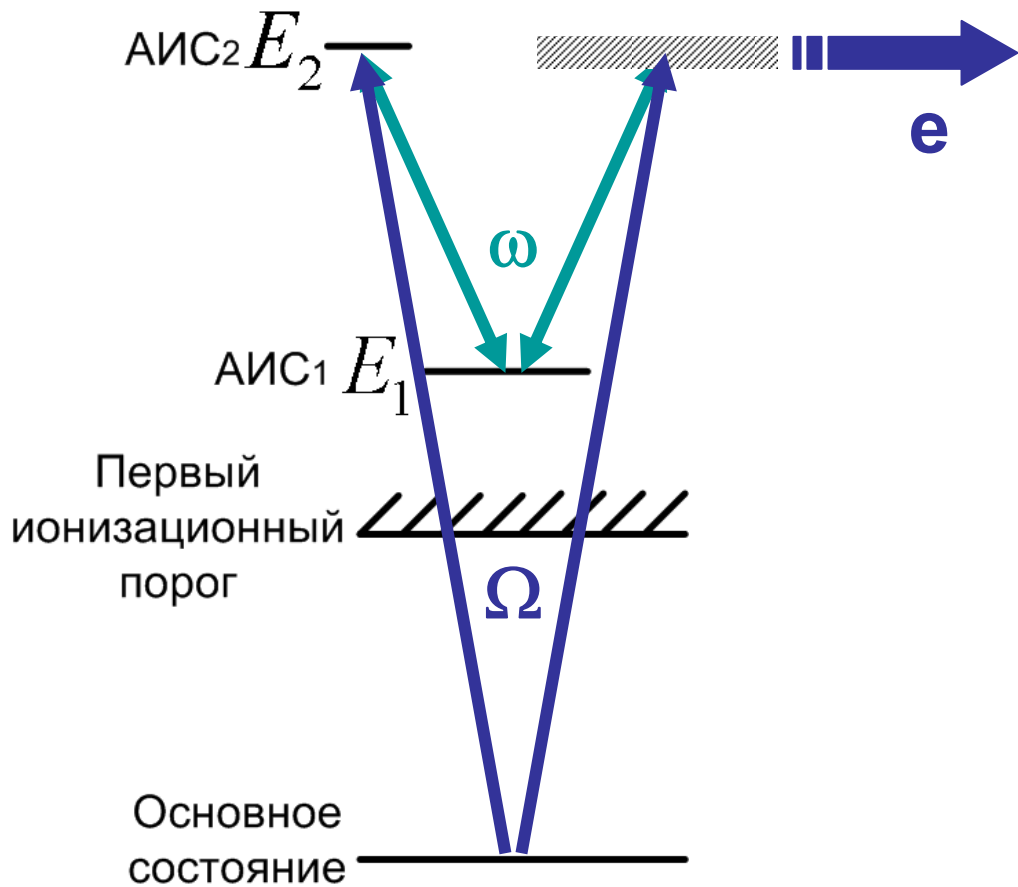
**ИОНИЗАЦИЯ ГЕЛИЯ ПРОБНЫМ ПОЛЕМ (СЕЧЕНИЯ ФОТОПОГЛОЩЕНИЯ И УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ) В ОБЛАСТИ ПЕРЕКРЫВАЮЩИХСЯ РЕЗОНАНСОВ, СОЗДАННЫХ ЛАЗЕРНЫМ ПОЛЕМ**



# ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ КОНТИНУУМА АТОМА ПРИ ПОГРУЖЕНИИ ЕГО В ЛАЗЕРНОЕ ПОЛЕ.



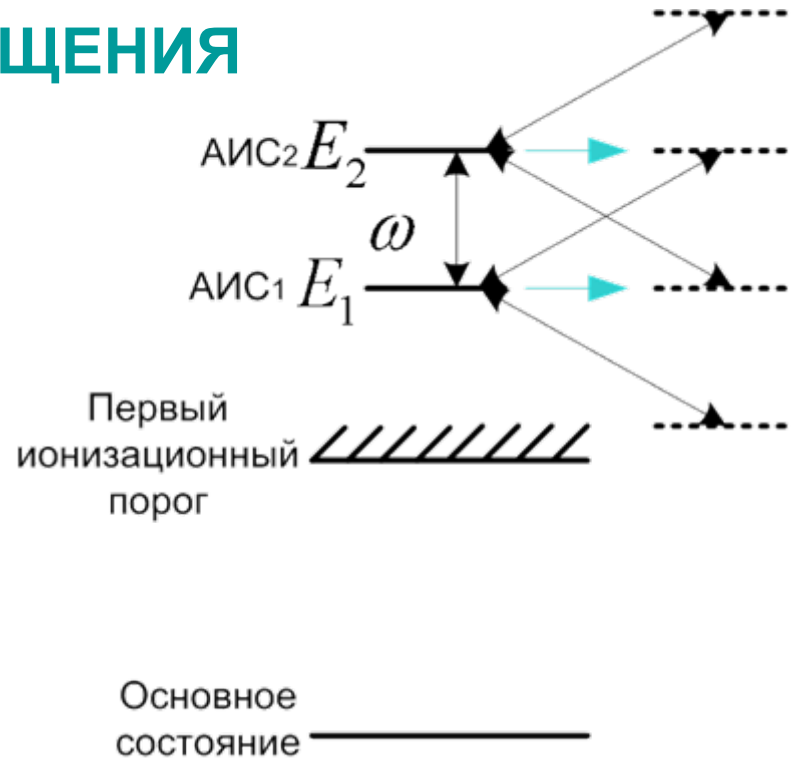
# УПРАВЛЯЕМОЕ ПЕРЕКРЫВАНИЕ РЕЗОНАНСОВ В КONTИНУУМАХ АТОМОВ



Параметрами  $\omega$  являются  
 интенсивность, частота,  
 поляризация и направление  
 распространения лазерных и  
 пробного полей

# ОСНОВНЫЕ ДОПУЩЕНИЯ

- Резонансное приближение (рассматриваются только состояния, резонансно связанные лазерным полем, пренебрегается многофотонной ионизацией и свободно-свободными переходами)



- Рассматриваются классические поля

- Время жизни автоионизационного состояния значительно меньше длительности лазерного импульса.

$$(dF/dt)/F, (df/dt)/f \ll \min \omega_i, T_a \ll T_i.$$

Т. е. можно считать, что интенсивности рассматриваемых полей изменяются адиабатически, и поля являются монохроматическими

# СХЕМЫ СВЯЗИ ЭЛЛИПТИЧЕСКИ ПОЛЯРИЗОВАННЫМ ЛАЗЕРНЫМ ПОЛЕМ АВТОИОНИЗАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ В АТОМЕ ГЕЛИЯ.

Схема 1

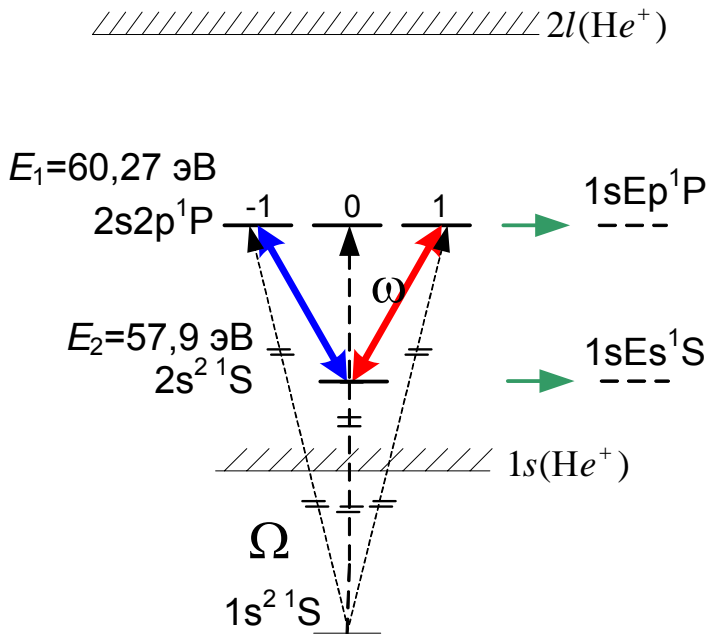
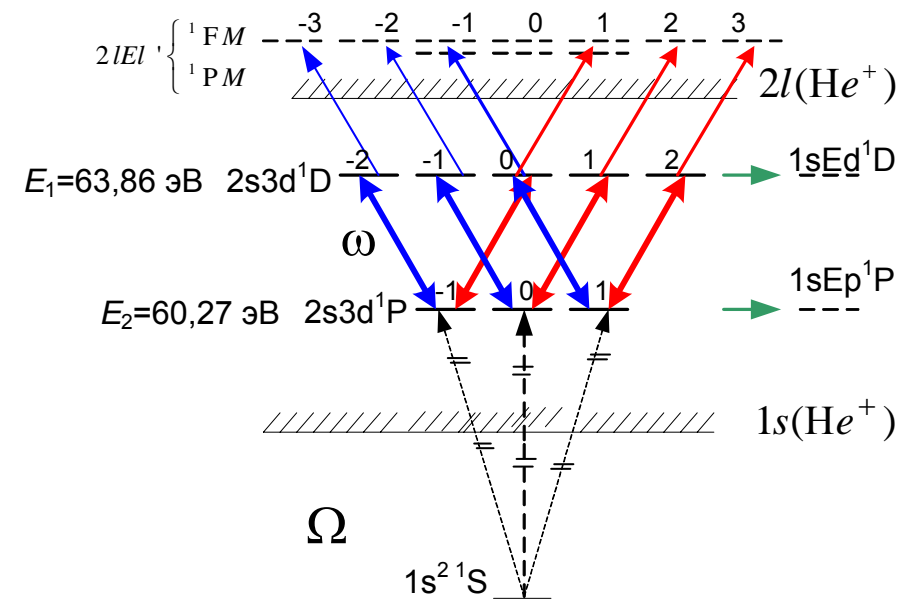


Схема 2



**Красные стрелки** обозначают связи, индуцированные право поляризованным полем, **синие** – лево поляризованным. **Зеленые** – автоионизационные переходы, пунктирные – переходы, вызванные пробным полем. Масштаб по энергии условный. Здесь пренебрегается свободно – свободными переходами и переходами под действием лазерного поля в область между первым и вторым ионизационным порогом.

# МАТРИЦА НЕЭРМИТОВОГО ЭФФЕКТИВНОГО ГАМИЛЬТониАНА

$$\hat{H}_{eff}^{(1)} = E_{P0}$$

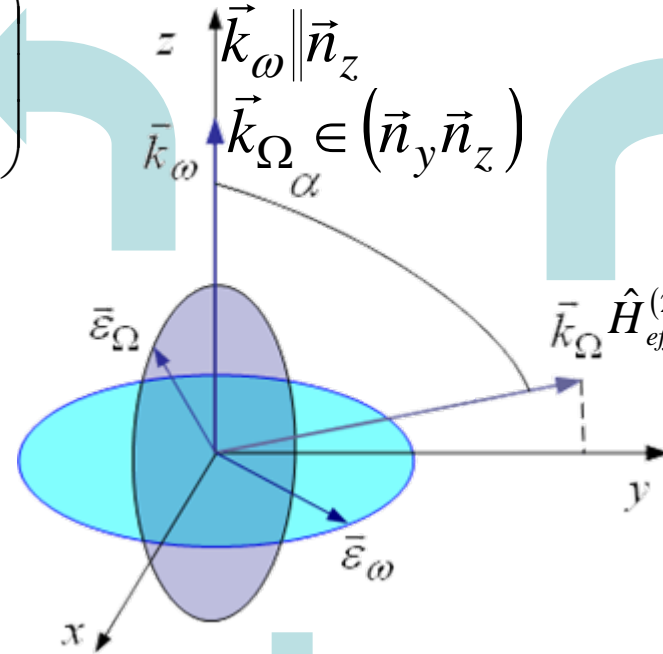
$$\hat{H}_{eff}^{(2)} = \begin{pmatrix} E_S & V_{SP-1} & V_{SP1} \\ V_{P-1S} & E_{P-1} & 0 \\ V_{P1S} & 0 & E_{P1} \end{pmatrix}$$

$$\hat{H}_{eff}^{(1)} = \begin{pmatrix} E_{P0} & V_{P0D-1} & V_{P0D1} \\ V_{D-1P0} & E_{D-1} & 0 \\ V_{D1P0} & 0 & E_{D+1} \end{pmatrix}$$

$$E_{PM} = E_{PM} - \frac{i}{2} \Gamma_{PM} \equiv E_P$$

$$E_S = E_S + \omega - \frac{i}{2} \Gamma_S$$

$$E_{DM} = E_{DM} - \omega - \frac{i}{2} \Gamma_{DM}$$



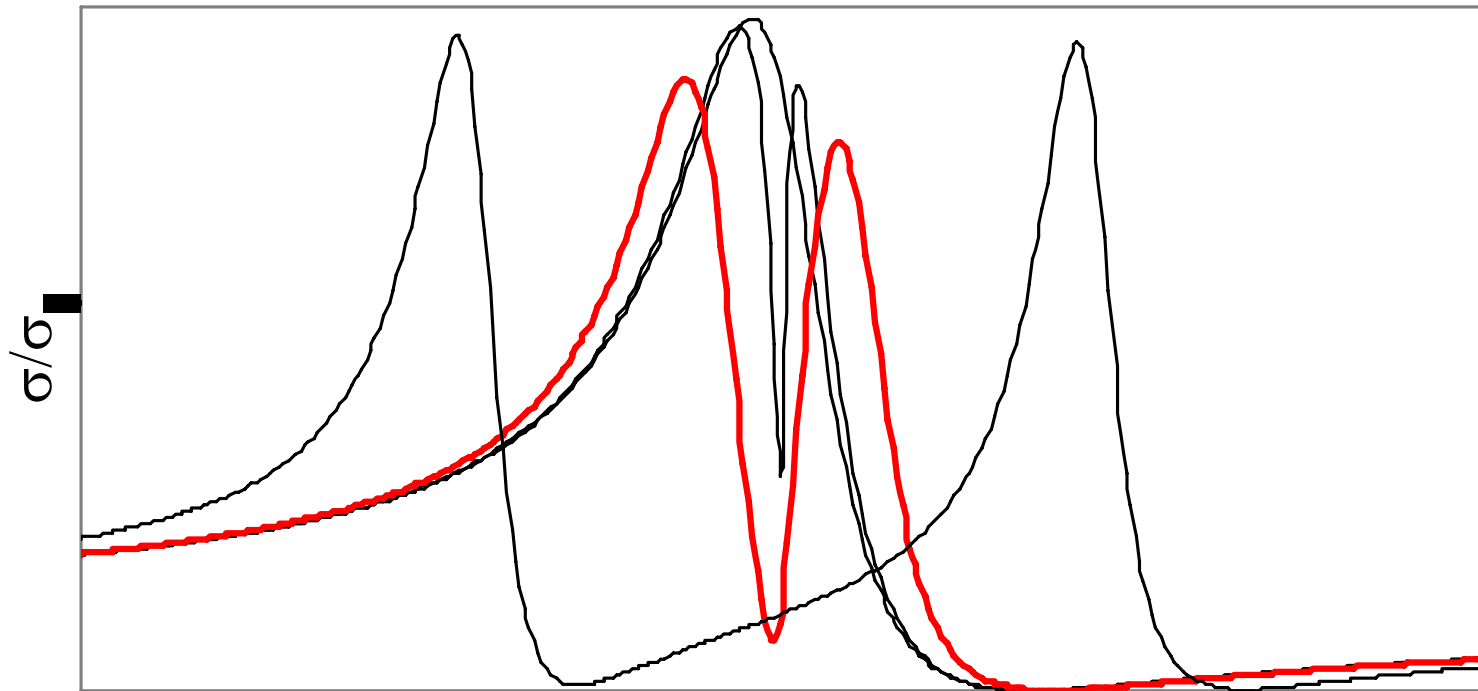
$$\hat{H}_{eff}^{(2)} = \begin{pmatrix} E_{P-1} & 0 & V_{P-1D-2} & V_{P-1D0} & 0 \\ 0 & E_{P+1} & 0 & V_{D0P1} & V_{D2P1} \\ V_{D-2P-1} & 0 & E_{D-2} & 0 & 0 \\ V_{D0P-1} & V_{D0P1} & 0 & E_{D0} & 0 \\ 0 & V_{D2P1} & 0 & 0 & E_{D2} \end{pmatrix}$$

$$\hat{H}_{eff} = \hat{H}_{eff}^{(1)} \otimes \hat{H}_{eff}^{(2)}$$

Общее выражение для отношения сечения фотоионизации к сечению прямой фотоионизации  $\sigma_0$ :

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = 1 - \text{Im} \left( \vec{t} \left( \Omega \hat{I} - \hat{H}_{eff} \right)^{-1} \vec{t} \right) = 1 - \alpha_1 \text{Im} \left( \vec{t}_1 \left( \Omega \hat{I} - \hat{H}_{eff,1} \right)^{-1} \vec{t}_1 \right) - \alpha_2 \text{Im} \left( \vec{t}_0 \left( \Omega \hat{I} - \hat{H}_{eff,2} \right)^{-1} \vec{t}_2 \right)$$

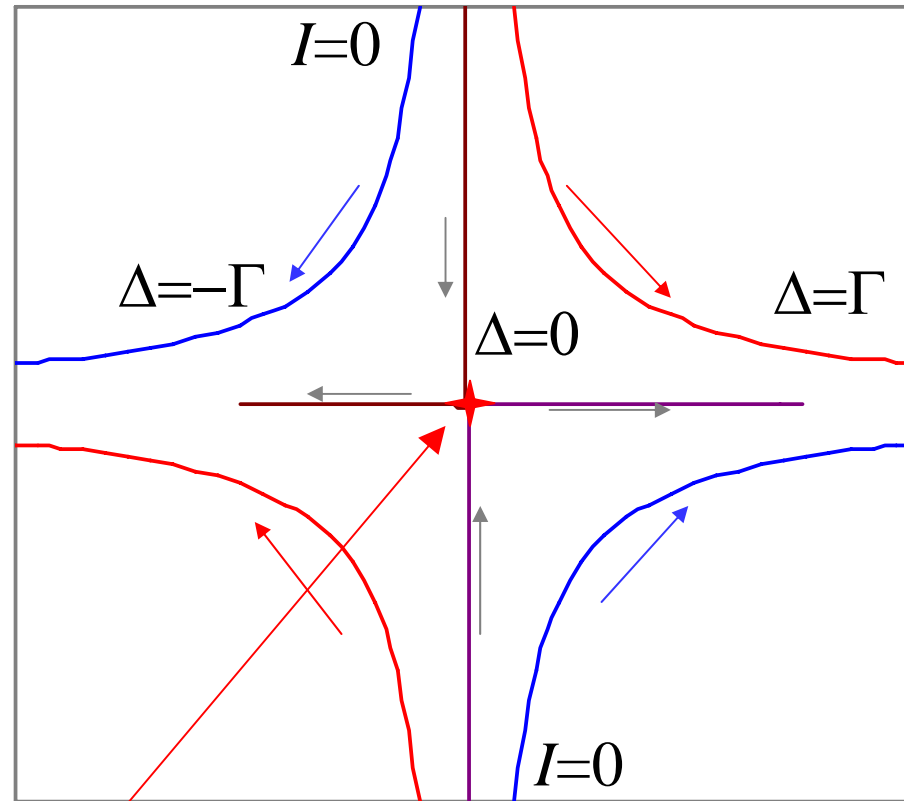
# ПРОЯВЛЕНИЕ КРАТНЫХ ПОЛЮСОВ S – МАТРИЦЫ В СЕЧЕНИИ ФОТОИОНИЗАЦИИ



Изменения сечения фотоионизации при изменении интенсивности связывающего поля (модельный расчет). Критической интенсивности соответствует красная кривая. Стрелка указывает на положение энергии при котором наблюдается вырождение резонансов.

# ДИНАМИКА СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАТРИЦЫ НЕЭРМИТОВОГО ЭФФЕКТИВНОГО ГАМИЛЬТониАНА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ПОЛЯ

$$\Gamma = -2 \operatorname{Im}(E_e)$$



$E_e$  – собственные значения матрицы неэрмитового эффективного гамильтониана

$$E = \operatorname{Re}(E_e)$$

Дважды вырожденные собственные значения, соответствующие двойному полюсу S-матрицы

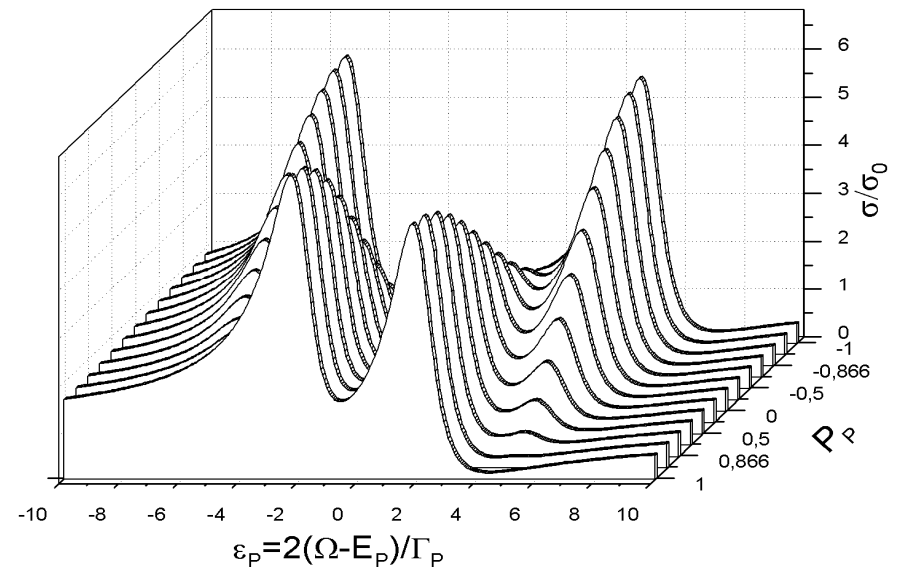
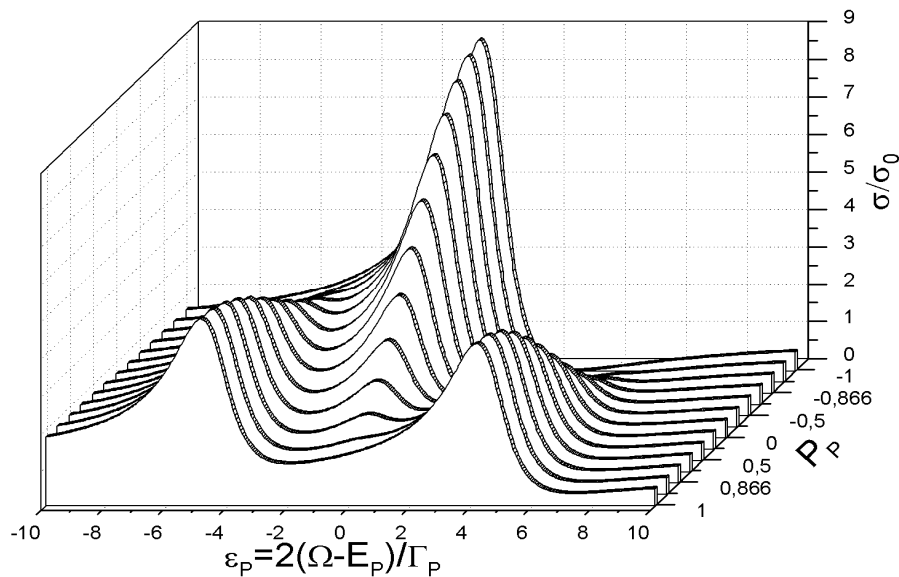


# РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ СЕЧЕНИЙ ФОТОИОНИЗАЦИИ АТОМА ГЕЛИЯ ПРОБНЫМ ПОЛЕМ В ОБЛАСТИ РЕЗОНАНСНО СВЯЗАННЫХ АВТОИОНИЗАЦИОННЫХ СОСТОЯНИЙ (АИС) ПРИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПОЛЕЙ

$2s2p^1P$  и АИС<sub>2</sub>, связаны лазерным полем с нулевой растройкой  $\Delta=0$  ( $\Delta=\omega-E_2+E_1$ ). Лазерное поле право поляризовано. Поляризация пробного меняется от правой до левой. Интенсивность лазерного поля  $I=4\cdot 10^{-6}$  а.е.

АИС<sub>2</sub>= $2s^2^1S$

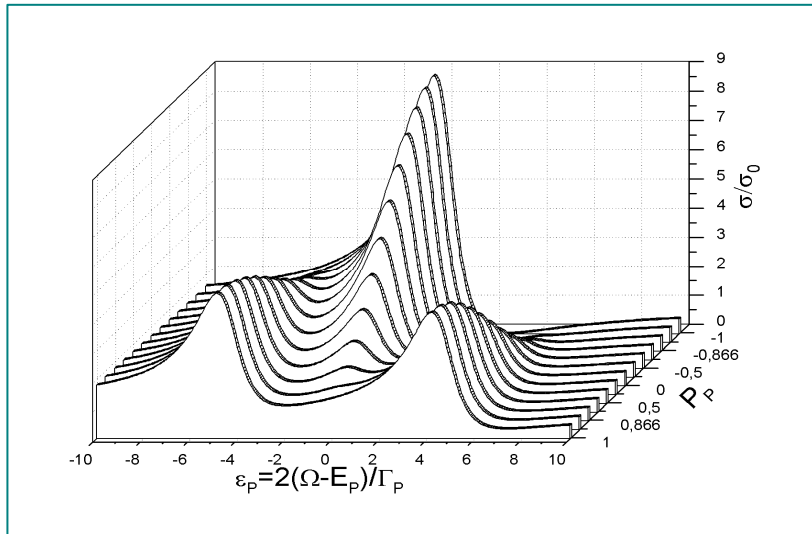
АИС<sub>2</sub>= $2s3d^1D$



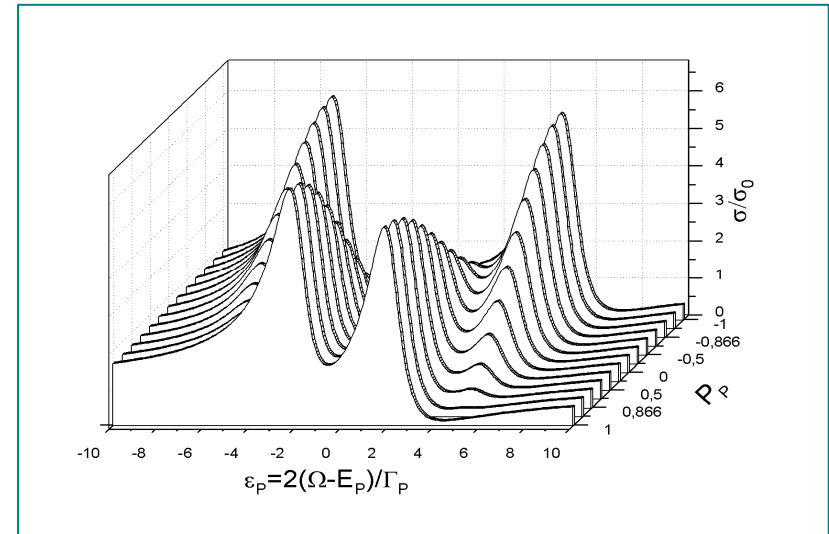
# РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ СЕЧЕНИЙ ФОТОИОНИЗАЦИИ ГЕЛИЯ ПРОБНЫМ ПОЛЕМ В ОБЛАСТИ РЕЗОНАНСНО СВЯЗАННЫХ АИС ПРИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПОЛЕЙ

$2s2p^1P$  и АИС<sub>2</sub>, связаны лазерным полем с нулевой растройкой  $\Delta=0$  ( $\Delta=\omega-E_2+E_1$ ). Лазерное поле право поляризовано. Поляризация пробного меняется от правой до левой. Интенсивность лазерного поля  $I=4\cdot 10^{-6}$  а.е.

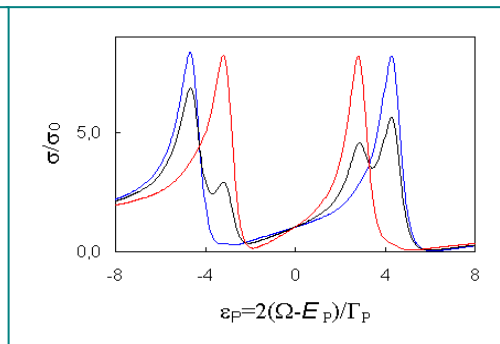
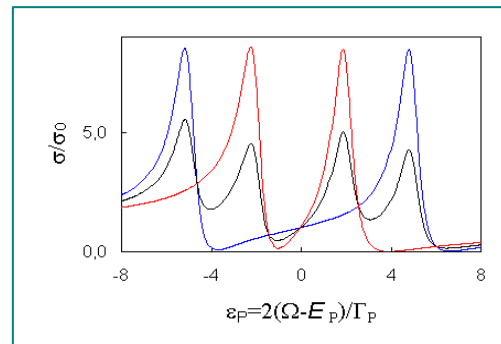
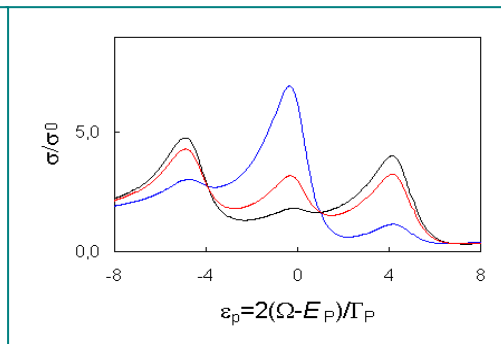
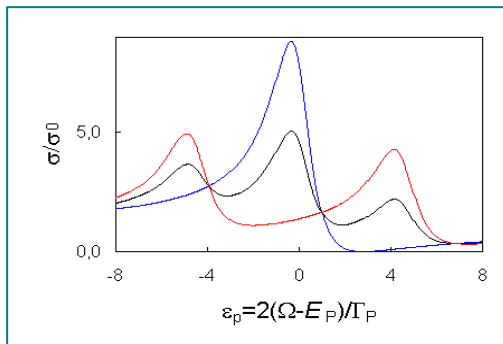
АИС<sub>2</sub>= $2s^2\ 1S$



АИС<sub>2</sub>= $2s3d^1D$



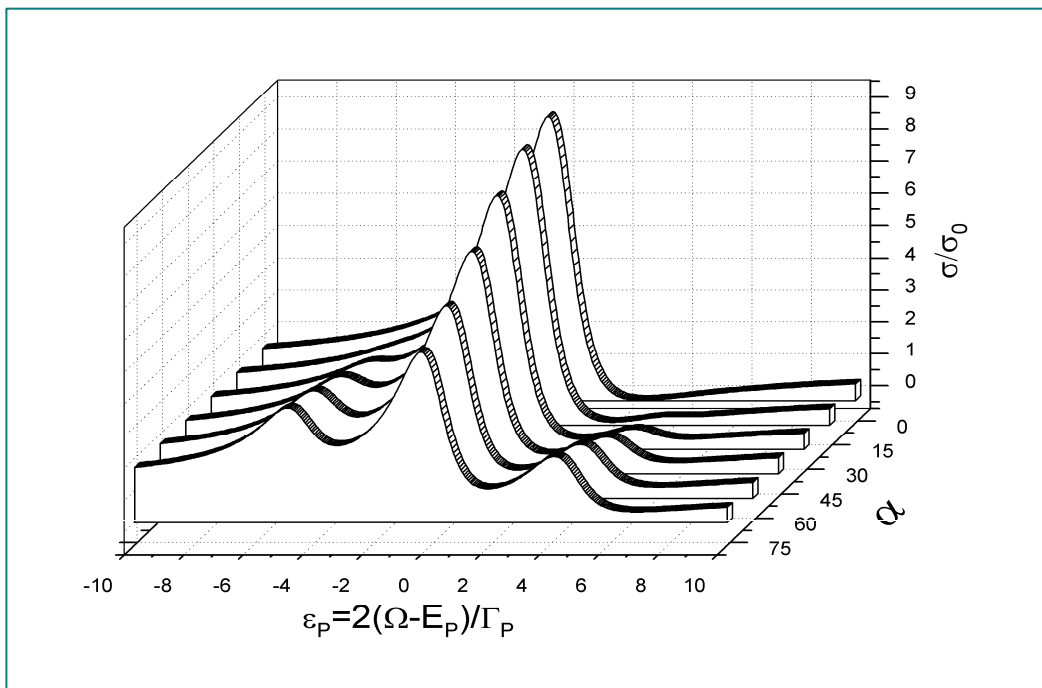
То же, что и выше, для трех значений эллиптичности пробного поля: синяя кривая – лево поляризованное пробное поле ( $P_p=-1$ ), красная кривая – право поляризованное ( $P_p=1$ ), зеленая – линейно ( $P_p=0$ ). Эллиптичность лазерного  $P_s=1$  и  $P_s=0.5$ .



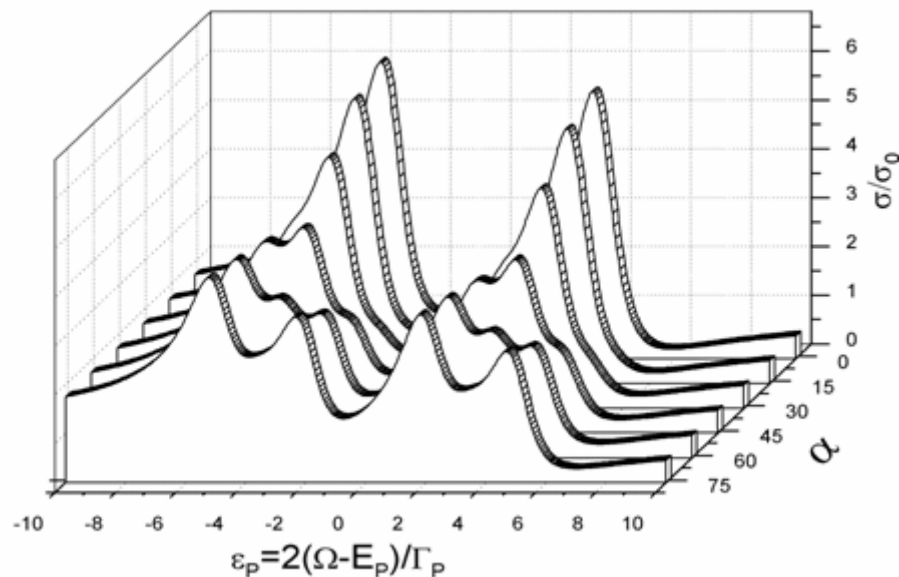
# РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ СЕЧЕНИЙ ФОТОИОНИЗАЦИИ ГЕЛИЯ ПРОБНЫМ ПОЛЕМ В ОБЛАСТИ РЕЗОНАНСНО СВЯЗАННЫХ АИС ПРИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПОЛЕЙ

$2s2p^1P$  и  $АИС_2$ , связаны лазерным полем с нулевой растройкой  $\Delta=0$  ( $\Delta=\omega-E_2+E_1$ ). Лазерное поле право поляризовано. Пробное поле поляризовано линейно. Меняется угол между вектором поляризации пробного поля и плоскостью поляризации лазерного.

$АИС_2=2s^2^1S$



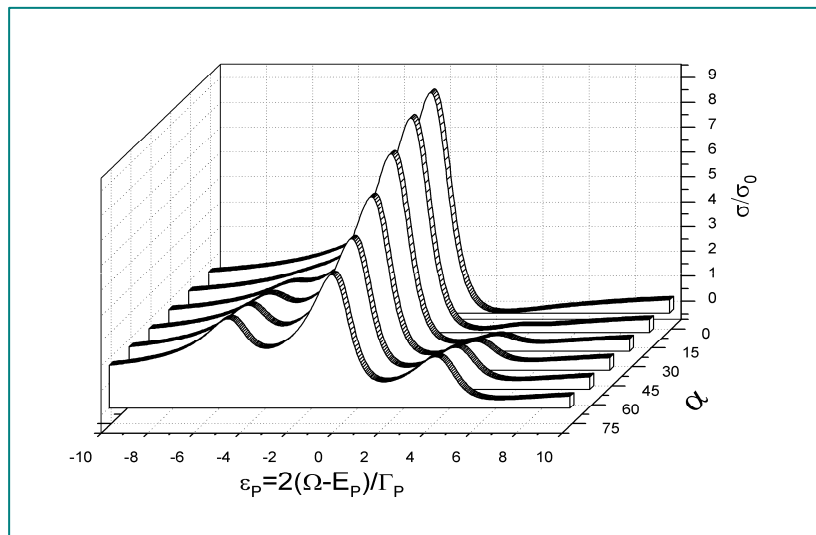
$АИС_2=2s3d^1D$



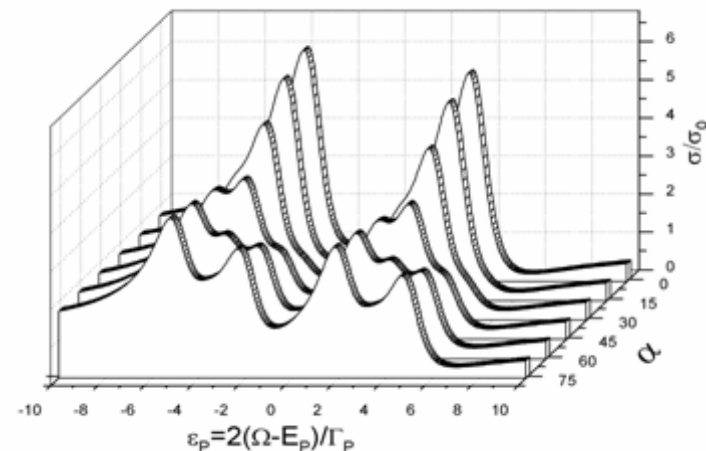
# РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ СЕЧЕНИЙ ФОТОИОНИЗАЦИИ ПРОБНЫМ ПОЛЕМ В ОБЛАСТИ РЕЗОНАНСНО СВЯЗАННЫХ АИС ПРИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПОЛЕЙ

$2s2p^1P$  и АИС<sub>2</sub>, связаны лазерным полем с нулевой растройкой  $\Delta=0$  ( $\Delta=\omega-E_2+E_1$ ). Лазерное поле право поляризовано. Пробнок поле поляризовано линейно. Меняется угол между вектором поляризации пробного поля и плоскостью поляризации лазерного.

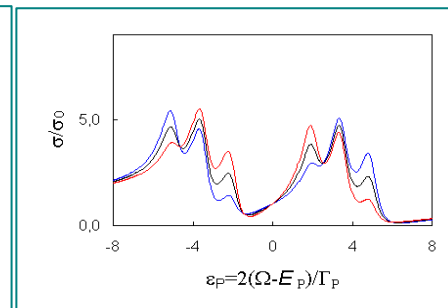
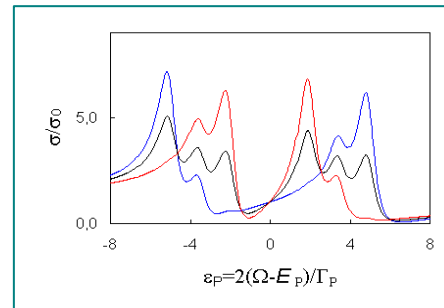
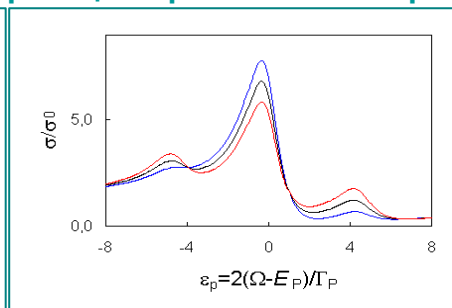
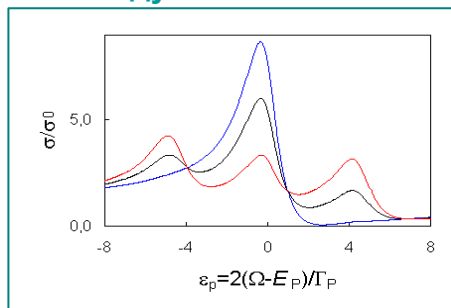
АИС<sub>2</sub>=2s<sup>2</sup>1S



АИС<sub>2</sub>=2s3d<sup>1</sup>D



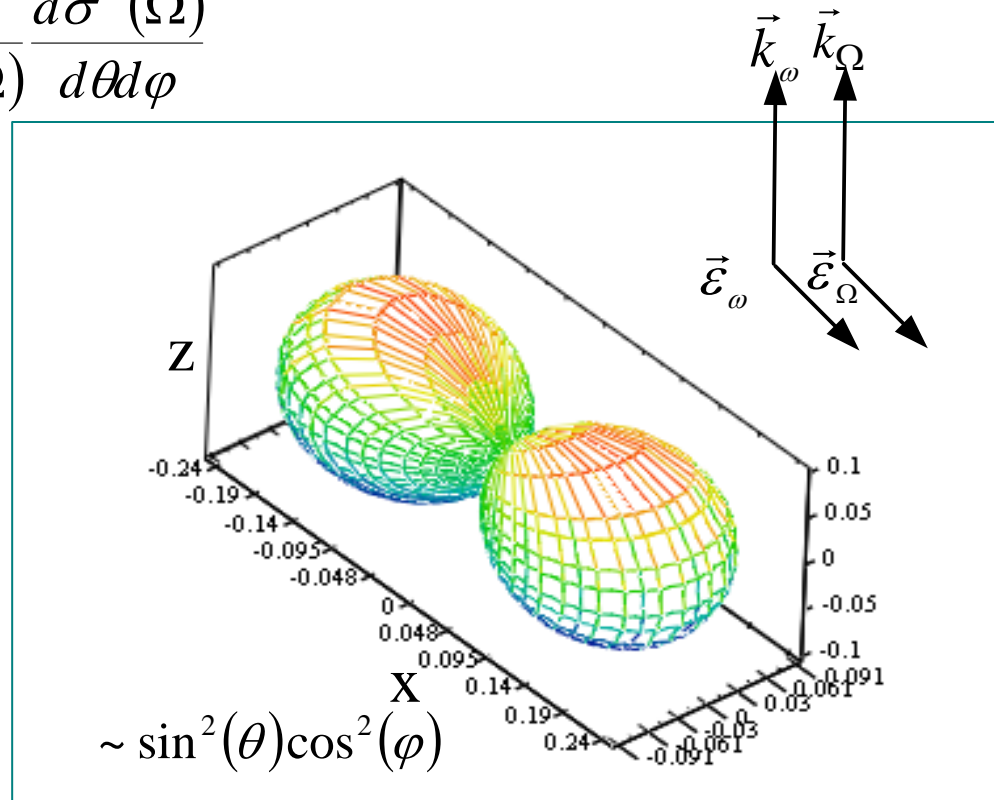
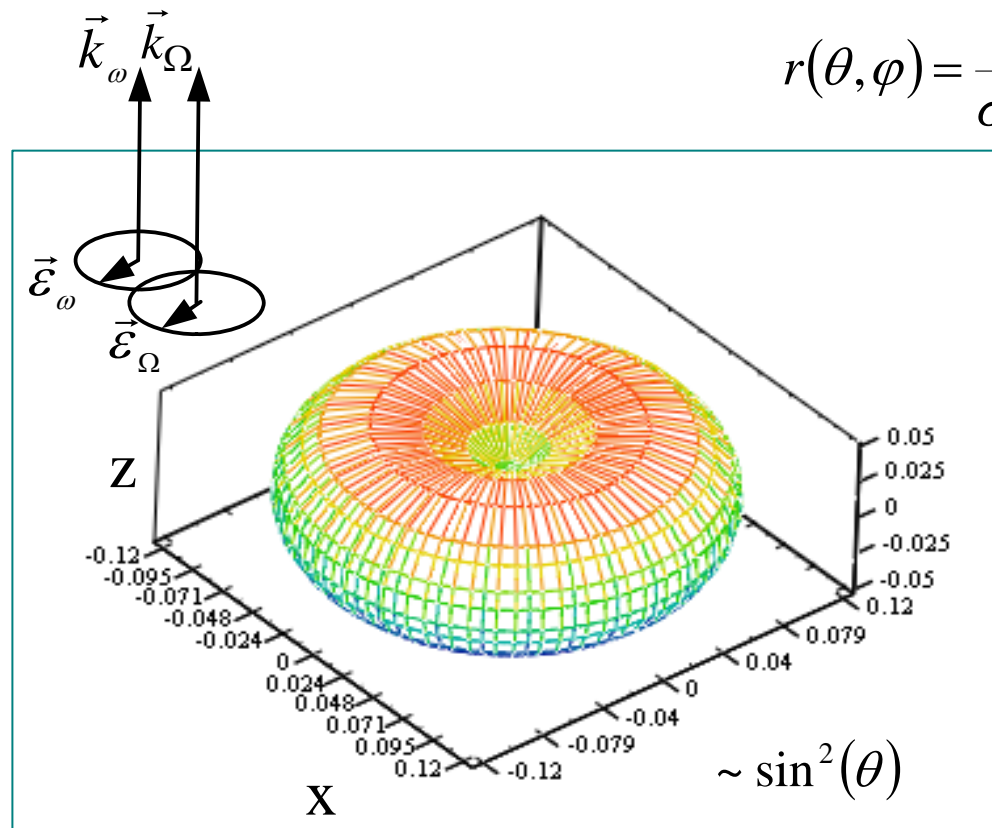
То же, что и выше, для трех значений эллиптичности пробного поля: синяя кривая – лево поляризованное пробное поле ( $P_p=-1$ ), красная кривая – право поляризованное ( $P_p=1$ ), зеленая – линейно ( $P_p=0$ ). Лазерное поля право поляризовано. Угол между плоскостью поляризации пробного и лазерного полей – 45 и 75°.



# УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ФОТОИОНИЗАЦИИ ГЕЛИЯ ПРОБНЫМ ПОЛЕМ В ОБЛАСТИ РЕЗОНАНСНО СВЯЗАННЫХ АИС ПРИ РАЗНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЕЙ

Если оба поля поляризованы циркулярно или линейно в одном направлении, то форма угловых распределений не зависит как от частоты пробного поля, при которой они рассматриваются, так и от интенсивности лазерного поля и выбранной схемы уровней. Угловые распределения являются в этом случае просто произведением полного сечения на зависящую от углов  $\theta, \varphi$  функцию.

$$r(\theta, \varphi) = \frac{1}{\sigma(\Omega)} \frac{d\sigma^2(\Omega)}{d\theta d\varphi}$$



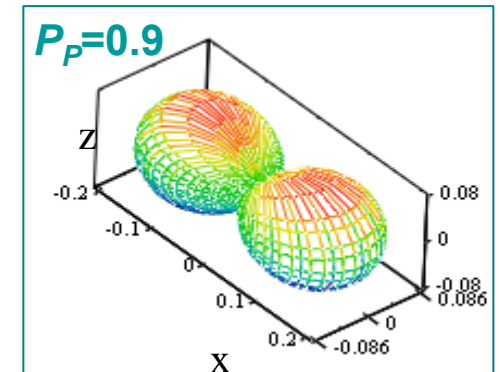
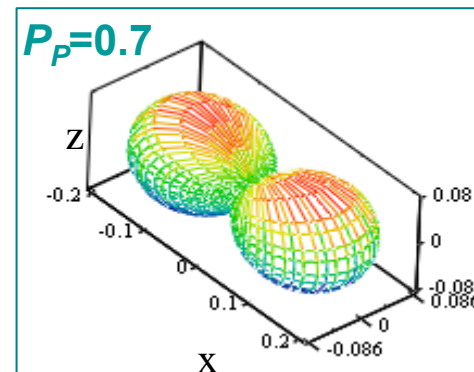
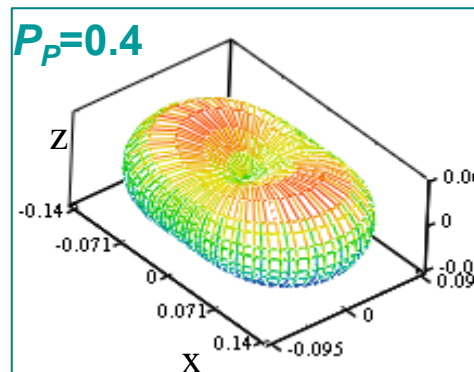
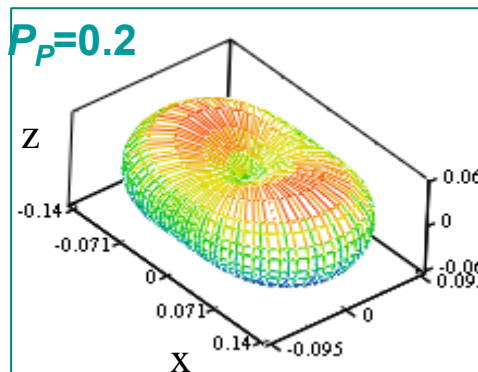
# РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ ПРИ ФОТОИОНИЗАЦИИ ПРОБНЫМ ПОЛЕМ В ОБЛАСТИ РЕЗОНАНСНО СВЯЗАННЫХ АИС ПРИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПОЛЕЙ

Если поля распространяются параллельно, то угловые распределения можно представить в виде:

$$\frac{d\sigma^2(\Omega)}{d\theta d\varphi} = \frac{3\sigma(\Omega)}{8\pi} \cos^2(\theta) (1 + A \cos(2\varphi + \varphi_0))$$

Ниже приведены расчеты угловых распределений фотоэлектронов для второй схемы уровней при право поляризованном лазерном поле  $I=4 \cdot 10^{-6}$  а. е. для различных значений поляризации пробного поля ( $\Omega=(E_{\text{res1}}+E_{\text{res2}})/2$ ).

$$r(\theta, \varphi) = \frac{1}{\sigma(\Omega)} \frac{d\sigma^2(\Omega)}{d\theta d\varphi}$$



# ВЫВОДЫ

СПЕКТР СИСТЕМЫ «АТОМ+ЛАЗЕРНОЕ ПОЛЕ» ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ СВОЙСТВАМИ АТОМА И ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЛАЗЕРНОГО ПОЛЯ → ОТСЮДА СЛЕДУЕТ ВОЗМОЖНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ СПЕКТРОМ ЭТОЙ СИСТЕМЫ.

ИЗМЕНЯЯ ПАРАМЕТРЫ ПОЛЕЙ (ИНТЕНСИВНОСТИ, ЧАСТОТЫ, НАПРАВЛЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ) МОЖНО УПРАВЛЯТЬ ПРОЦЕССОМ ФОТОИОНИЗАЦИИ, ИЗМЕНЯТЬ ПОЛОЖЕНИЯ И ЧИСЛО МАКСИМУМОВ В СЕЧЕНИИ.

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕЙ ПО РАЗНОМУ СКАЗЫВАЕТСЯ В ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЯХ И УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ: МОЖНО ПОДОБРАТЬ СИСТЕМУ ТАК, ЧТО ОДИНАКОВЫМ ПОЛНЫМ СЕЧЕНИЯМ БУДУТ СООТВЕТСТВОВАТЬ РАЗНЫЕ ФОРМЫ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ. ВОЗМОЖНА СИТУАЦИЯ, КОГДА ОДИНАКОВОЙ ФОРМЕ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ СООТВЕТСТВУЮТ РАЗНЫЕ ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ.