

# соавторы



СТЕГАЙЛОВ В.В.  
к.ф.-м.н.  
зав. лаб. ОИВТ  
доцент МФТИ



СКОБЕЛЕВ И.Ю.  
д.ф.-м.н.  
в.н.с. ОИВТ

# Научно-координационная сессия "Исследования неидеальной плазмы"

*(Президиум РАН, пл. Гагарина 32а, Москва)*

Председатель сессии - академик В.Е. Фортов

**1 декабря 2009**

## Возбужденные состояния разогретых плотных веществ



Норман Г.Э.

*Объединенный институт высоких температур РАН  
Московский физико-технический институт  
(государственный университет)*



# Научно-координационная сессия "Исследования неидеальной плазмы"

(Президиум РАН, пл. Гагарина 32а, Москва)

Председатель сессии - академик В.Е. Фортов

**1 декабря 2009**

## ***EXCITED STATE OF WARM DENSE MATTER***

New form of plasma 36th EPS Conference on Plasma Physics,  
June 29 - July 3, 2009, Sofia, Bulgaria



Норман Г.Э.

*Объединенный институт высоких температур РАН  
Московский физико-технический институт  
(государственный университет)*



**EXCITED STATE**

or

**EXOTIC STATE**

or

**NOVEL FORM**

**OF**

**WARM DENSE MATTER**

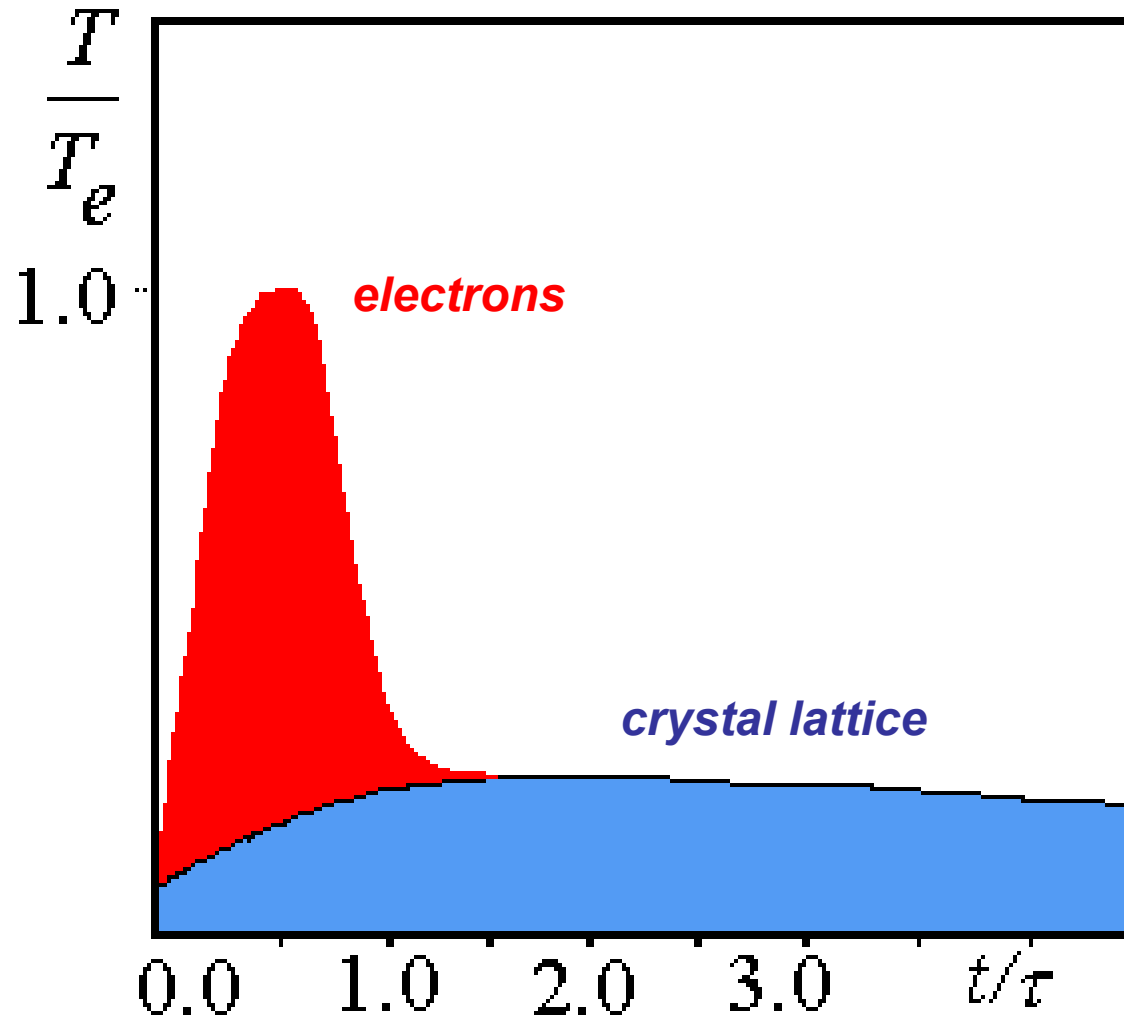
or

New form of plasma

B. Nagler (+ 54 соавтора) *Nature Physics* 2009

# Dynamics of the crystal lattice after femtosecond pulse irradiation

Two-temperature system  
«cold» lattice – hot «electrons»



Al

Fisher et al., 2001

# EXOTIC STATE OF WARM DENSE MATTER

“MESSAGE (основная идея)”:

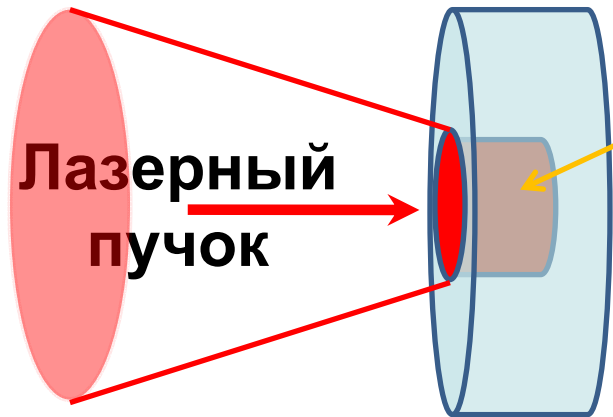
состояние, обладающее

**свойствами  
кристалла**

**И**

**свойствами  
электронной частично  
ионизованной плазмы**

# Создать РПВ очень легко:



РПВ

**Лазером**  
(ИК, видимый, УФ, рентген)

Например:

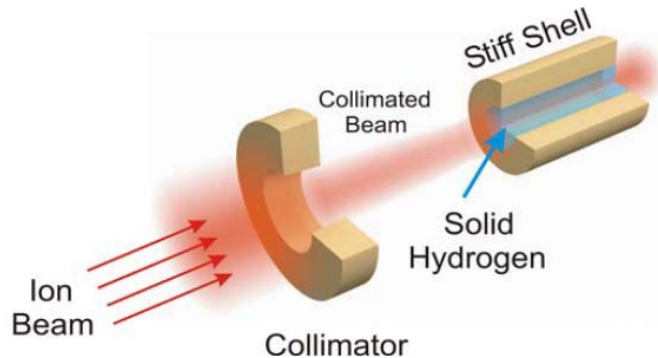
A. Saemann, K. Eidmann, I. E. Golovkin, et al, PRL 82, 4843 (1999)

K. Widmann, T. Aо, M. E. Foord, et al, PRL 92, 125002 (2004)

S. B. Hansen, K. B. Fournier, **A.Ya. Faenov**, et al, PRE 72, 036408 (2005)

Y. Ping, D. Hanson, I. Koslow, et al, PRL 96, 255003 (2006)

U. Zastraу, C. Fortmann, R. R. Fäustlin, et al, PRE 78, 066406 (2008)



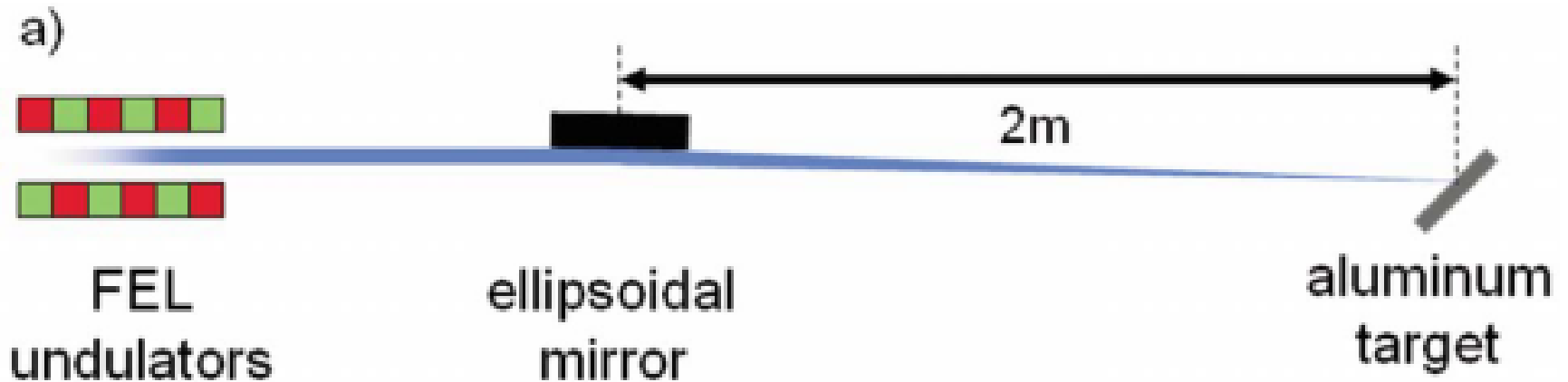
**Пучком ионов,  
Одиночными ионами**

**Электровзрывом  
проводников**

G.E. Norman, V.V. Stegailov, A.A. Valuev.  
Contrib. Plasma Phys. 43, 384 (2003)

**Время нагрева меньше времени разлета**

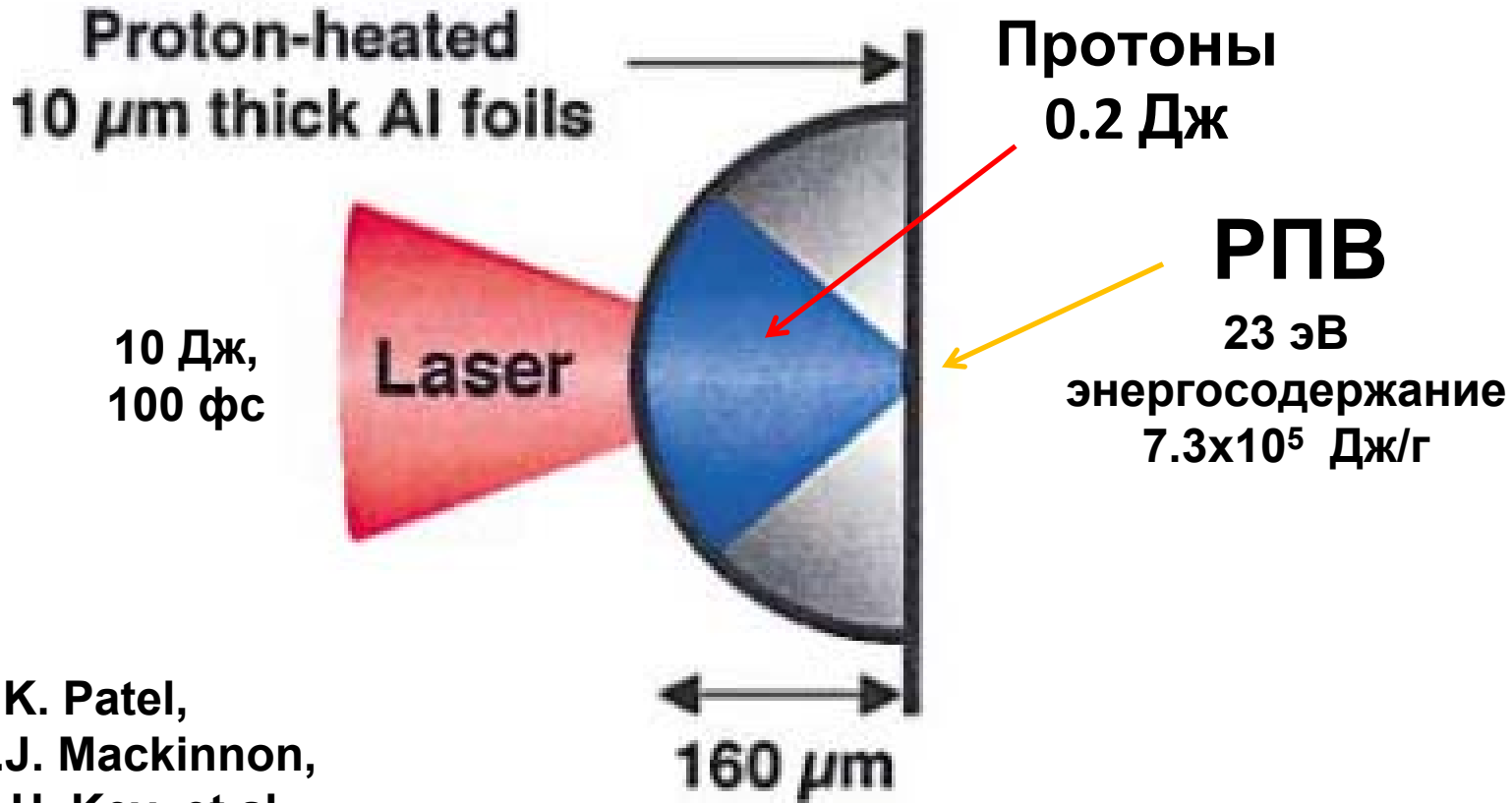
# Создание РПВ рентгеновским лазером на свободных электронах



U. Zastraу,  
C. Fortmann,  
R. R. Fäustlin,  
et al (23 coauthors),  
PRE 78, 066406 (2008)



# Комбинированный способ создания РПВ



P.K. Patel,  
A.J. Mackinnon,  
M.H. Key, et al,  
Phys. Rev. Lett., 91, 125004 (2003)

LLNL

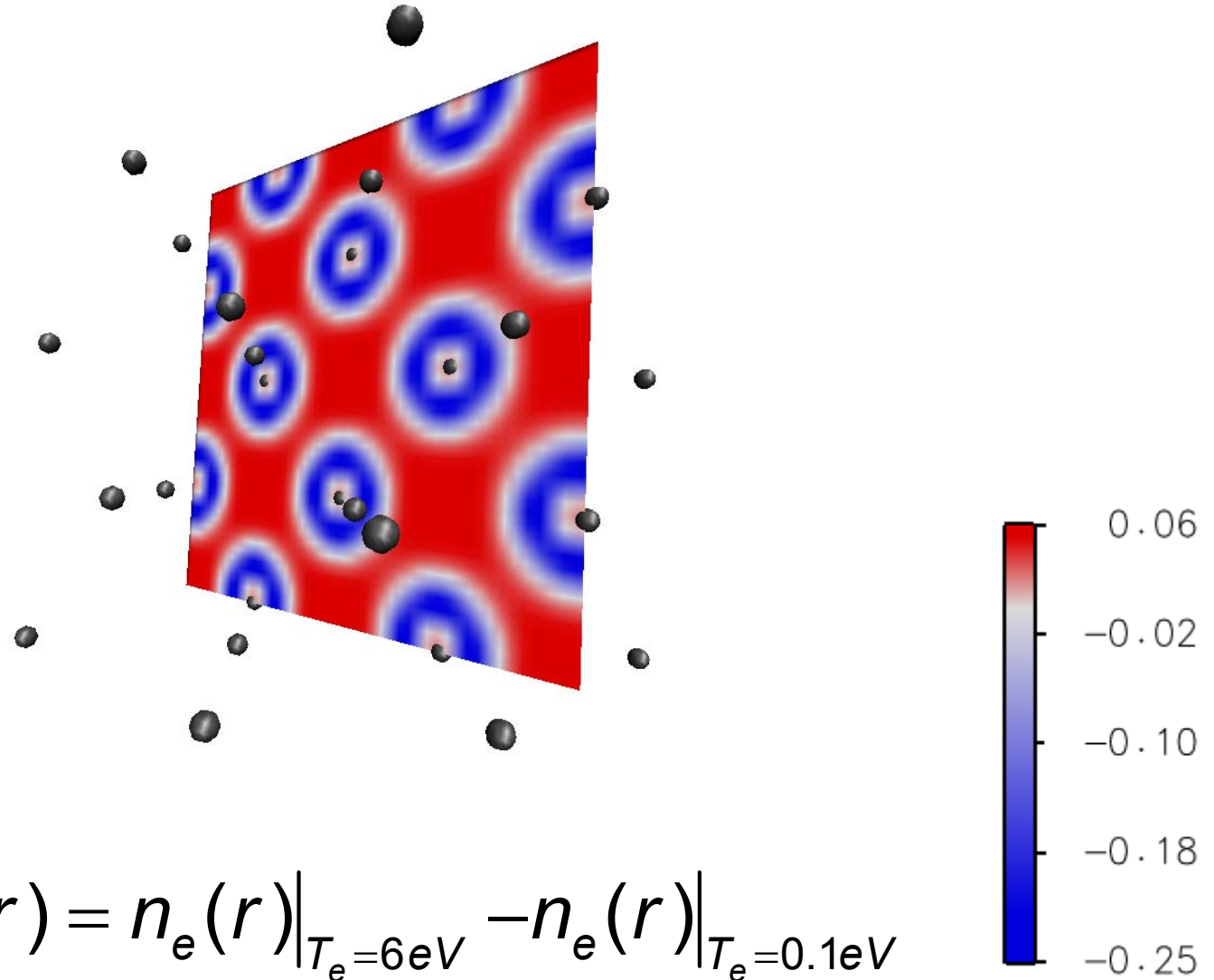
лазер → генерация быстрых протонов → создание РПВ

КРИСТАЛЛ

**теория**

# Redistribution of the electron density after the electron temperature increase

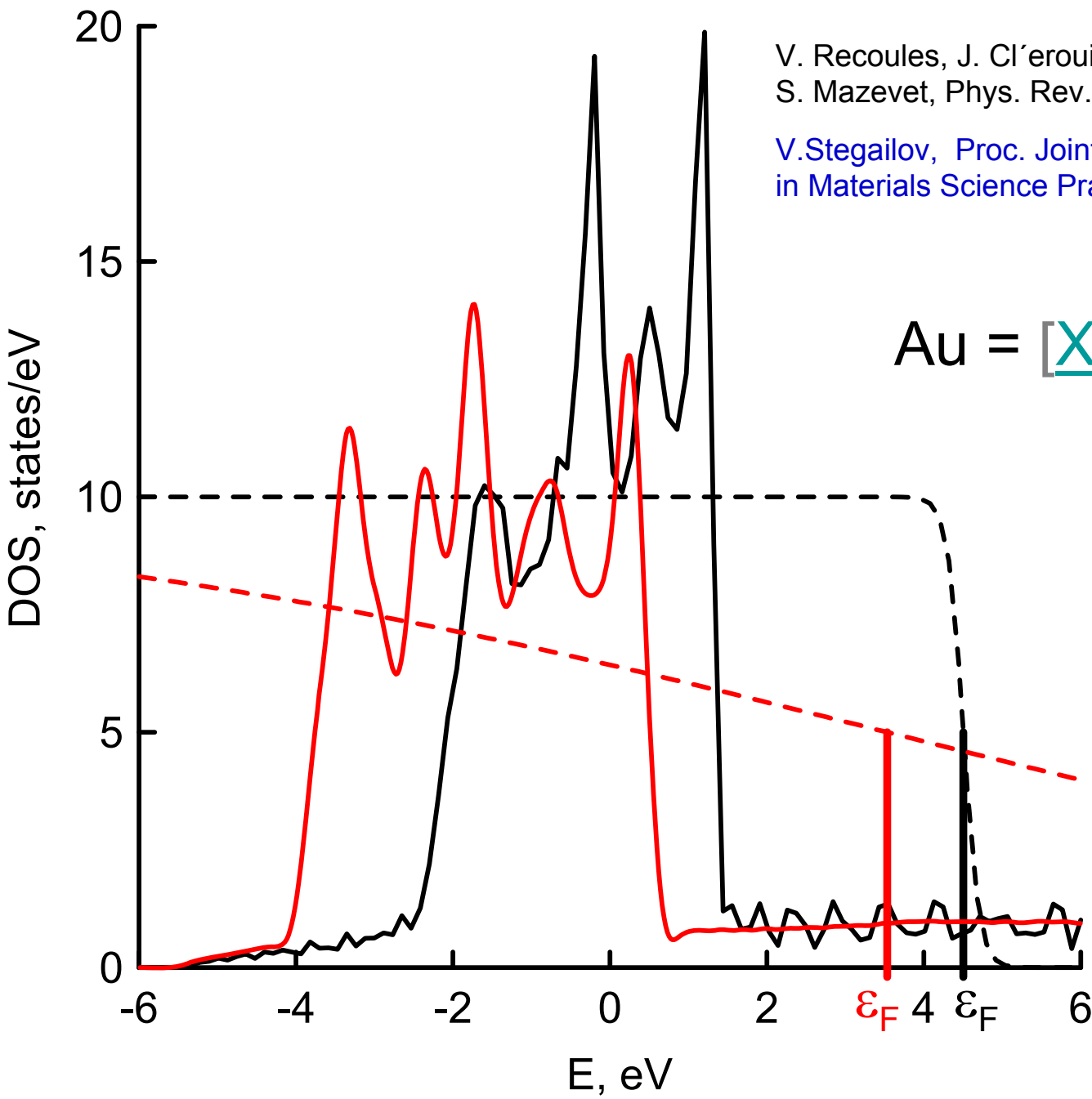
f.c.c. Au



# Gold: electron DOS (d- and s-electrons)

V. Recoules, J. Cl'eroquin, G. Z'erah, P. M. Anglade,  
S. Mazevet, Phys. Rev. Lett. 96, 55503 (2006)

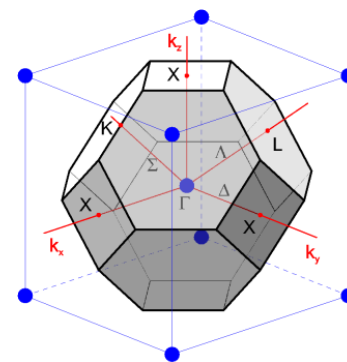
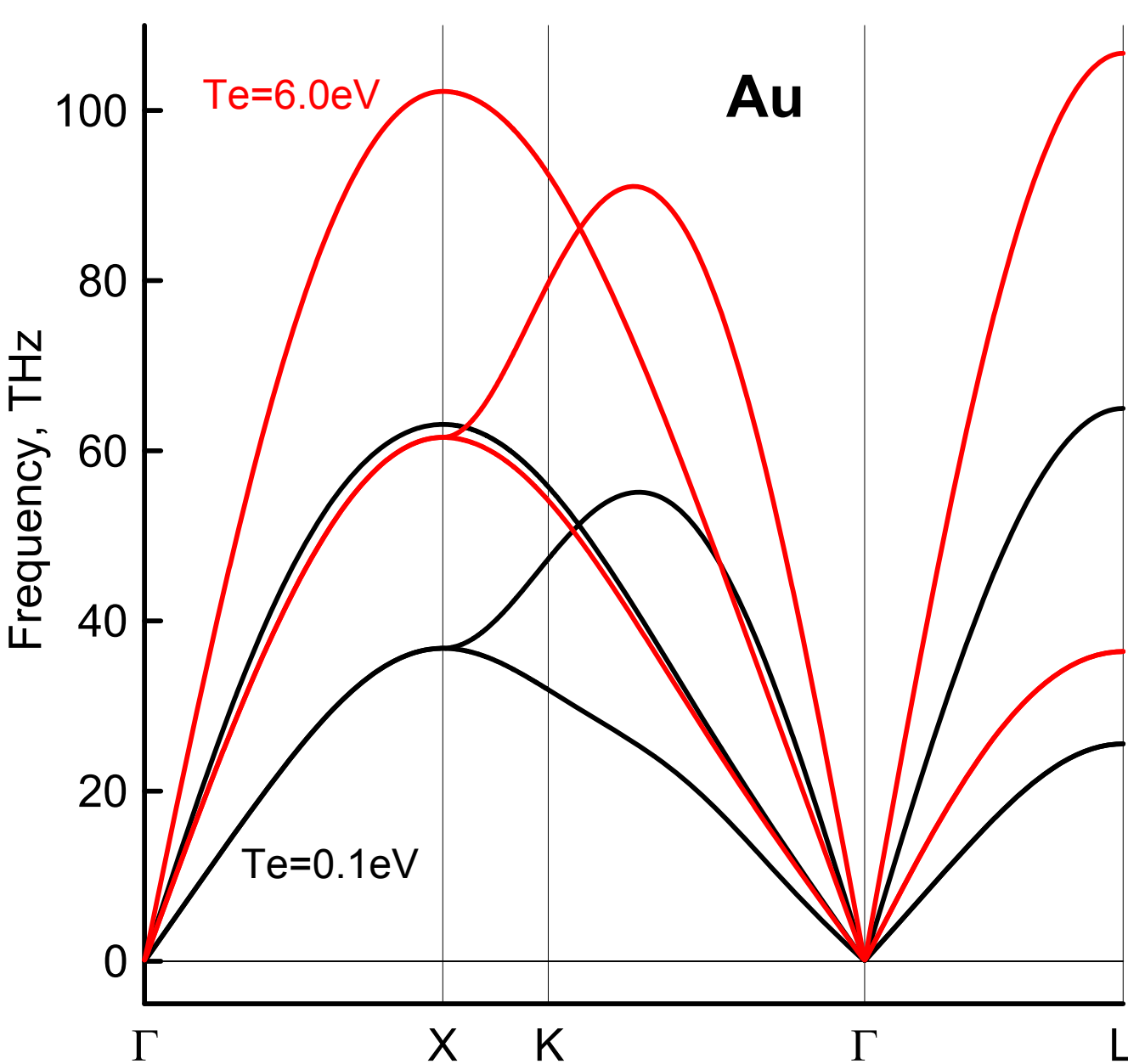
V. Stegailov, Proc. Joint U.S. Russia Conf. on Advances  
in Materials Science Prague, August 2009



$T_e = 0.1 \text{ eV}$

$T_e = 6.0 \text{ eV}$

# FCC gold phonon spectrum after pulse irradiation



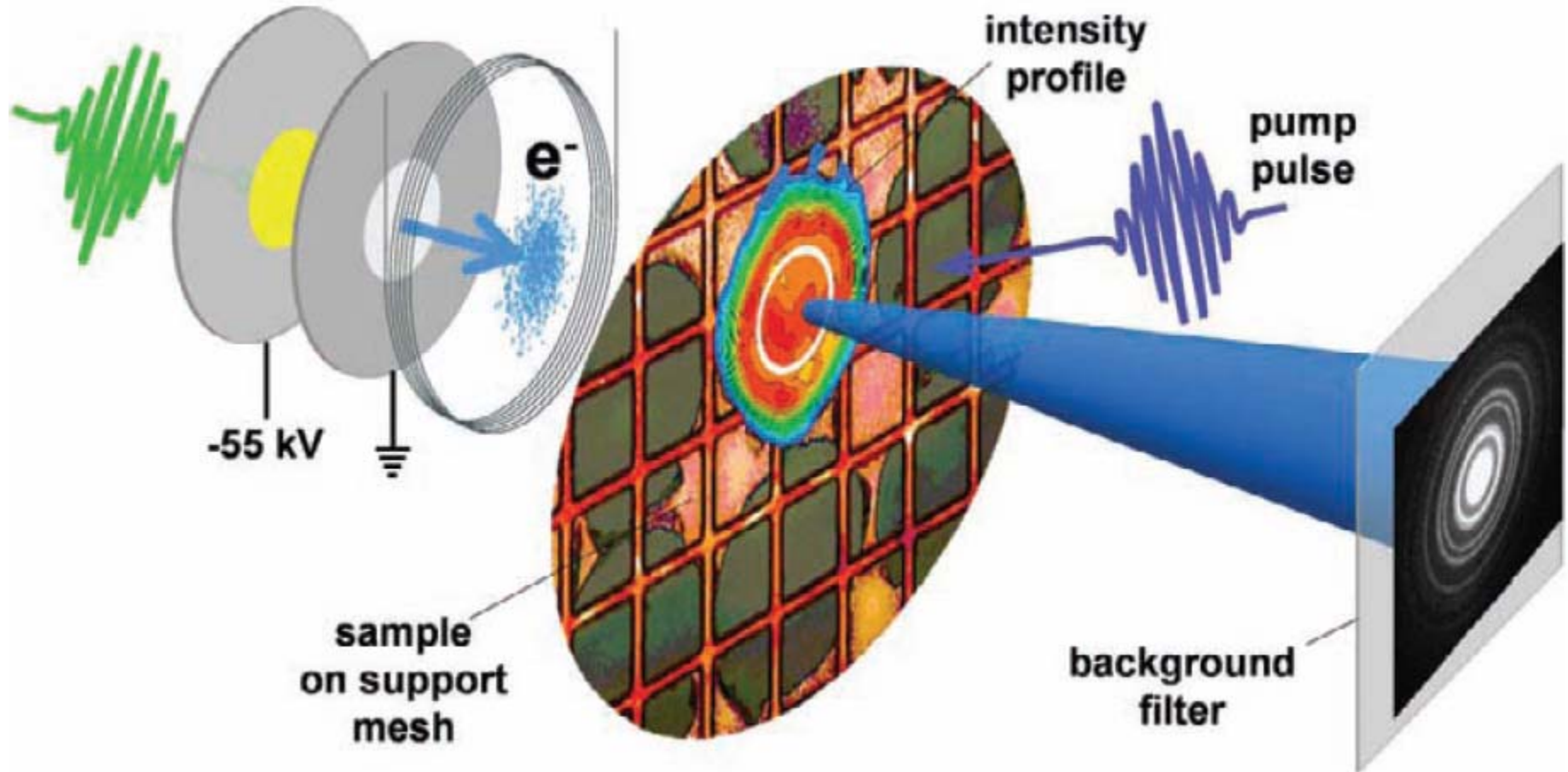
V.Recoules, J.Cl'eroquin, G.Z'erah  
P.Anglade, S.Mazevet,  
Phys. Rev. Lett. 96, 55503 (2006)

V.Stegailov, Proc. Joint  
U.S. Russia Conf. on  
Advances in Materials Science,  
Prague, August 2009

КРИСТАЛЛ

**эксперимент**

R.Ernstorfer, M.Harb, C.Hebeisen, G.Sciaini, T.Dartigalongue, R.Miller  
**The Formation of Warm Dense Matter: Experimental Evidence for Electronic Bond  
Hardening in Gold.** Science. Vol. 323. no. 5917, pp. 1033 – 1037. *20 February 2009*

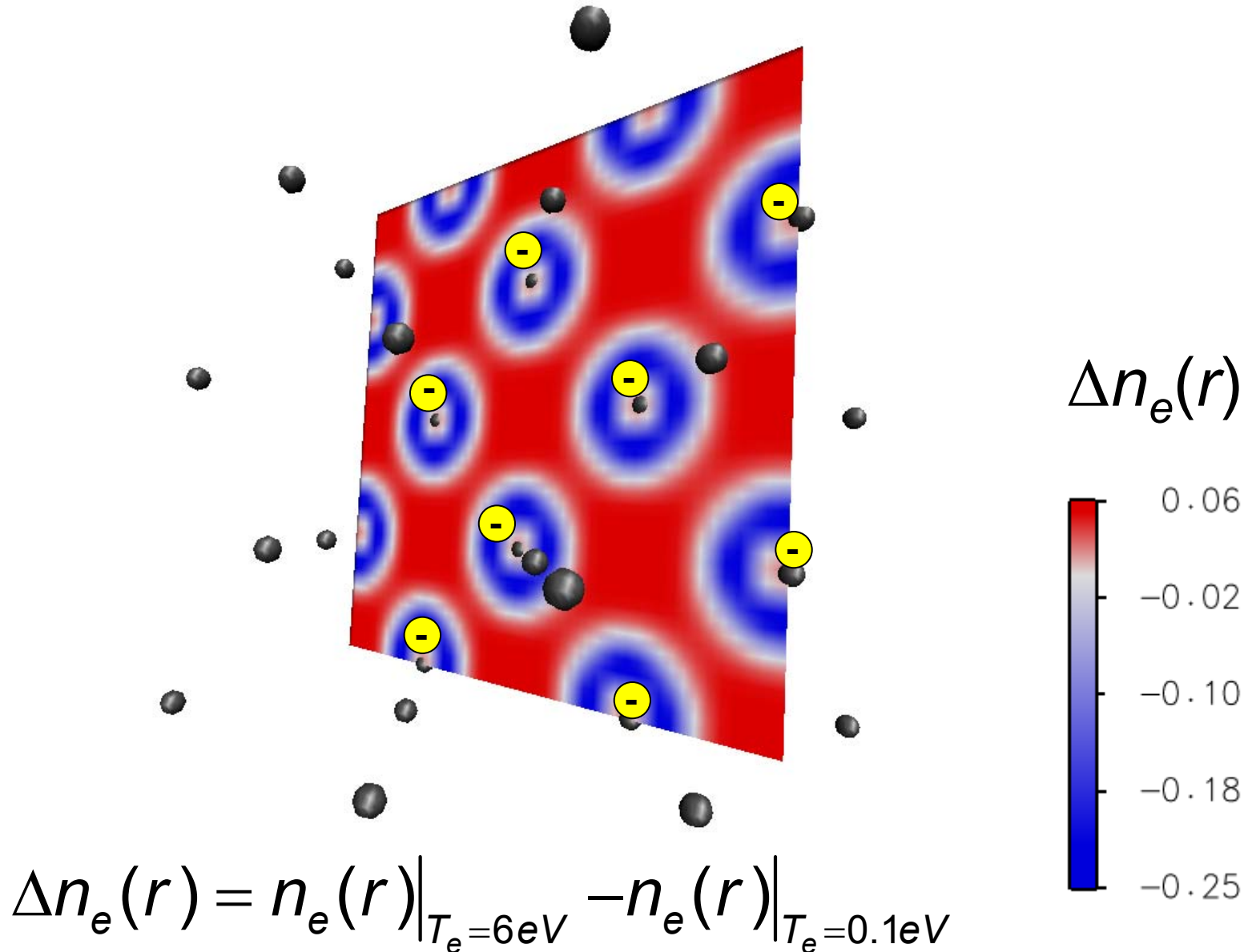


**электронная  
частично ионизованная  
плазма**

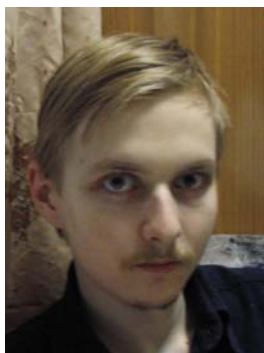


# Redistribution of the electron density after the electron temperature increase

f.c.c. Au



# Пример: подавление спектральных линий



A.Lankin, G. Norman

***"Density and nonideality effects in plasmas"***  
Contributions to Plasma Physics **49**, No. 10 (**2009**)

# Disappearance of spectral lines in warm dense matter

## The case of ideal plasma

J.Osterholz, F.Brandl, T.Fischer, D.Hemmers,  
M.Cerchez,G. Pretzler, O. Willi, S. J. Rose,  
*Phys. Rev. Letters* **96**, 085002 (2006)

$$Z = 4 - 5$$

$$n_e \approx 5 \cdot 10^{23}$$

$$T = 190 \text{ eV}$$

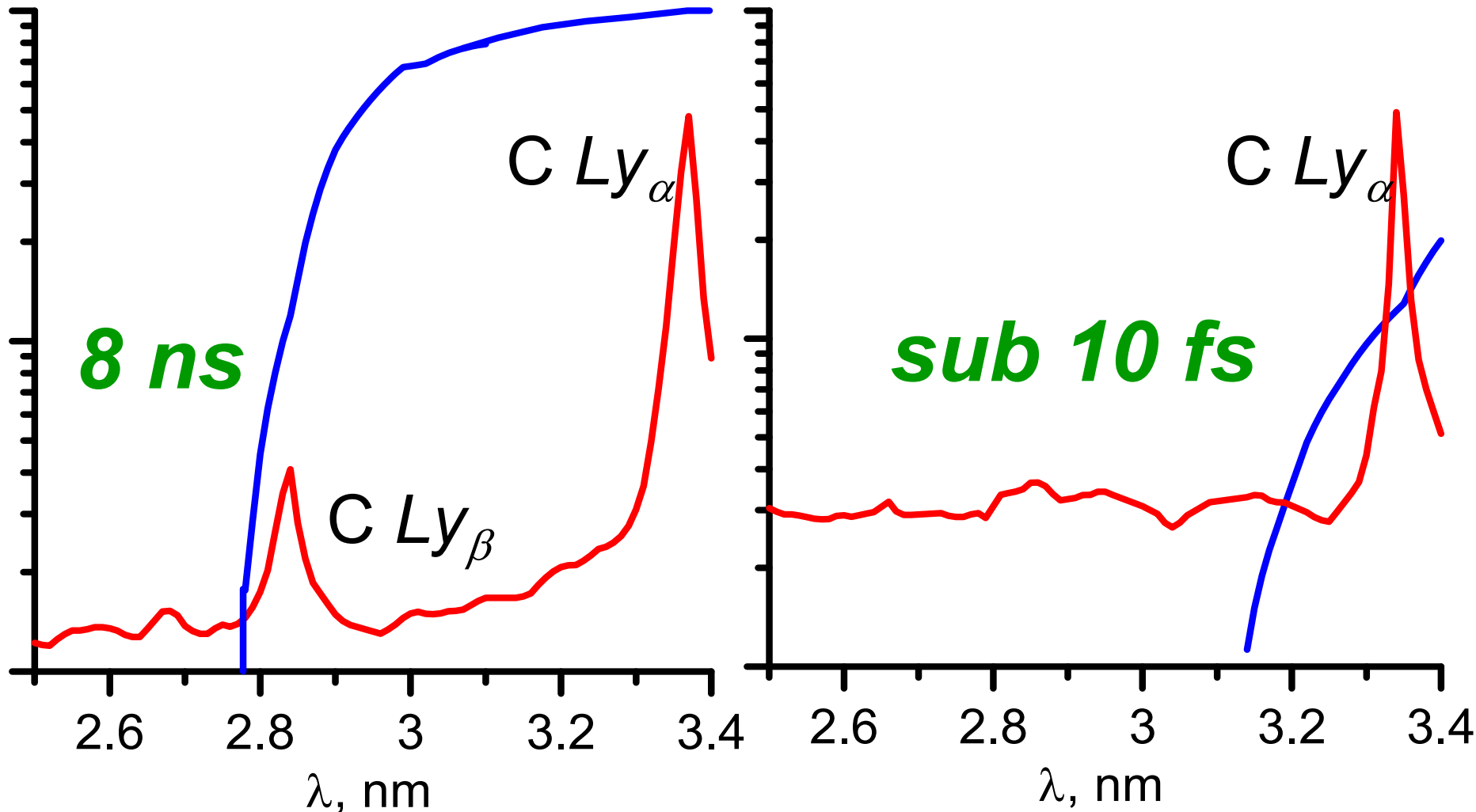
$$\Gamma \approx 0.1$$

# Plasma X-ray spectrum at

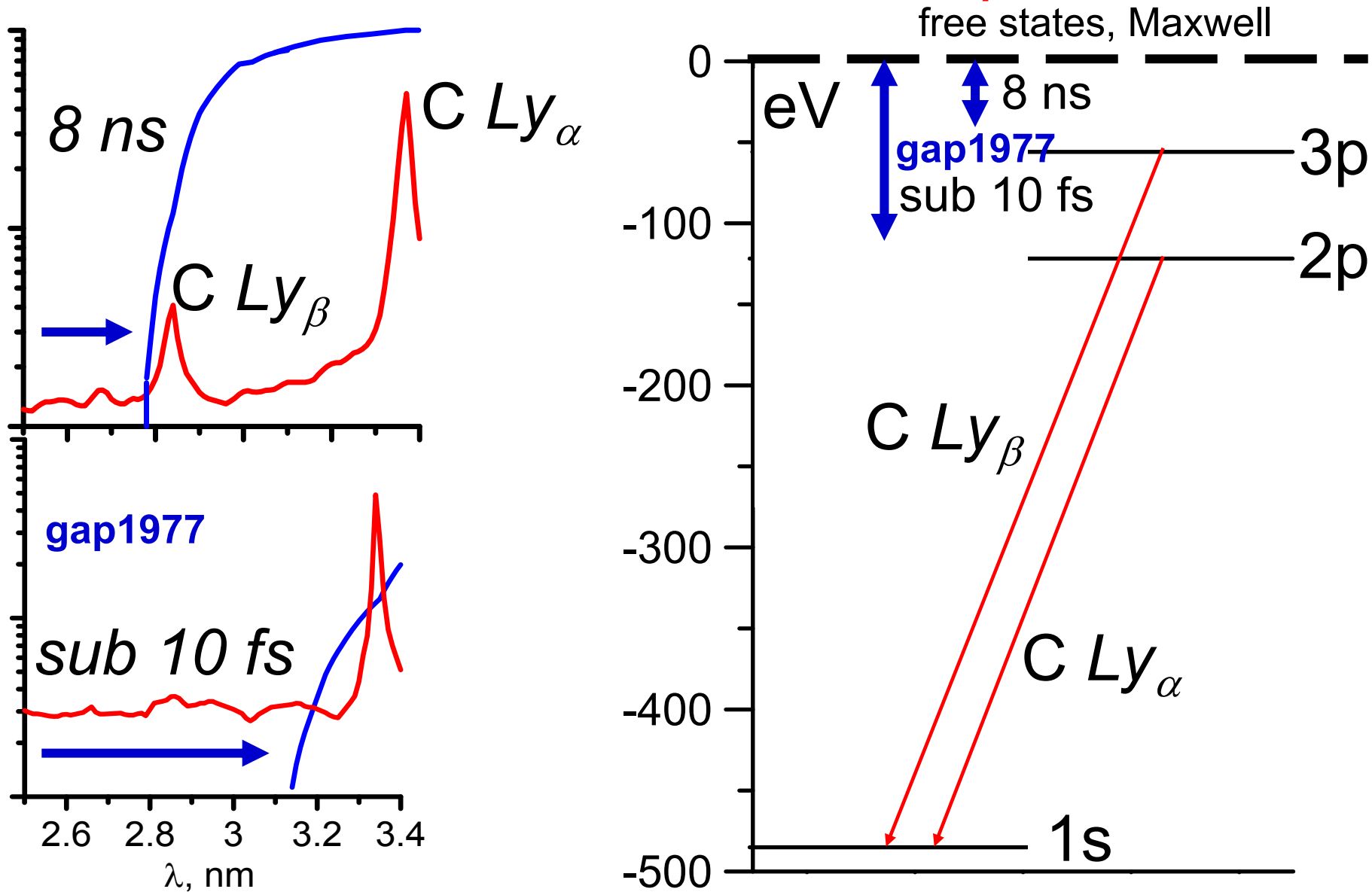
**8 ns and sub 10 fs laser impulses**

J.Osterholz, F.Brandl, T.Fischer, D.Hemmers,  
M.Cerchez, G. Pretzler, O. Willi, S. J. Rose,  
*Phys. Rev. Letters* **96**, 085002 (4pp) (2006)

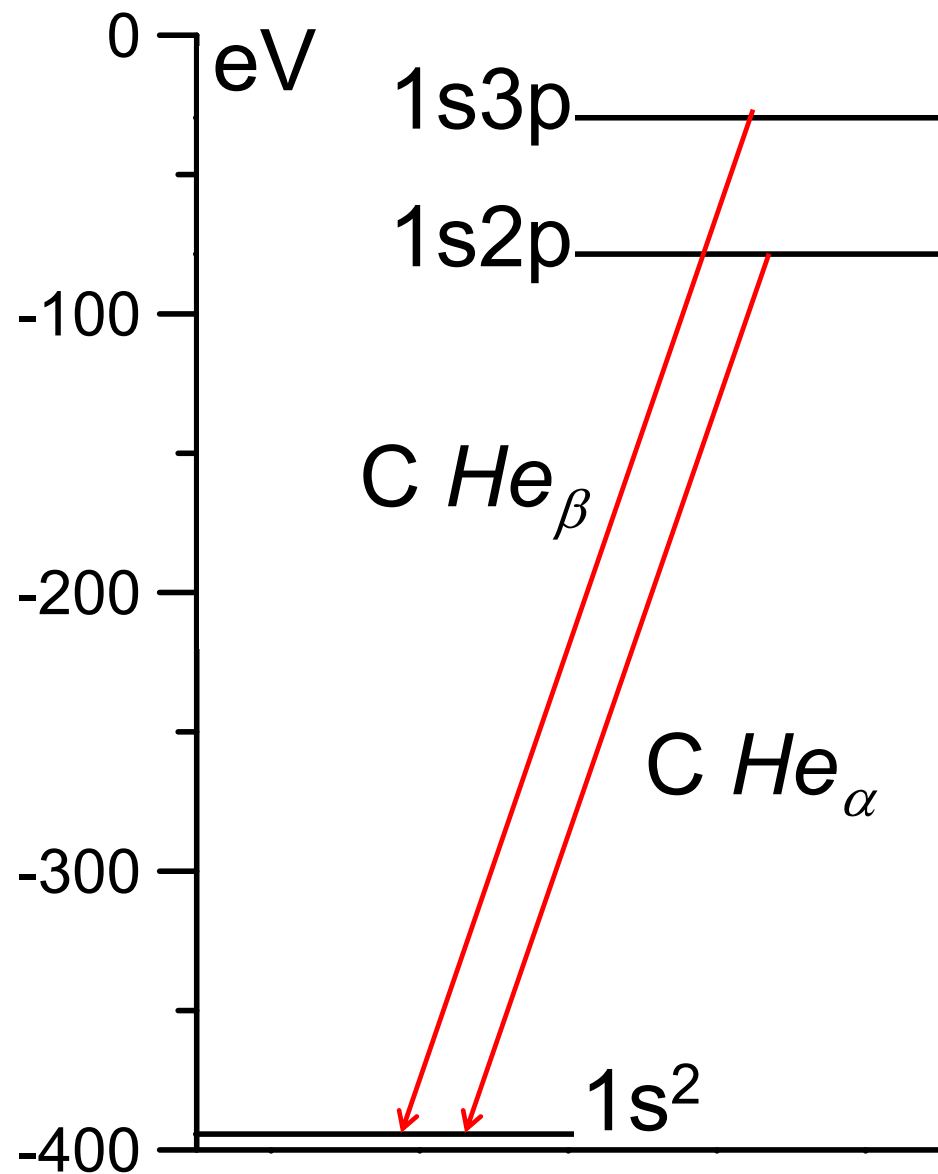
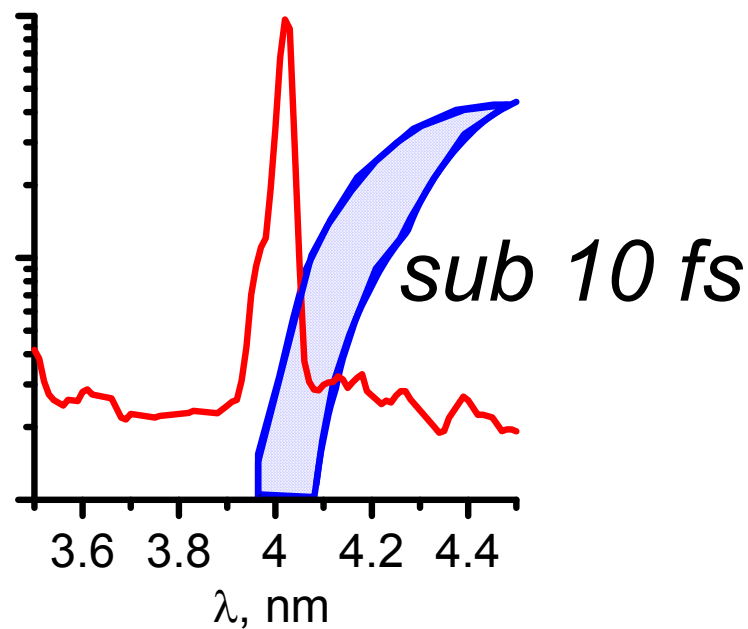
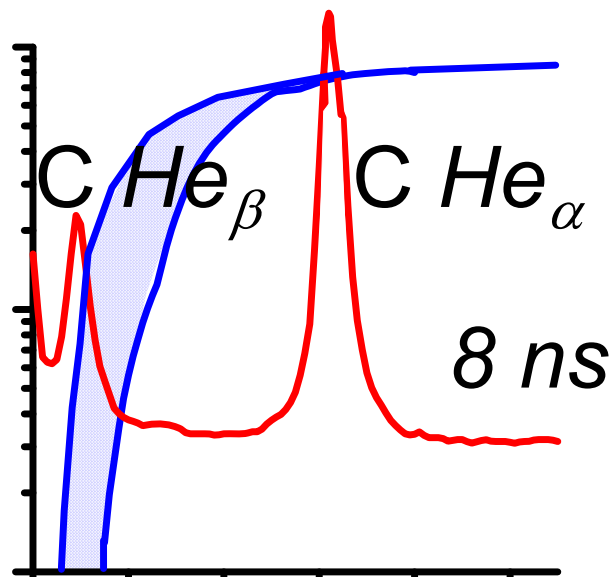
Density of electron-ion  
pair states  
in MD model



# Plasma X-ray spectrum at 8ns and sub10fs laser impulses



# Plasma X-ray spectrum at 8ns and sub10fs laser impulses



# Выводы

**ЧТО ЗАПОМНИТЬ!**

# EXOTIC STATE OF WARM DENSE MATTER

“MESSAGE (основная идея)”:

состояние, обладающее

свойствами кристалла

(зоны Бриллюэна)

и свойствами

электронной частично

ионизованной плазмы

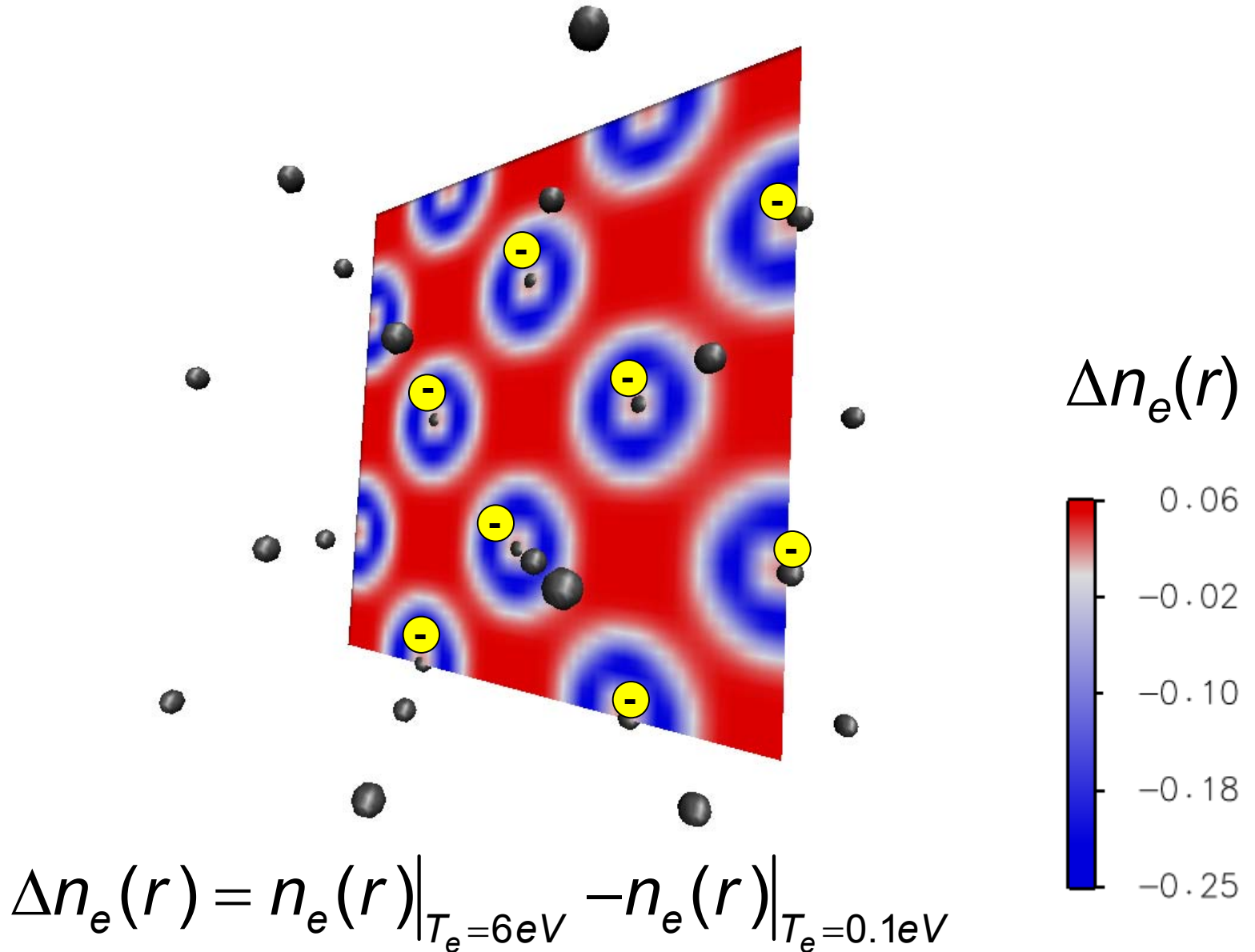
(сдвиг уровней, поуровневая  
кинетика, исчезновение линий)





# Разделение по пространству

f.c.c. Au



# Разделение по энергии

