



Конференция «Ломоносовские чтения — 2026».
Подсекция «Ядерная физика»

Необычный RAVVIT-эксперимент в необычном свете.

Попова М.М., Юдин, С.Н., Киселев М.Д.,
Грум-Гржимайло А.Н., Грызлова Е.В.

26 марта 2026г, НИИЯФ МГУ

Постановка (2-SB scheme)

$$\mathbf{E}(t) = \Re \left[\sum_{N\Lambda\lambda} E_{\text{xuv}} c_{\Lambda} \epsilon_{\Lambda} e^{-i(N\omega t + \phi_N)} + E_{\text{ir}} c_{\lambda} \epsilon_{\lambda} e^{-i(\omega t + \phi)} \right]$$

N	Wavelength E nergy	I, W/cm ²	T, fs
IR	~800 nm / 1.5 eV	~10 ¹²	~10
XUV	~50–30 nm / 20–40 eV	~10 ⁹	~5



+

ИЛИ



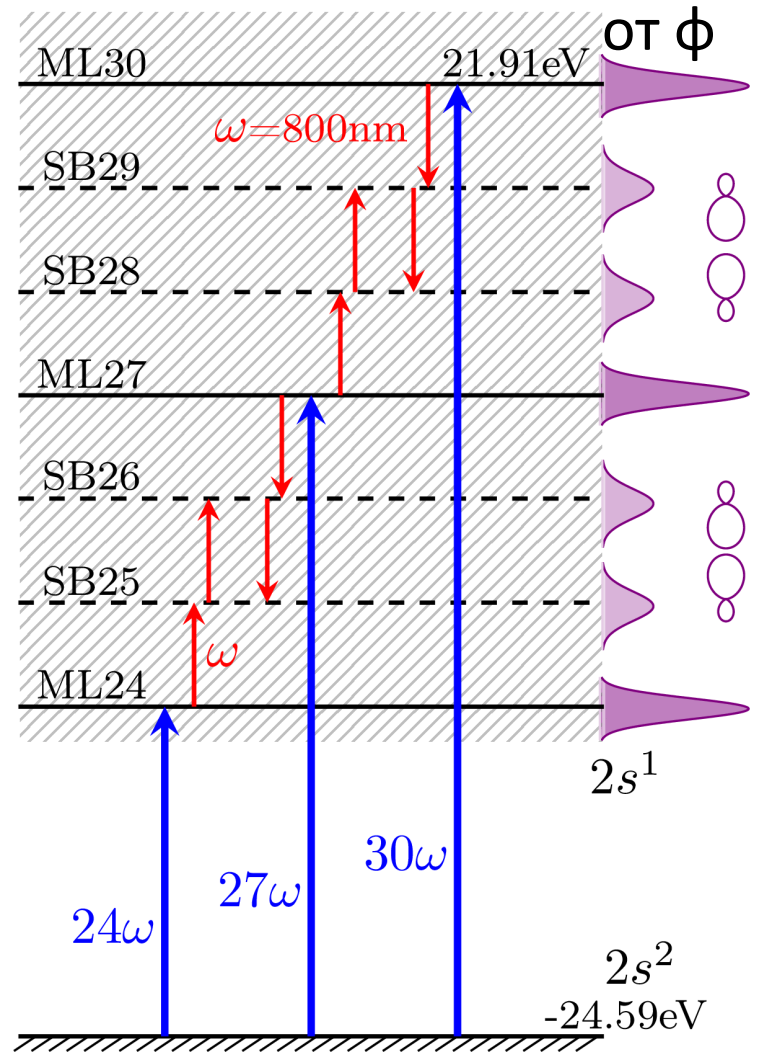
Постановка (2-SB scheme)

$$E(t) = \Re \left[\sum_{N\Lambda\lambda} E_{xuv} c_{\Lambda} \epsilon_{\Lambda} e^{-i(N\omega t + \phi_N)} + \right. \\ \left. \text{КОГЕРЕНТНЫЙ} \quad E_{ir} c_{\lambda} \epsilon_{\lambda} e^{-i(\omega t + \phi)} \right]$$

N	Wavelength Energy	I, W/cm ²	T, fs
IR	~800 nm / 1.5 eV	~10 ¹²	~10
XUV	~50–30 nm / 20–40 eV	~10 ⁹	~5

Интерференция происходит между амплитудами двух- (d,s) и трехфотонного (p,f) испускания и поглощения.

Зависимость от ϕ



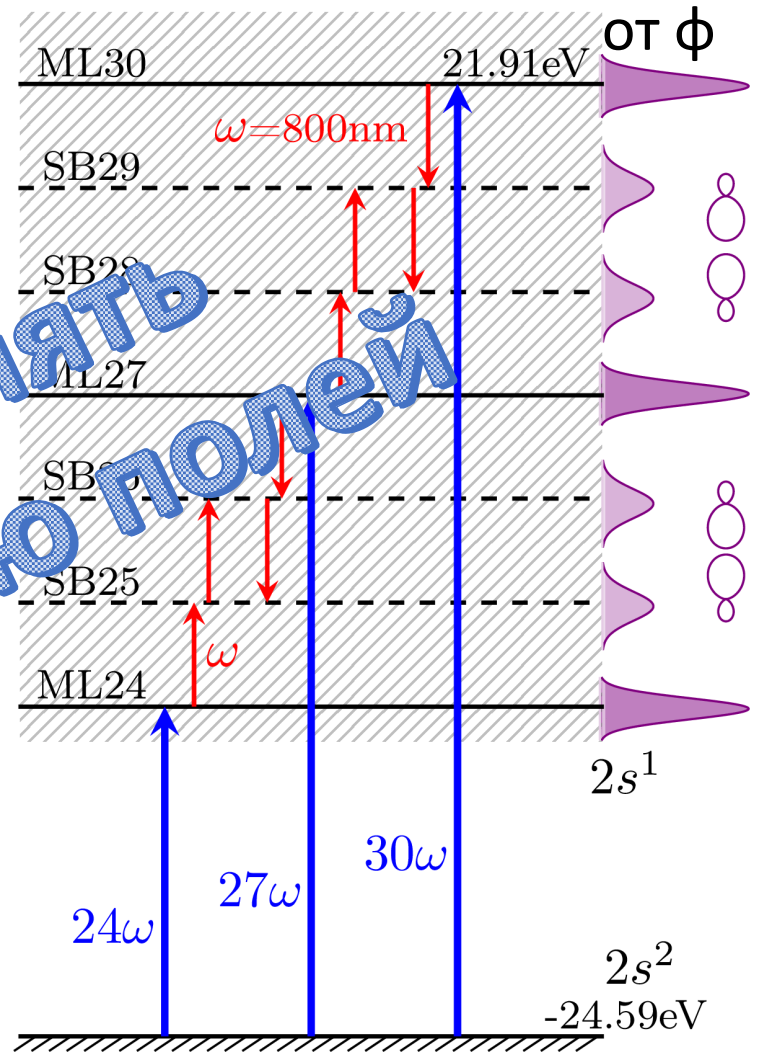
Постановка (2-SB scheme)

$$E(t) = \Re \left[\sum_{N\Lambda\lambda} E_{\text{xuv}} c_{\Lambda} \epsilon_{\Lambda} e^{-i(N\omega t + \phi_N)} + \right. \\ \left. \text{КОГЕРЕНТНЫЙ } E_{\text{ir}} c_{\lambda} \epsilon_{\lambda} e^{-i(\omega t + \phi)} \right]$$

N	Wavelength Energy	I, W/cm ²	T, fs
IR	~800 nm / 1.5 eV	~10 ¹²	~10
XUV	~50–30 nm / 20–40 eV	~10 ¹²	5

Интерференция происходит между амплитудами двух- (d,s) и трехфотонного (p,f) испускания и поглощения.

Зависимость от ϕ



Будем менять поляризацию полей

Угловые распределения и General Insights

$$W(\varepsilon_f, t; \vartheta, \varphi) = \frac{1}{4\pi} \sum_{\substack{kqll'LL' \\ nn'\nu\nu'}} (-1)^{L_c+L+L'+k-M'} \hat{l}' \hat{L} \hat{L}'$$

$$(l0, l'0 | k0)(LM, L' - M' | kq) \left\{ \begin{matrix} l & L & L_c \\ L' & l' & k \end{matrix} \right\}$$

$$\mathcal{U}_{(L_c l)LM}^{(n),\nu}(\varepsilon_f, t) \mathcal{U}_{(L_c l')L'M'}^{(n'),\nu'*}(\varepsilon_f, t) \frac{\sqrt{4\pi}}{\hat{k}} Y_{kq}(\theta, \varphi),$$

$$= \frac{W_0}{4\pi} \left(1 + \sum_{kq} \beta_{kq} Y_{kq} \right)$$

Angle-integrated
photoionization probability

PAD anisotropy parameters
(compare with a form

$$\sigma(1 + \beta_2 P_2(\cos\theta))$$

Угловые распределения и General Insights

1. Четные параметры угловой анизотропии β неинтерференционные. Не зависят от фазы ИК-поля.

2. В интегрированных по углу спектрах ($k=0$) отсутствует фазовая зависимость. Таким образом, эффекты можно наблюдать только в угловых распределениях.

3. Нечетные β интерференционные. Они нарушают привычные симметрии.

$$W(\varepsilon_f, t; \vartheta, \varphi) = \frac{1}{4\pi} \sum_{\substack{kqll'LL' \\ nn'\nu\nu'}} (-1)^{L_c+L+L'+k-M'} \hat{l}\hat{l}'\hat{L}\hat{L}'$$

$$(l0, l'0 | k0) (LM, L' - M' | kq) \begin{Bmatrix} l & L & L_c \\ L' & l' & k \end{Bmatrix}$$

$$\mathcal{U}_{(L_c l)LM}^{(n),\nu}(\varepsilon_f, t) \mathcal{U}_{(L_c l')L'M'}^{(n'),\nu'*}(\varepsilon_f, t) \frac{\sqrt{4\pi}}{\hat{k}} Y_{kq}(\theta, \varphi),$$

$$= \frac{W_0}{4\pi} \left(1 + \sum_{kq} \beta_{kq} Y_{kq} \right)$$

Angle-integrated photoionization probability

PAD anisotropy parameters (compare with a form

$$\sigma(1 + \beta_2 P_2(\cos\theta))$$

Угловые распределения и General Insights

1. Четные параметры угловой анизотропии β неинтерференционные. Не зависят от фазы ИК-поля.

$$W(\varepsilon_f, t; \vartheta, \varphi) = \frac{1}{4\pi} \sum_{\substack{kqll'LL' \\ nn'\nu\nu'}} (-1)^{L_c+L+L'+k-M'} \hat{l} \hat{l}' \hat{L} \hat{L}'$$

$$(l0, l'0 | k0) (LM, L' - M' | kq) \begin{Bmatrix} l & L & L_c \\ L' & l' & k \end{Bmatrix}$$

$$\mathcal{U}_{(L_c l)LM}^{(n),\nu}(\varepsilon_f, t) \mathcal{U}_{(L_c l')L'M'}^{(n'),\nu'*}(\varepsilon_f, t) \frac{\sqrt{4\pi}}{\hat{k}} Y_{kq}(\theta, \varphi),$$

2. В интегрированных по углу спектрах ($k=0$) отсутствует фазовая зависимость. Таким образом, эффекты можно наблюдать только в угловых распределениях.

$$= \frac{W_0}{4\pi} \left(1 + \sum_l \beta_{kq} Y_{kq} \right)$$

Angle-integrated photoionization probability

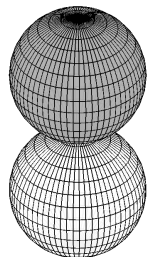
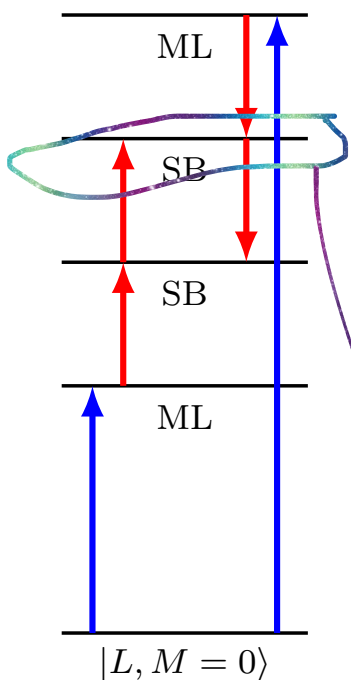
3. Нечетные β интерференционные. Они нарушают привычные симметрии.

PAD anisotropy parameters (compare with a form $\sigma(1 + \beta_2 P_2(\cos\theta))$)

А теперь к картинкам

Линейно поляризованное поле

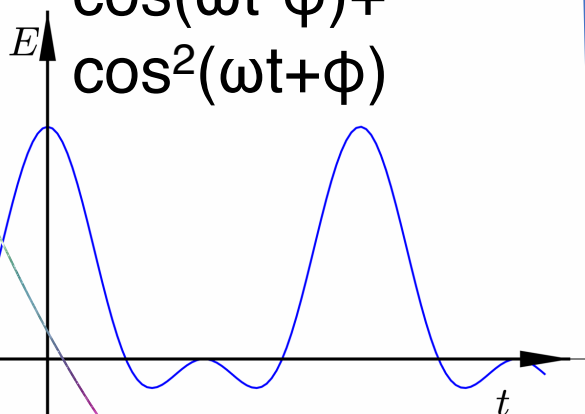
linear \uparrow + linear \uparrow



От одно-
фотонной
линейным

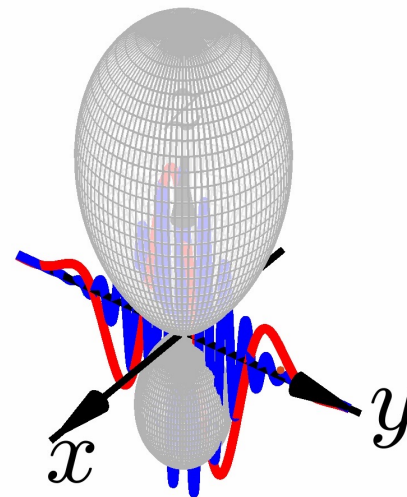
+

The total IR
field strength:
 $\cos(\omega t - \phi) +$
 $\cos^2(\omega t + \phi)$



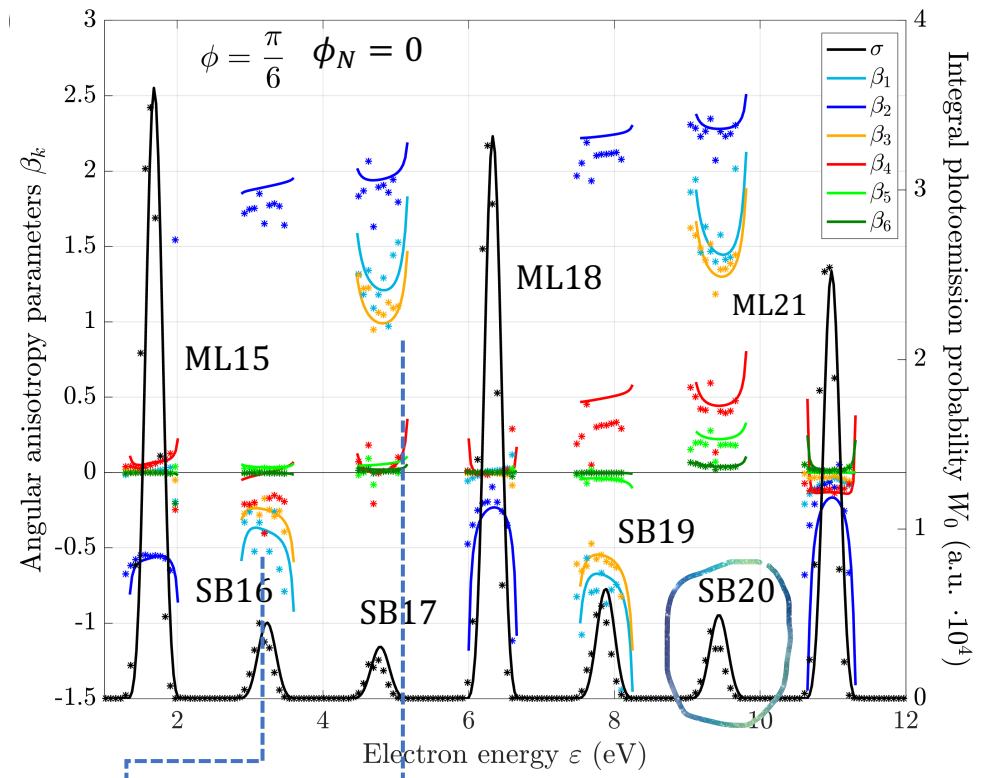
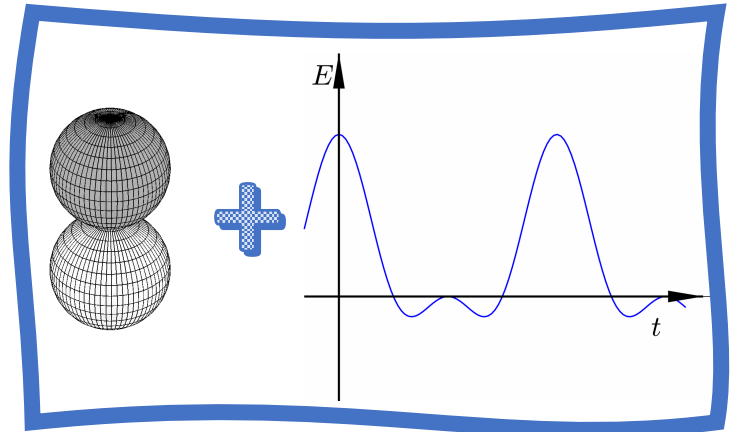
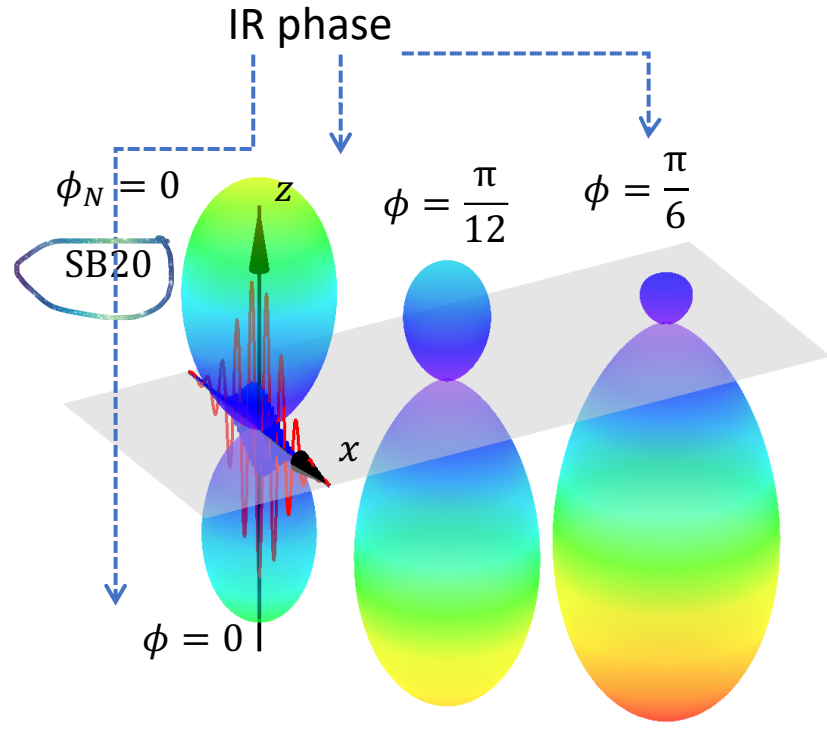
Угловое распределение:

$$W^{\uparrow\uparrow}(\theta; \varepsilon) = \frac{W_0^{\uparrow\uparrow}}{4\pi} \left(1 + \sum_{k=1, \dots, 6} \beta_k^{\uparrow\uparrow} P_k(\cos \theta) \right)$$



SB26 ϕ dependence

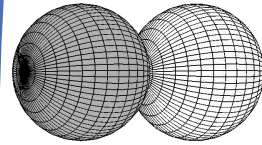
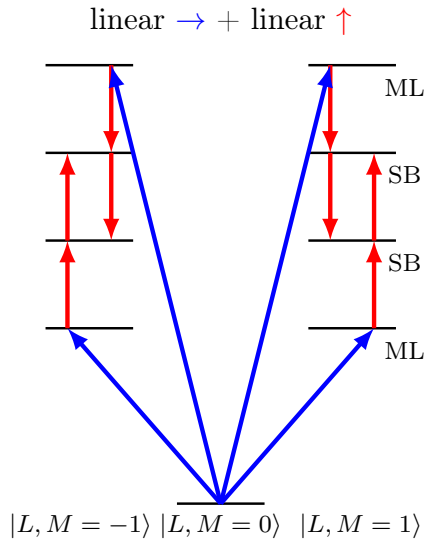
Линейно поляризованное поле — Ne



lines show PT results,
and dots — an ACE

The interference parameters manifest
a dramatic jump between the sidebands

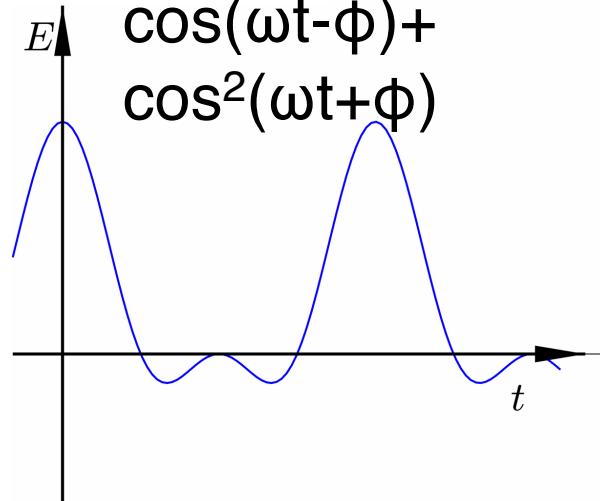
Линейные с нюансом



От одно-
фотонной
линейным

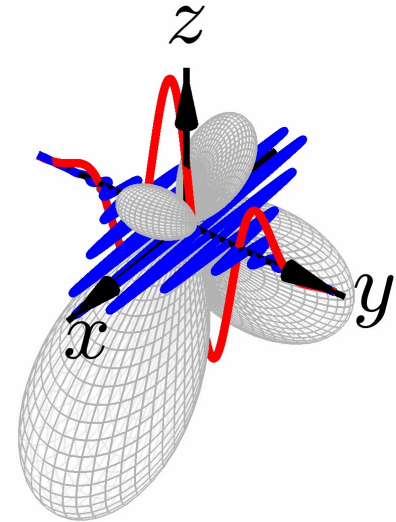
+

The total IR
field strength:
 $\cos(\omega t - \phi) +$
 $\cos^2(\omega t + \phi)$

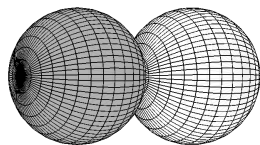
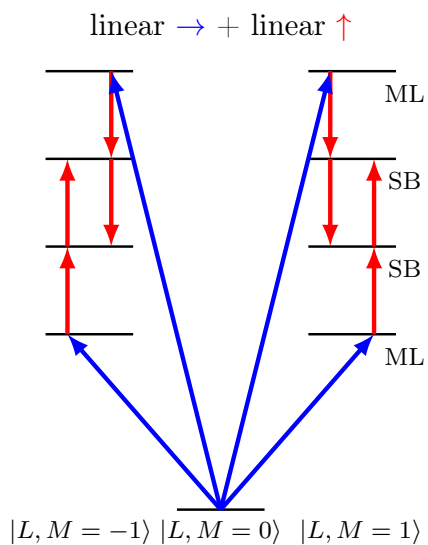


Угловое
распределение:

$$W_{\mathcal{R}}^{\rightarrow\uparrow}(\theta, \varphi; \varepsilon) = \frac{W_0}{4} \sin^2 \theta \cos^2 \varphi \sum_{k=0, \dots, 4} b_k \cos^k \theta.$$



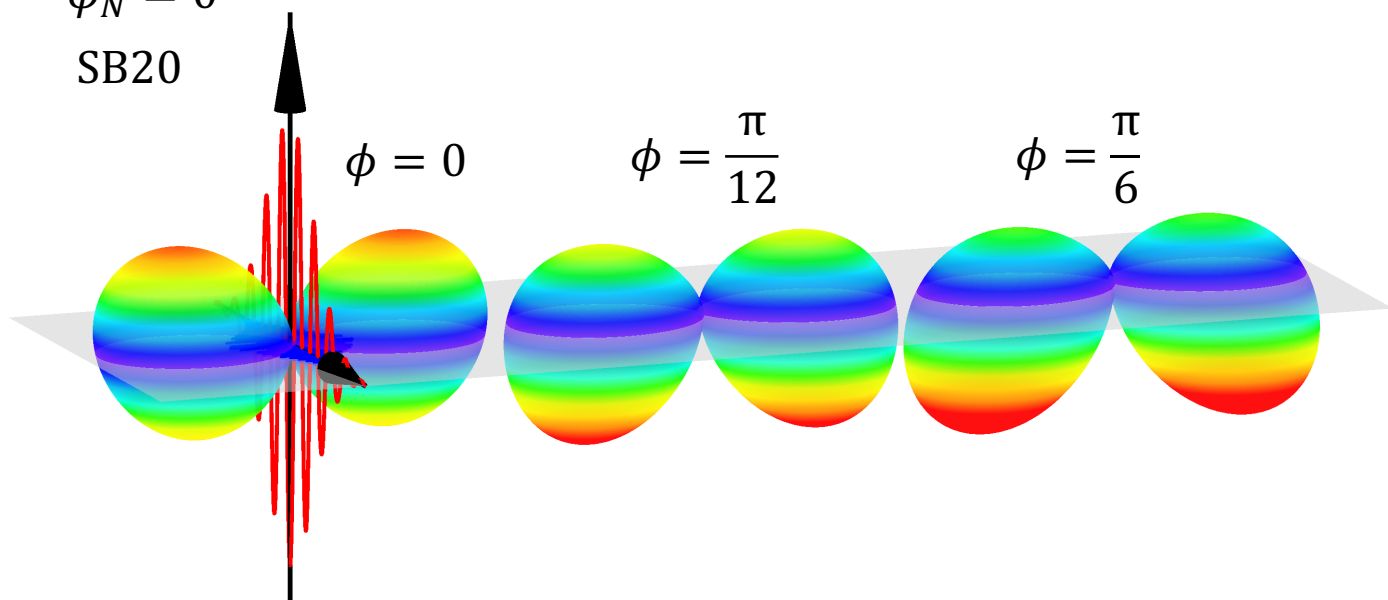
Линейные с нюансом — Ne



От одно-
фотонной
линейным

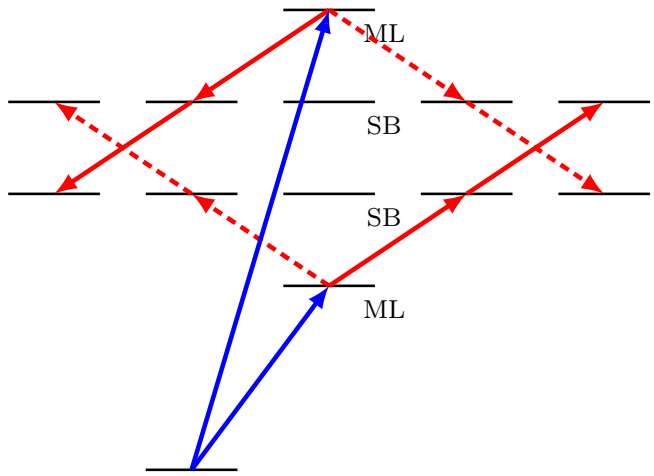
$$W_{\mathcal{R}}^{\rightarrow\uparrow}(\theta, \varphi; \varepsilon) = \frac{W_0}{4\pi} \left(1 + \sum_{k=1, \dots, 6} \beta_k P_k(\cos \theta) + \cos(2\varphi) \sum_{k=2, \dots, 6} \beta_{k2} P_k^2(\cos \theta) \right)$$

$\phi_N = 0$
SB20



Поля круговой поляризации

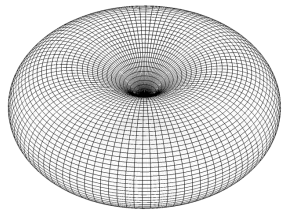
right \odot + right \ominus / left \odot



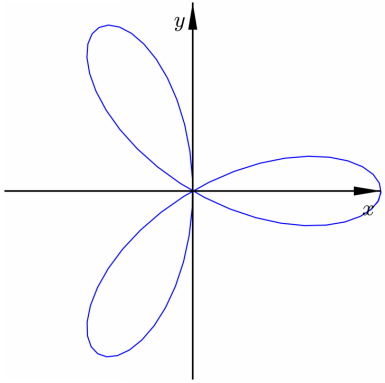
$$W^{\odot\odot}(\theta, \varphi; \varepsilon) = \frac{W_0^{\odot\odot}}{4\pi} \left(1 + \sum_{k=2,4,6} \beta_k^{\odot\odot} P_k(\cos \theta) + \sum_{3,5} |\beta_{k3}^{\odot\odot}| P_k^3(\cos \theta) \cos(3\varphi - \arg[\beta_{k3}^{\odot\odot}]) \right)$$

$|L, M = -1\rangle$ $|L, M = 0\rangle$ $|L, M = 1\rangle$ $|L, M = 2\rangle$ $|L, M = 3\rangle$

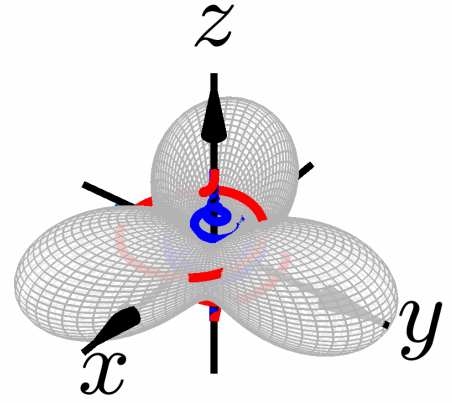
SB26 ϕ dependence



От одно-
фотонной
круговым



$$(\cos(y+\phi) - \sin(y+\phi))^2 + (\cos(x-\phi) - \sin(y-\phi))^2$$



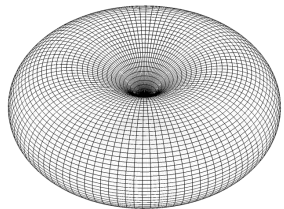
The three-lobe structure is easily seen by the eye; only phase-dependency — rotation.

Поля круговой поляризации

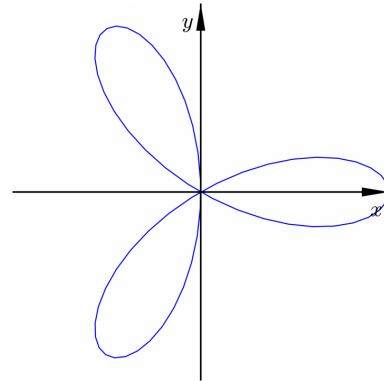
$$W^{\circ\circ}(\theta, \varphi; \varepsilon) = \frac{W_0^{\circ\circ}}{4\pi} \left(1 + \sum_{k=2,4,6} \beta_k^{\circ\circ} P_k(\cos \theta) + \sum_{3,5} |\beta_{k3}^{\circ\circ}| P_k^3(\cos \theta) \cos(3\varphi - \arg[\beta_{k3}^{\circ\circ}]) \right)$$

Для неона выглядит принципиально так же здесь даже не привожу

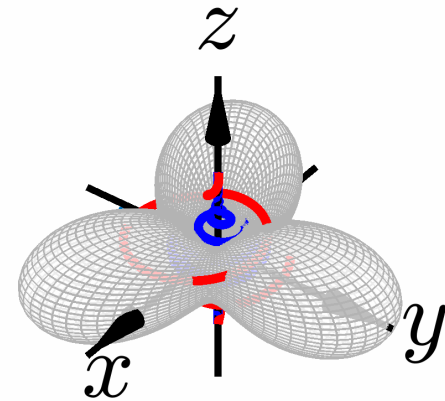
SB26 ϕ dependence



От одно-
фотонной
круговым



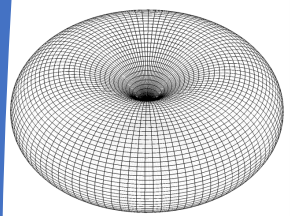
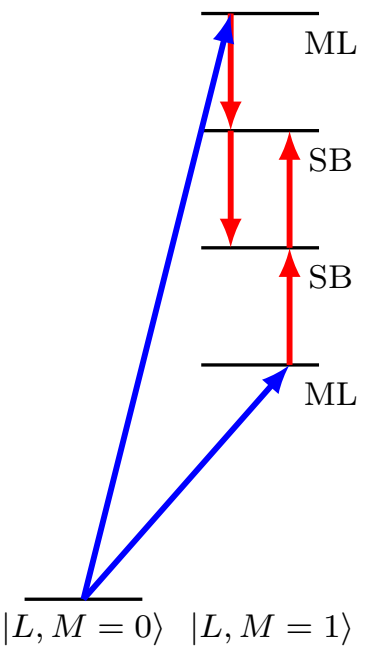
$$(\cos(y+\phi) - \sin(y+\phi))^2 + (\cos(x-\phi) - \sin(y-\phi))^2$$



The three-lobe structure is easily seen by the eye; only phase-dependency — rotation.

Круговое XUV, линейное IR

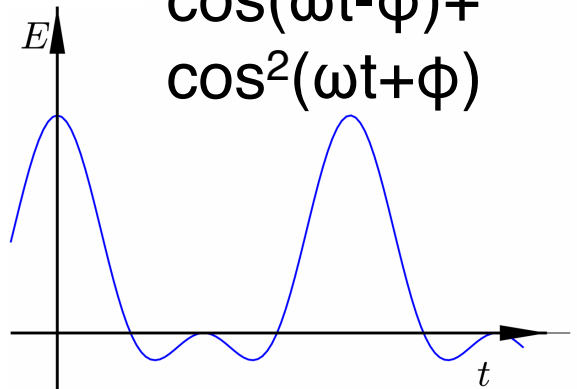
right \odot + linear \uparrow



От одно-
фотонной
круговым

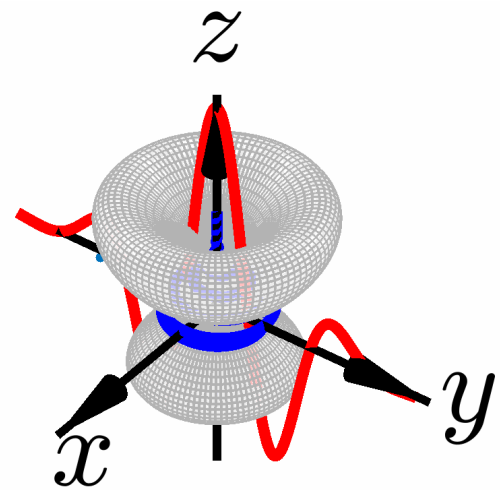
+

The total IR
field strength:
 $\cos(\omega t - \phi) + \cos^2(\omega t + \phi)$



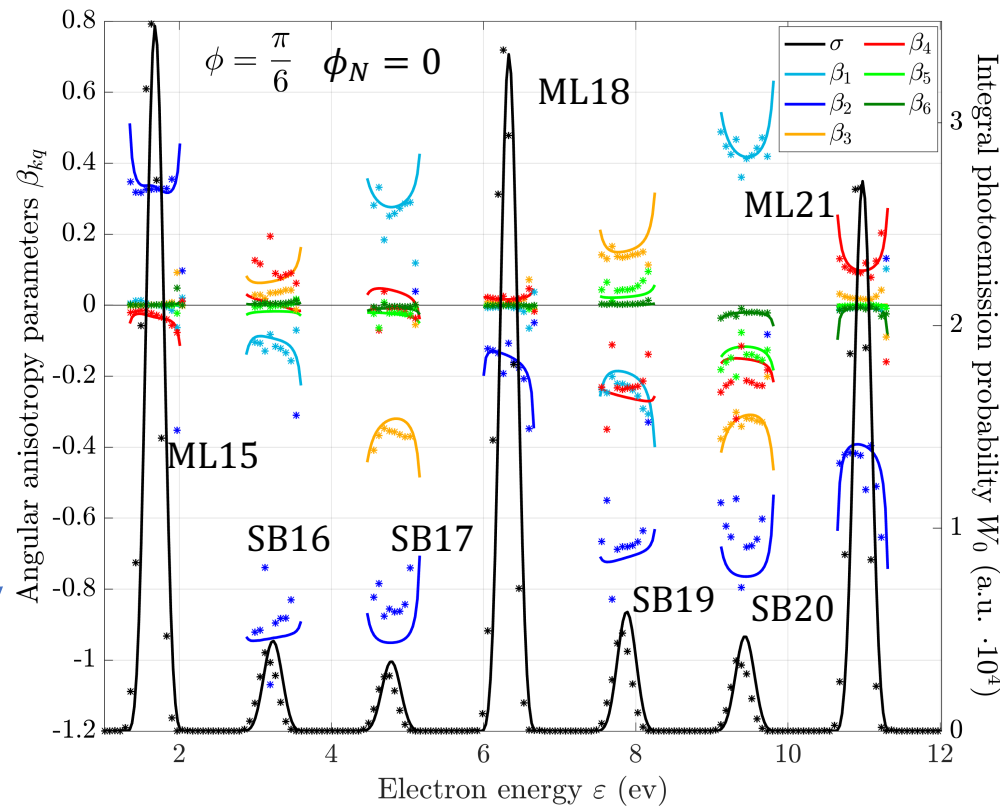
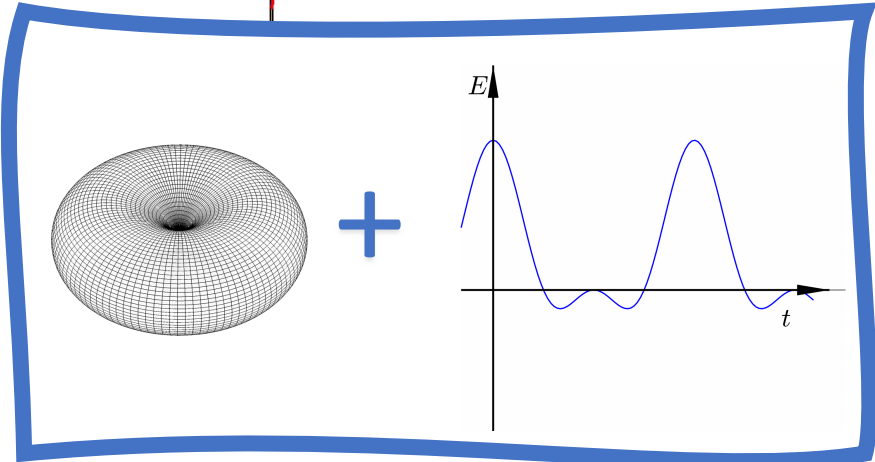
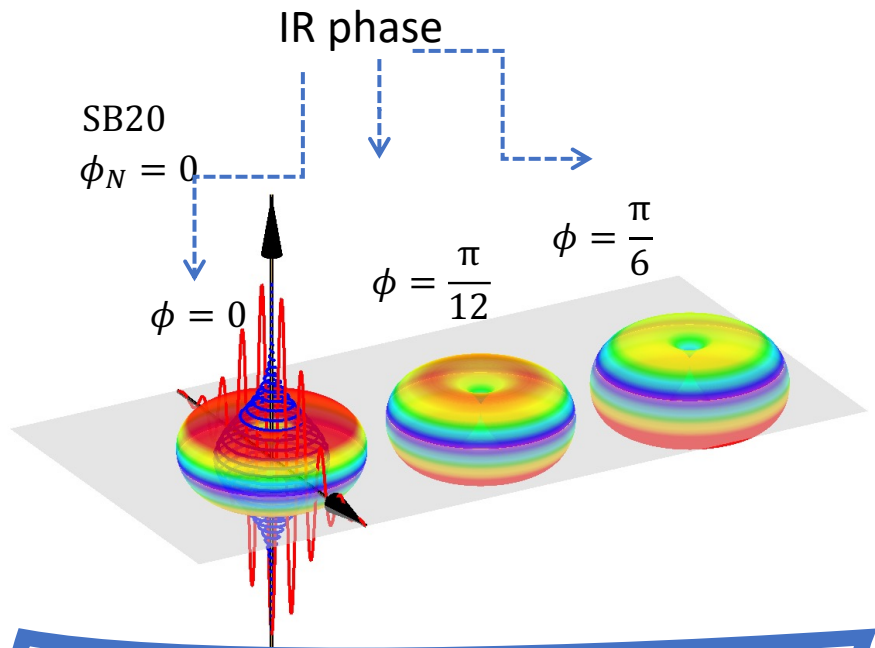
$$W_{\mathcal{R}}^{\odot\uparrow}(\theta, \varphi; \varepsilon) = \frac{W_0}{4\pi} \sin^2 \theta \cos^2 \theta$$

$$\left(\sum_{k=0,2} b_k \sin^k \theta + b_1 \sin \theta \cos(3\varphi - \Phi_1) \right)$$



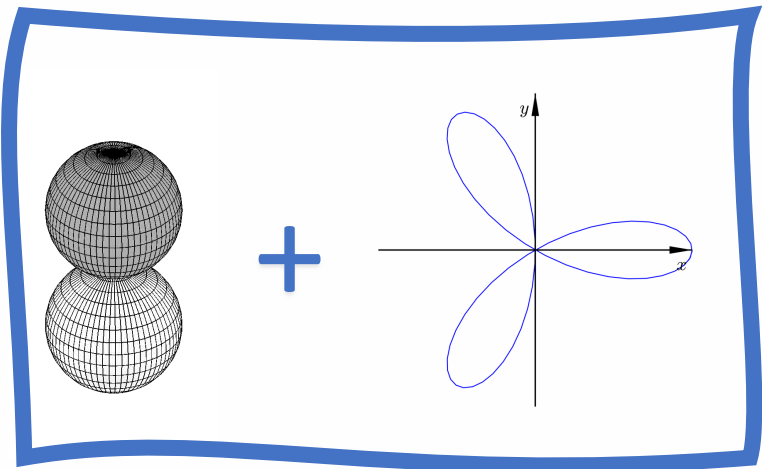
s-волна запрещена

Круговое XUV, линейное IR

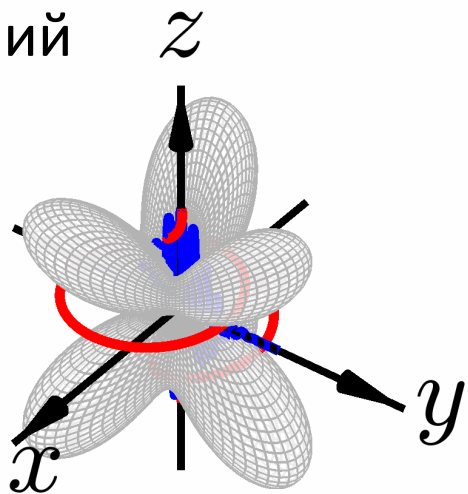


odd β parameters
 have opposite signs lines show PT results,
 and dots — an ACE

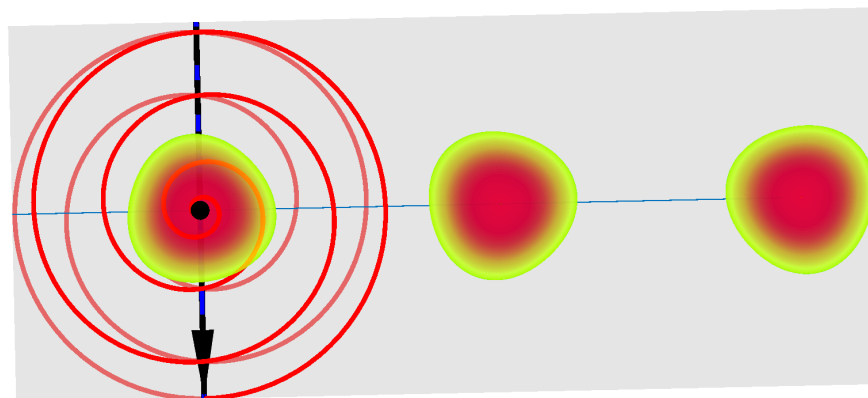
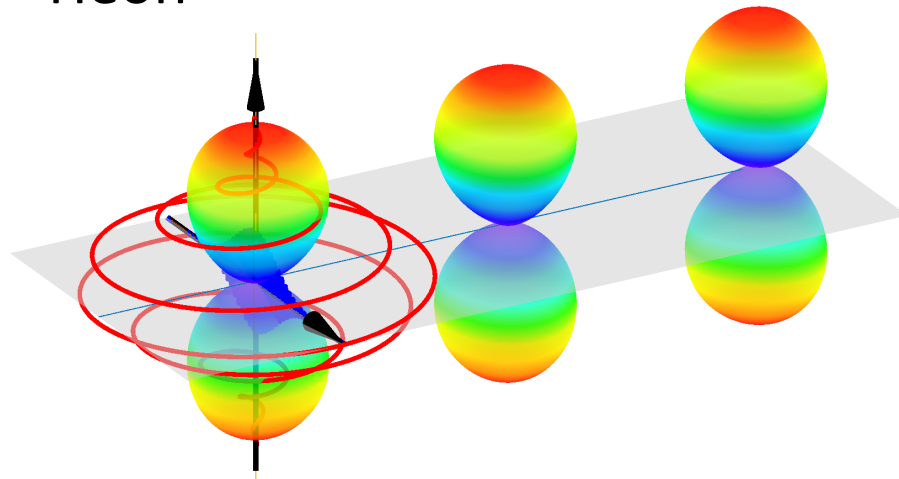
Линейное XUV, круговое IR



Гелий



Неон



Ну такое...

Выводы

- Были рассмотрены схемы ионизации IR+XUV полями в ситуации со смешиванием четности.
- Выведены общие формулы для угловых распределений электронов (PAD).
- Проведены численные расчеты для He и Ne.
- Обсуждены нарушения симметрий для PAD, связанные с симметриями полей, (не)зависящие от спектроскопических характеристик мишени.

¡Gracias por
escucharme!

