



## НАУЧНАЯ ГРУППА (1995-2005)

**С. И. Страхова**

НИИЯФ МГУ

**А. Н. Грум-Гржимайло**

НИИЯФ МГУ, Отдел ядерно-спектроскопических методов

**Е. В. Грызлова**

НИИЯФ МГУ, Отдел электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер

**А. И. Магунов**

Институт общей физики РАН, Москва.

**I. Rotter**

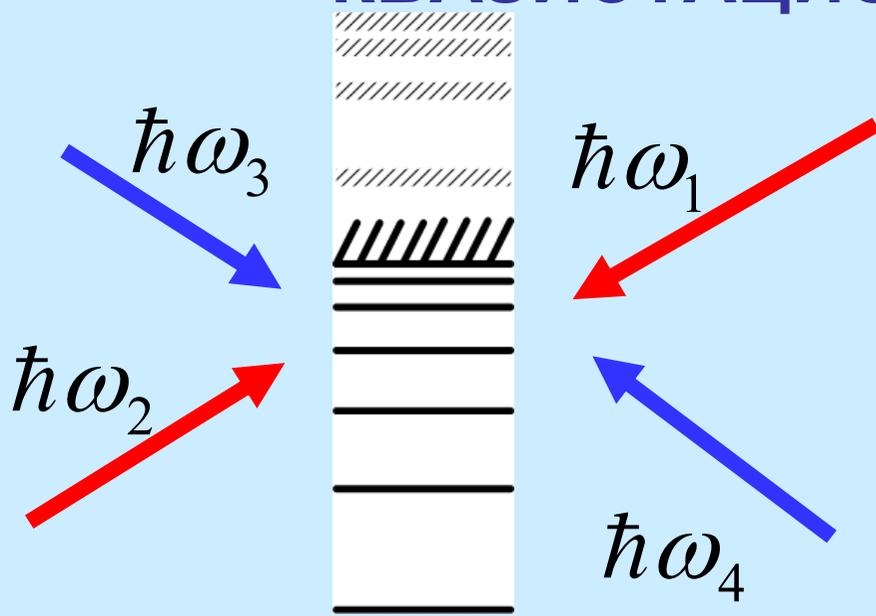
Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme, Dresden, Germany

**M. Meyer**

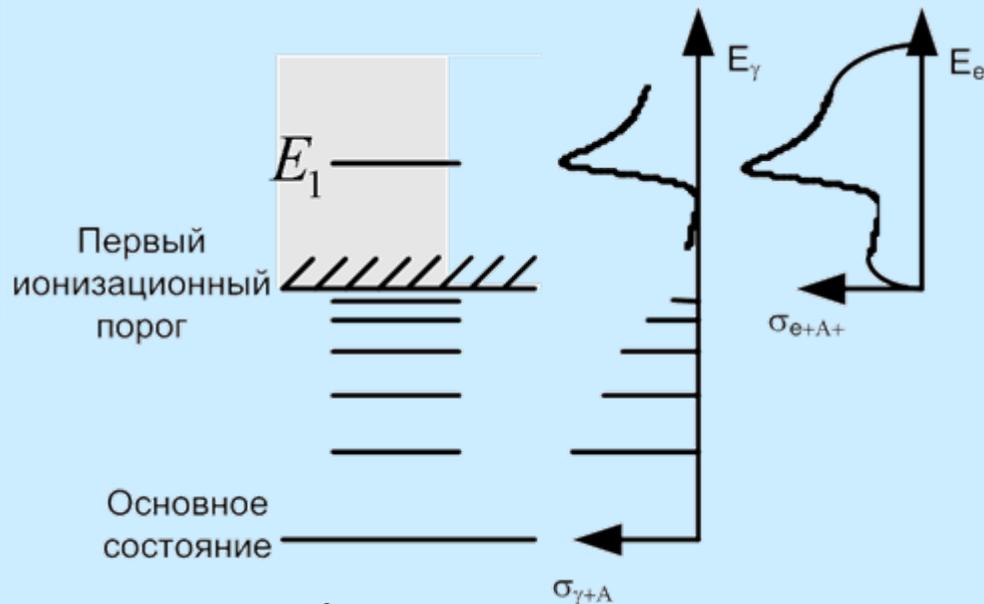
LIXAM Centre Universitaire Paris-Sud, Orsey Cedex, France

## НОВАЯ КВАНТОВАЯ СИСТЕМА: «АТОМ + ЛАЗЕРНОЕ ПОЛЕ»

### ПЕРЕКРЫВАЮЩИЕСЯ И ВЫРОЖДЕННЫЕ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ СОСТОЯНИЯ



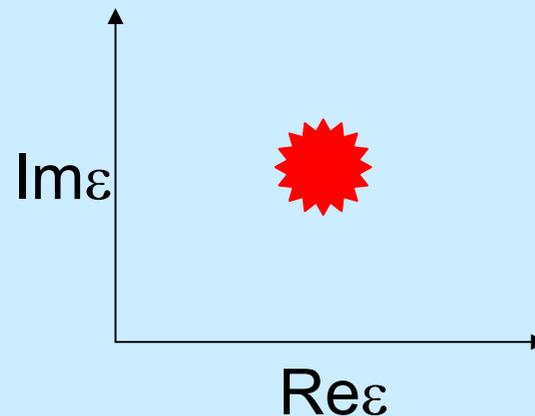
# СПЕКТРОСКОПИЯ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ СОСТОЯНИЙ И ТЕОРИЯ РАССЕЯНИЯ



Резонансу в сечении фотоионизации атома соответствует полюс  $S$  – матрицы в сечении процесса рассеяния электронов на остаточном ионе.

$$\sigma \sim \frac{\Gamma^2 / 2}{(E - E_{res})^2 + \Gamma^2 / 4}, \quad \varepsilon = E - E_{res} + i\Gamma / 2$$

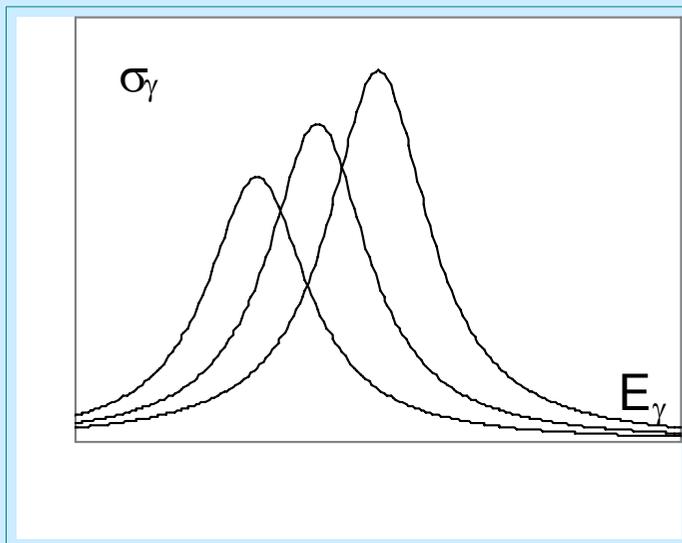
$$S \rightarrow \frac{-\Gamma / 2}{E - E_{res} + i\Gamma / 2}$$



# ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ ЯДЕРНЫХ И АТОМНЫХ РЕАКЦИЙ

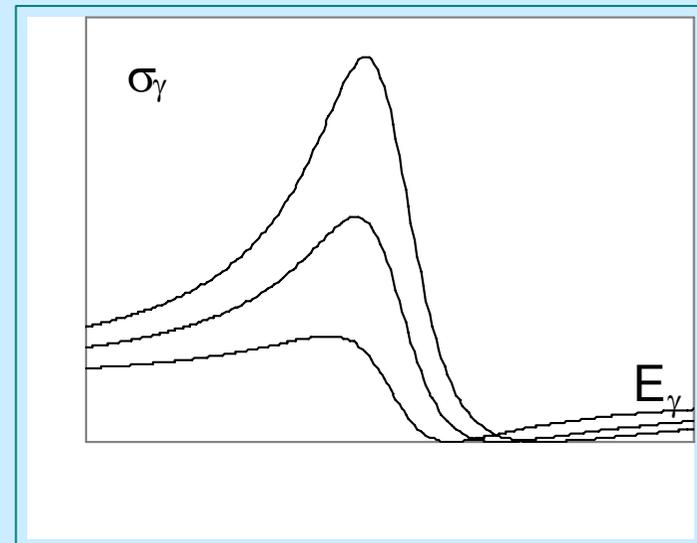
## Ядерная физика

- H. Feshbach// Unified theory of nuclear reaction, Ann. Of Phys. **5** 357 (1958);
- H. Feshbach// Unified theory of nuclear reaction III: Overlapping resonances, Ann. Of Phys. **43** 410 (1967).



## Атомная физика

- U.Fano// Phys.Rev. 124,1866-1879, 1961
- F. H. Mies// Configuration Interaction Theory. Effects of overlapping resonance, Phys. Rev. **175** 164 (1968).

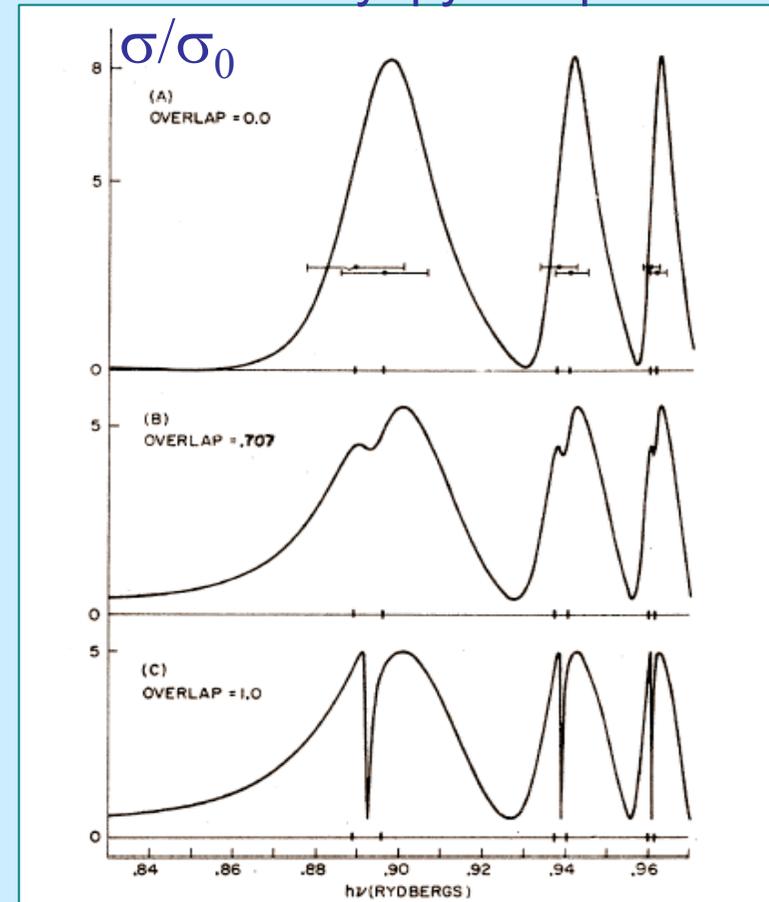
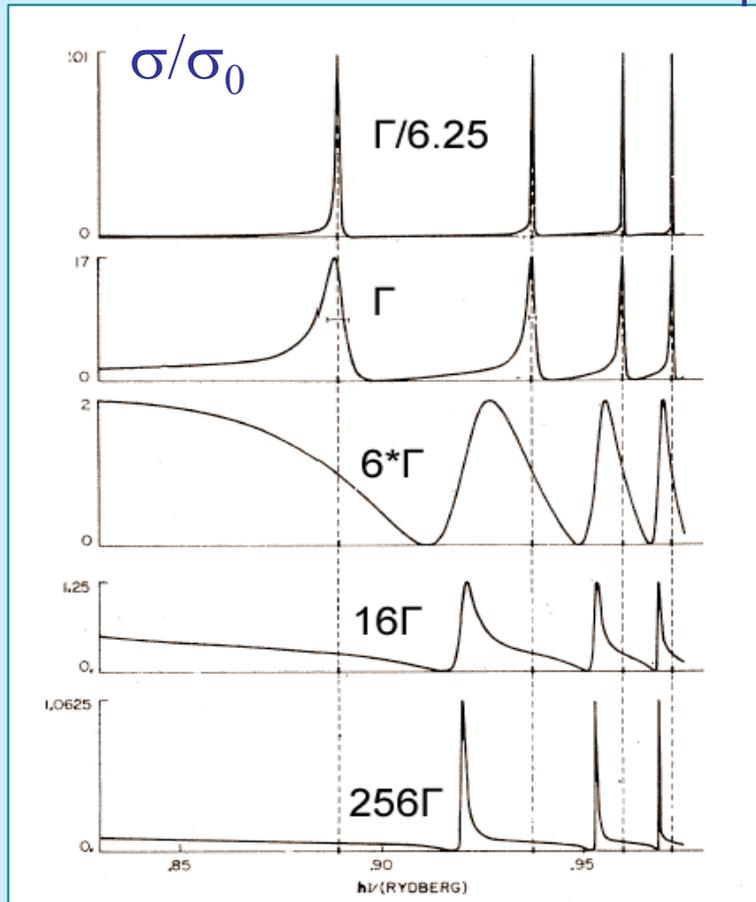


# ПЕРЕКРЫВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ДВУХ РИДБЕРГОВСКИХ СЕРИЙ В АТОМАХ

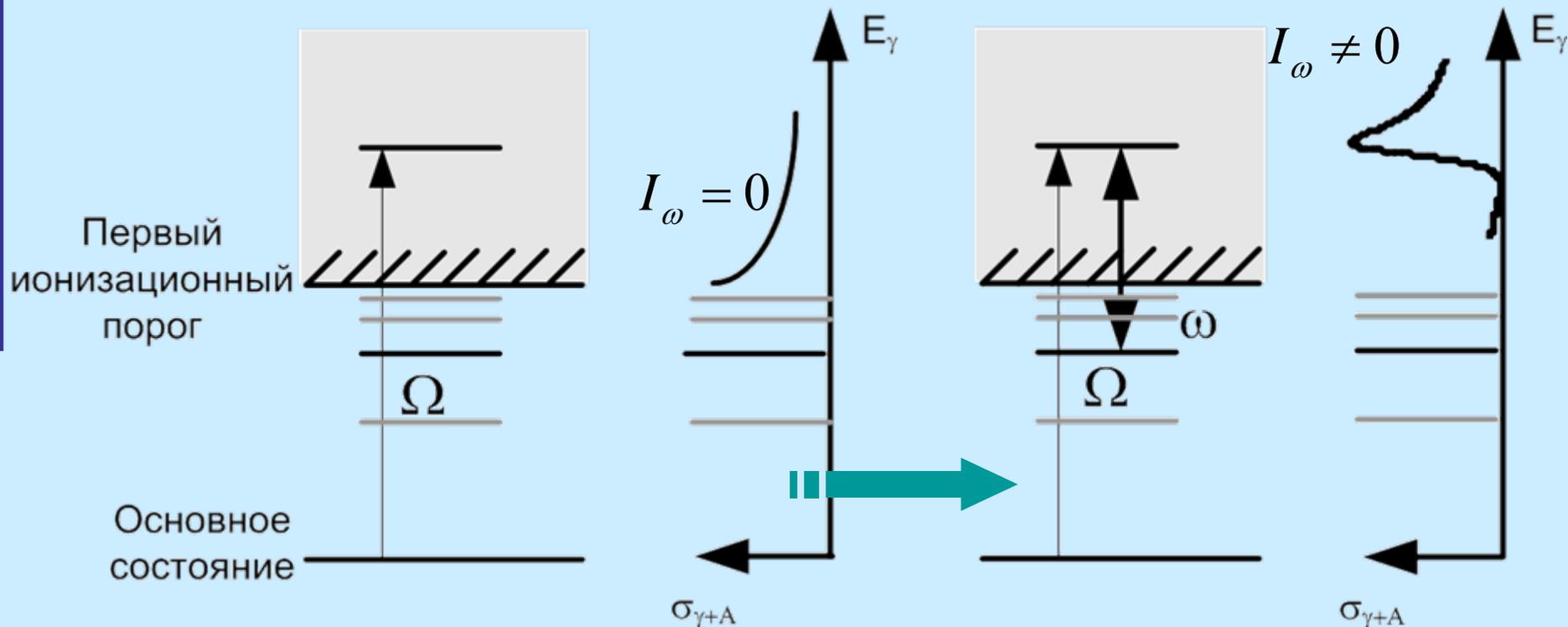
F. H. Mies// Configuration Interaction Theory. Effects of overlapping resonance, Phys. Rev. **175** 164 (1968).

$$A + e^- \leftrightarrow \sum_n A(n)^- \leftrightarrow A + e^-$$

Отношение полного сечения рассеяния к сечению упругого рассеяния



# ЛАЗЕРНО ИНДУЦИРОВАННЫЕ РЕЗОНАНСЫ В НЕПРЕРЫВНОМ СПЕКТРЕ АТОМА



Ю.И.Геллер, А.К.Попов. Институт физики им.  
И.В.Киренского СО РАН, Красноярск. Phys.Lett. 82A, N1,  
р.4-6, 1981

# ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ

## ЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА

$$\gamma + A$$

$$\vec{P} = \kappa \vec{E}$$

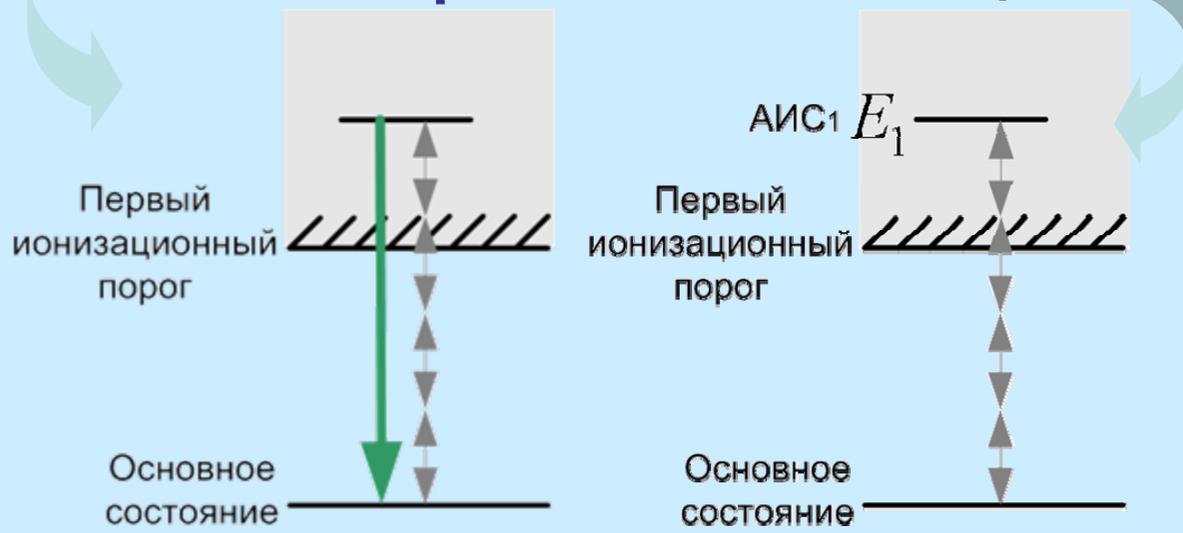
## НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА

$$\gamma + A$$

$$\vec{P} = \chi(-\omega_0; \omega_1, \omega_2, \dots) \vec{E}_1 \vec{E}_2 \dots$$

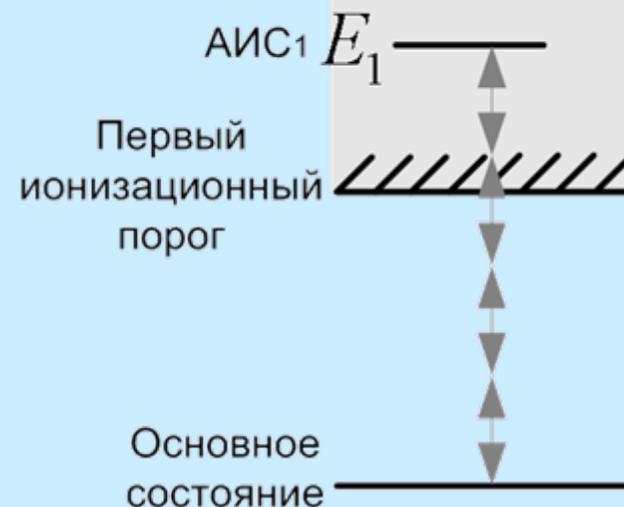
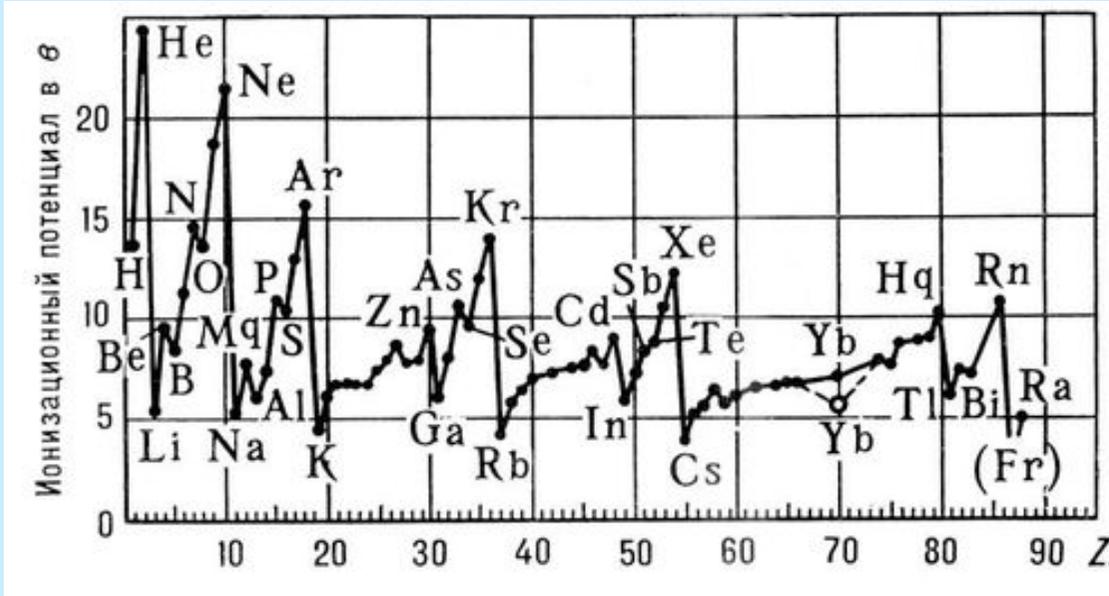
$$\omega_0 = \sum \omega_i$$

### Генерация гармоник Многофотонная ионизация



# ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ПОТЕНЦИАЛЫ ИОНИЗАЦИИ АТОМОВ.

Название	Активное вещество	Длина волны, мкм	Энергия фотона, эВ
Углекислый газ	CO <sub>2</sub>	10,6	0,11
Черный гранат	Cr <sup>4+</sup> : YAG	1,53	0,78
Форстерит	Cr <sup>4+</sup> : Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	2,34	0,96
Неодим	Nd: стекло	1,05	1,14
Лисаф	Cr <sup>3+</sup> : LiSAF	0,85	1,41
Титан – сапфир	Ti <sup>2+</sup> : Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,78	1,54
Рубин	Cr <sup>3+</sup> : Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,69	1,74
Эксимер	XeF, XeCl, KrF, KrCl	0,35, 0,41, 0,25, 0,22	3,43, 3,87, 4,80, 5,45



**FREE-ELECTRON LASERS**

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С АТОМОМ

## ВОЗМОЖНО ЛИ ВООБЩЕ ПОГРУЗИТЬ АТОМ В ЛАЗЕРНОЕ ПОЛЕ БОЛЬШОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ?

Напряженность поля «внутри» атома водорода  $\sim 5 \cdot 10^9$  В/см.  
Чтобы создать такую же напряженность, лазерное поле  
должно иметь интенсивность  $\sim 3,5 \cdot 10^{16}$  Вт/см<sup>2</sup>, что  
соответствует плотности потока фотонов  $\sim 10^{34}$   
фотонов/(см<sup>2</sup>сек).

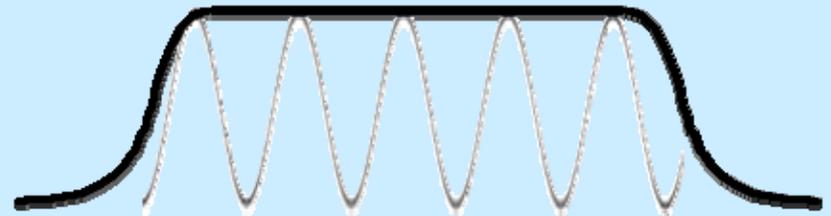
Интенсивность лазера

меняется :

$t$  – время увеличения  
амплитуды до максимальной,

$T$  – время удержания

максимальной амплитуды.



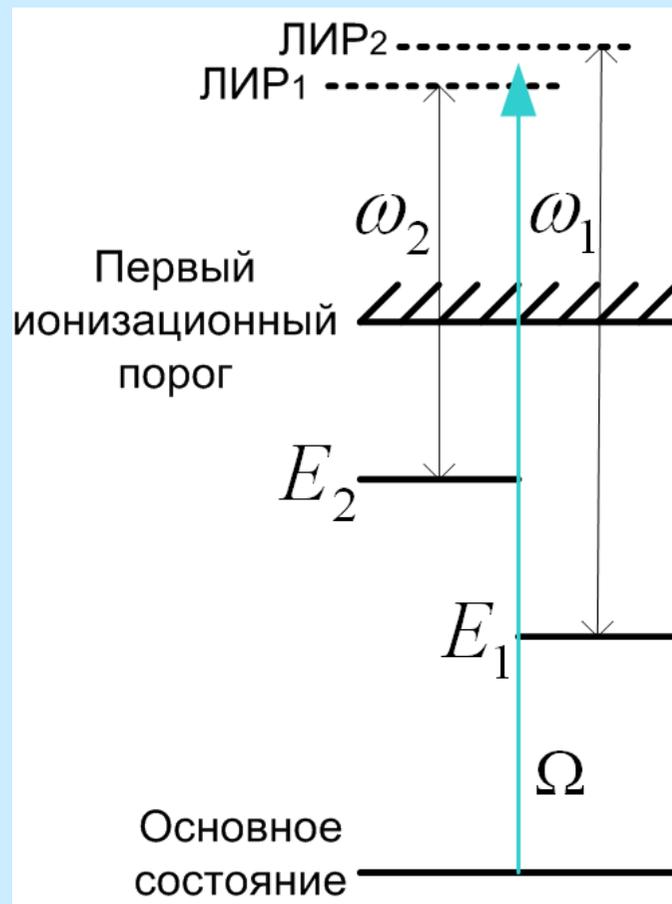
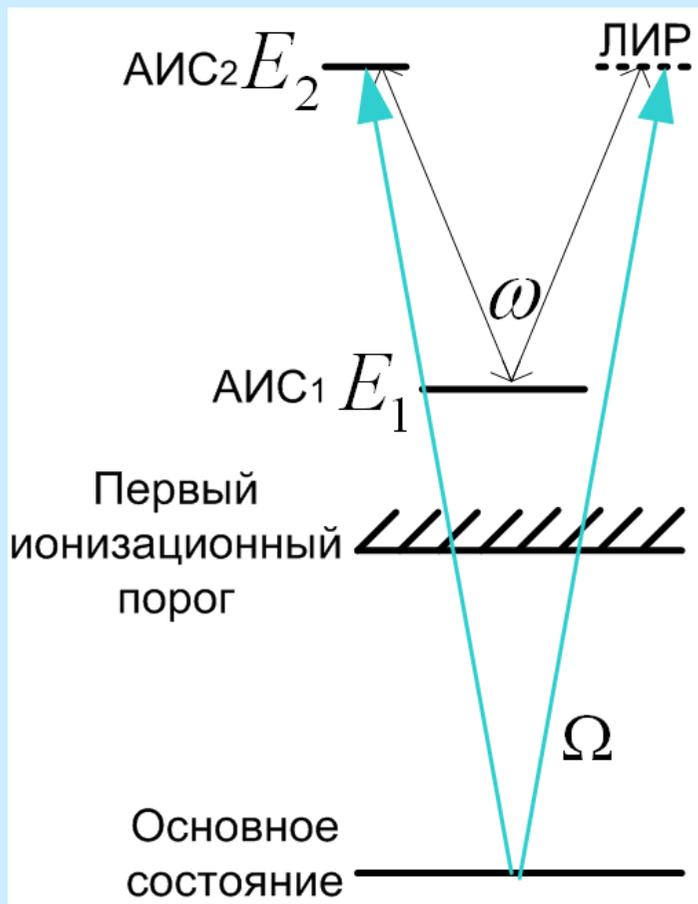
# ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИЛЬНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЕЙ

$I < 3,5 \cdot 10^{16}$ Вт/см <sup>2</sup>	Нелинейная атомная (электронная) физика. Стабилизация и пленение заселенности, короткие импульсы.
$I > 10^{17}$ Вт/см <sup>2</sup>	Высокотемпературная сверхплотная лазерная плазма (среда, в которой пытаются создать рентгеновский лазер)
$I > 10^{19}$ Вт/см <sup>2</sup>	Возможно влияние поля на состояние ядра. Релятивистская ядерная (лазерная) плазма. Ядерные реакции с участием электронов «атома».
$I > 10^{23}$ Вт/см <sup>2</sup>	Нелинейная квантовая (лазерная) электродинамика. <ul style="list-style-type: none"><li>• Рассеяние фотонов на электронах в лазерных полях</li><li>• Рождение электрон-позитронных пар</li><li>• Влияние на состояние физического вакуума</li><li>• Появление вакуумного черенковского излучения</li></ul>

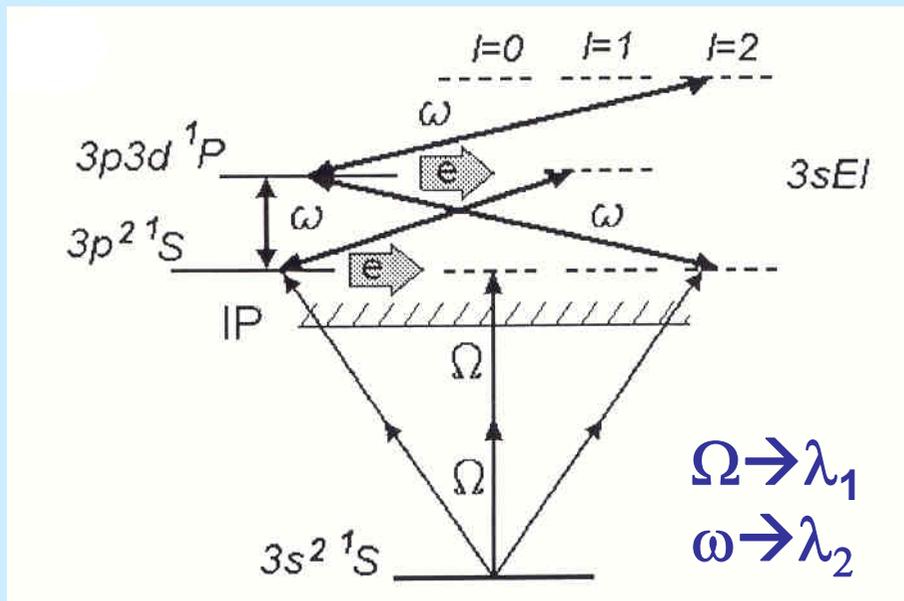
А. А. Андреев, А. А. Мак, В. Е. Яшин // Квантовая электроника  
24, 2 (296) 99 1997

**НАС БУДЕТ ИНТЕРЕСОВАТЬ ИНТЕНСИВНОСТЬ  
ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЕЙ  $I < 10^{16}$  ВТ/СМ<sup>2</sup>**

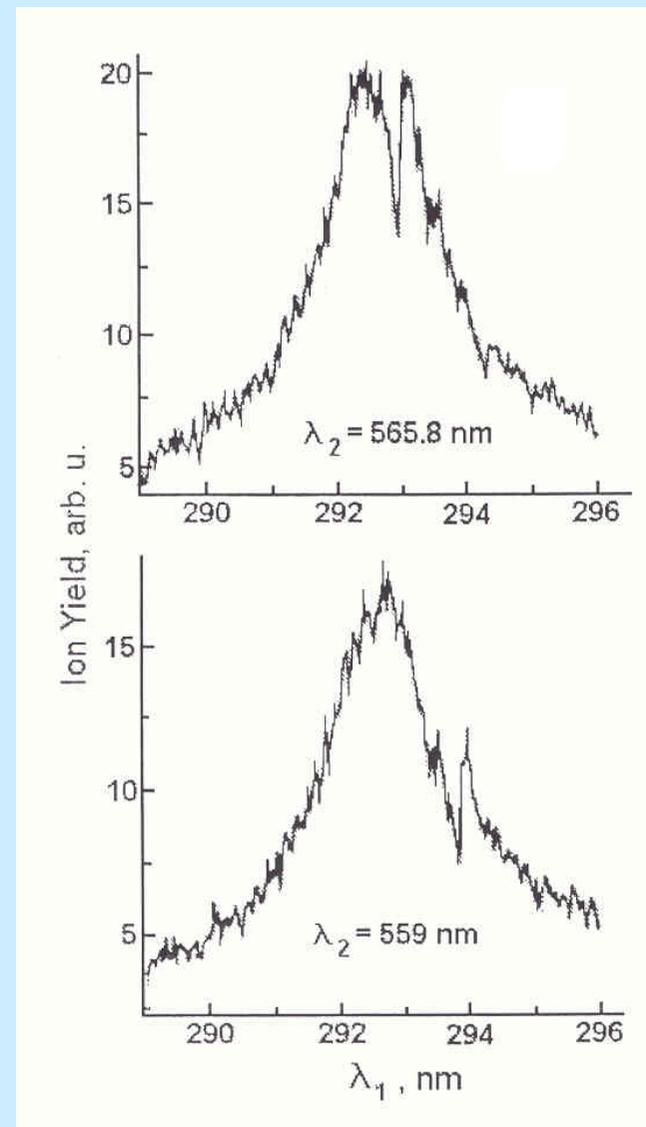
# ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ КОНТИНУУМА АТОМА ПРИ «ПОГРУЖЕНИИ» ЕГО В ЛАЗЕРНОЕ ПОЛЕ. УПРАВЛЯЕМОЕ ПЕРЕКРЫВАНИЕ РЕЗОНАНСОВ В КОНТИНУУМАХ АТОМОВ



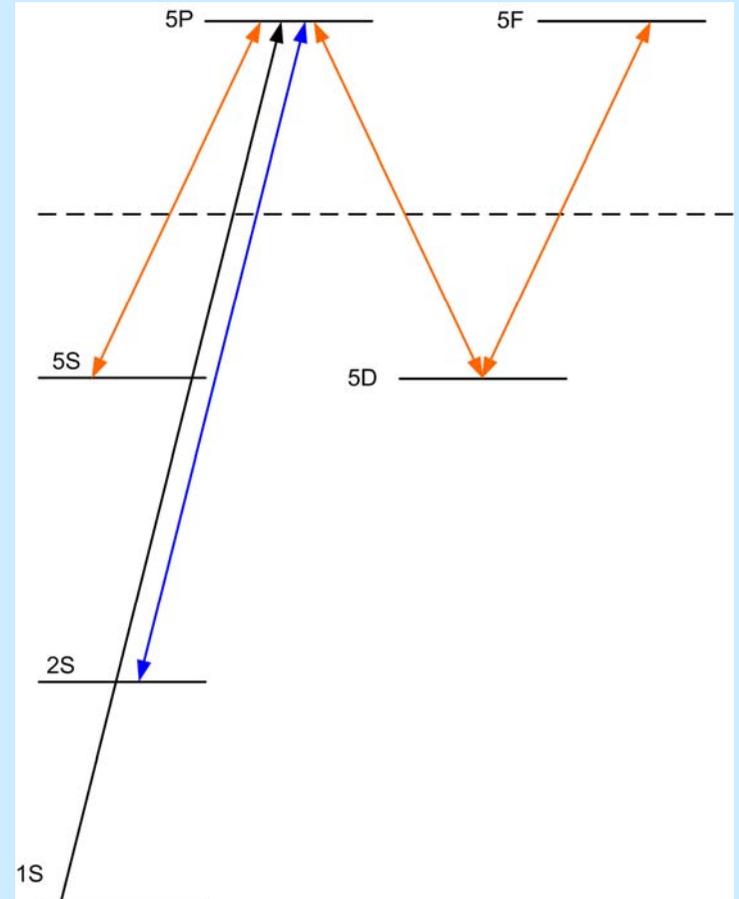
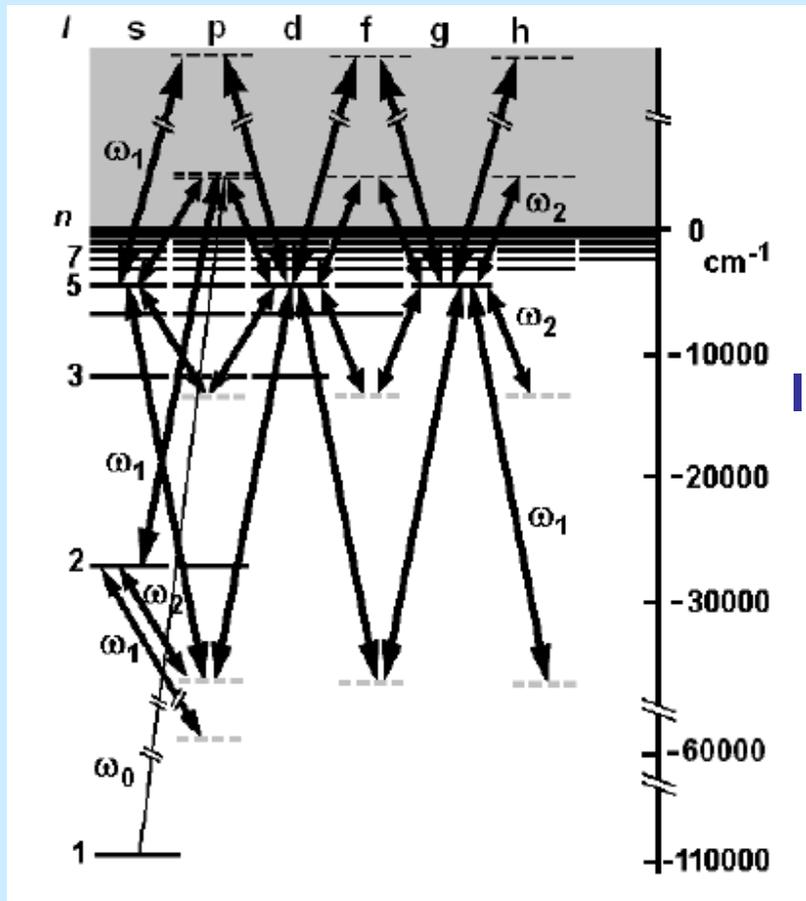
# НАБЛЮДЕНИЕ ПЕРЕКРЫВАНИЯ РЕЗОНАНСОВ В КОНТИНУУМЕ АТОМА МАГНИЯ, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕГО С ЛАЗЕРНЫМ ПОЛЕМ.



Выход ионов при  
двухфотонной  
ионизации Mg при  
фиксированной длине  
волны интенсивного  
лазерного излучения

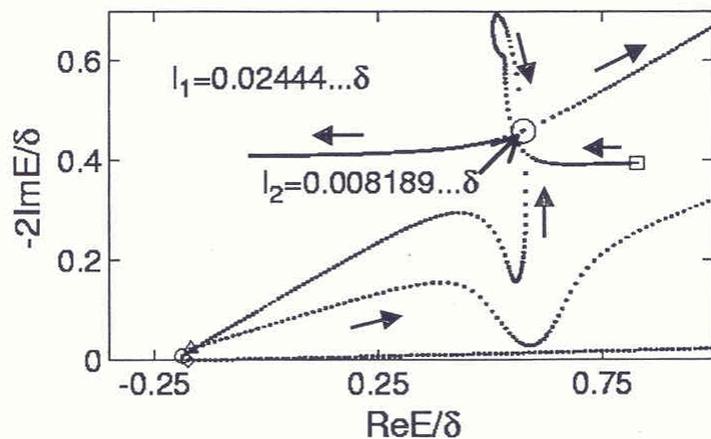
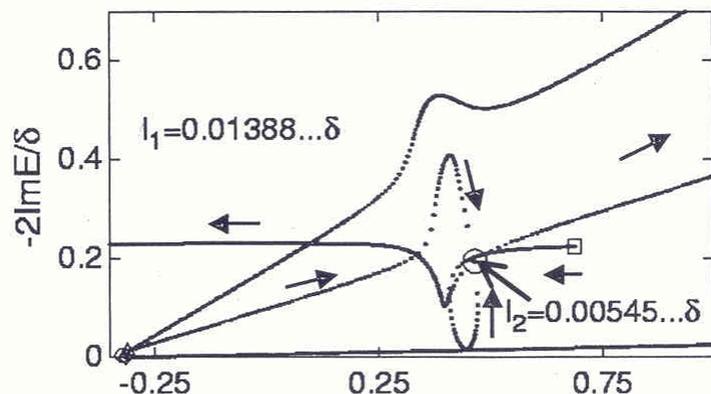


# СТРУКТУРА СПЕКТРА АТОМА ВОДОРОДА



2s и 5l состояния атома водорода находятся в поле двух лазеров: XeCl (308,5 нм) и Nd:YAG (1064 нм). В области энергий  $E_1 + \omega_1 = E_2 + \omega_2$  возникает перекрытие ЛИР (лазерно индуцированных резонансов) с орбитальным моментом  $P$ , наведенных на состояниях 2s, 5s, 5d.

# РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ДВИЖЕНИЯ ПОЛЮСОВ И ВОДНОВЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ВОДОРОДА



LICs and double poles of the  $S$ -matrix

43

**Table 2.** The eigenvalues  $\mathcal{E}_i/\Delta$  and corresponding eigenvectors  $\Phi_i = \sum_{nl} c_{i,nl} \varphi_{nl}$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) of the effective Hamilton operator (12) for the 1s, 2s, 5s, 5d and 5g coupled states at  $I_2 = 5.4524 \times 10^{-3} \Delta \approx I_2^{\text{cr1}}$  and three different values of  $I_1$ .

Quasilevels	$\Phi_1$	$\Phi_2$	$\Phi_3$	$\Phi_4$
$I_1 = 0$				
$\mathcal{E}_i/\Delta$	0.3321 - 0.0078i	0.1039 - 0.1635i	0.3796 - 0.1196i	0.2097 + 0i
$c_{i,2s}$	0	0	0	1
$c_{i,5s}$	0.0046 - 0.0178i	-0.4541 - 0.0919i	0.8970 - 0.0464i	0
$c_{i,5d}$	-0.0227 + 0.0017i	-0.8968 + 0.0466i	-0.4539 - 0.0922i	0
$c_{i,5g}$	0.9999 + 0.0001i	-0.0165 - 0.0051i	-0.0138 + 0.0148i	0
$I_1 = 1.389 \times 10^{-2} \Delta \approx I_1^{\text{cr1}}$				
$\mathcal{E}_i/\Delta$	0.3205 - 0.2092i	0.4600 - 0.0980i	0.4644 - 0.0972i	0.5163 - 0.0078i
$c_{i,2s}$	0.5413 + 0.4142i	-4.8084 + 1.8738i	1.8644 + 4.7124i	-0.0203 + 0.0107i
$c_{i,5s}$	0.4415 + 0.2452i	-0.8152 - 3.2312i	-3.3625 + 0.8155i	0.0143 - 0.0302i
$c_{i,5d}$	0.9330 - 0.3563i	1.8244 + 3.4849i	3.4753 - 1.7337i	-0.0218 + 0.0096i
$c_{i,5g}$	0.0186 - 0.0043i	0.1051 + 0.1692i	0.1705 - 0.1089i	1 + 0.0009i
$I_1 = 2.778 \times 10^{-2} \Delta \approx 2I_1^{\text{cr1}}$				
$\mathcal{E}_i/\Delta$	0.5620 - 0.3463i	0.5271 - 0.1335i	0.7075 - 0.0457i	0.7005 - 0.0079i
$c_{i,2s}$	0.9051 + 0.0391i	0.4222 - 0.4792i	0.5672 + 0.295i	-0.0122 + 0.0326i
$c_{i,5s}$	0.5852 + 0.1298i	-0.0928 + 0.0134i	-0.8227 + 0.0908i	0.0008 - 0.0501i
$c_{i,5d}$	0.2466 - 0.4516i	-1.0396 - 0.1955i	0.3937 - 0.2331i	-0.0098 + 0.0130i
$c_{i,5g}$	0.0019 - 0.0074i	-0.0238 - 0.0126i	0.0134 - 0.0634i	1.0017 + 0.0006i



# **СТРОЯЩИЕСЯ ЛАЗЕРЫ НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ**

**(FEL – “FREE ELECTRON LASERS” ) -**

**источники лазерного поля с перестраиваемой в  
широком диапазоне частотой**

**X – FEL Гамбург, Германия**

**(первая очередь VUV – FEL заработала)**

**SPPS – Стэнфорд, США**

**MAX IV – Лунд, Швеция**

**BESSY – FEL - Гамбург, Германия**

**FERMI – Триест, Италия**

**4GLS - Дарсбери, Великобритания**

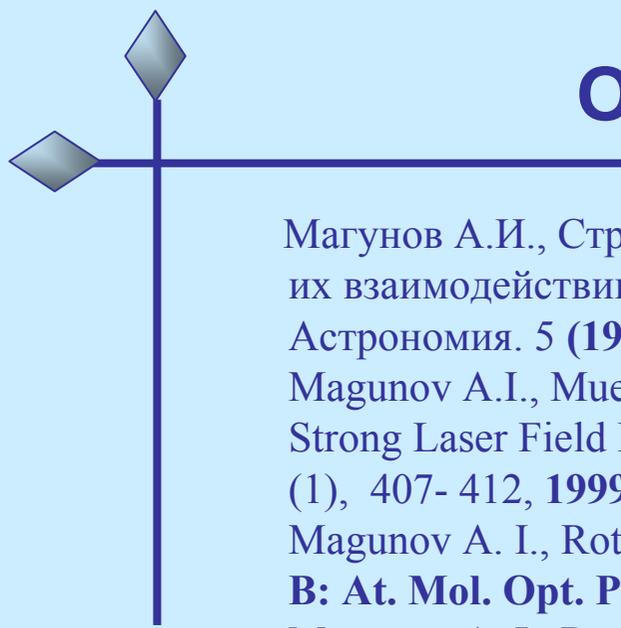


# НАБЛЮДАЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Полное сечение фотоионизации в области перекрывающихся резонансов
2. Спектр фотоэлектронов
3. Угловые распределения фотоэлектронов
4. Поляризация фотоэлектронов
5. Спектр, угловые распределения и поляризация вторичных фотонов ( $A+h\omega_1+h\omega_2+h\Omega \rightarrow A^{**} \rightarrow A^*+h\Omega'$ )

---

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



## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ:

Магунов А.И., Страхова С.И. Характеристики автоионизационных состояний атомов при их взаимодействии в сильном электромагнитном поле. **Вестник МГУ**, Сер 3. Физика. Астрономия. 5 (1998) 64 - 67.

Magunov A.I., Mueller M., Rotter I.(ФРГ, MPI), Strakhova S.I. Strong Laser Field Effects in Spectral Lines of Autoionizing Atomic States. **Laser Physics** 9 (1), 407- 412, 1999.

Magunov A. I., Rotter I., Strakhova S. I.// Laser – induced resonance trapping in atoms, **J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.**, 32, 1669 - 1684 (1999)

Magunov A. I., Rotter I., Strakhova S. I.// Strong field effects in autoionization, **J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.**, 32 1489 - 1505 (1999).

Magunov A.I., Rotter I., Strakhova S.I. Avoided level crossing and population trapping in atoms. **Physica E** 9, 474 - 477, 2001.

Magunov A. I., Rotter I., Strakhova S. I.// Laser – induced continuum structures and double poles of S – matrix, **J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.**, 34, 29 - 47 (2001).

Magunov A.I., Rotter I., Strakhova S.I. Avoided crossing in laser-induced continuum structures. **Laser Physics** 12 (2), 429-434, 2002.

Magunov A.I., Rotter U., Strakhova S.I. Fano resonances in the overlapping regime. **Phys. Rev. B** 68, N 24, p. 245305, 2003

Magunov A.I., Rotter U., Strakhova S.I. Overlapping of Rydberg autoionizing states with broad resonance in argon. **J.Phys.B: At. Mol.Opt.Phys.** v.36, N21, L401-L408, 2003.



## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ (продолжение):

Магунов А.И., Страхова С.И. Об интерференции лазерно-индуцированных резонансов в непрерывном спектре атома гелия. **Квантовая электроника**, т.33, N3, с.231-234, **2003**.

Magunov A. I., Rotter I., Strakhova S. I.// Overlapping of Rydberg autoionizing states with a broad resonance in argon, **J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.**, 36 L401 (**2003**).

Е.В. Грызлова, А.И. Магунов, И. Роттер, С.И. Страхова// Фотоионизация атома гелия с участием связанных циркулярно поляризованным лазерным полем автоионизационных состояний. **Квантовая электроника** 35 43 **2005**.

E. V. Gryzlova, A. I. Magunov, I. Rotter, S. I. Strakhova// Laser Polarization control of autoionizing in helium atom. «**Laser Physics**» **2005**, 11 12 (Принято к печати).

А.Н. Грум-Гржимайло, Е.В. Грызлова, А.И. Магунов, С.И. Страхова, // Лазерно индуцированные эффекты с участием перекрывающихся ридберговских автоионизационных состояний ксенона. «**Оптика и спектроскопия**», **2006**, 1, 102 (Принято к печати).

- Гранты РФФИ 97- 02-16689,  
01 - 02-16293,  
04 - 02-17236.
- Е.В. Грызлова. Кандидатская диссертация. Июнь 2005.
- А.И.Магунов. Докторская диссертация. 2006  
(запланирована защита).