

Дифракция фемтосекундных импульсов XFEL (РЛСЭ) на кристаллах, self-seeding и другие интересные явления (лекция)



В.А. Бушуев



Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: vabushuev@yandex.ru



49-я Школа ПИЯФ
по Физике Конденсированного Состояния
16-21 марта 2015



План лекции

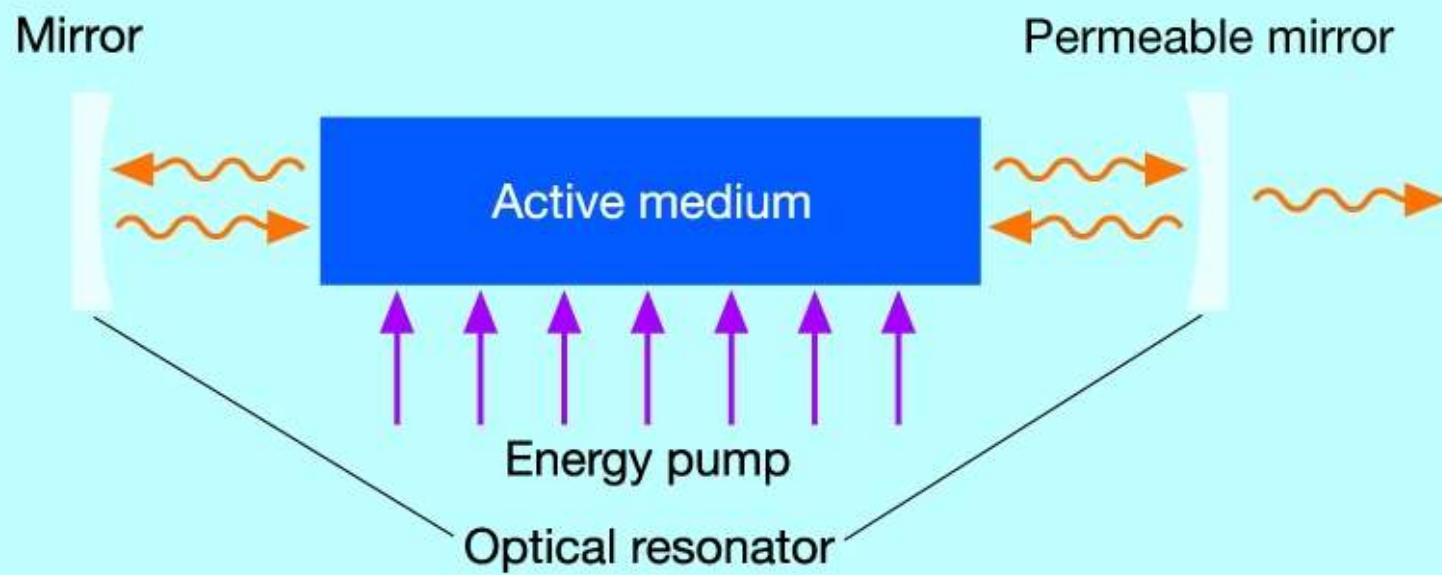
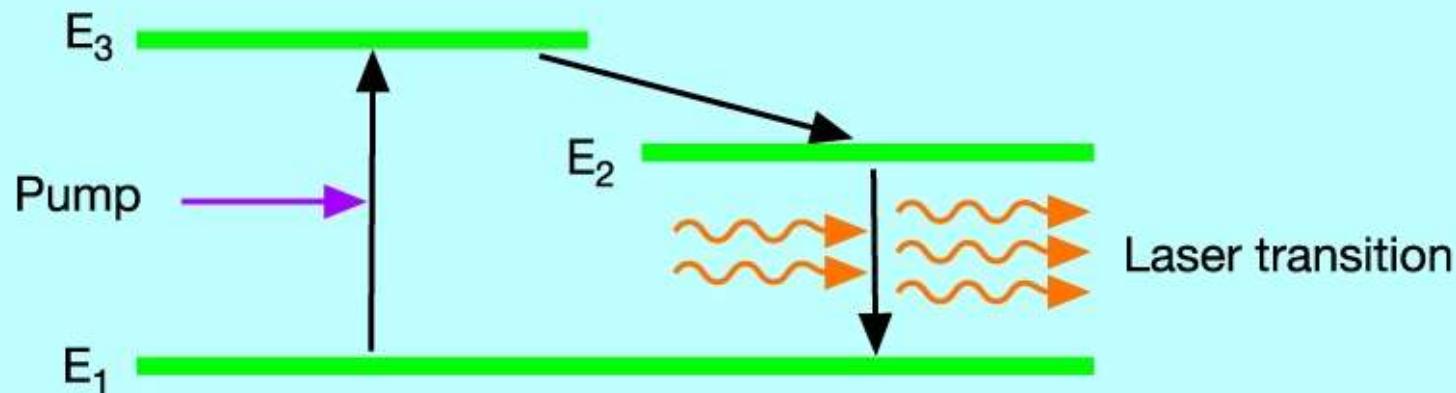
1. Основные принципы работы РЛСЭ (XFEL)
2. Возможные применения излучения XFEL
(когерентный *imaging*, что важнее – амплитуда или фаза ?, как восстановить фазу и т.п.)
3. Дифракция импульсов XFEL
4. Особенности дифракции сверхкоротких рентгеновских импульсов
5. Режим self-seeding для повышения степени временной когерентности и мощности XFEL
6. О тепловыделении
7. Анекдот с картинками (быль ??)



Mission: Impossible



1. Основные принципы работы РЛСЭ (XFEL)



Оптический лазер на атомных переходах

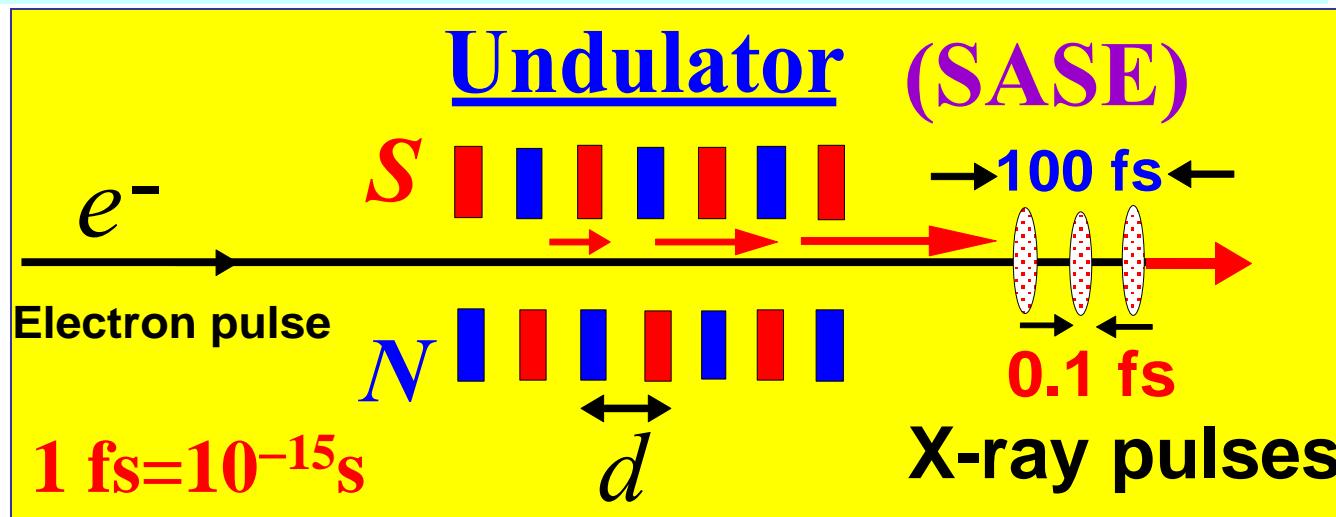
Рентгеновский (гамма) лазер с ядерной накачкой

1. Фантастические требования к мощности накачки
(Л.А. Ривлин - 1962, Р.В. Хохлов - 1972)
2. Накачка **от ядерного взрыва**
(В.И. Гольданский, Ю.М. Каган - 1973)
В.А. Бушуев, **УФН**, 114, 678 (**1974**)
3. СОИ – стратегическая оборонная инициатива
“Империя зла”, “**Звездные войны**”, платформы
с ядерными зарядами в космосе – президент
США Р. Рейган, бывший киноактер (1973)
4. Асимметричный ответ СССР – “**ржавые болты**
и гайки”, 8 км в секунду и.....

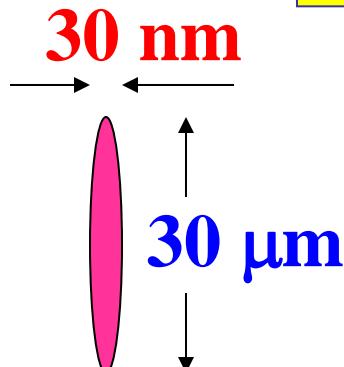
Рентгеновский лазер на свободных электронах (РЛСЭ)

X-ray Free Electron Laser (XFEL)

- Projects:
1. European XFEL (Germany, Hamburg)
 2. LCLS (USA, Srenford)
 3. Japanese XFEL (Japan, SPring 8)



$$\frac{r_0}{c\tau_s} \approx 10^3$$



$$\lambda \approx d(1+K^2)/2\gamma^2$$

$$\Delta\lambda/\lambda \approx 1/2N$$

where $\gamma = E_e/mc^2$, $K = eHd/(2\pi mc^2)$

If $d = 35.6 \text{ mm}$, $E_e = 17.5 \text{ GeV}$, $\lambda \approx 0.1 \text{ nm}$

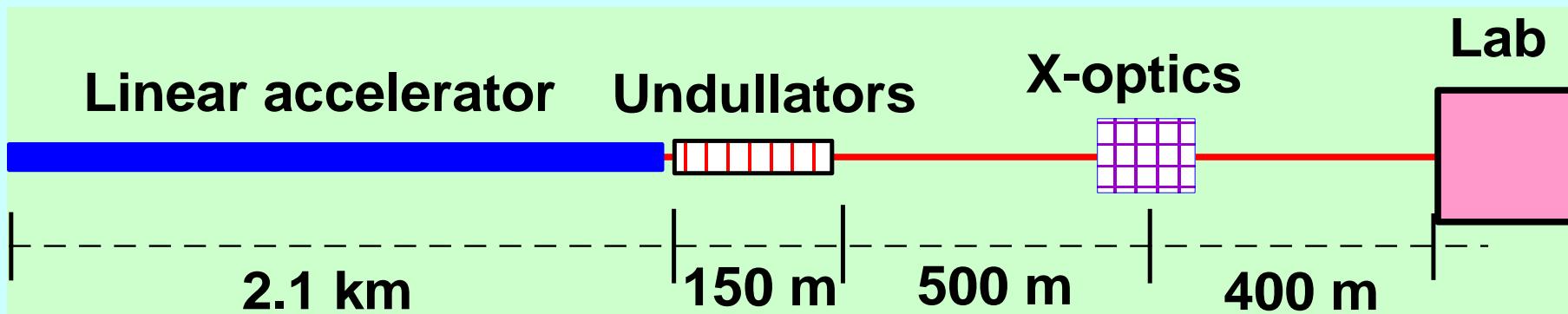
SASE-1 XFEL parameters:

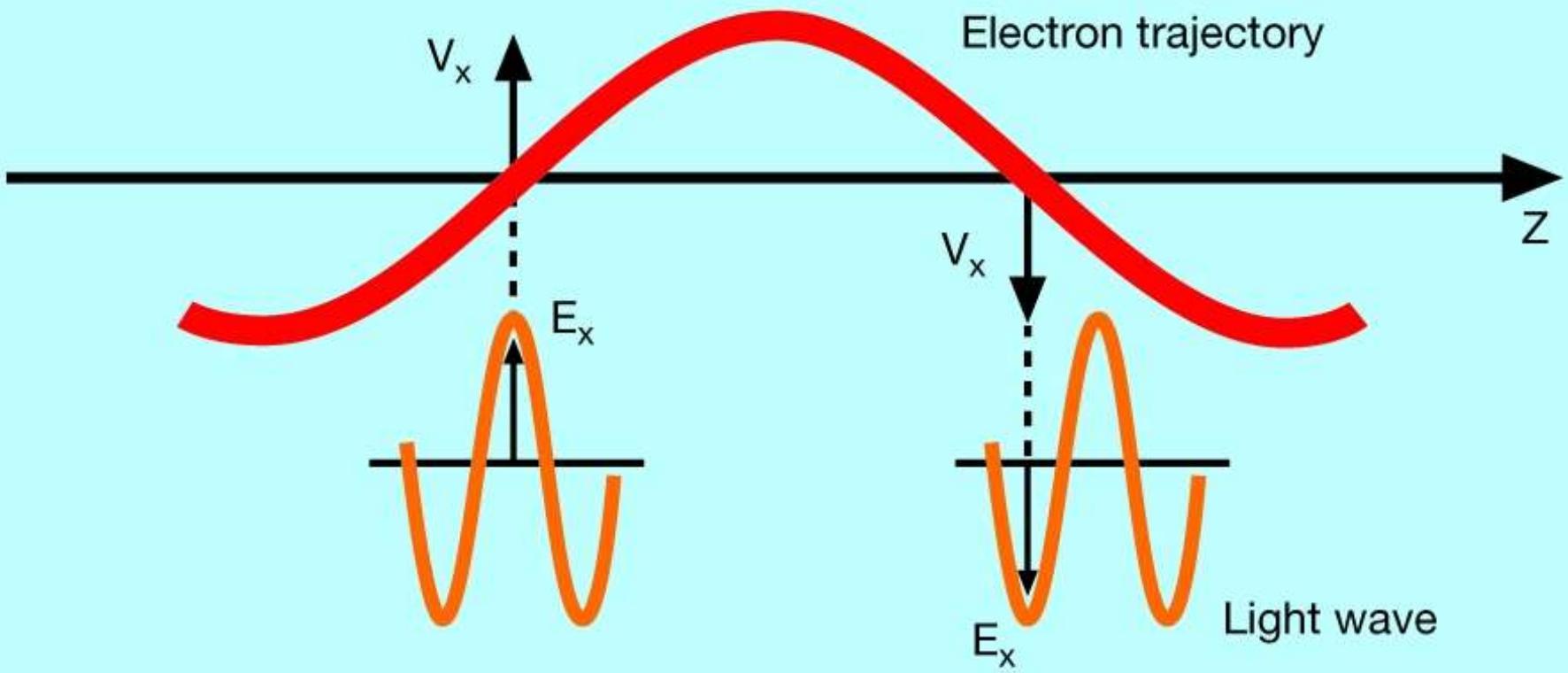
$E \approx 17 \text{ GeV}$, $\Delta\tau \approx 100 \text{ fs}$, $\tau_0 \sim 0.1\text{-}0.2 \text{ fs}$,
 $\delta\tau \sim 0.3\text{-}0.5 \text{ fs}$; $r_0 \sim 50 \mu\text{m}$, $\Delta\theta \approx 1 \mu\text{rad} =$
= 0.2 arc.sec , $P_{\max} \approx 10 \text{ GW}$, $P \sim 40 \text{ W}$.

Photons per pulse - 10^{12}

$$\frac{S_{\text{XFEL}}}{S_{\text{SR}}} = 10^9$$

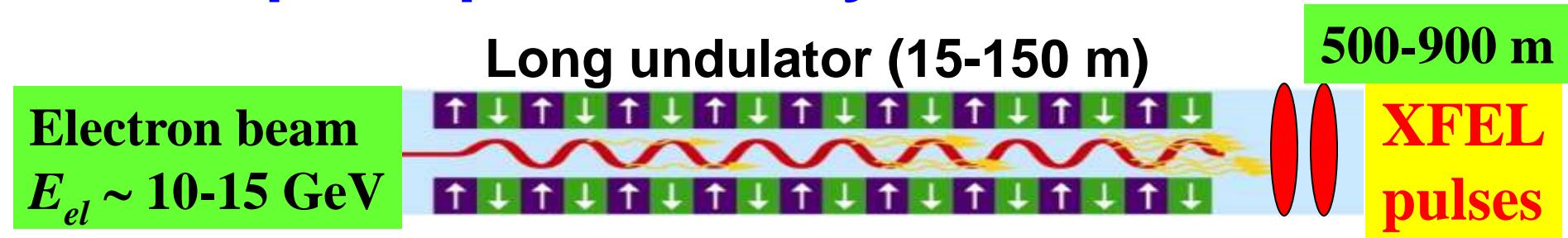
European XFEL distances:



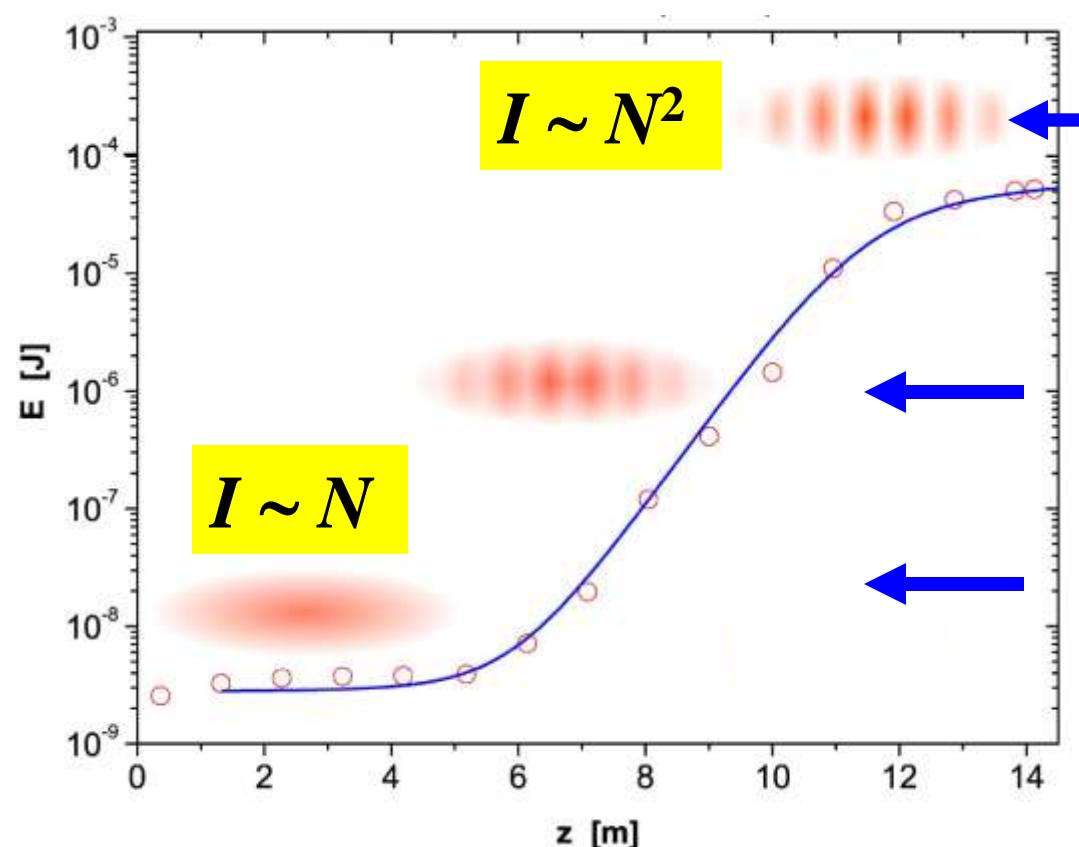


**Формирование микробанчей за счет обратного влияния
рентгеновского излучения на электроны в ондуляторе**

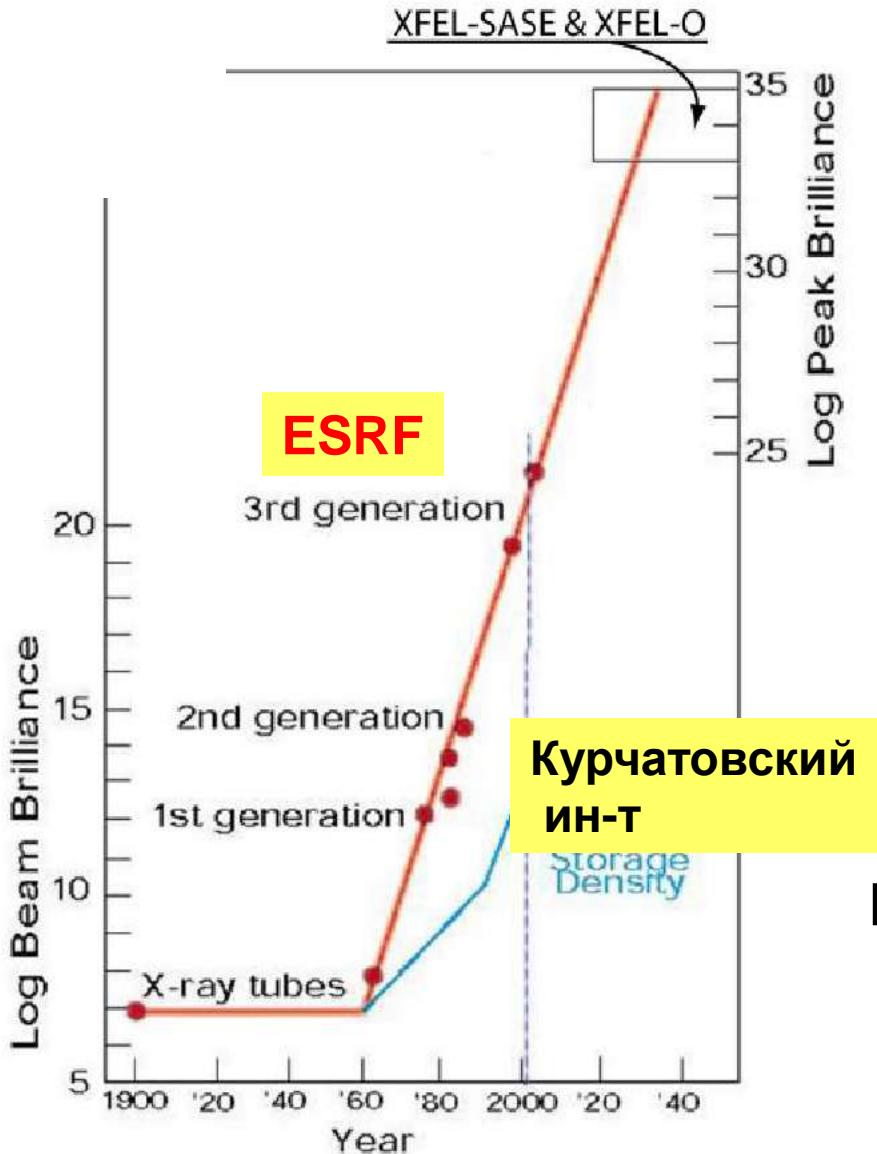
Basic principles of X-ray free electron lasers



Self-Amplified Spontaneous Emission (SASE)



1. All N electrons can be treated as individually radiating charges, and the resulting spontaneous emission is proportional to N .
2. The shot noise of the electron beam is amplified to complete micro-bunching.
3. With complete micro-bunching all electrons radiate in phase. This leads to a radiation power growth as N^2 .



X-ray free electron laser starting from the shot noise in the electron beam has been proposed by **Derbenev, Kondratenko, and Saldin (1979, 1982)**; and also by **Bonifacio, Pelegrini and Narducii (1984)**.

**Юрков Михаил
Шнейдмиллер Евгений –
“наши люди”**

Ratio of XFEL and SR brilliances:

$$\frac{S_{\text{XFEL}}}{S_{\text{SR}}} = 10^9$$

!!

Вакуум – нет ограничений !!

Временная структура импульсов EU XFEL

Hard X-ray (SASE1 and SASE2)

Wavelength: 0.05 – 0.16 nm

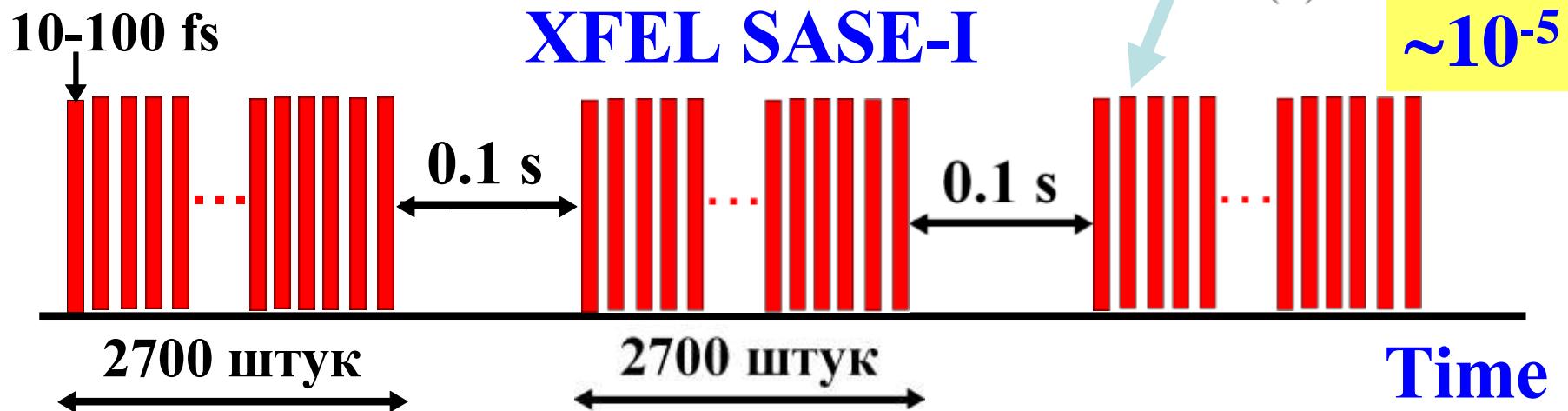
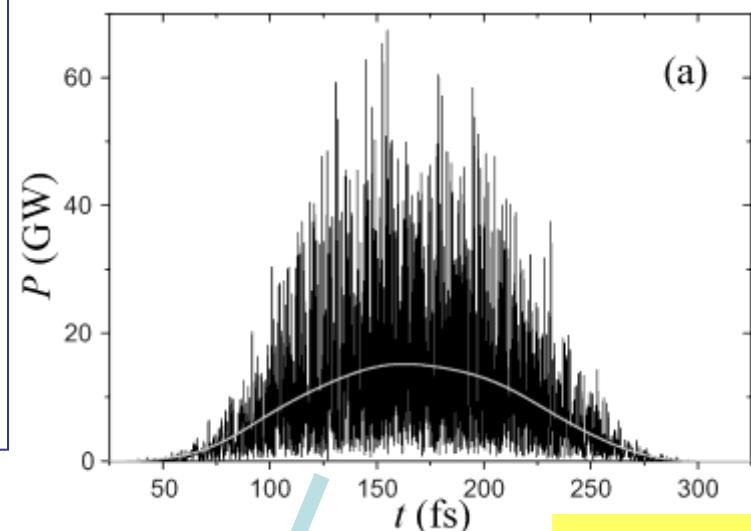
Bunch charge: 0.02 – 1 nC !!

Photons/pulse: $(0.1 - 20) \times 10^{11}$

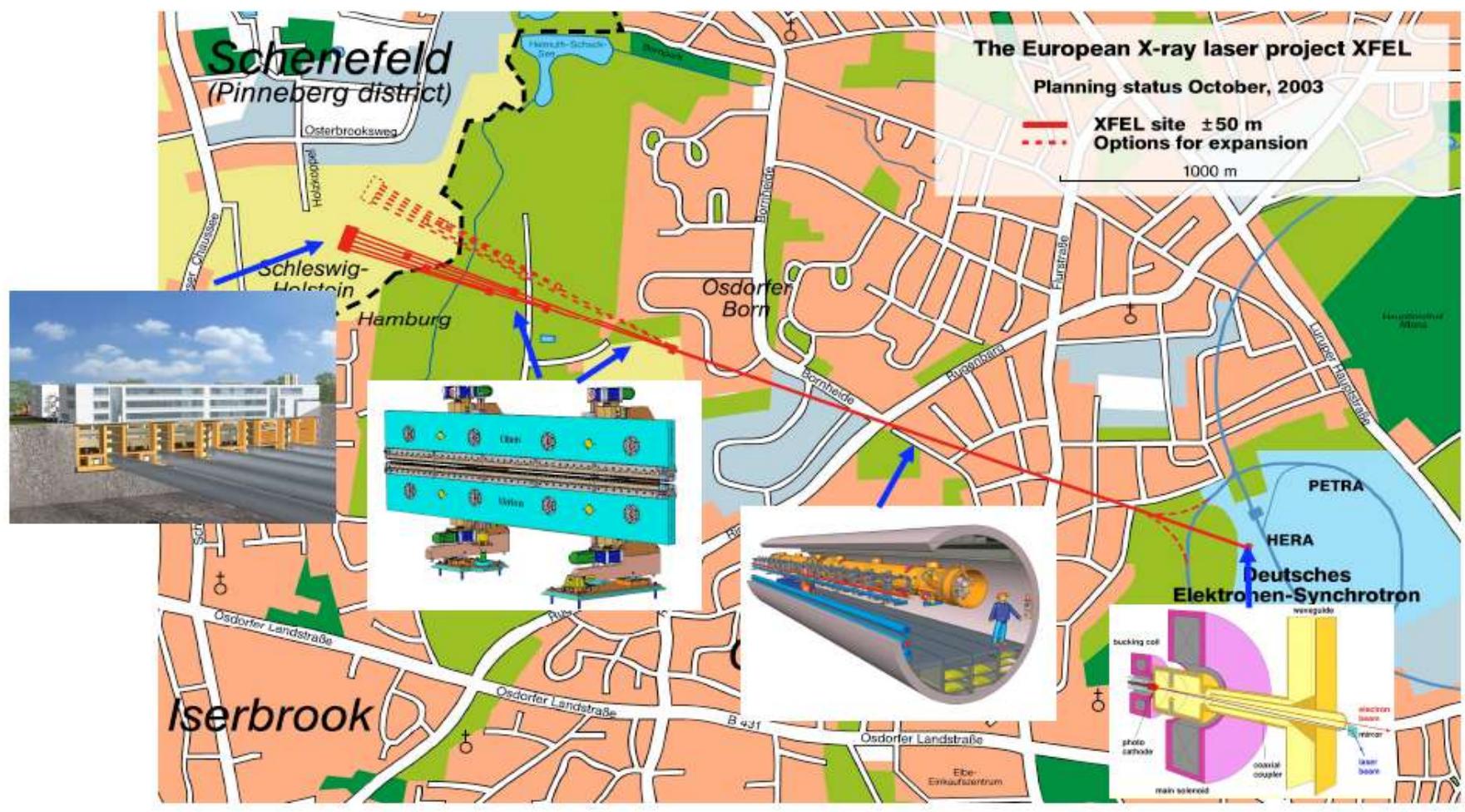
Pulse Energy: 20 – 2500 μJ

Average power: 0.7 – 70 W

$$\Delta E/E \approx 10^{-3}$$

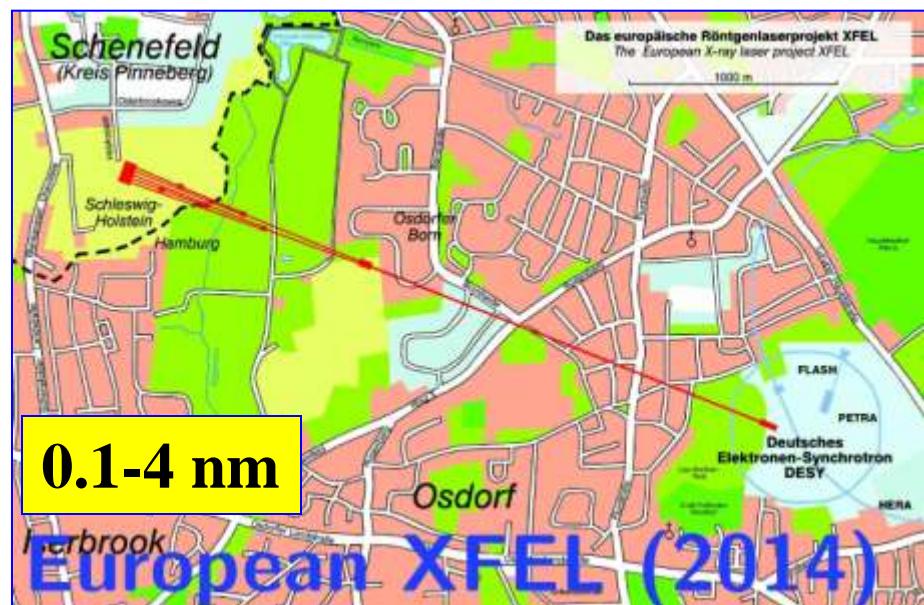
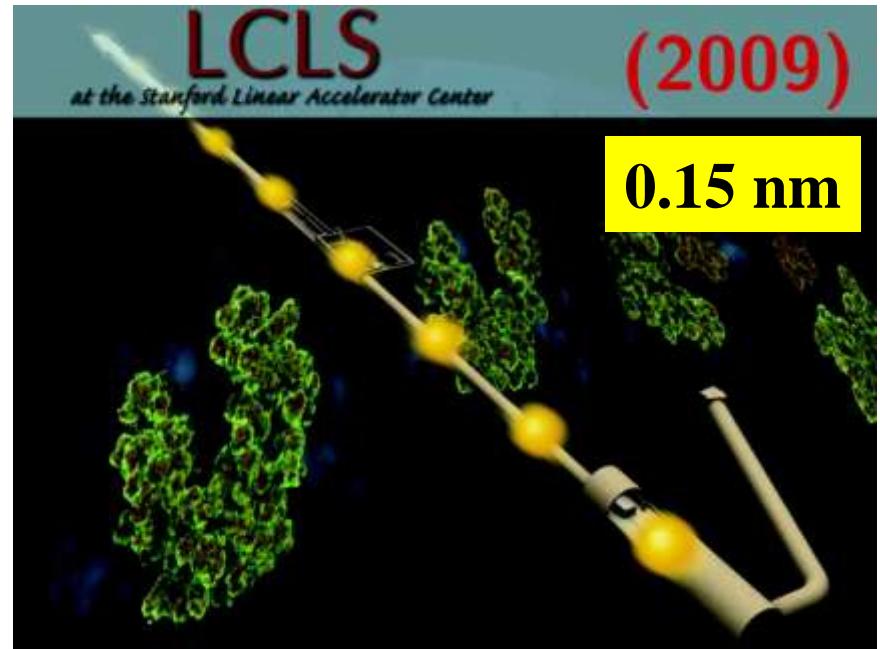


Linac Coherent Light Source (LCLS) – одиночные импульсы, 120 Гц



The scheme and arrangement of XFEL elements
SASE – Self Amplification Spontaneous Emission
("самоусиливающаяся спонтанная эмиссия").

XFEL Facilities



FLASH is a small brother of the European XFEL

FLASH



European XFEL



New hard X-ray FELs under construction:

- European XFEL
- Korean FEL
- Swiss FEL

Hard X-ray (SASE1 and SASE2) FEL radiation

typical main parameters

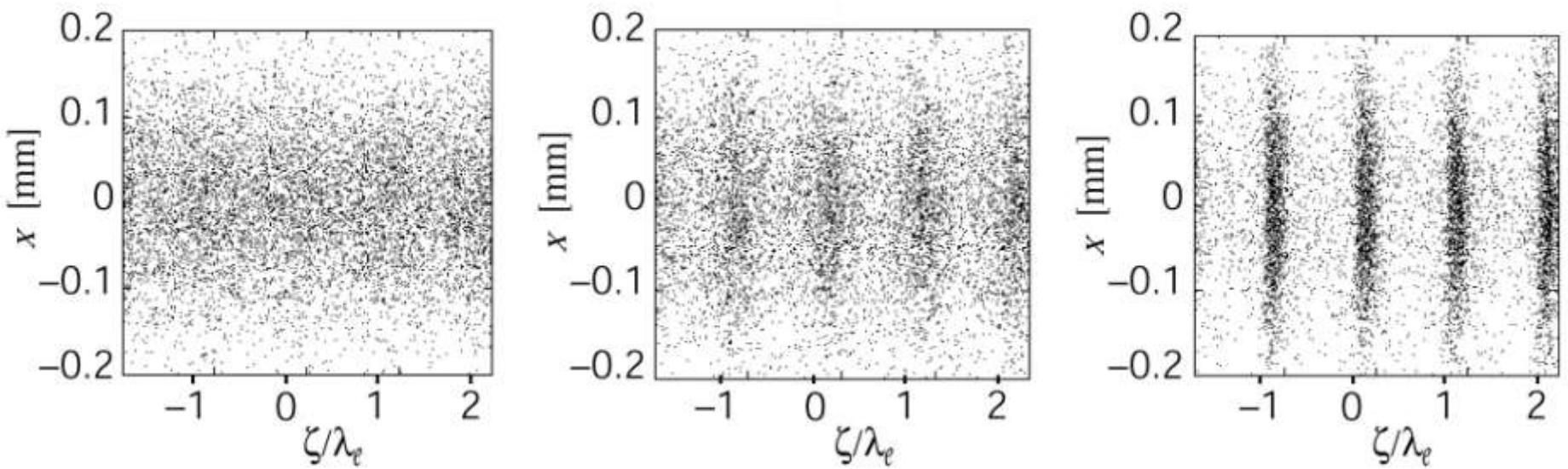
13/86

Radiation wavelength	0.1 nm	
Bunch charge	0.02 nC	1 nC
Pulse duration	10 fs	100 fs
Source size (FWHM)	29 μm	49 μm
S. divergence (FWHM)	1.9 μrad	1.3 μrad
Spectral bandwidth	1.9×10^{-3}	1.0×10^{-3}
Coherence time	0.13 fs	0.23 fs
Degree of the transverse coherence	0.95	0.71
Photons/pulse	0.3×10^{11}	6.4×10^{11}
Pulse energy	58 μJ	1260 μJ

0.2-03
угл.с.

Low

High !!



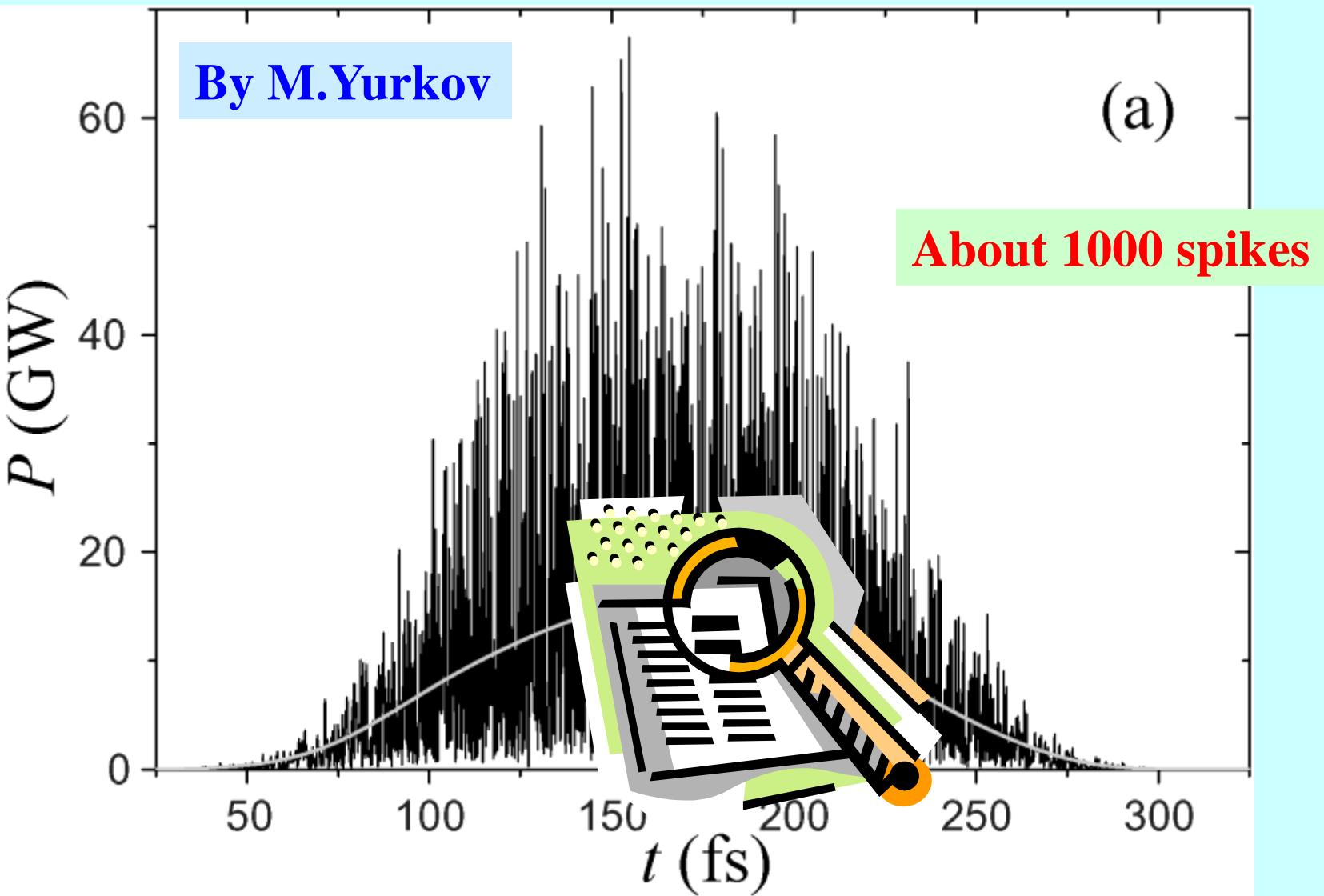
$$I \sim N_{\text{эл}}$$

$$I \sim N_{\text{эл}}^2$$

Стратификация (модуляция) сгустка электронов по мере увеличения длины пути в ондуляторе

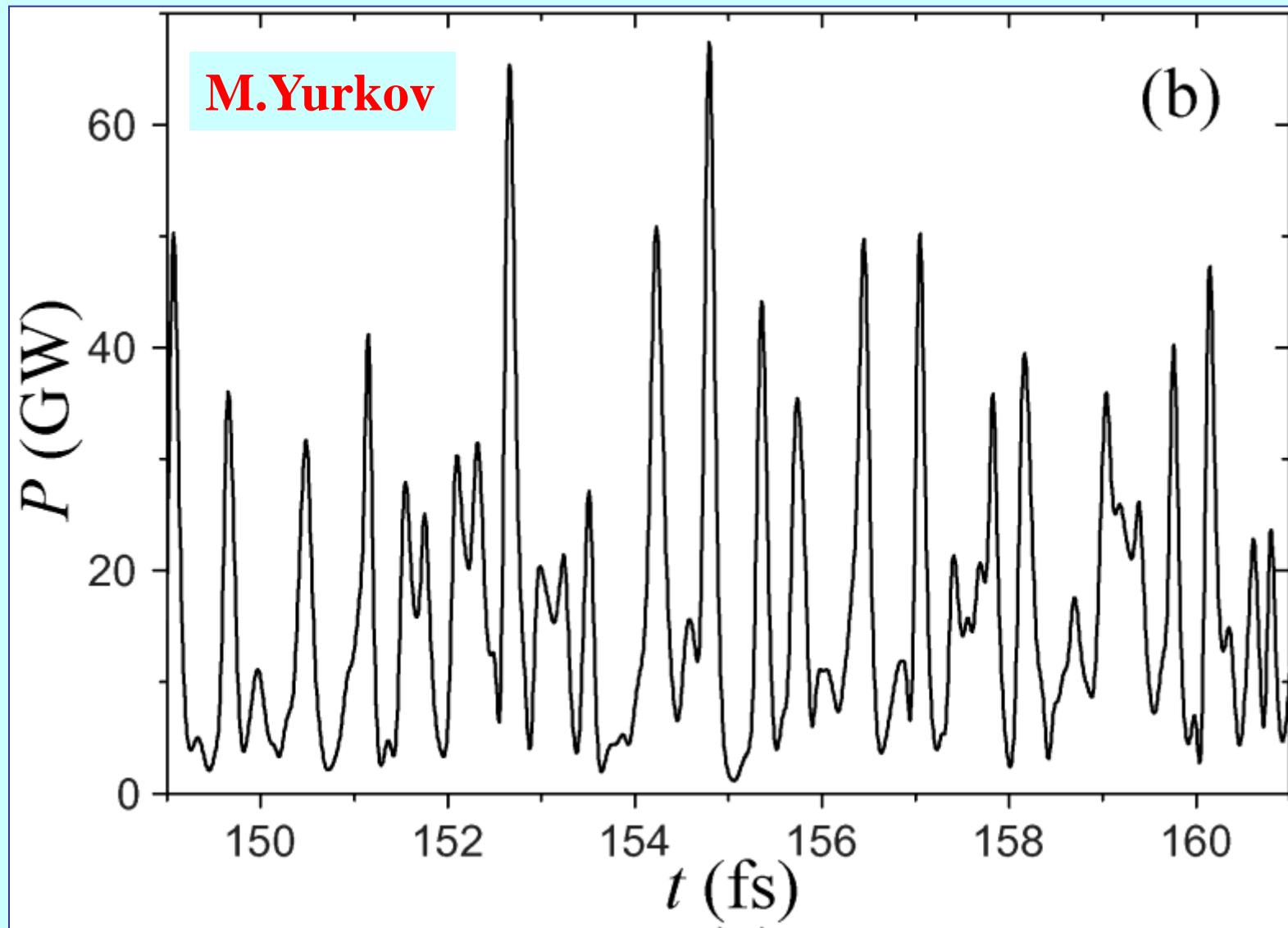
.... а сейчас будет кино...

Time structure of a single XFEL pulse



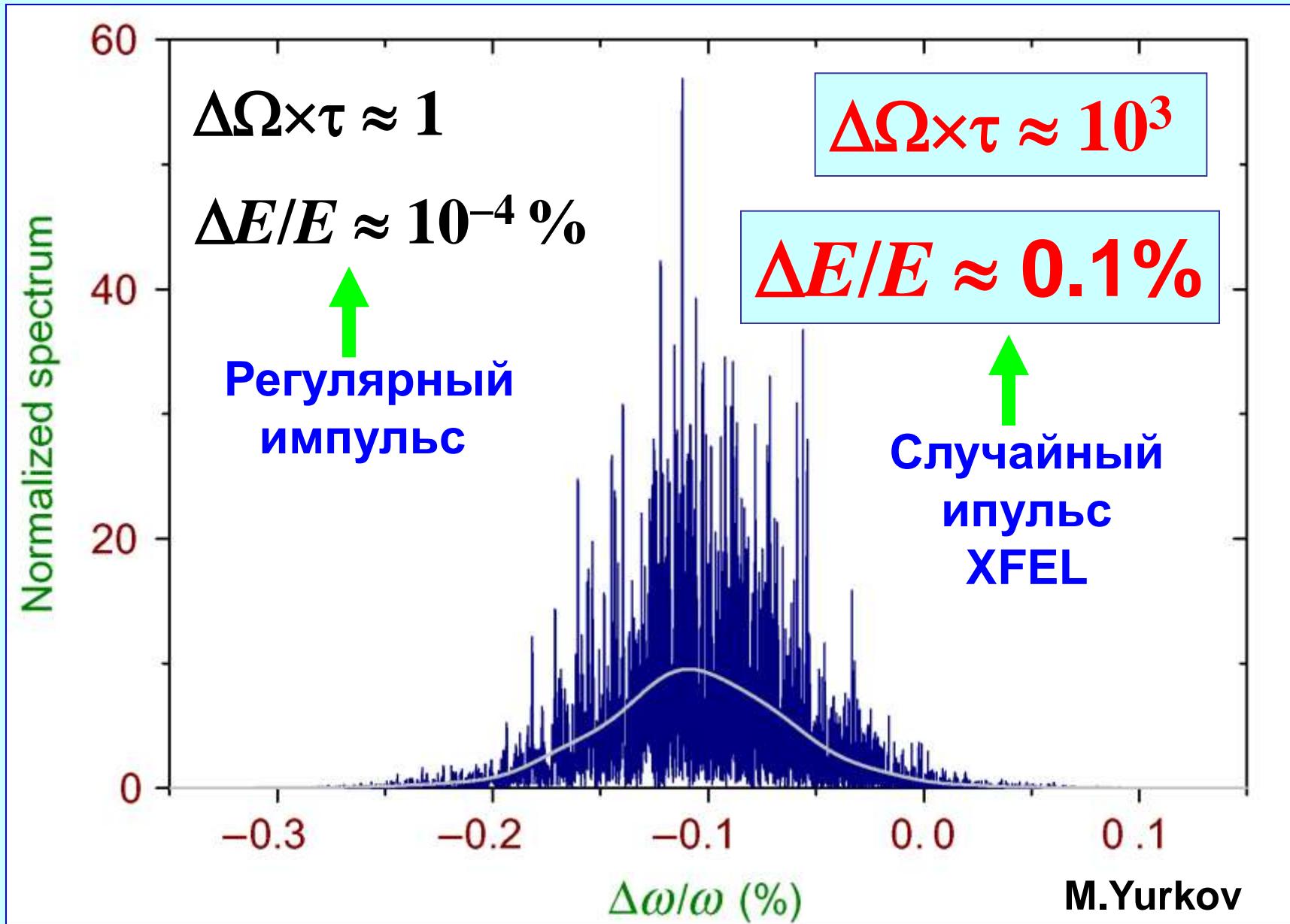
Time structure of a single XFEL pulse fragment

16/86



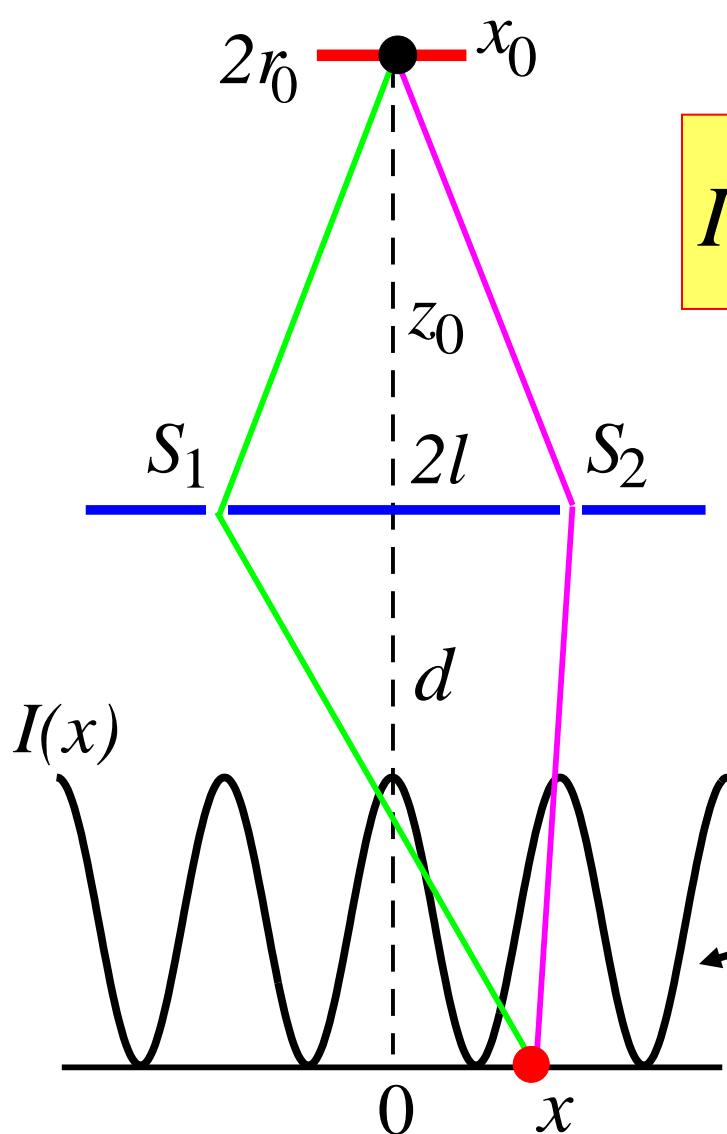
Spike - острый выступ, шип, гвоздь, костьль

Спектр случайного импульса XFEL



Experiment of Young

(Thomas Young, 1773-1829)



$$\varphi = (2\pi/\lambda)L$$

$$I(x) = \left| 1 + e^{i\Delta\varphi(x)} \right|^2 = 4 \cos^2 \frac{\Delta\varphi(x)}{2}$$

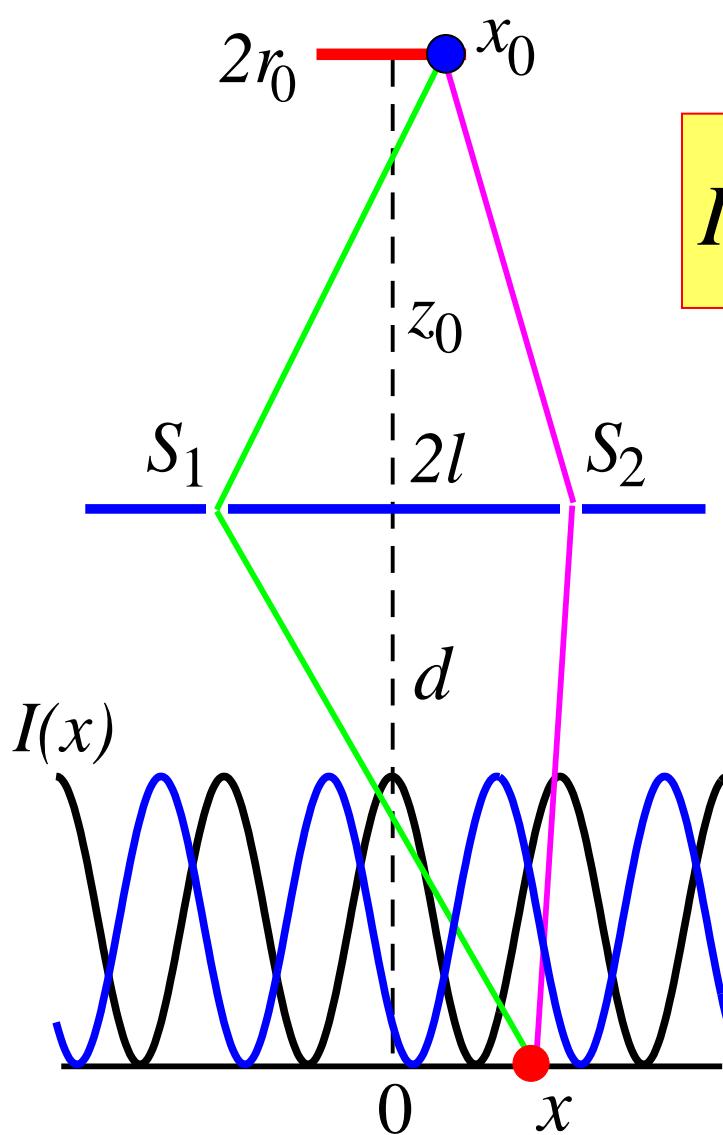
$$\Delta\varphi(x) = \frac{4\pi l}{\lambda} \left(\frac{x}{d} + \frac{x_0}{z_0} \right)$$

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = |\gamma(2l)|$$

Интенсивность для центральной точки на источнике

Experiment of Young

(Thomas Young, 1773-1829)



$$\varphi = (2\pi/\lambda)L$$

$$I(x) = \left| 1 + e^{i\Delta\varphi(x)} \right|^2 = 4 \cos^2 \frac{\Delta\varphi(x)}{2}$$

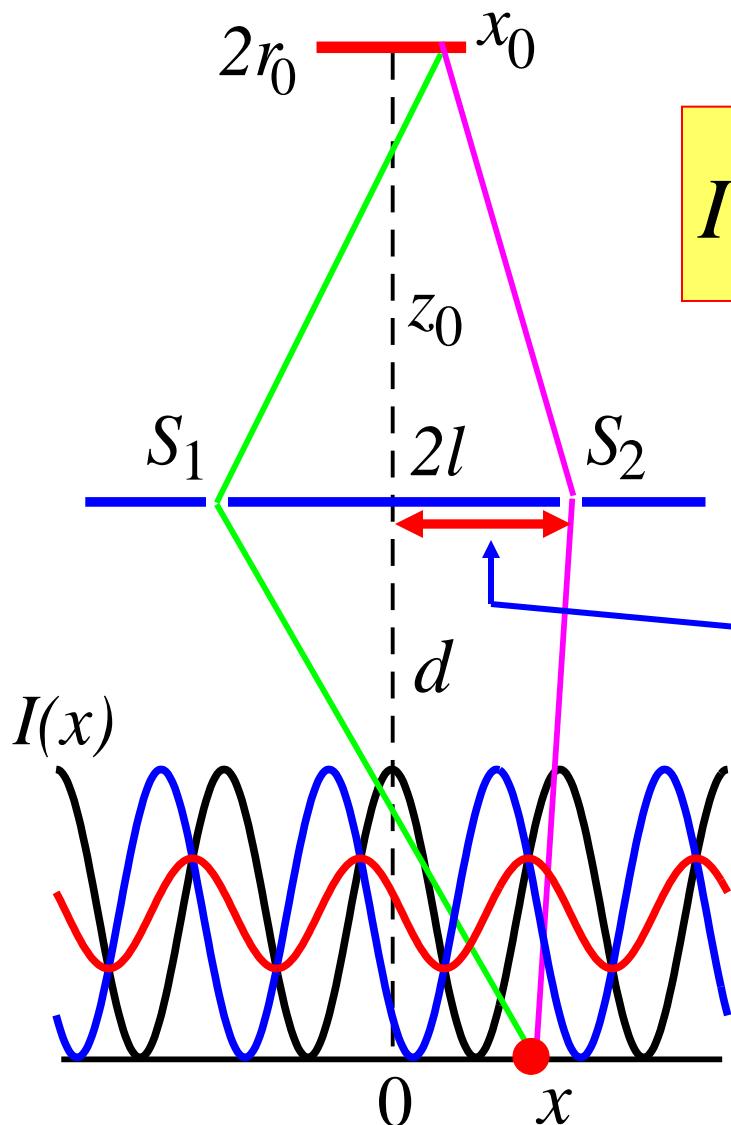
$$\Delta\varphi(x) = \frac{4\pi l}{\lambda} \left(\frac{x}{d} + \frac{x_0}{z_0} \right)$$

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = |\gamma(2l)|$$

Синяя линия $I(x)$ – для другой точки на источнике...

Experiment of Young

(Thomas Young, 1773-1829)



$$\varphi = (2\pi/\lambda)L$$

$$I(x) = \left| 1 + e^{i\Delta\varphi(x)} \right|^2 = 4 \cos^2 \frac{\Delta\varphi(x)}{2}$$

$$\Delta\varphi(x) = \frac{4\pi l}{\lambda} \left(\frac{x}{d} + \frac{x_0}{z_0} \right)$$

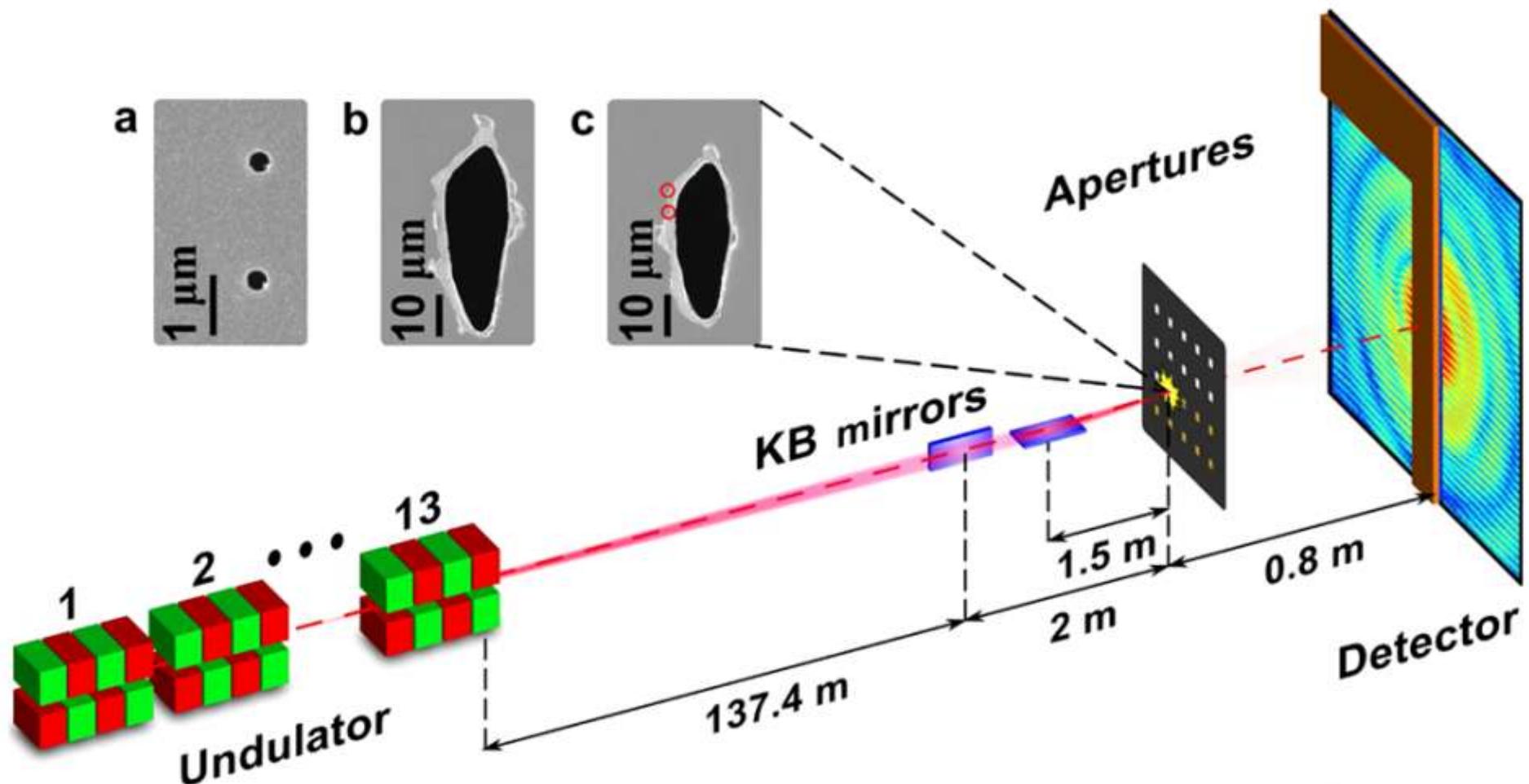
Spatial coherence length (SCL)

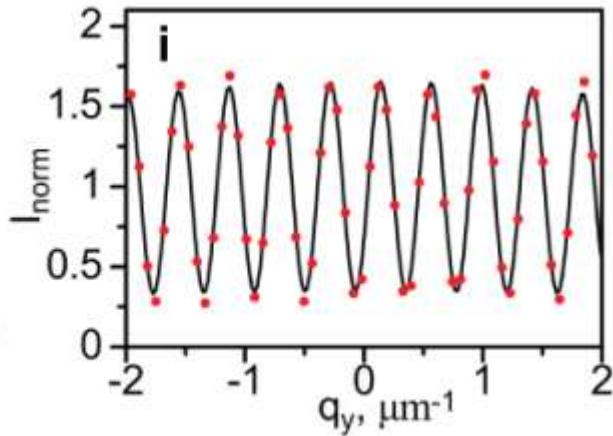
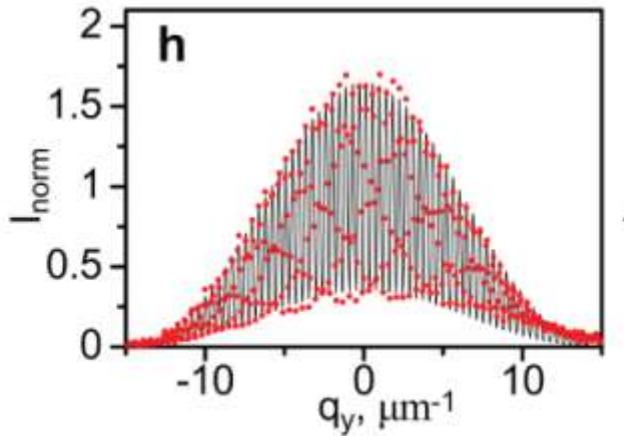
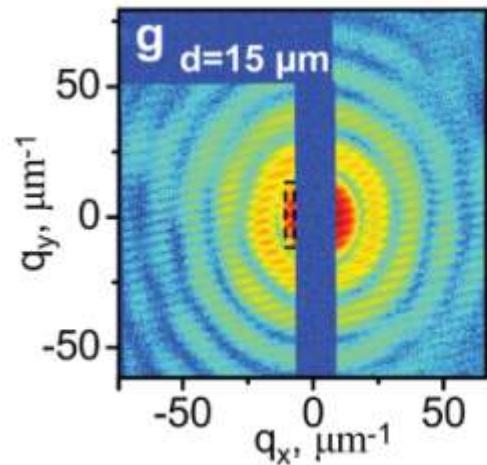
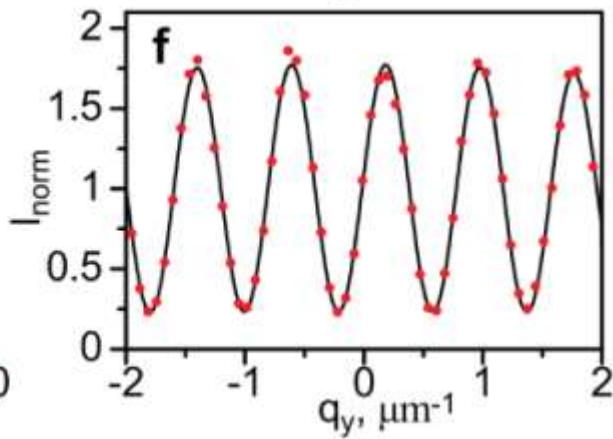
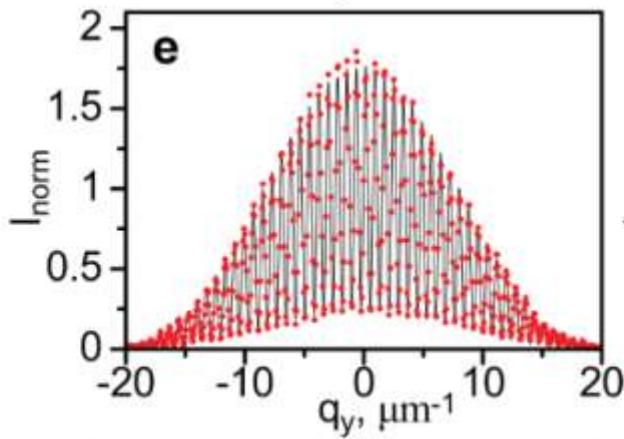
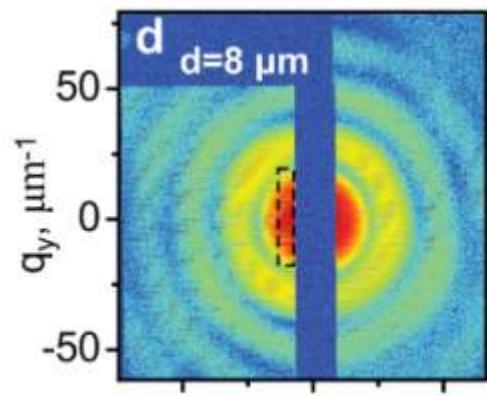
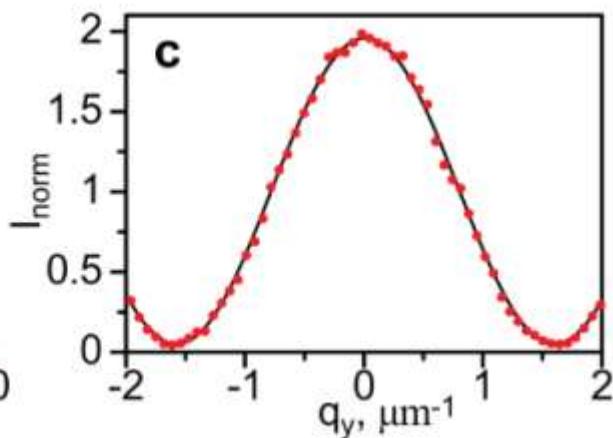
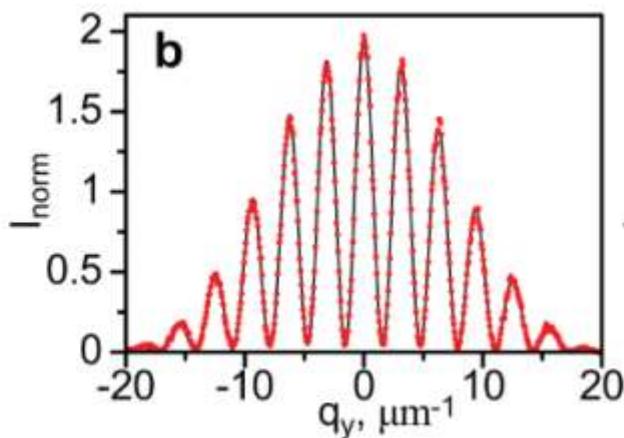
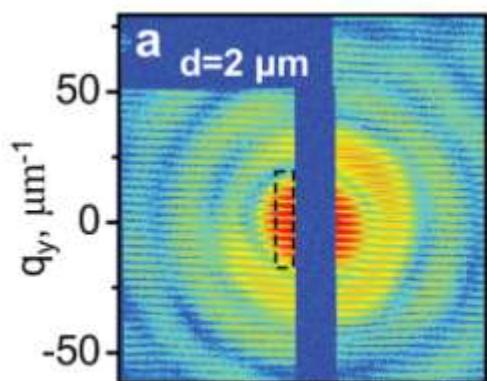
$$l_{coh} = \lambda z_0 / 4r_0 = \lambda / 4\Delta\theta$$

(maximal distance between slits, at which total intensity $I(x) \neq \text{const.}$)

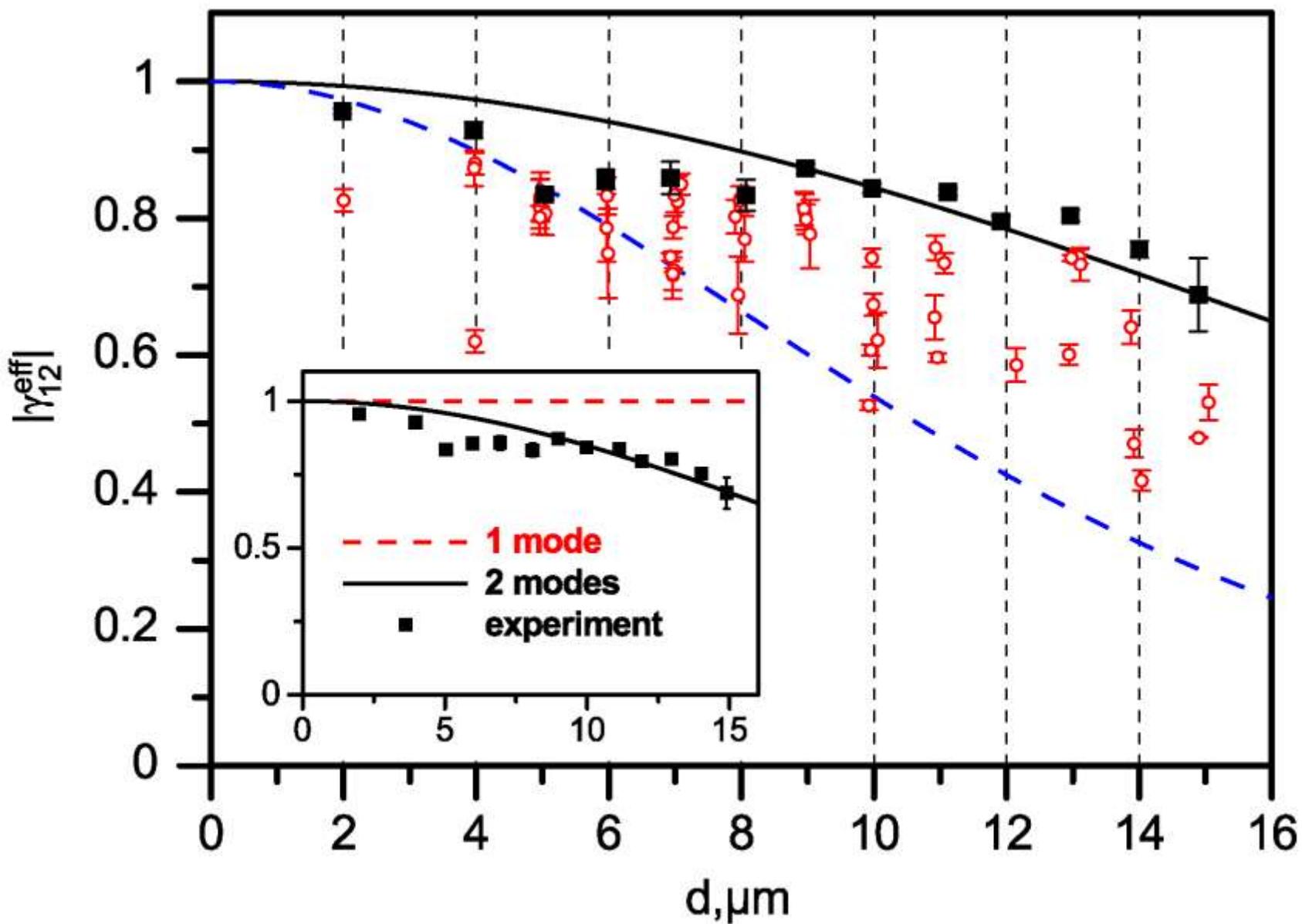
Coherence Properties of Individual Femtosecond Pulses of an X-Ray Free-Electron Laser

I. A. Vartanyants,^{1,2,*} A. Singer,¹ A. P. Mancuso,^{1,†} O. M. Yefanov,¹ A. Sakdinawat,³ Y. Liu,³ E. Bang,³ G. J. Williams,⁴ G. Cadenazzi,² B. Abbey,⁵ H. Sinn,⁶ D. Attwood,³ K. A. Nugent,² E. Weckert,¹ T. Wang,⁴ D. Zhu,⁴ B. Wu,⁴ C. Graves,⁴ A. Scherz,⁴ J. J. Turner,⁴ W. F. Schlotter,⁴ M. Messerschmidt,⁴ J. Lüning,⁷ Y. Acremann,⁸ P. Heimann,⁹ D. C. Mancini,¹⁰ V. Joshi,¹⁰ J. Krzywinski,⁴ R. Soufli,¹¹ M. Fernandez-Perea,¹¹ S. Hau-Riege,¹¹ A. G. Peele,¹² Y. Feng,⁴ O. Krupin,^{4,6} S. Moeller,⁴ and W. Wurth¹³

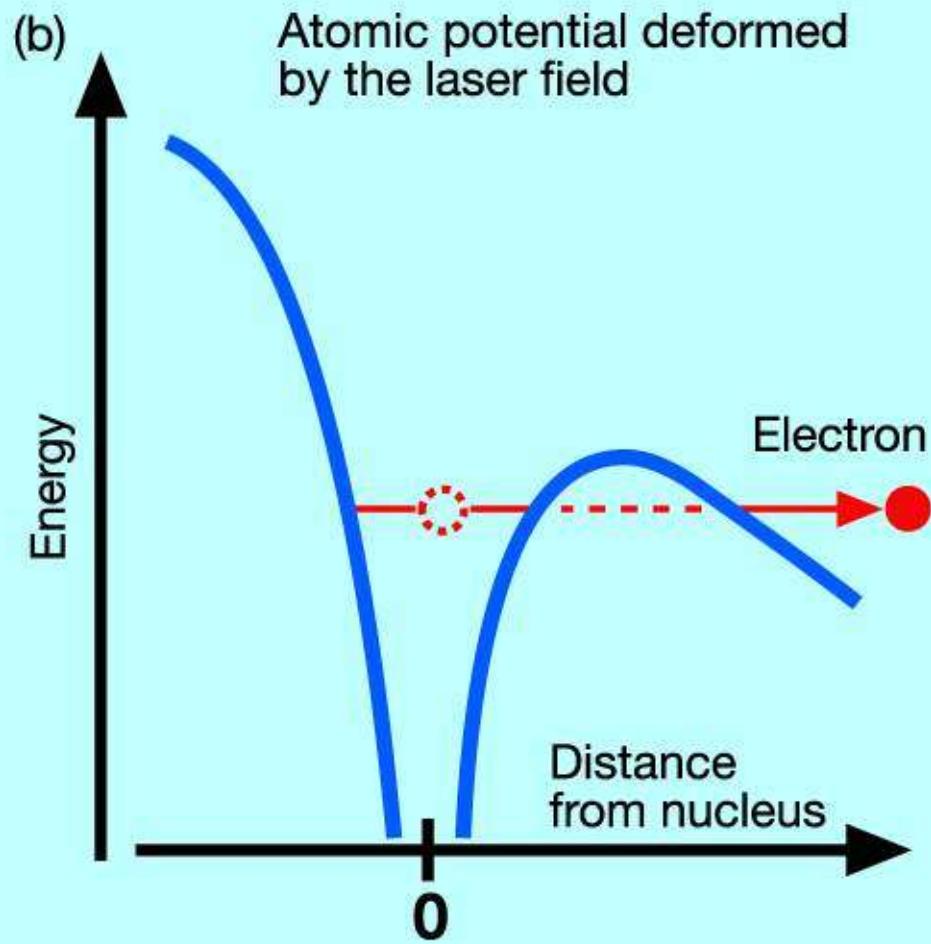
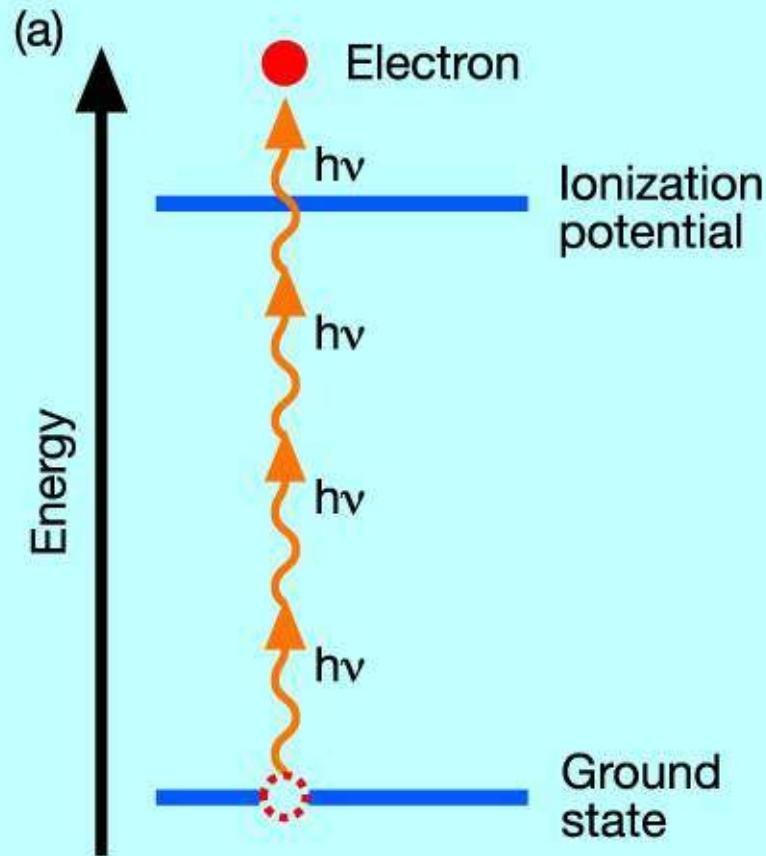




Функция пространственной когерентности

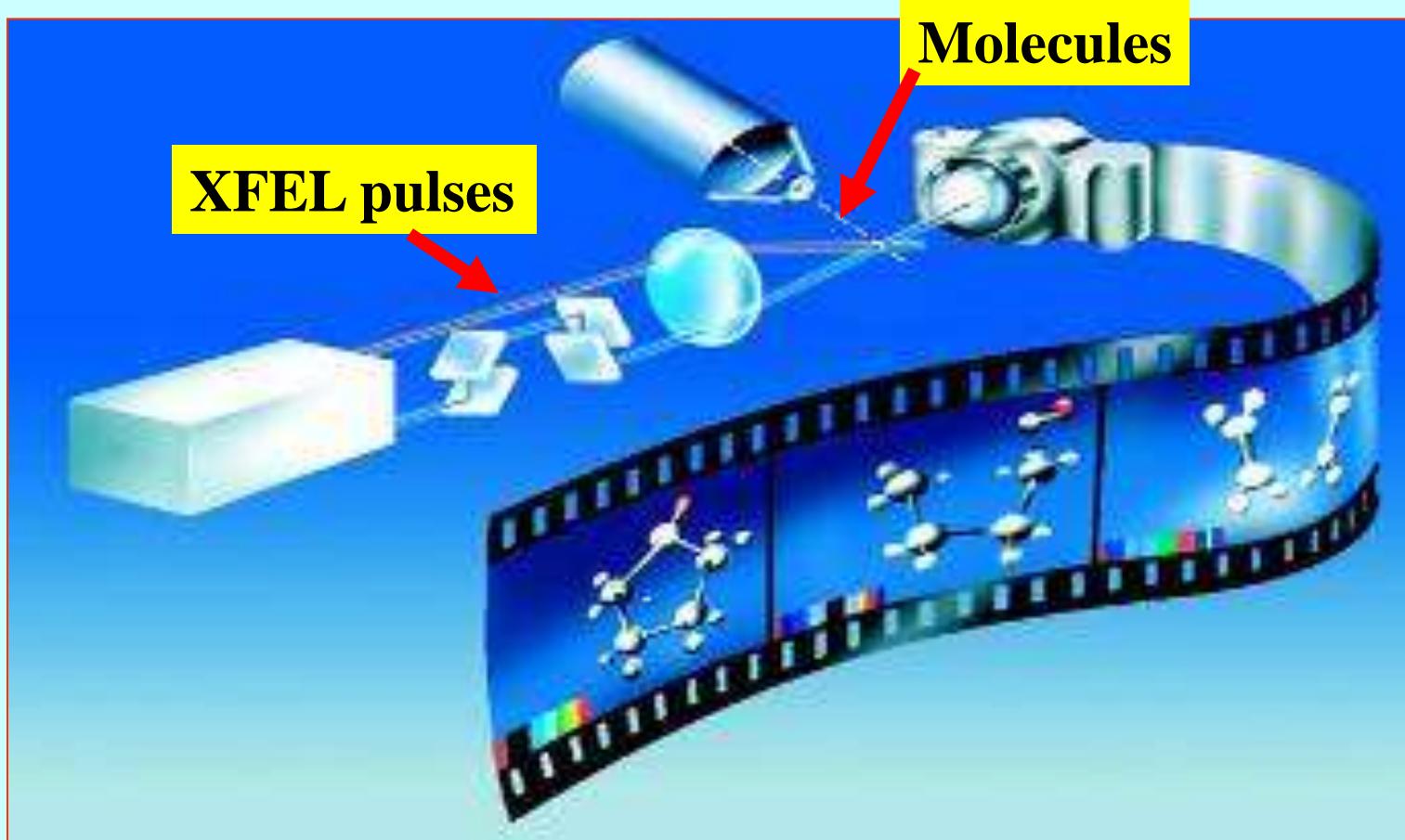


2. Возможные применения XFEL



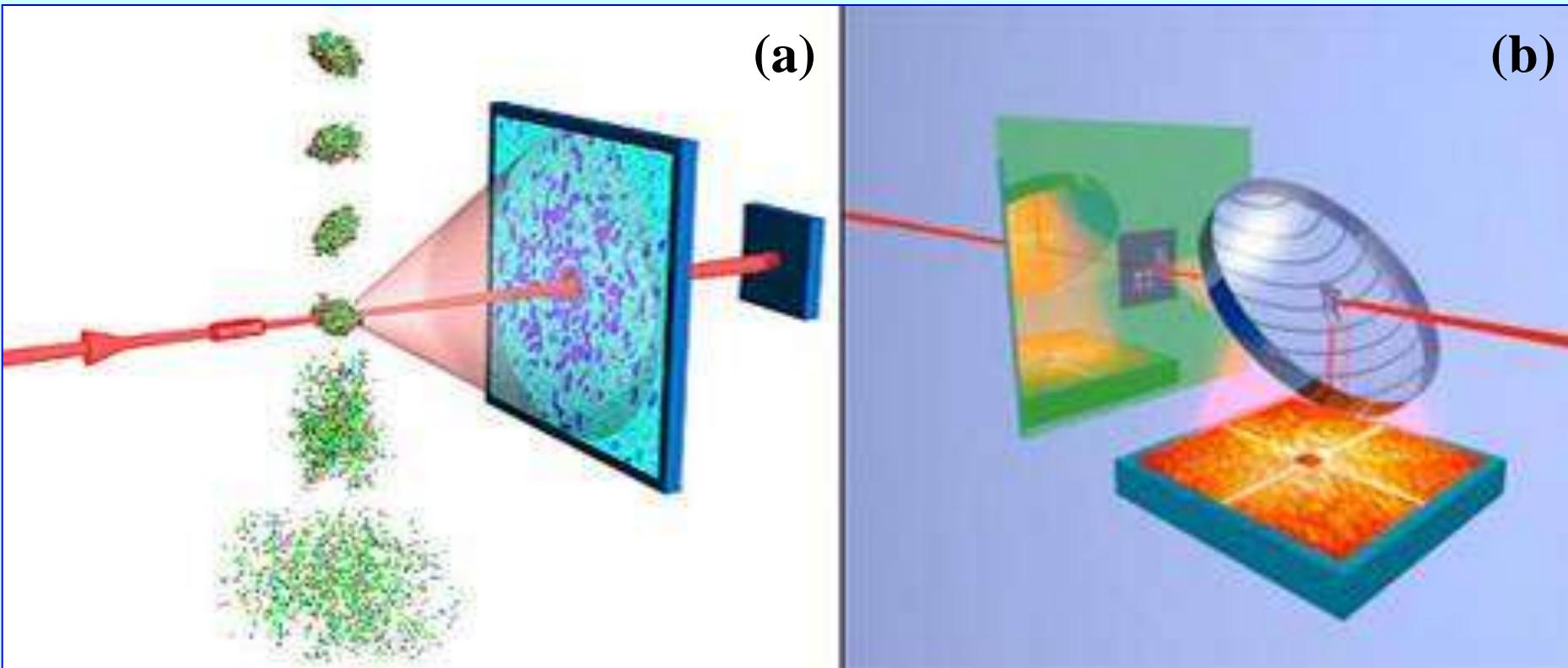
Исследование изменения электронной структуры атомов и молекул в зависимости от времени (рентгеновское “кино” химических реакций)

XFEL filming (pump and probe)



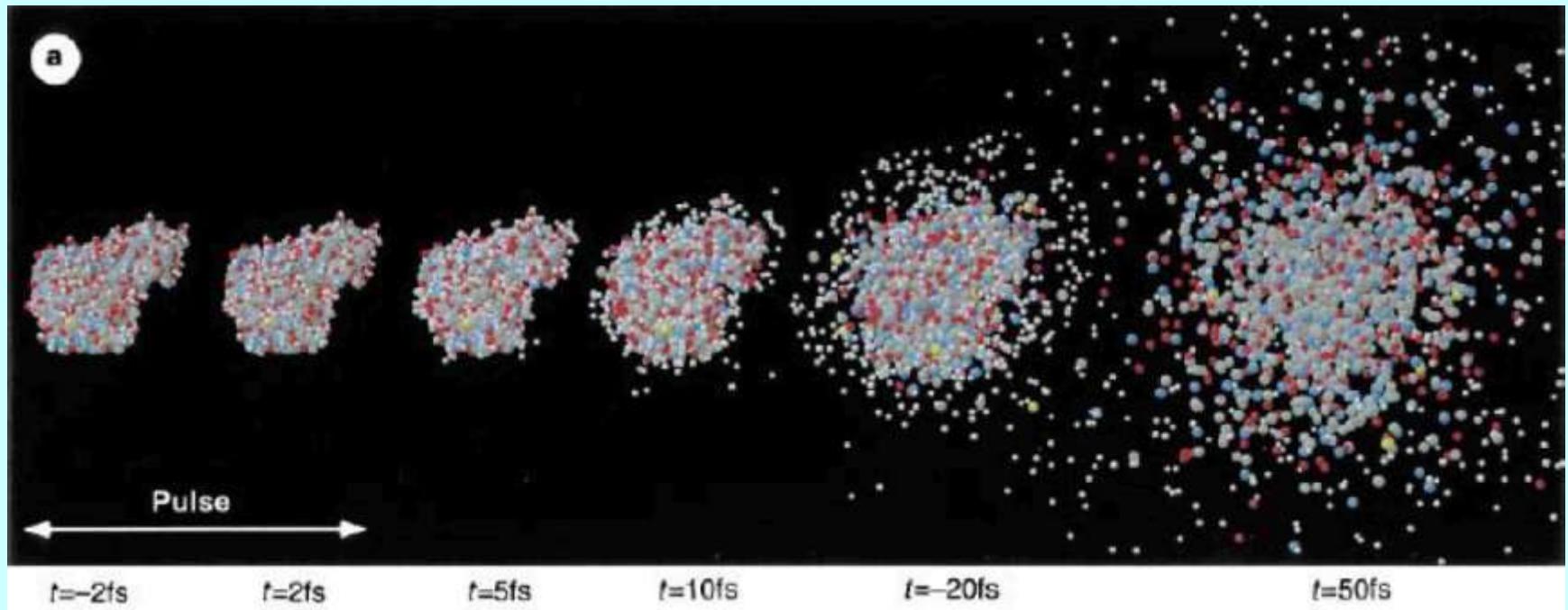
Штриховая линия – пучок молекул, направляемых в пучок РЛСЭ; красная и синяя линии – импульсы РЛСЭ после расщепления кристаллами (**DESY illustration**).

Рентгеновское изображение отдельных биологических молекул



- (a) – упрощенная схема эксперимента в **геометрии на прохождение** (Lawrence Livermore National Laboratory),
(b) – схема эксперимента в **геометрии на отражение** (DESY)

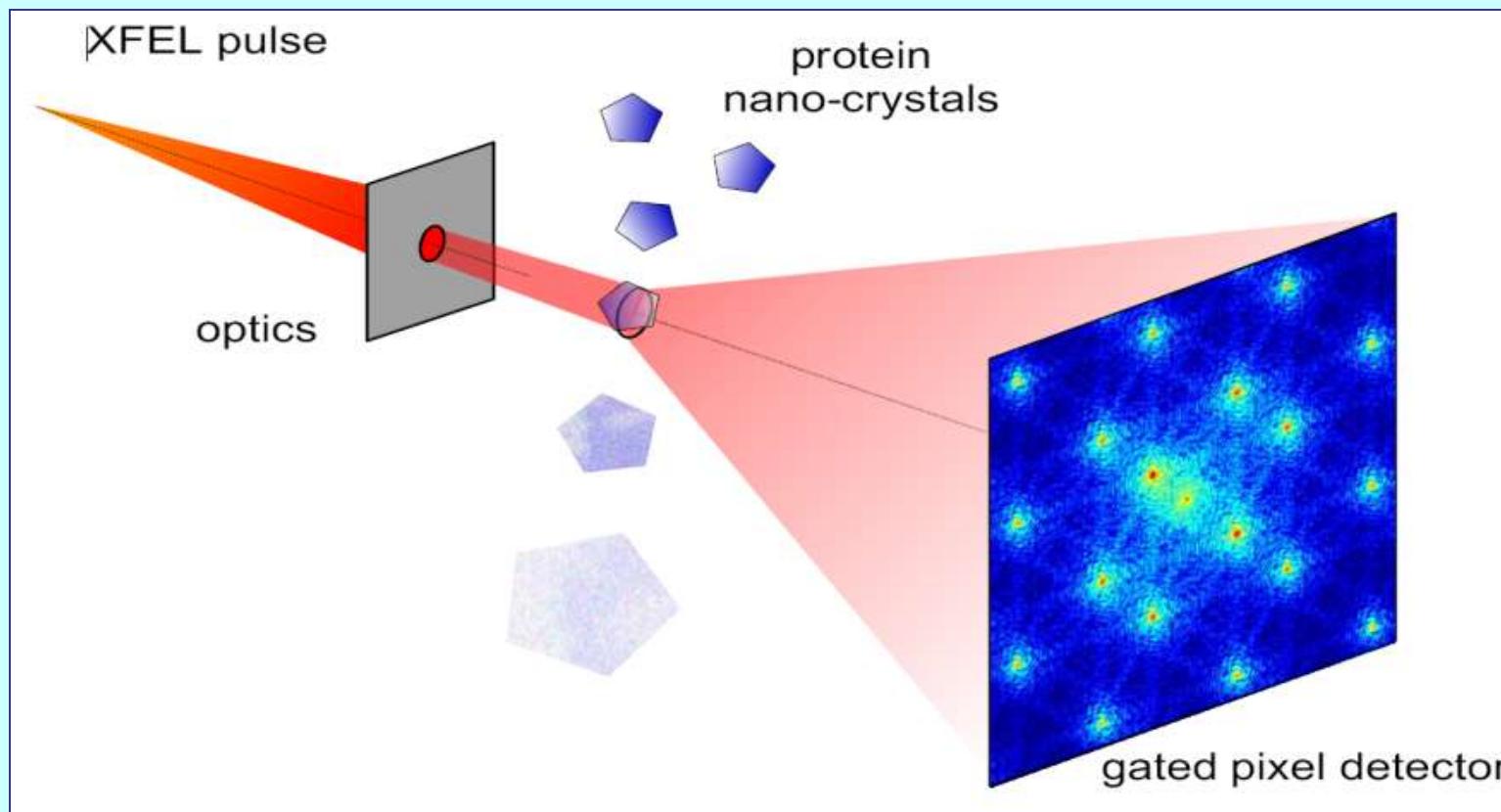
Imaging биомолекул с помощью фемтосекундных импульсов РЛСЭ



“Кулоновский взрыв” молекулы T4 lysozyme под действием рентгеновского импульса

Когерентная рентгеновская дифракция

(безлинзовая X-ray микроскопия)



Price to pay:



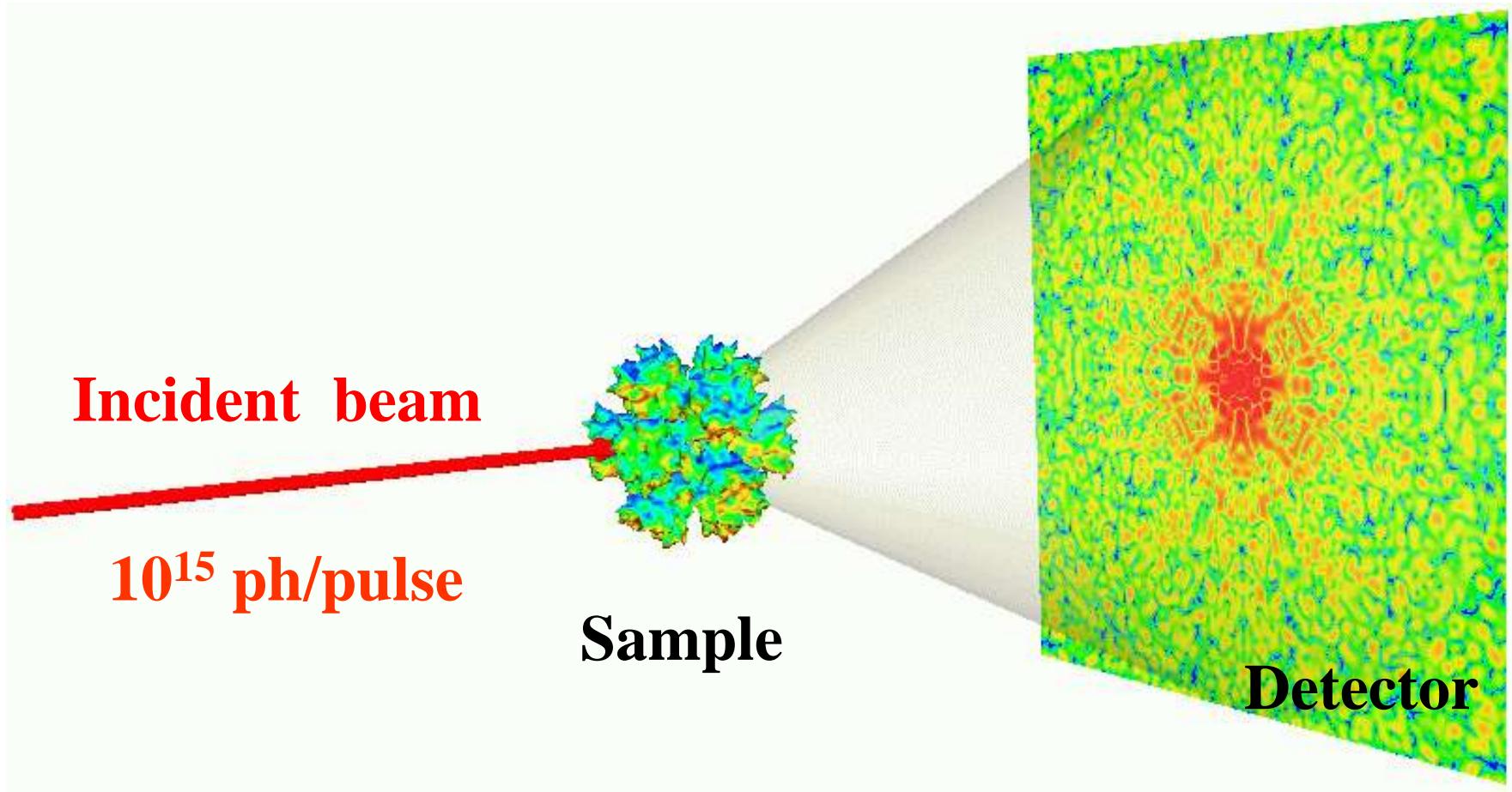
To develop methods to solve:
Inverse and Phase Problem in
Scattering

7



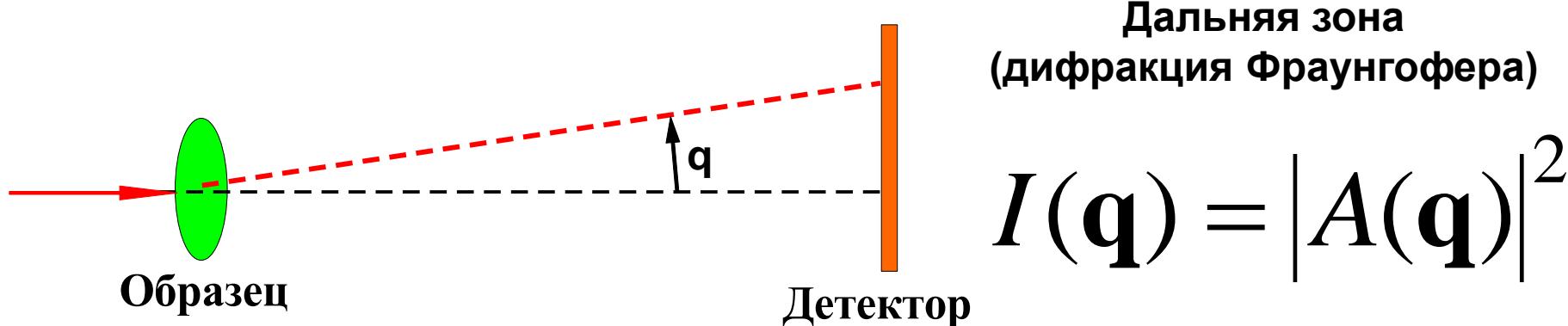
**Main problem in a single particle imaging:
Low scattered signal from a single bio-molecule
in a single pulse**

Imaging of biomolecules with femtosecond X-ray pulses



To obtain a 3D image of biological samples with sub-nanometer resolution many *reproducible* copies will need to be measured

Прямое и обратное преобразования Фурье



$$A(\mathbf{q}) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(\mathbf{r}) e^{i\mathbf{qr}} d^3\mathbf{r} = |A(\mathbf{q})| e^{i\phi(\mathbf{q})}$$

$$\rho(\mathbf{r}) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} A(\mathbf{q}) e^{-i\mathbf{qr}} d^3\mathbf{q}$$

Преобразования Фурье

$$I(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(q) \exp(iqx) dq$$

$$F(q) = A(q) e^{i\varphi(q)}$$

**Что важнее –
амплитуда или фаза поля ??**

Есть две фотографии – Исаак Ньютон и Бритни Спирс.
...Оцифровываем изображения и делаем прямые и
обратные Фурье-преобразования.....

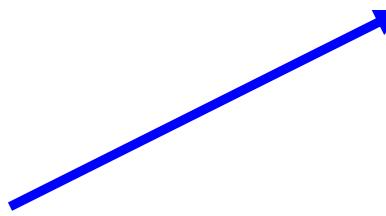
F=A(Ньютон)exp[iφ(Бритни Спирс)]

Что (кто) получится ???!!

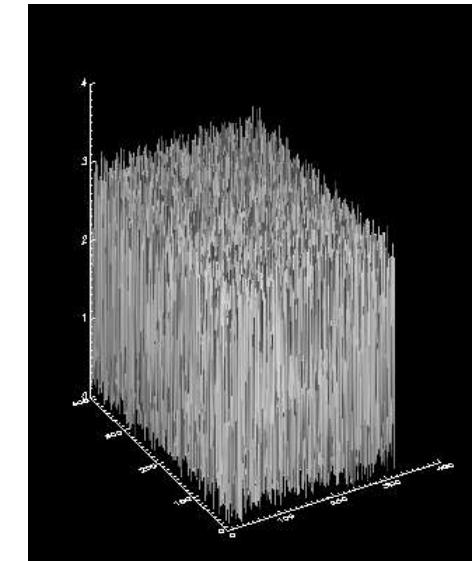
Прямое Фурье-преобразование



Фурье-
амплитуды



Фурье-
фазы

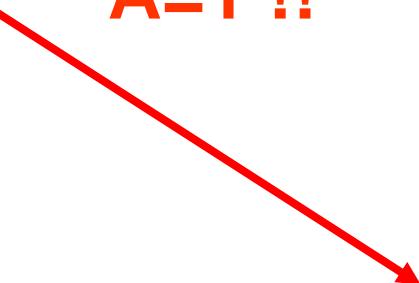


D.Novikov (DESY)

Теперь переходим в прямое пространство



Фурье-
фазы, а все
 $A=1$!!

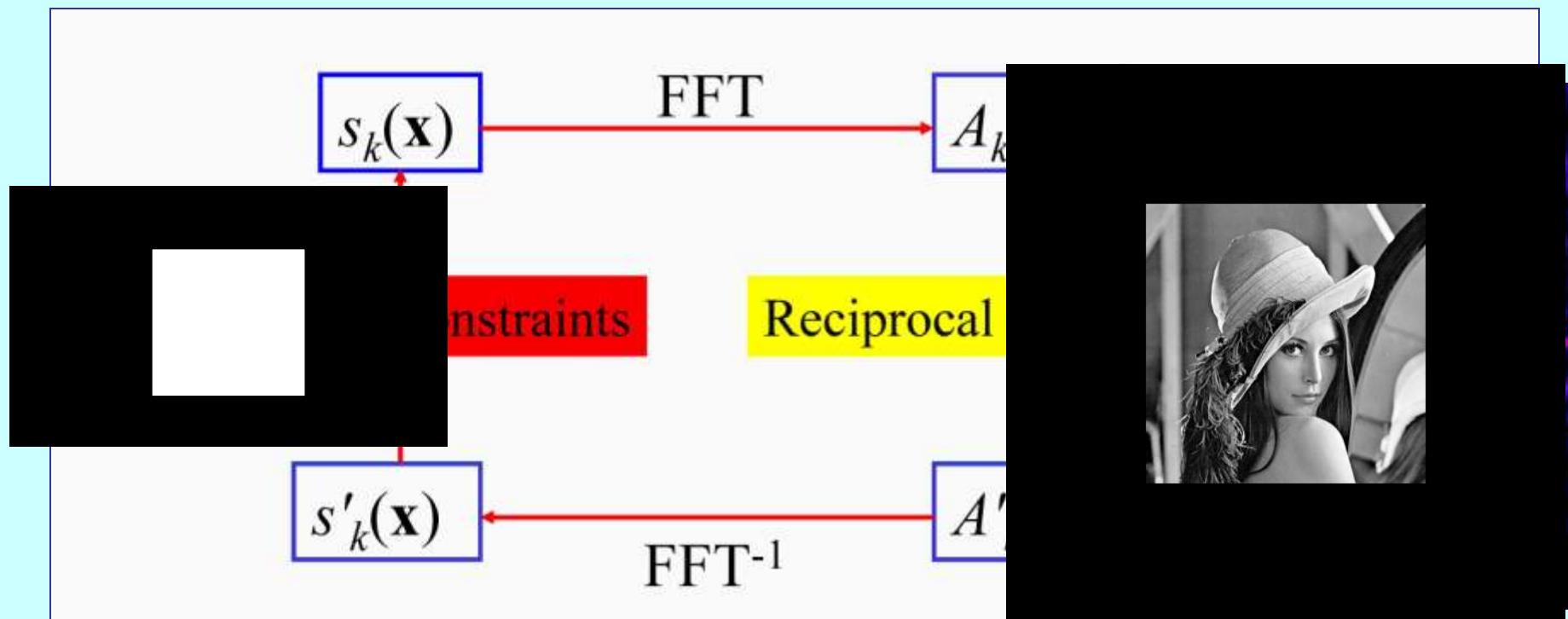


Исаак Ньютона

Фурье-
амплитуды



Итерационный алгоритм восстановления фазы



Real space constraints:



Reciprocal space constraint:

$$|A_k(\mathbf{q})| \rightarrow \sqrt{I_{exp}(\mathbf{q})}$$

R.W.Gerchberg & W.O. Saxton, *Optic* (1972) **35**, 237

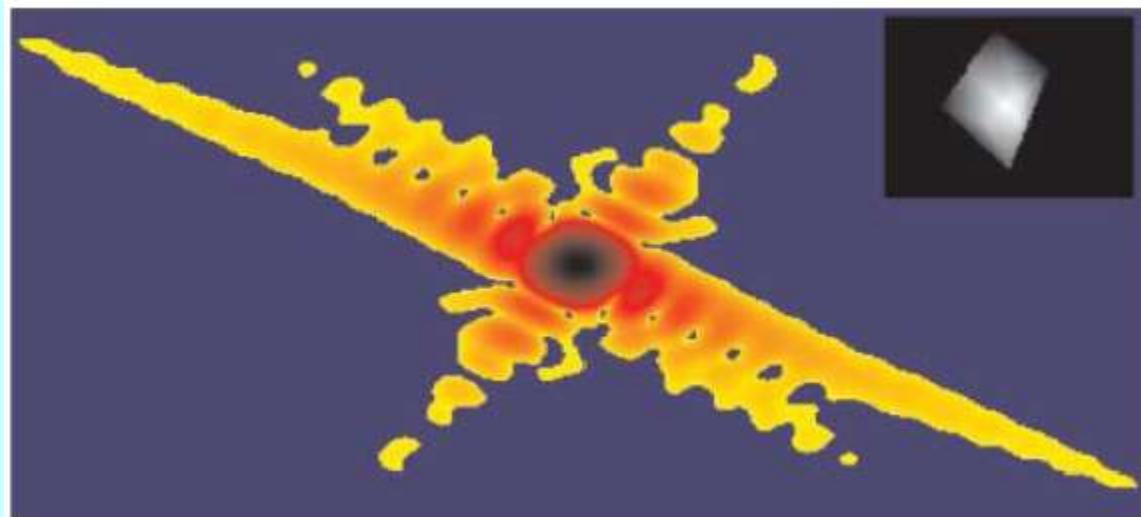
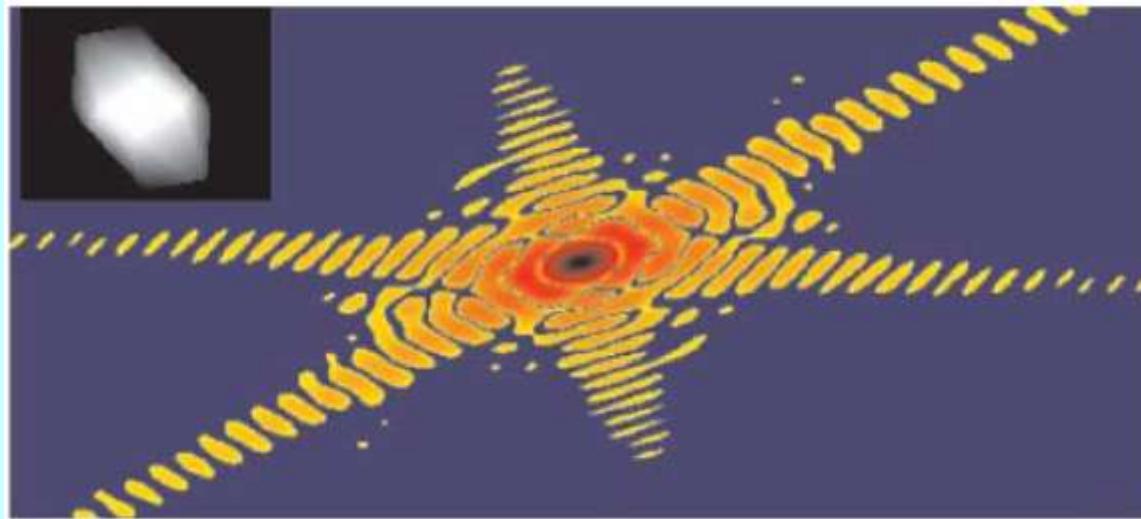
J.R. Fienup, *Appl Opt.* (1982). **21**, 2758

R.P. Millane & W.J. Stroud, *J. Opt. Soc. Am.* (1997) **A14**, 568

Пример реконструкции (I. Vartanyants, A. Efaniyants, DESY, 2010)



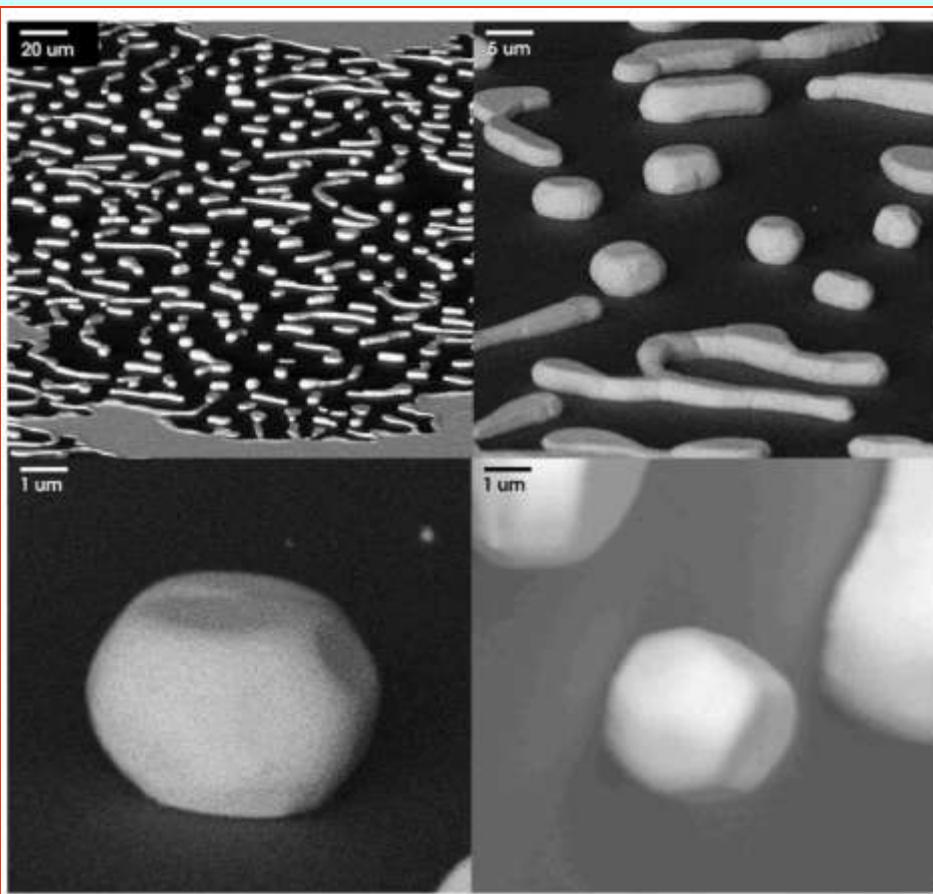
Расчетные дифракционные картины от микрокристаллов



- Strong fringes from facet pairs
- Streaks perpendicular to facets

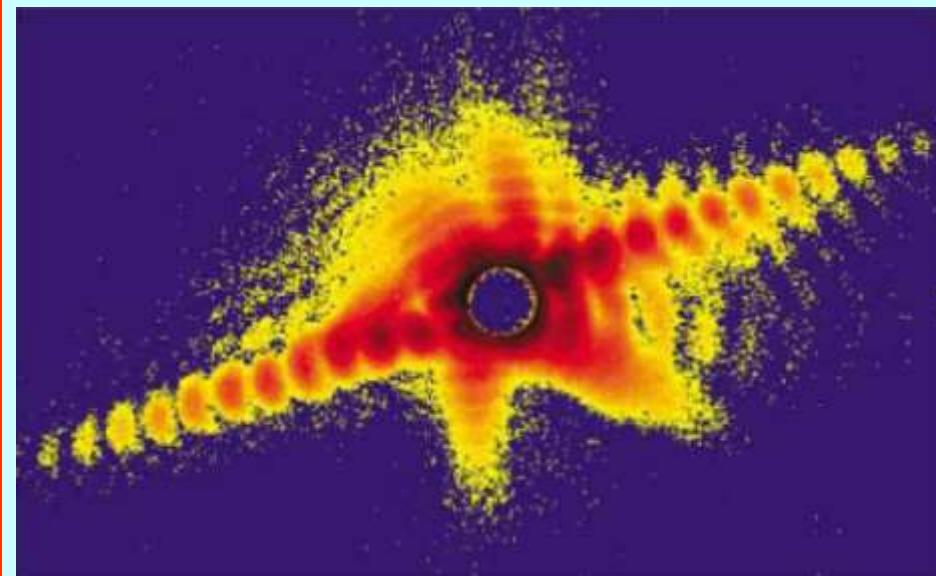
I. Vartanians, I. Robinson,
J. Phys. 13, 10593 (2001)

Когерентное рассеяние на кристаллах Au



SEM эксперимент

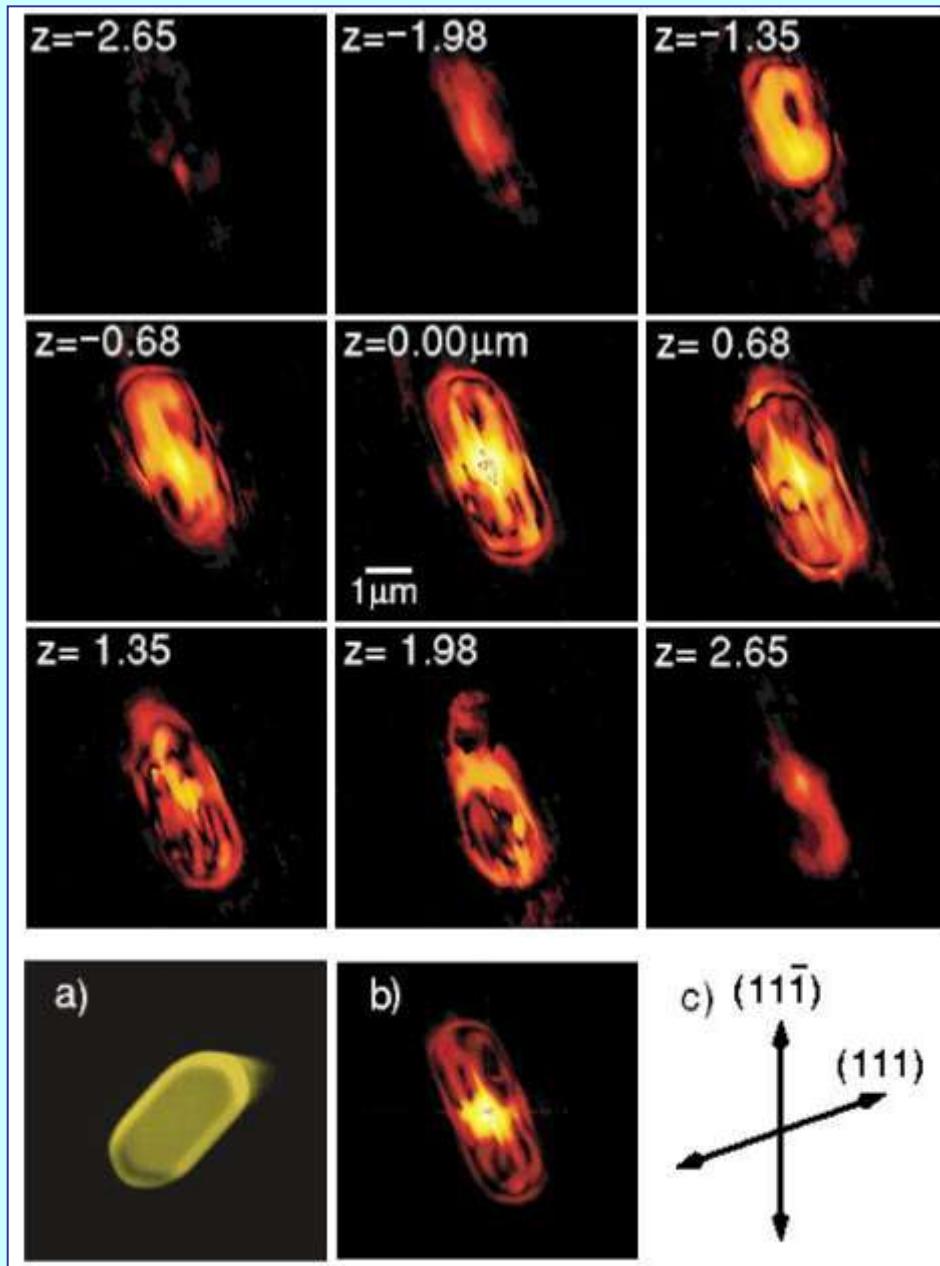
- Au film
- Quartz substrate
- Annealed at 950 C for 70 hrs



Экспериментальная
дифракционная картина

I.Robinson, *et al.*, PRL (2001) 87, 195505

Когерентная рентгеновская дифракционная томография

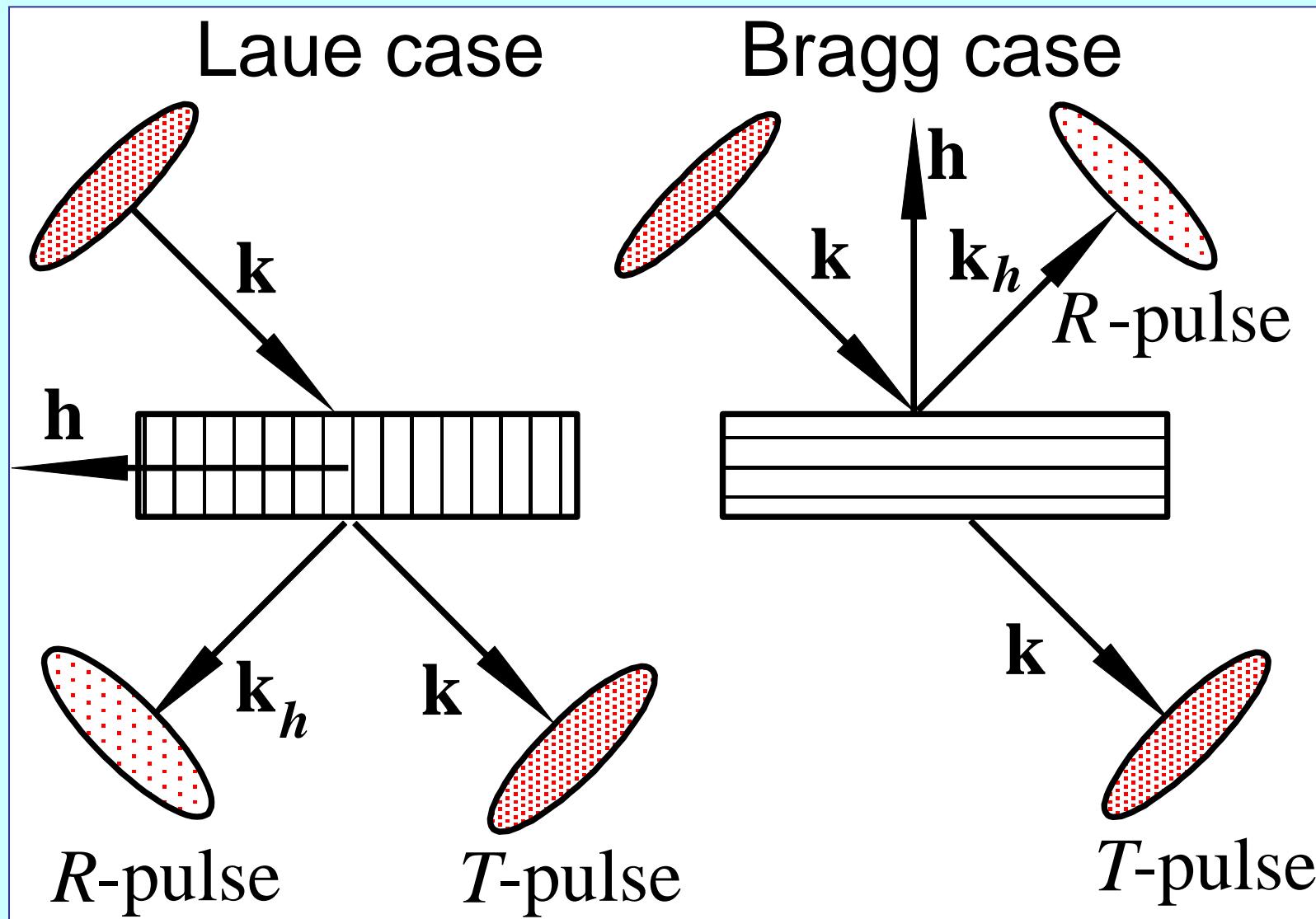


I.Vartanians, I.Robinson,
J. Phys. 13, 10593 (2001)

3. Особенности дифракции фемтосекундных импульсов РЛСЭ

Закон Вульфа-Брэгга

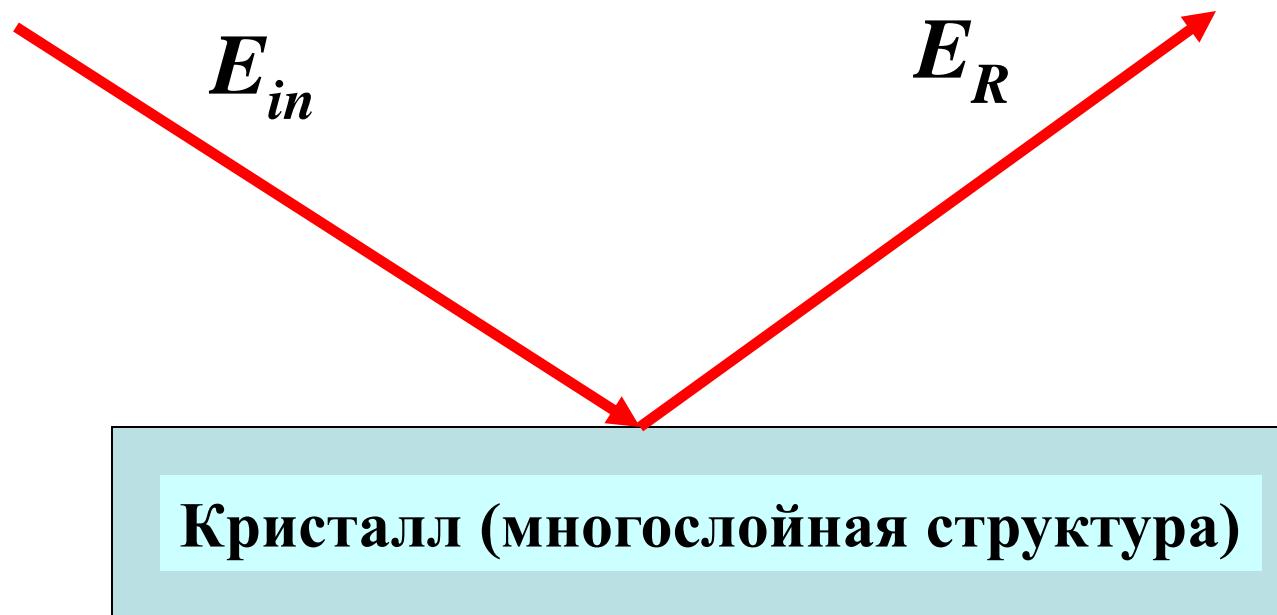
$$2d \sin \vartheta = n\lambda$$



Sketch of Laue and Bragg diffraction geometries

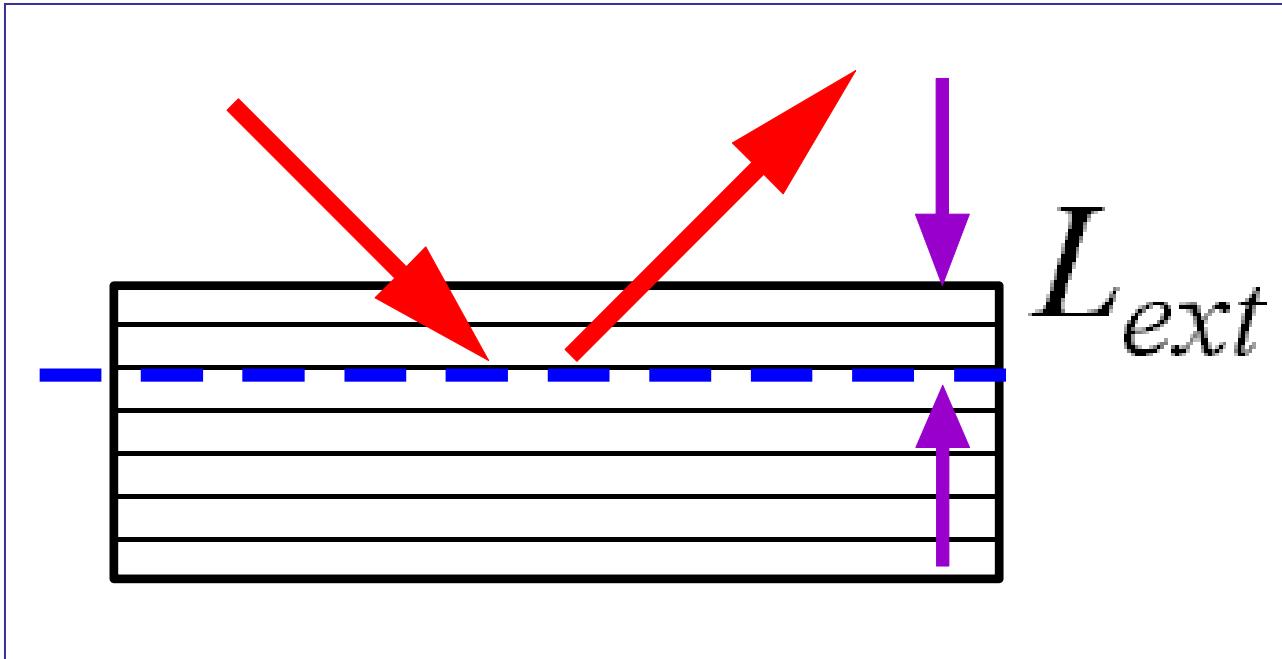
3D-особенность импульсов XFEL

Приближение плоской волны....



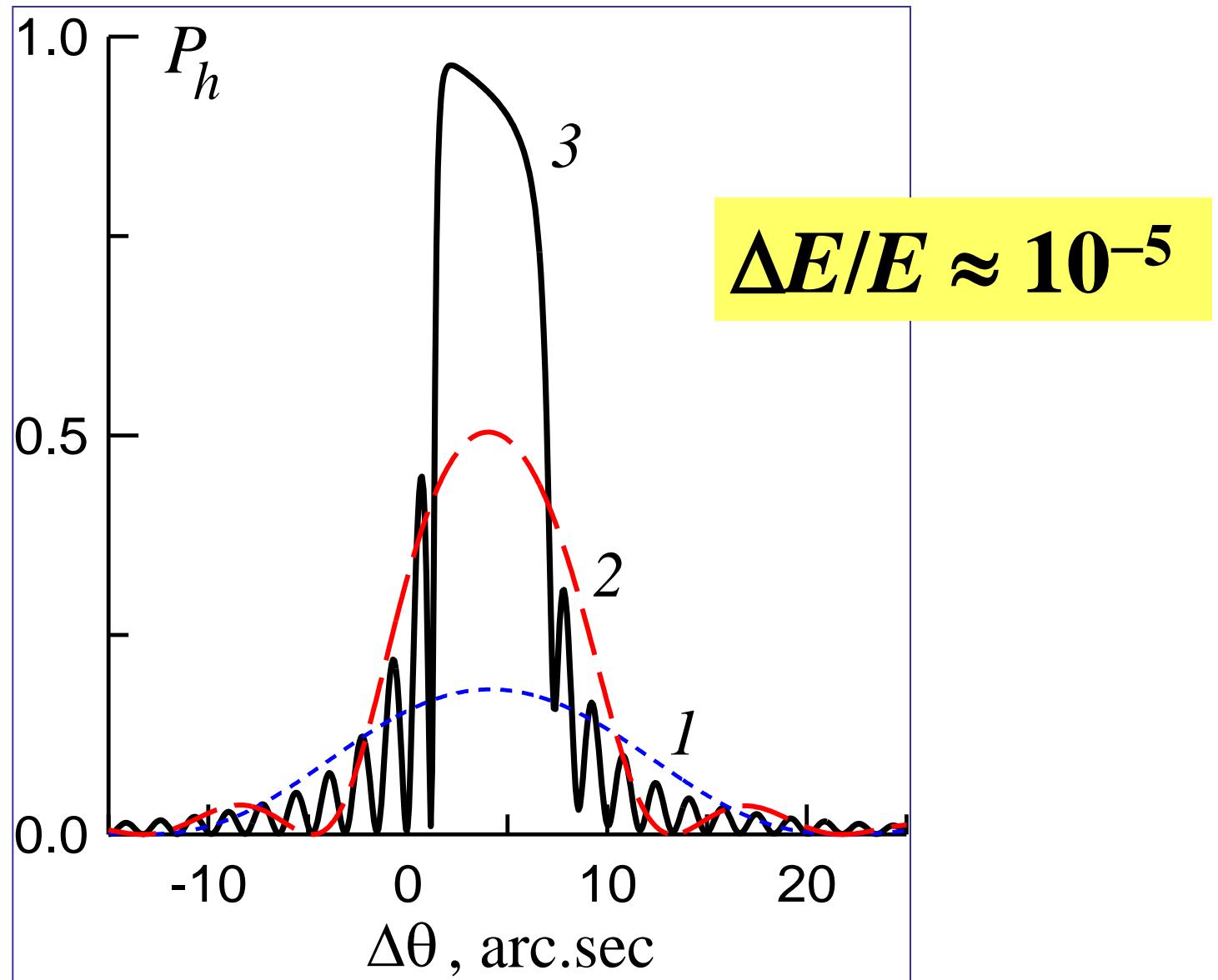
.....теория Эвальда, Дарвина, Такаги....

.....формулы Френеля, Парратта,
Колпакова, Игнатовича...



$$\Lambda = \lambda(\gamma_0\gamma_h)^{1/2}/\pi C|\chi_h|$$
 - глубина экстинкции.

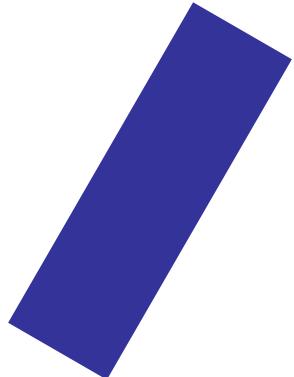
Типичные значения глубины экстинкции –
несколько микрометров



КДО CuK_α -излучения от кристалла кремния с толщиной $l = 1 \mu\text{m}$ (1), $2 \mu\text{m}$ (3) и $10 \mu\text{m}$ (3); **симметричное отражение** (220).

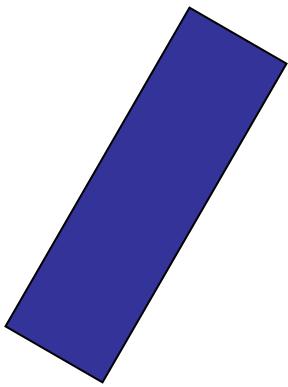
Specific of pulse diffraction

Incident pulse



Crystal

Still no diffraction

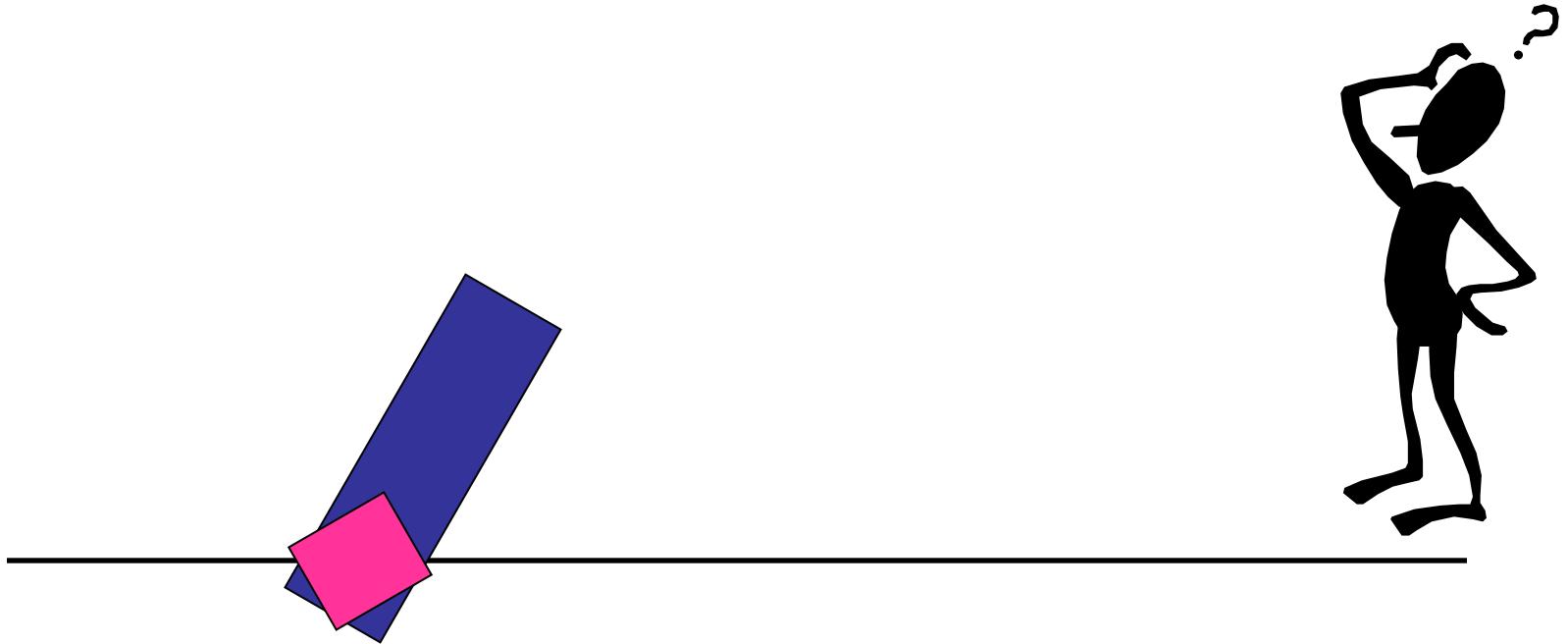


Incident pulse



Crystal

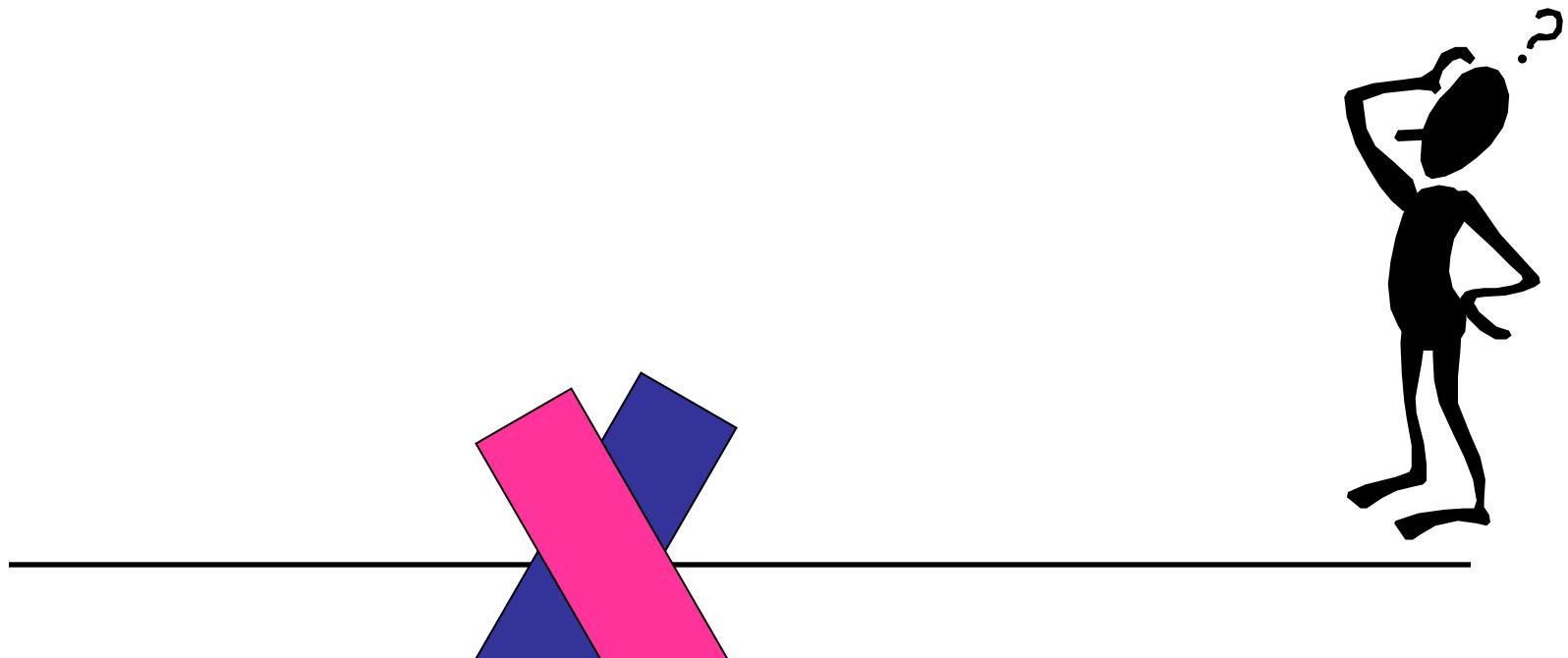
Beginning of diffraction



Longitudinal pulse length $l_0 = c\tau_0$.

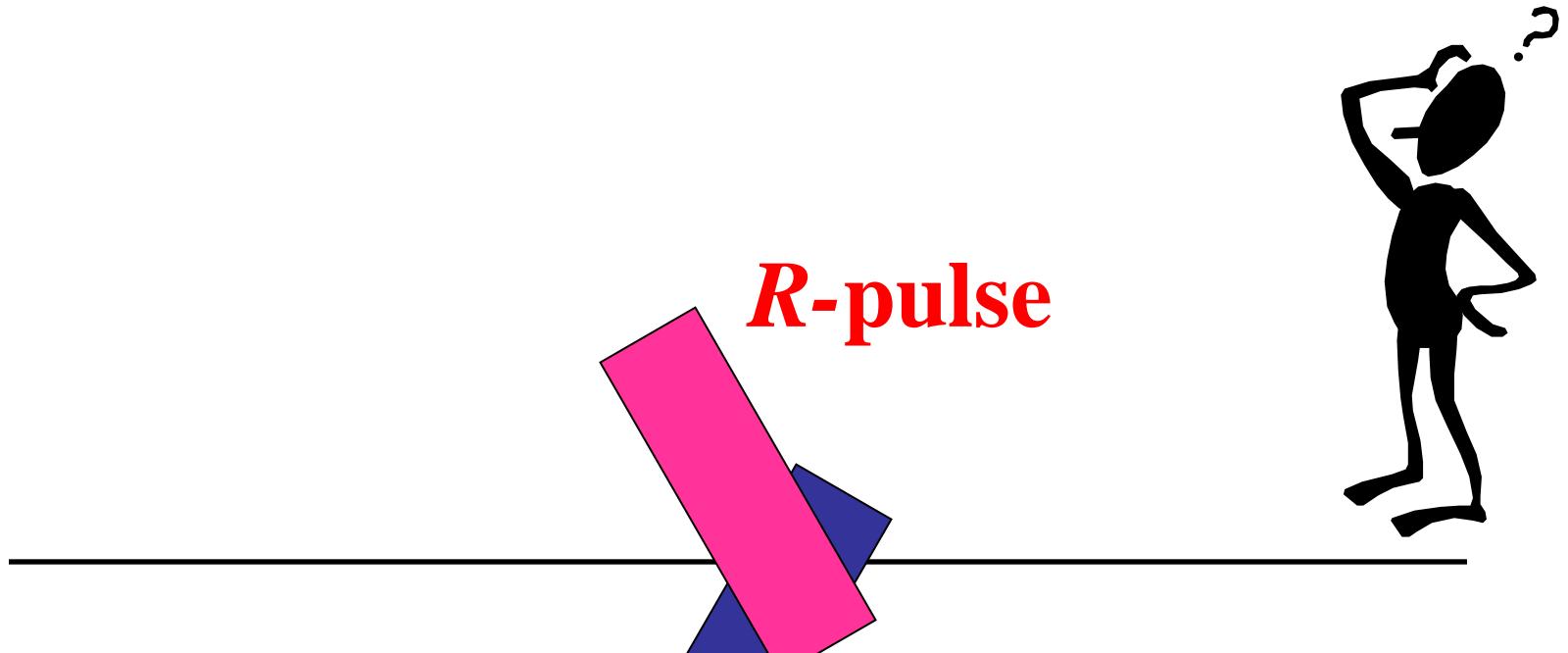
If $\tau_0 = 0.1$ fs,
then $l_0 = 0.03 \mu\text{m} \ll L_{ext} \sim 1 \mu\text{m}$

Dynamics of diffraction in time



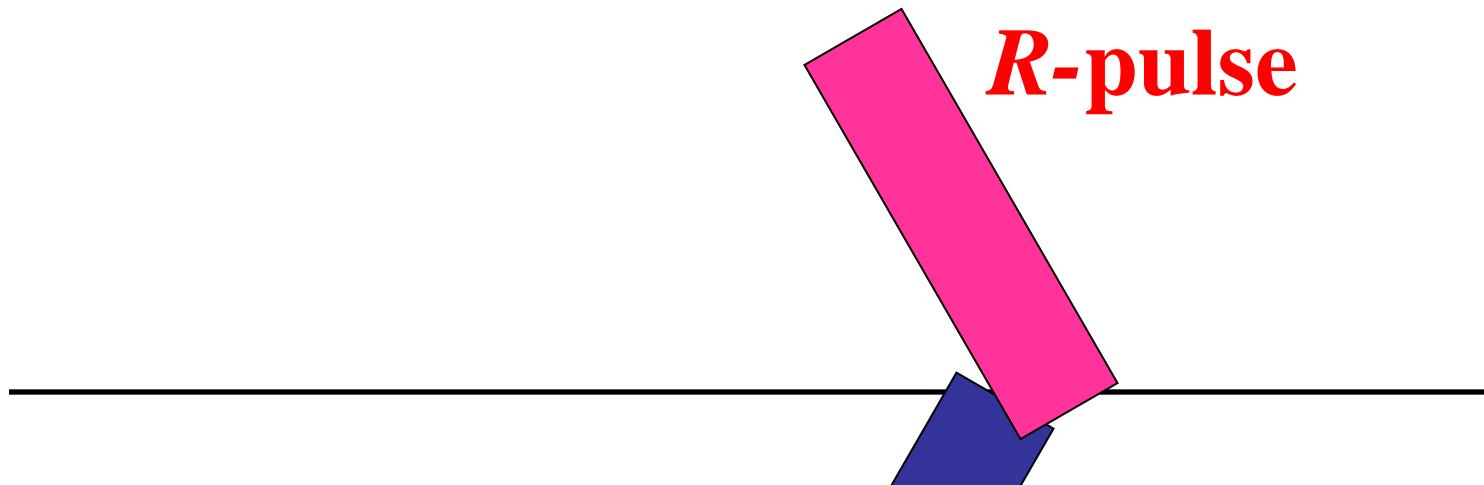
Crystal

Dynamics of diffraction in time



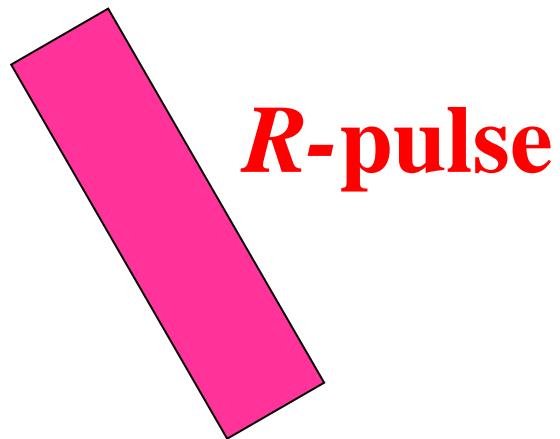
Crystal

Dynamics of diffraction in time



Crystal

The end of pulse reflection



Crystal

Reflected pulse

$$E_R(x, z, t) = \iint R(k_x, \omega) E_0(k_x, \omega) e^{ik_{hx}x - i\sqrt{k^2 - k_{hx}^2}z - i\omega t} dk_x d\omega$$

$$k_{hx} = k_x + h_x, \quad k = \omega/c.$$

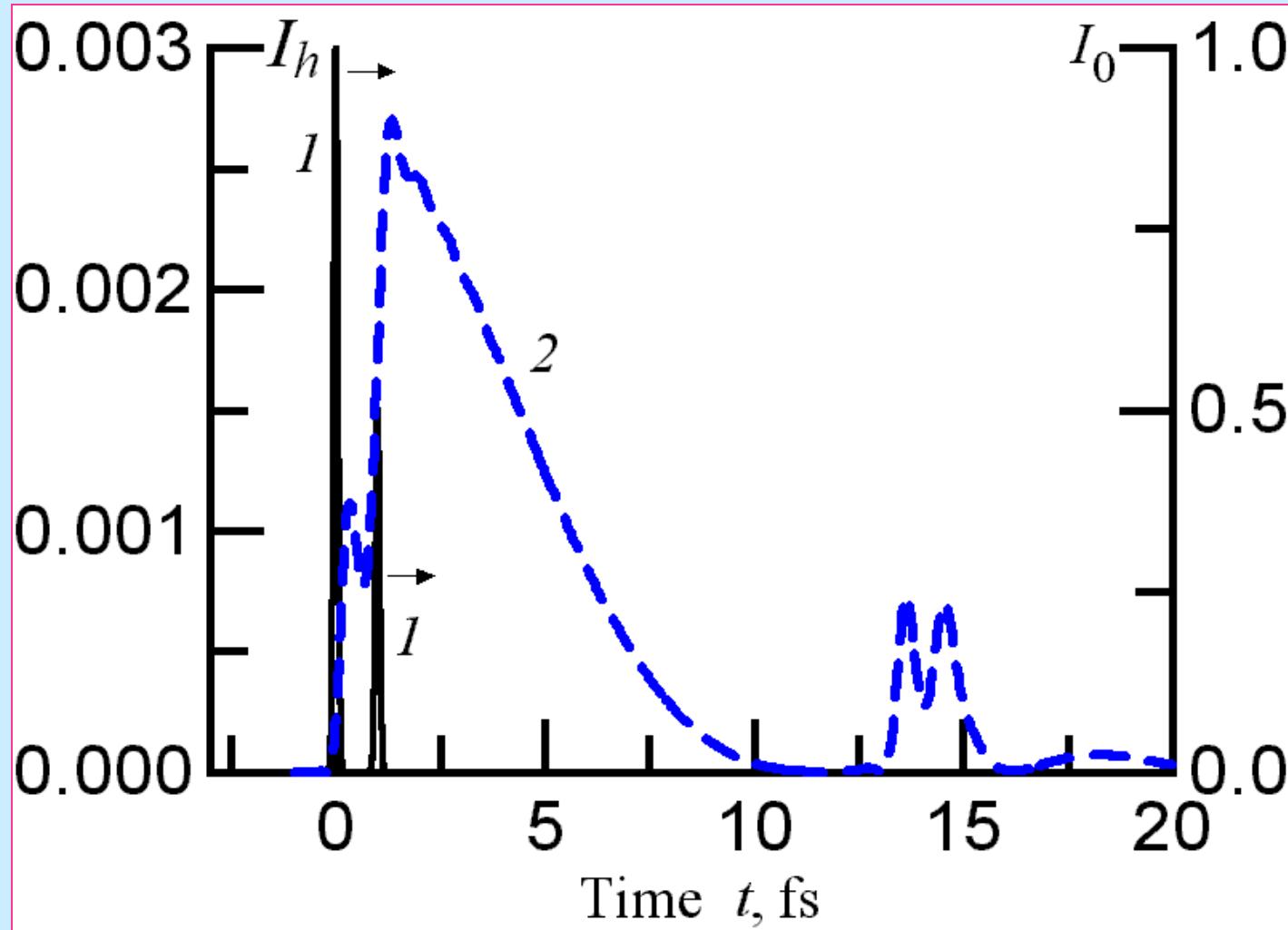
$$A_R(x, z, t) = \iint R(q, \Omega) E_0(q, \Omega) e^{i\varphi_s + i\varphi_d} dq d\Omega$$

$$\varphi_s(q, \Omega) = q \times (x - z \operatorname{ctg} \vartheta_R) - \Omega \times (t - \frac{z}{c \sin \vartheta_R}) \text{ - shift}$$

$$\varphi_d(q, \Omega) = -\frac{1}{2k_0 \gamma_h^3} \left(q - \frac{\Omega \cos \vartheta_R}{c} \right)^2 z$$

- broadening !!

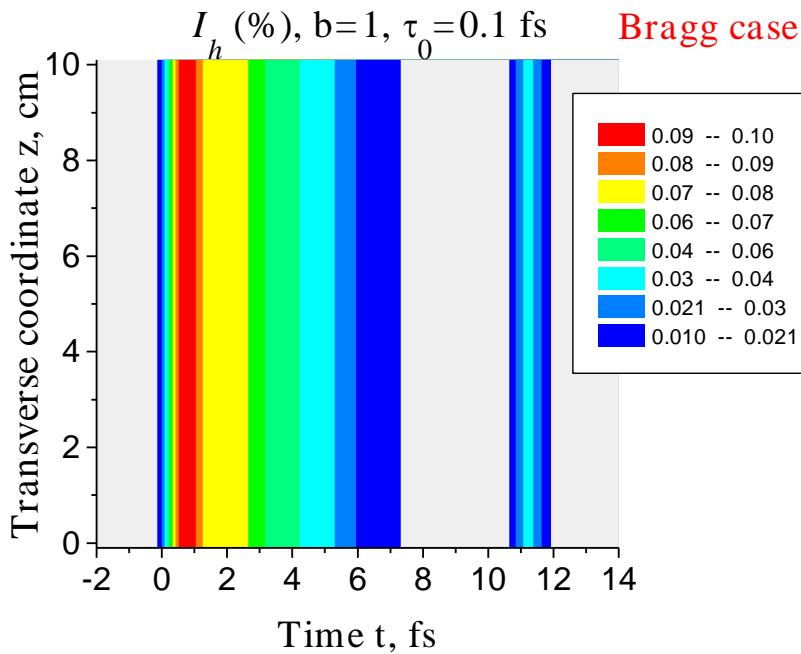
Bragg case, $b = -1$, $\tau_0 = 0.1$ fs



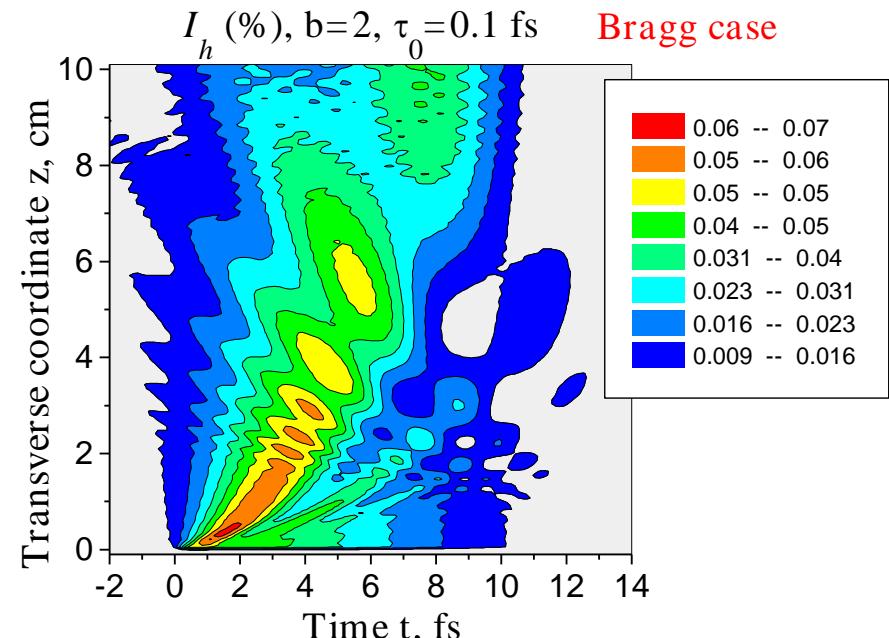
1 - $r_0 = 100$ μm , $\tau_0 = 0.1$ fs, A1=1, A2=0.5, $\Delta t = 1$ fs; 2 – reflected pulse ($\lambda = 0.154$ nm, $d = 5$ μm , Si(220)).

Bragg case

$b = -1$

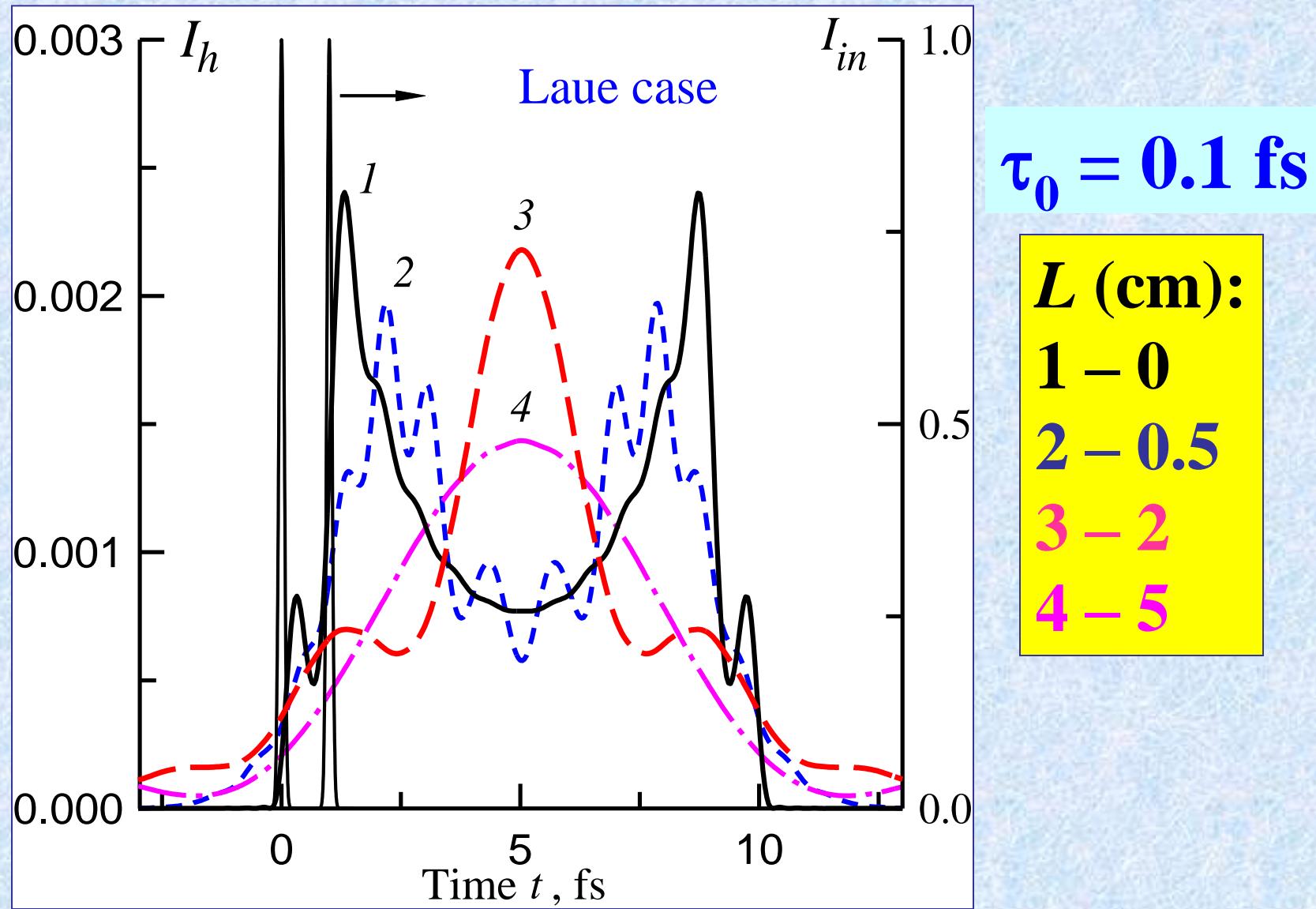


$b = -2$



Space-temporal intensity distribution of the reflected pulse;
incident pulse duration is $\tau_0 = 0.1 \text{ fs}$.

Laue-reflection of two supershot pulses ("spikes")



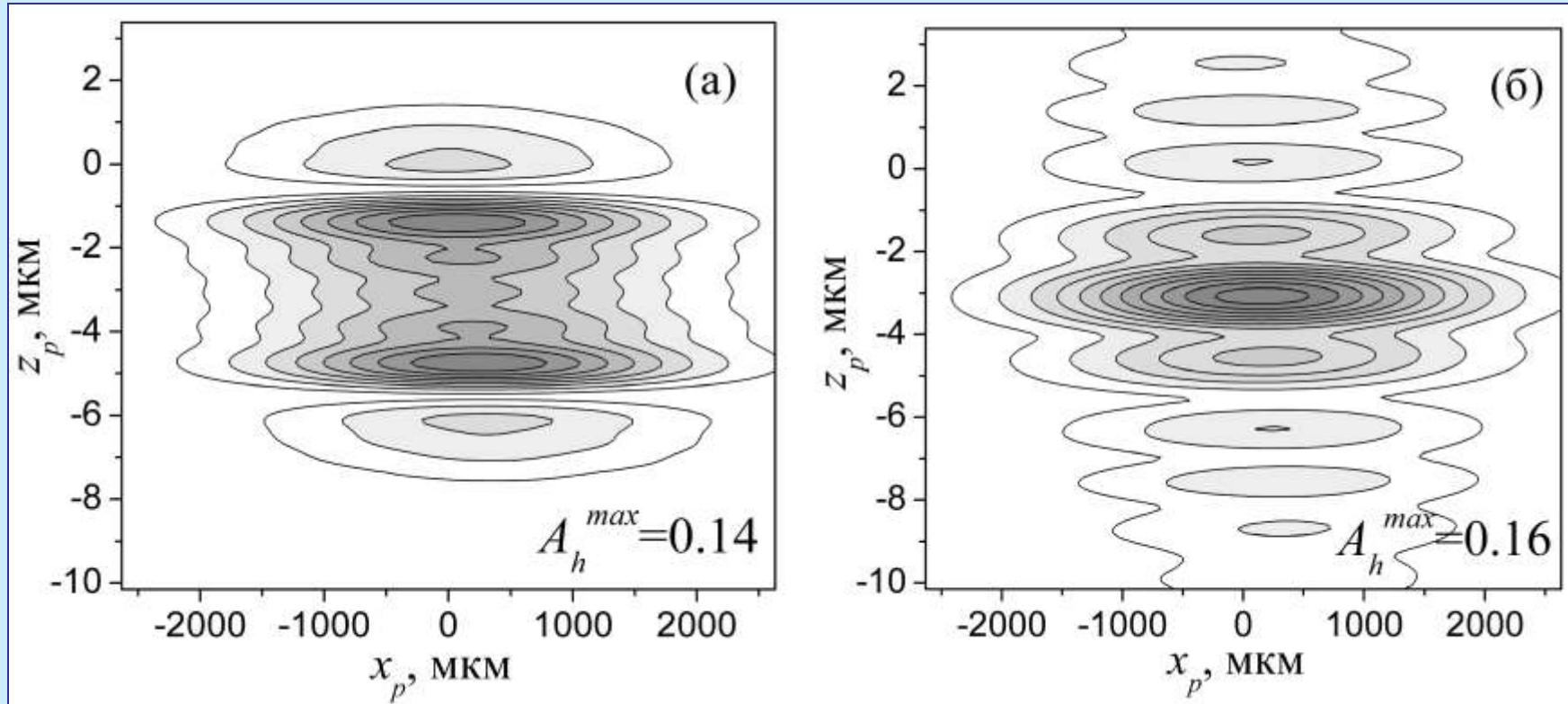
$\tau_0 = 0.1$ fs, $\Delta t = 1$ fs; $\lambda = 0.154$ nm, Si(220), $d = 7.73$ μm.

2D-distribution of amplitude $|A_h(x_p, z_p)|$

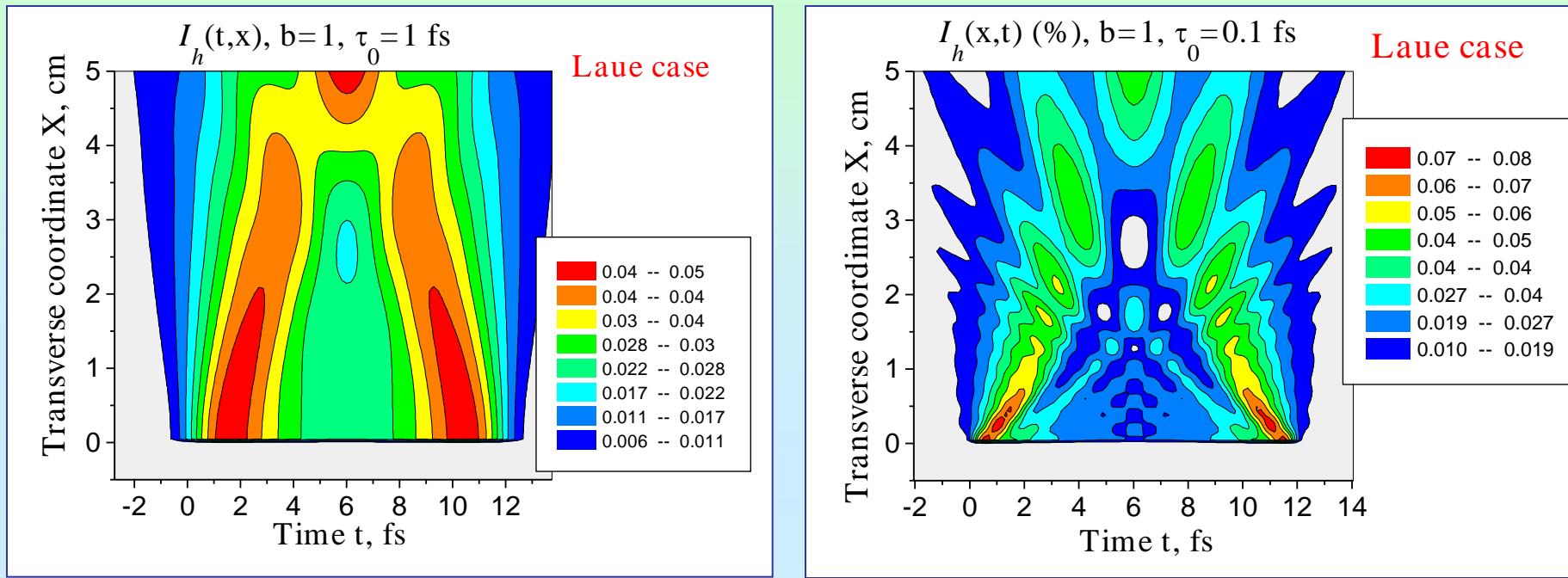
Laue case, $b = 1$, $\tau_0 = 1 \text{ } \phi\text{c}$

$L = 2 \text{ cm}$

$L = 10 \text{ cm}$



$d = 23.19 \text{ } \mu\text{m}$, $L_D = 8.2 \text{ cm}$, inclination angle of the reflected pulse $\varphi_h = -41.2^\circ$ ($l_0 = 0.3 \text{ } \mu\text{m}$).



Space-temporal distribution of reflected pulse at $\tau_0 = 1$ fs (a)
and $\tau_0 = 0.1$ fs (b).

Symmetrical Laue case, $b = 1$, $\lambda = 0.154$ nm, Si(220), $d = 7.73$ μm .

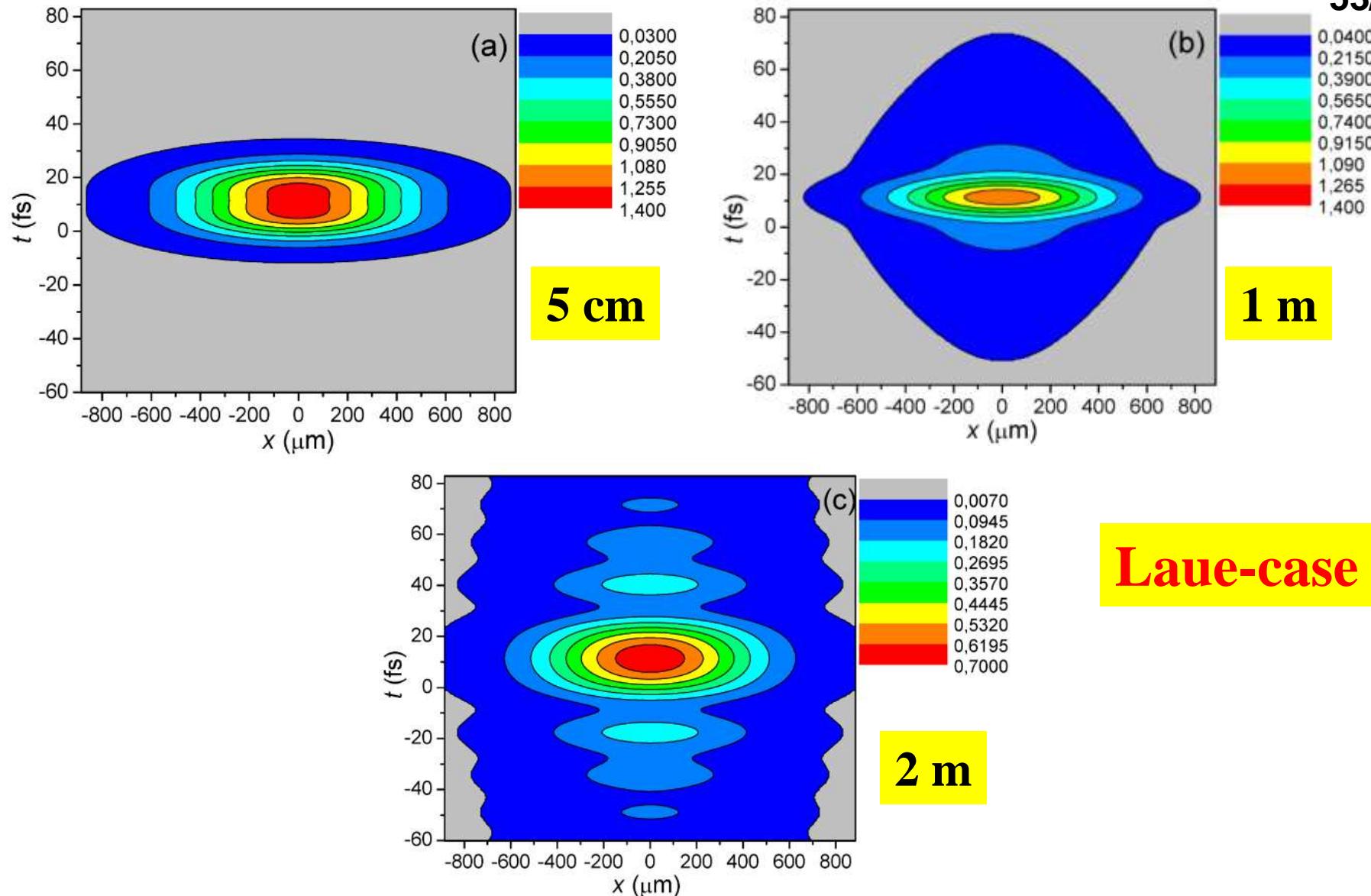
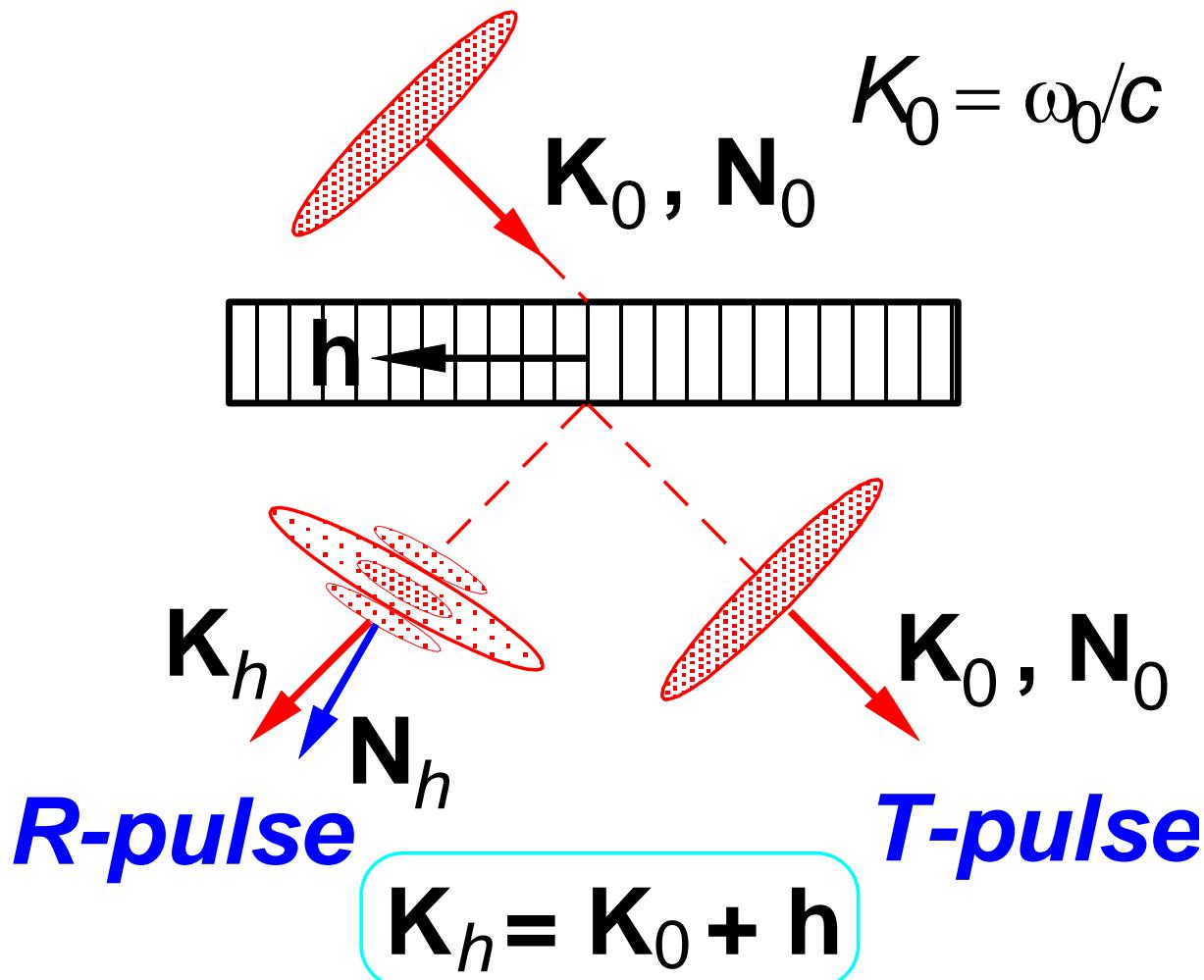


Fig. 5. Intensity distributions at different distances from the first crystal in Laue geometry. The distances are 0.05 m (a), 1 m (b), 2 m (c), other parameters are the same as in Fig. 3.

Деградация (распад) R-импульса

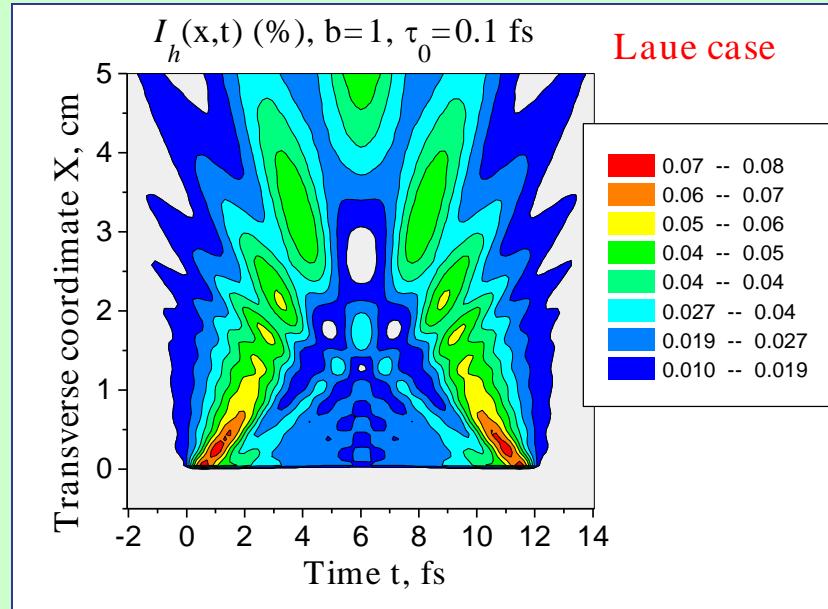
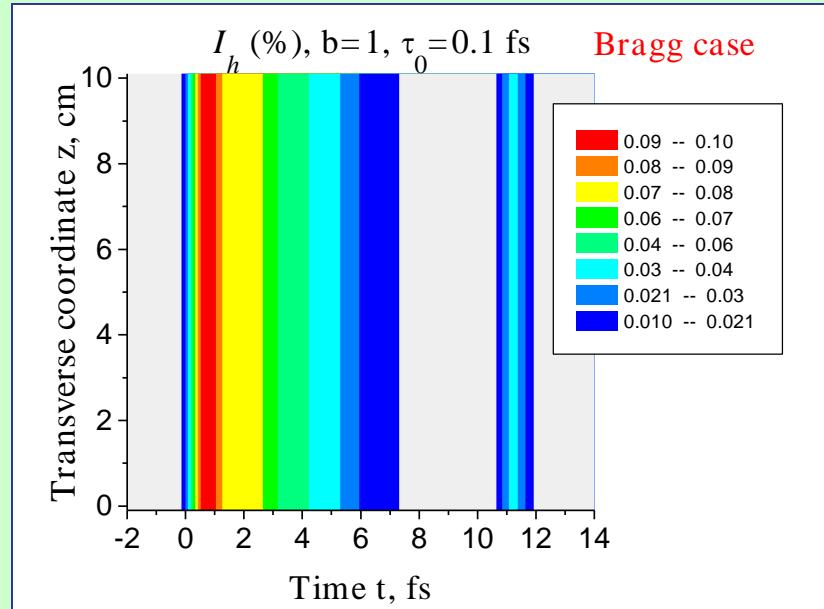
Incident pulse



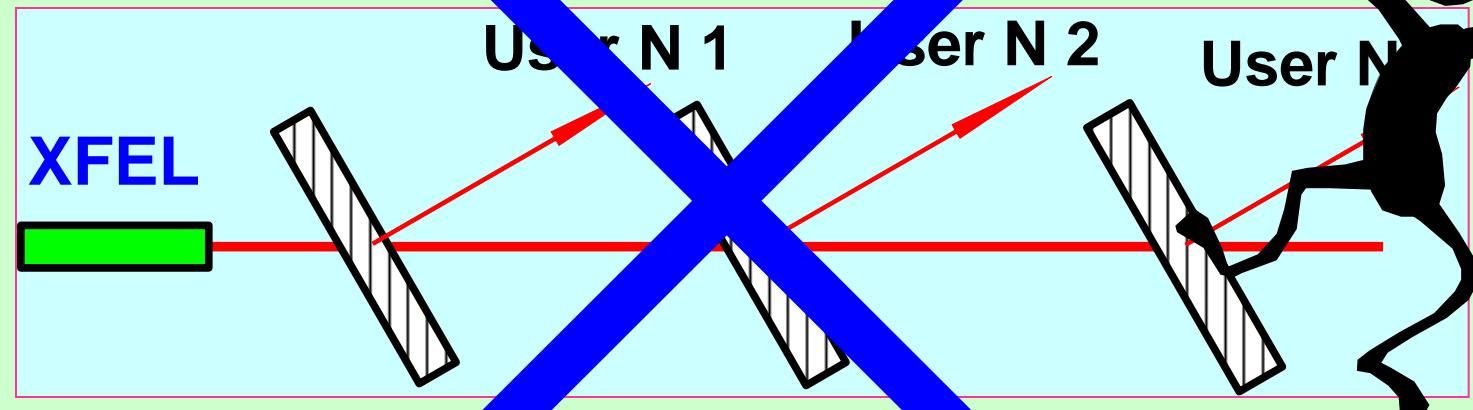
Bragg-case, $b=-1$

Laue-case, $b=1$

55/86



Spatiotemporal intensity distribution of the reflected pulse:
incident pulse duration is $\tau_0 = 0.1 \text{ fs}$.



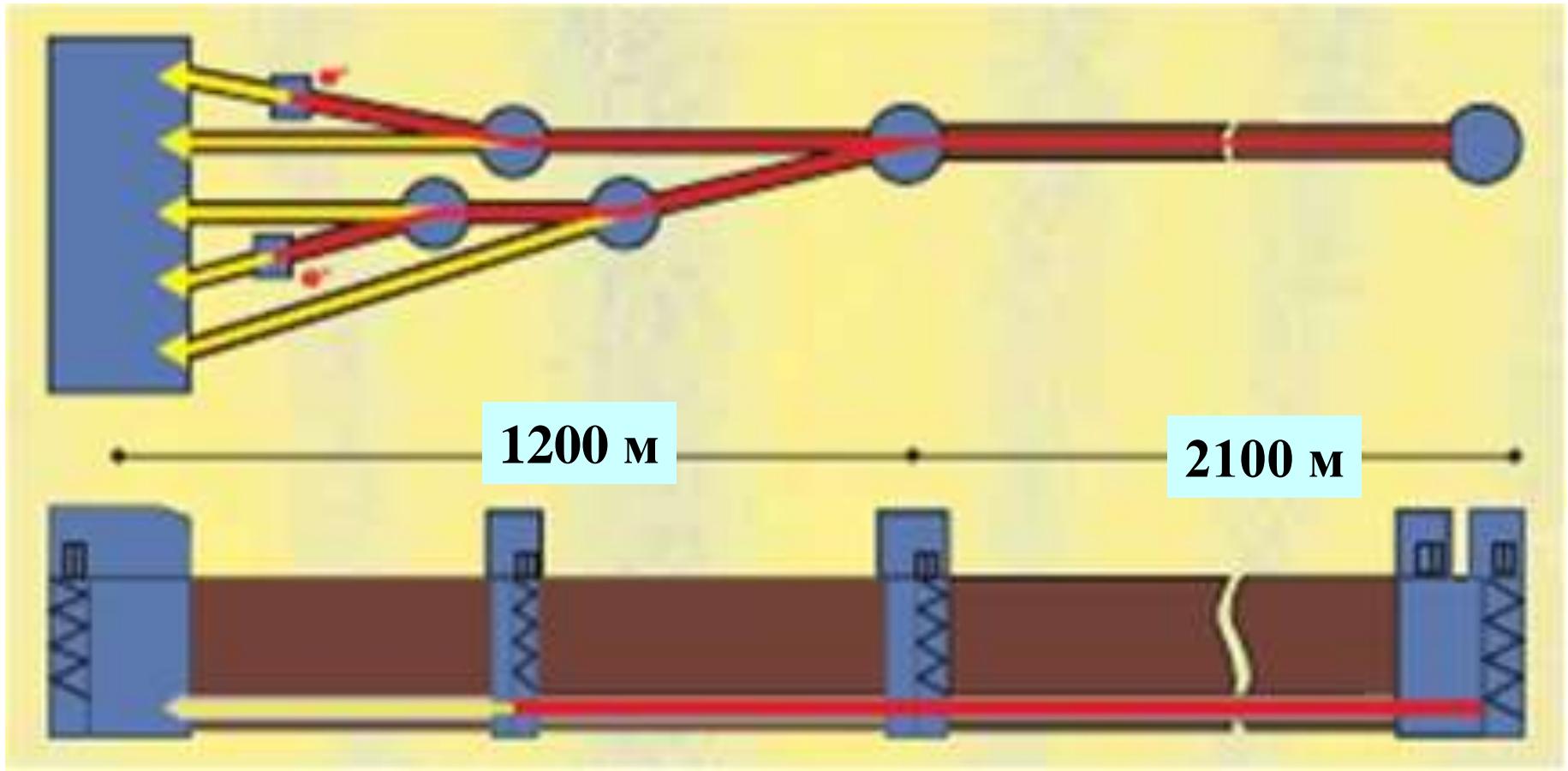
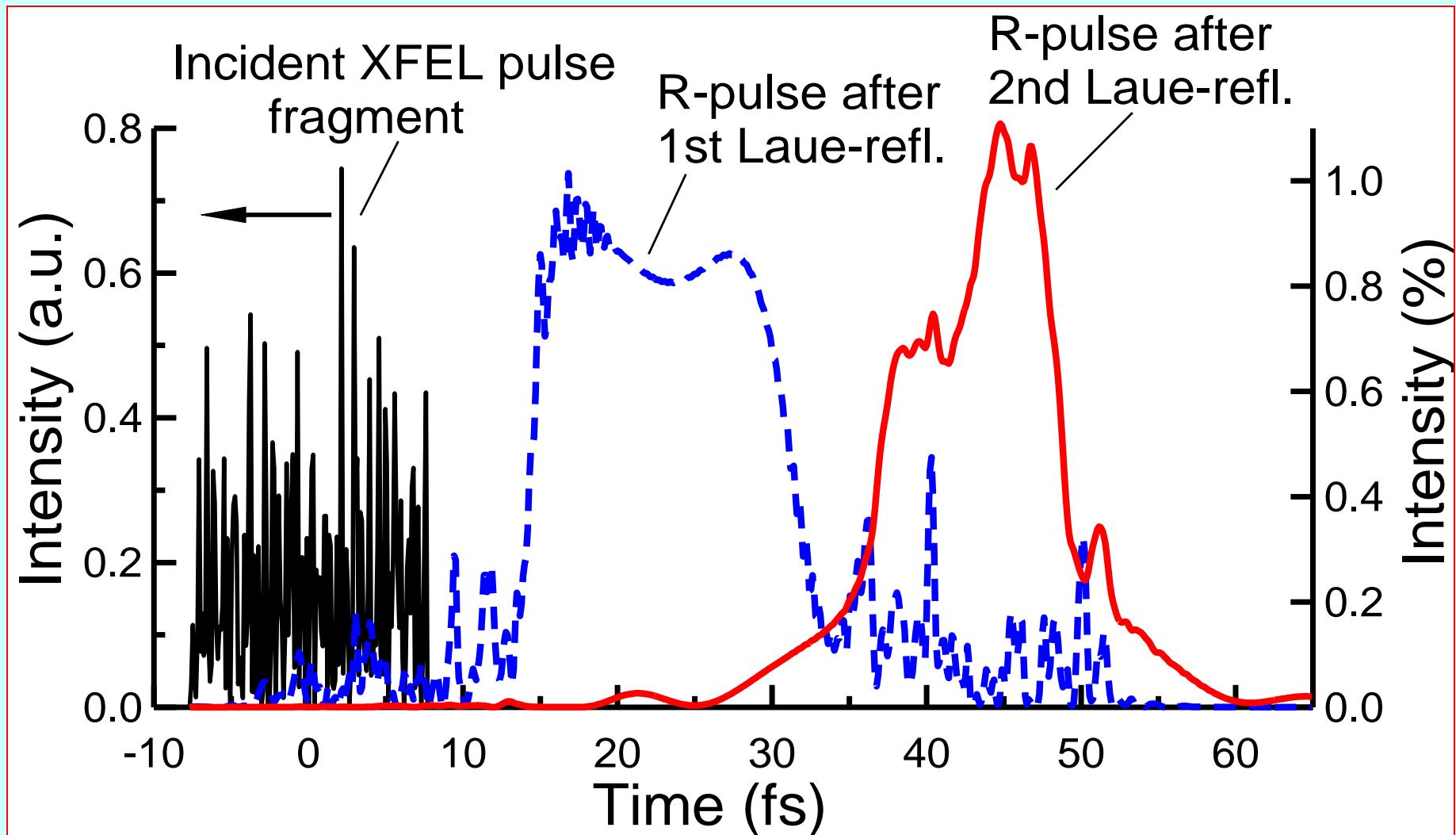


Схема будущего Х-лазера (не в масштабе) при виде сверху и сбоку. Красные и желтые линии показывают пути распространения электронных и фотонных пучков

Two-fold Laue-reflection of the XFEL pulse fragment

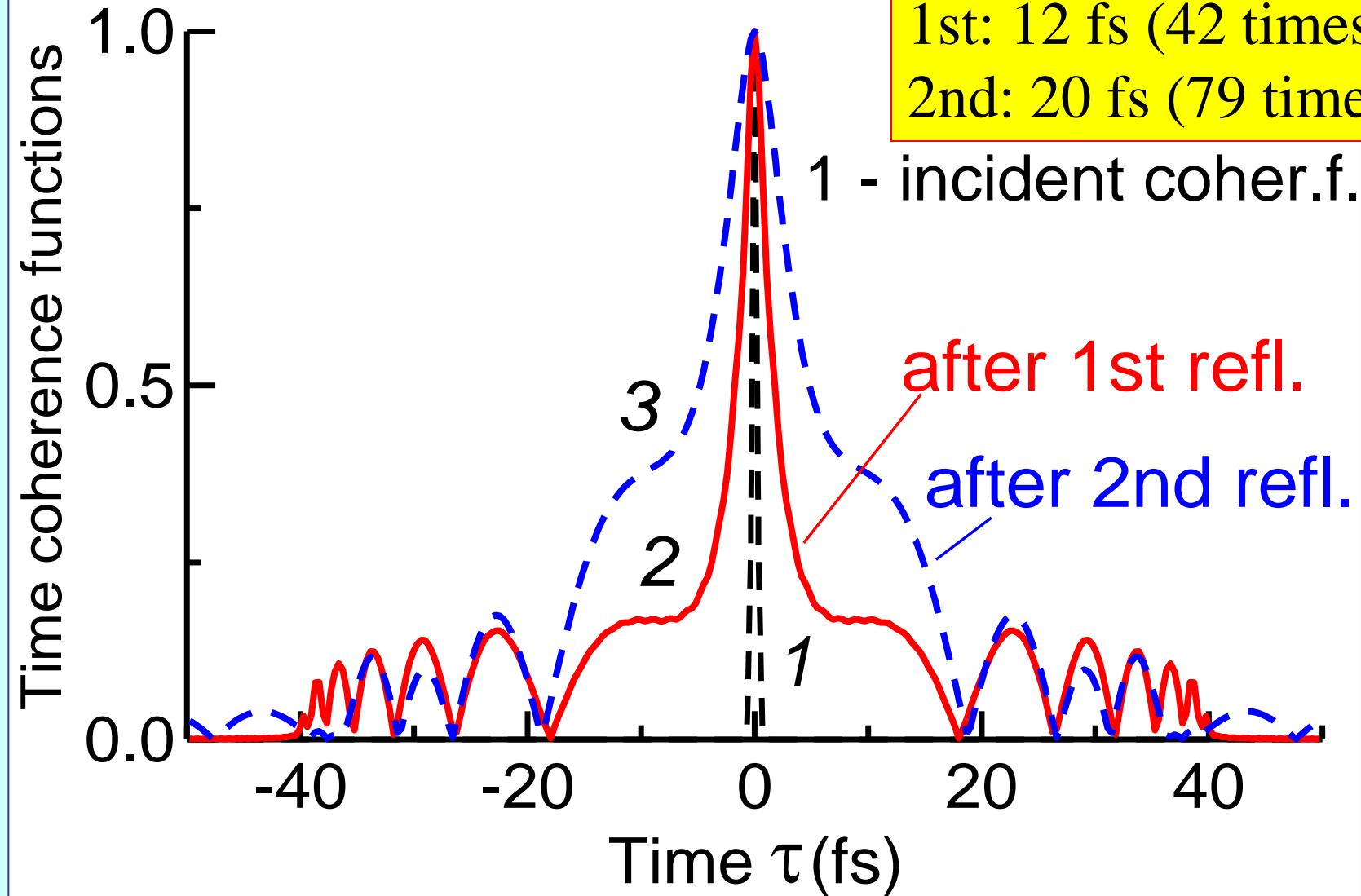


Diffractioⁿ reflection of XFEL pulse fragment (by M. Yurkov calc.) on two crystals in the Laue-geometry; crystals thickness is 98 μm .

Incident: 0.3 fs

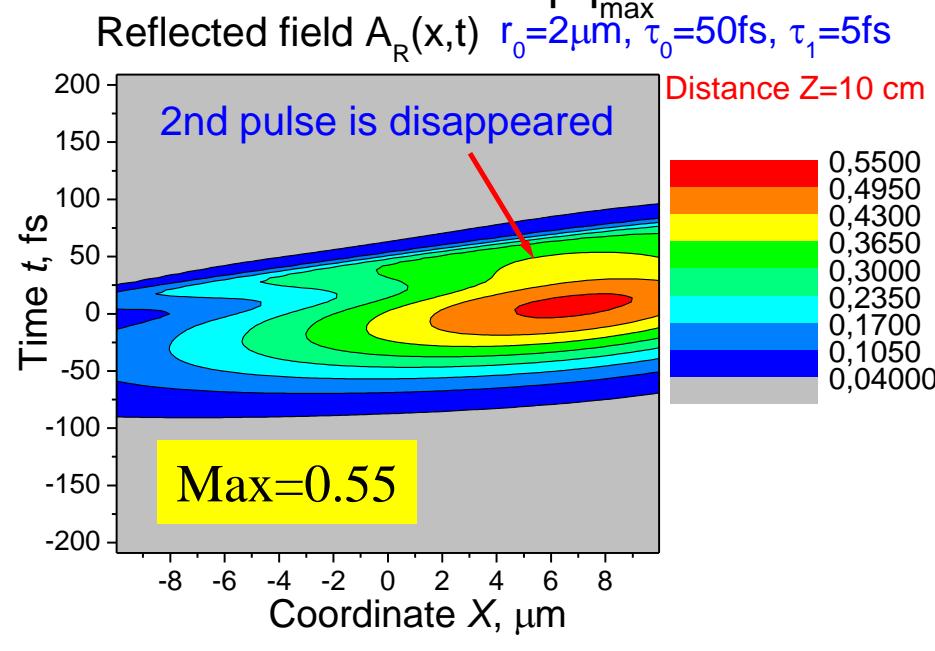
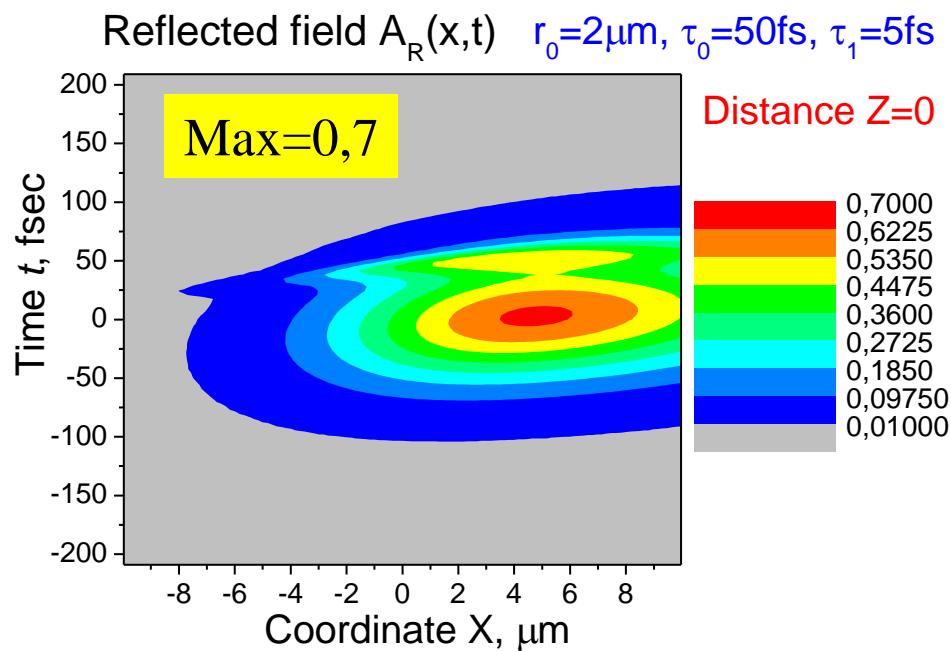
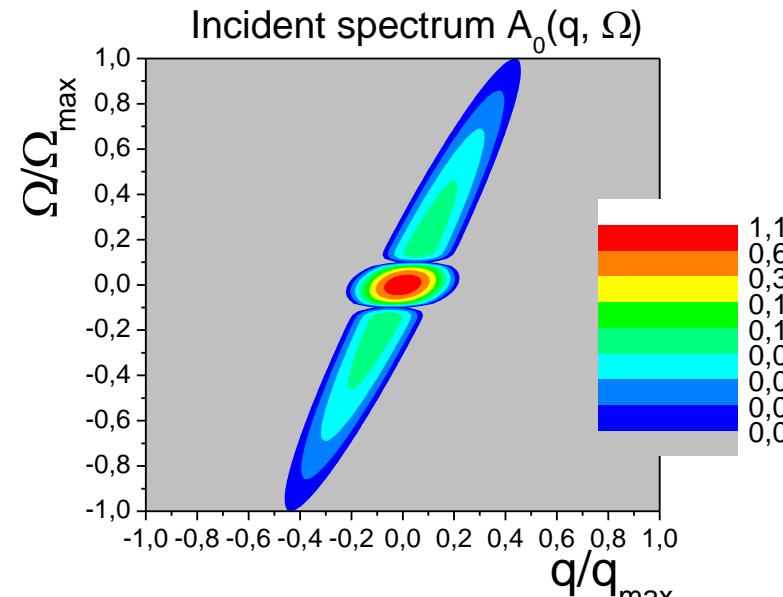
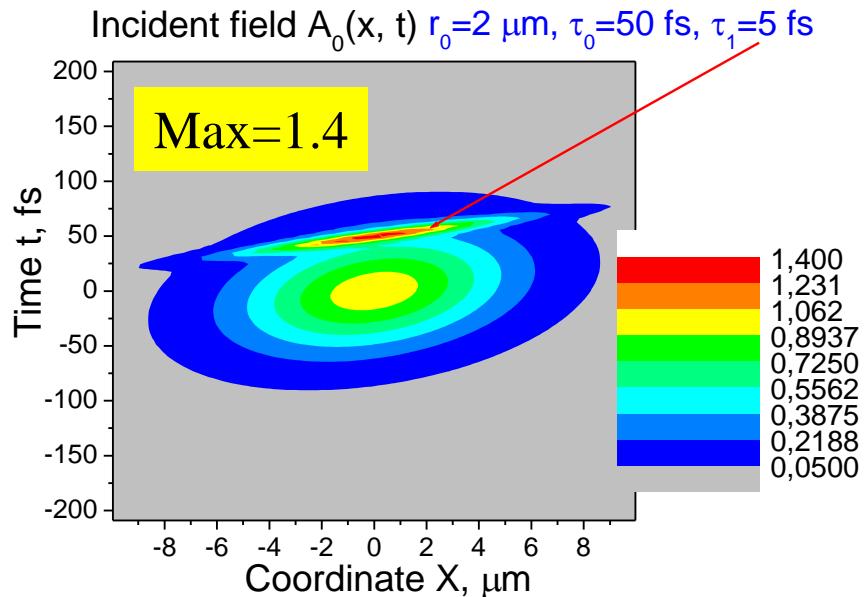
1st: 12 fs (42 times)

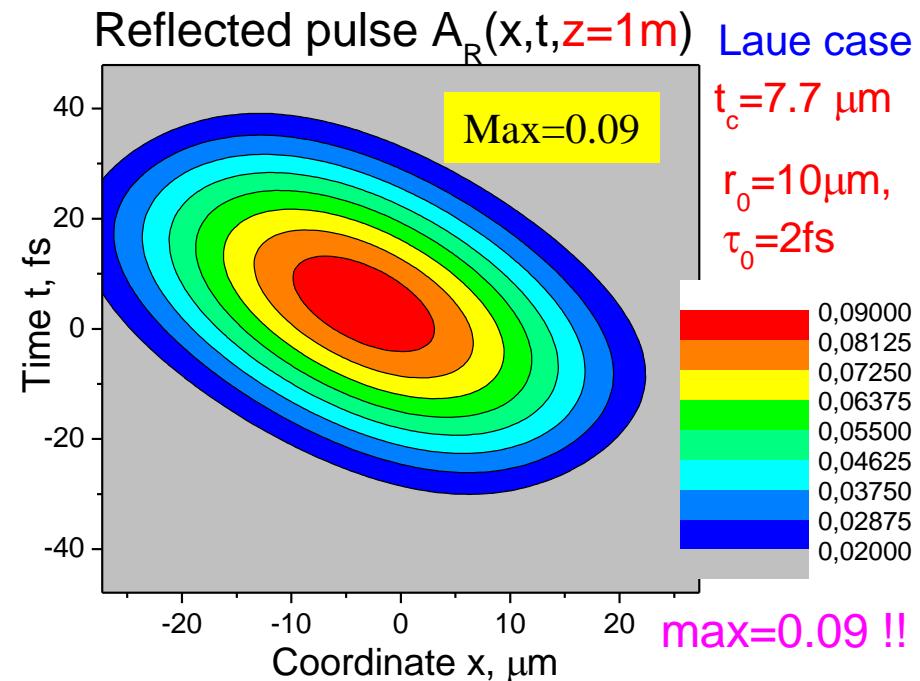
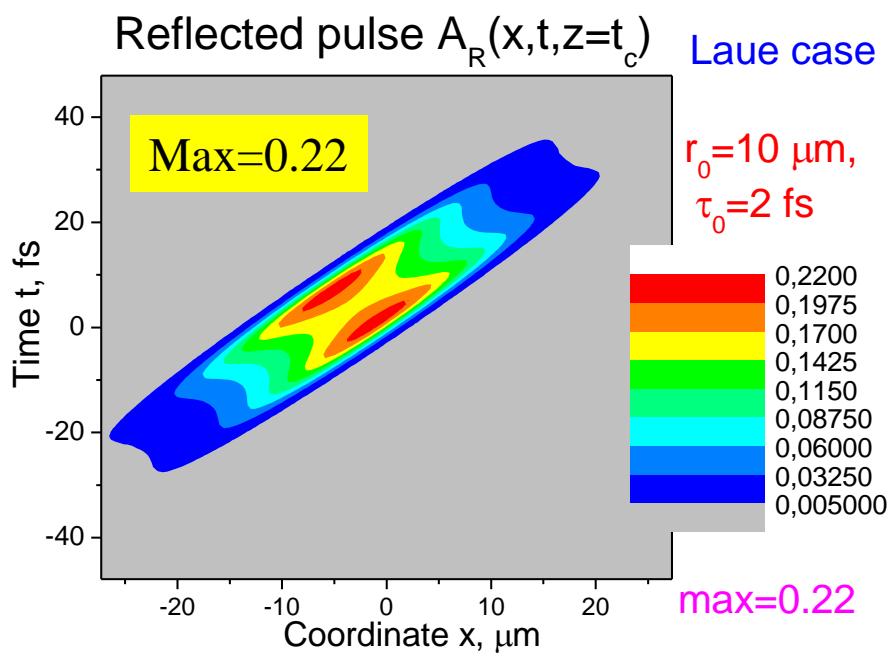
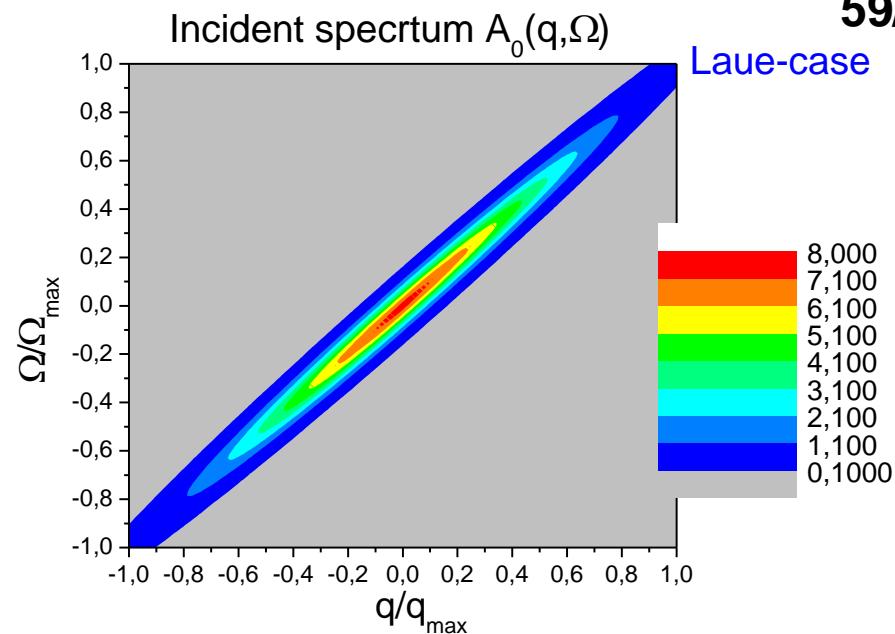
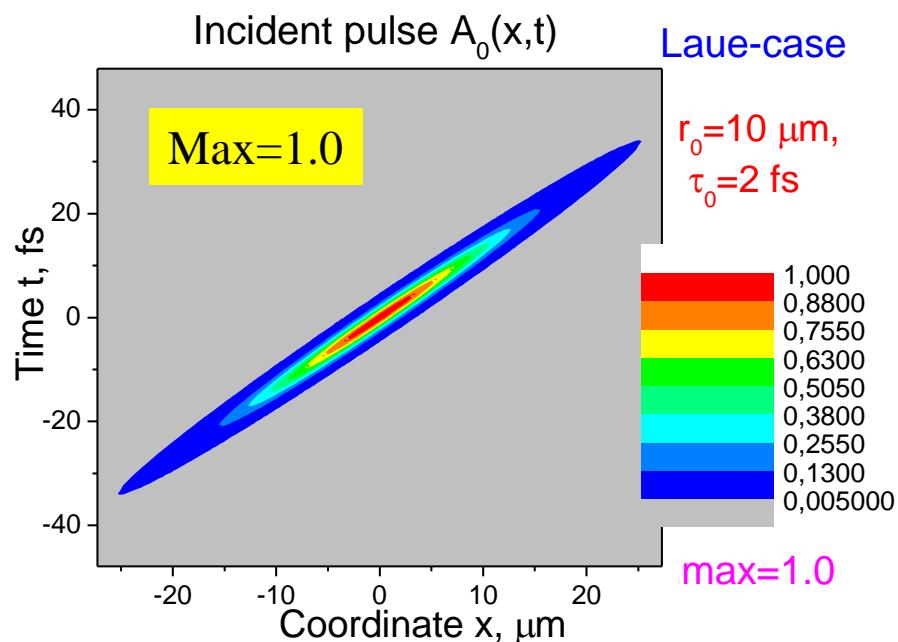
2nd: 20 fs (79 times)



Time coherence functions of an incident pulse $\gamma(\tau)$ (1) and the diffracted pulse $\gamma_R(t_{max}, \tau)$ after the 1st (2) and the 2nd (3) Laue-crystals.

Pulse with narrow peak: 2 μm, 50fs+5fs





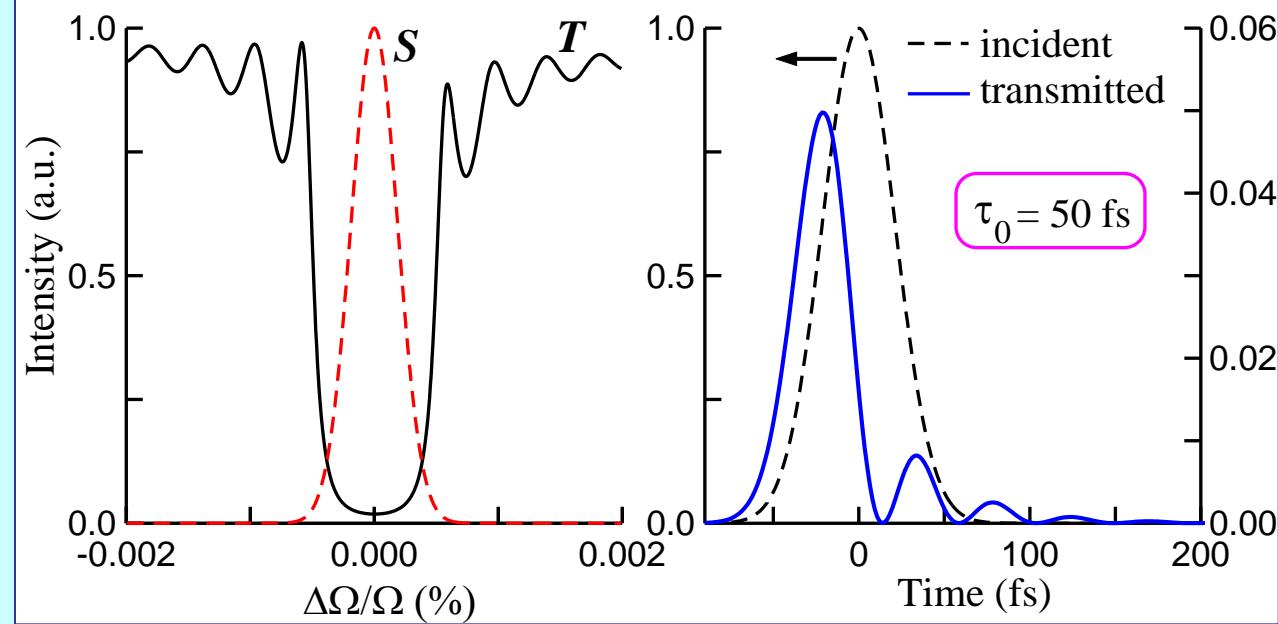
4. Режим self-seeding (самопосев)

Цель – повысить степень временной когерентности импульсов XFEL, увеличить их интенсивность

Как – сделать когерентную затравку для дальнейшего усиления в ондуляторе

Coherent pulse, C(400), L=20 μm , $\lambda=0.15\text{nm}$

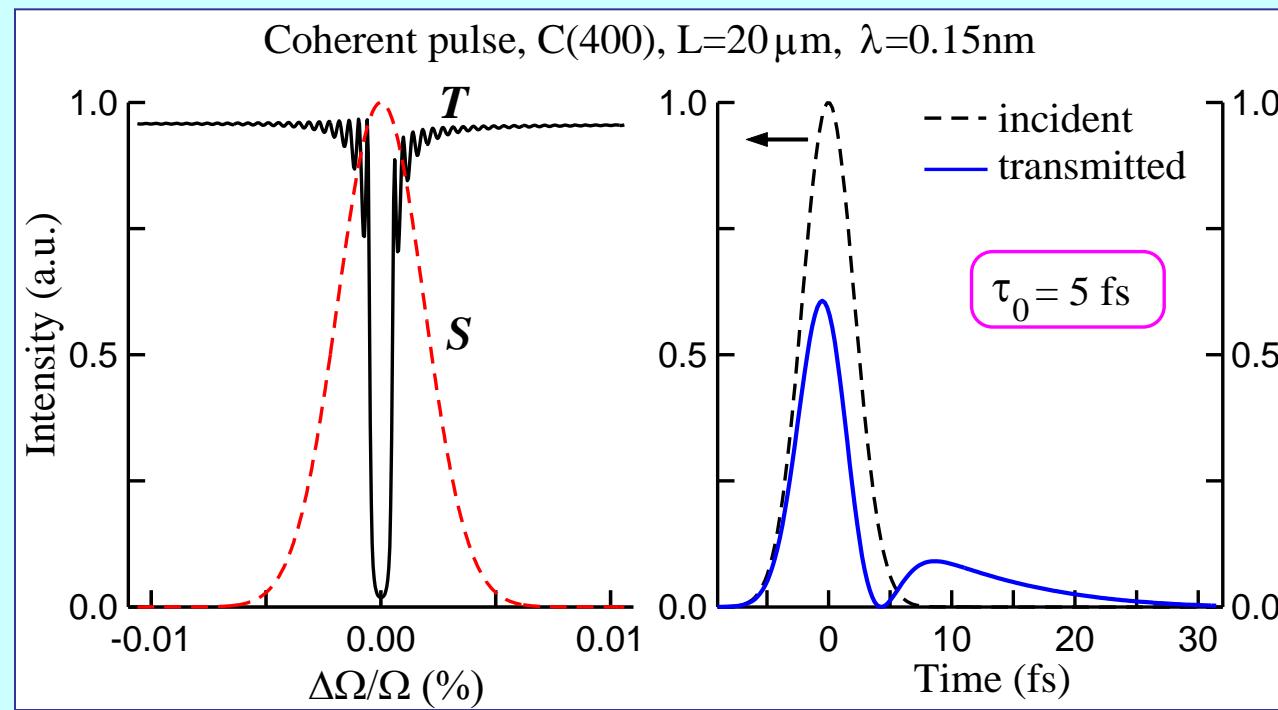
Bragg case

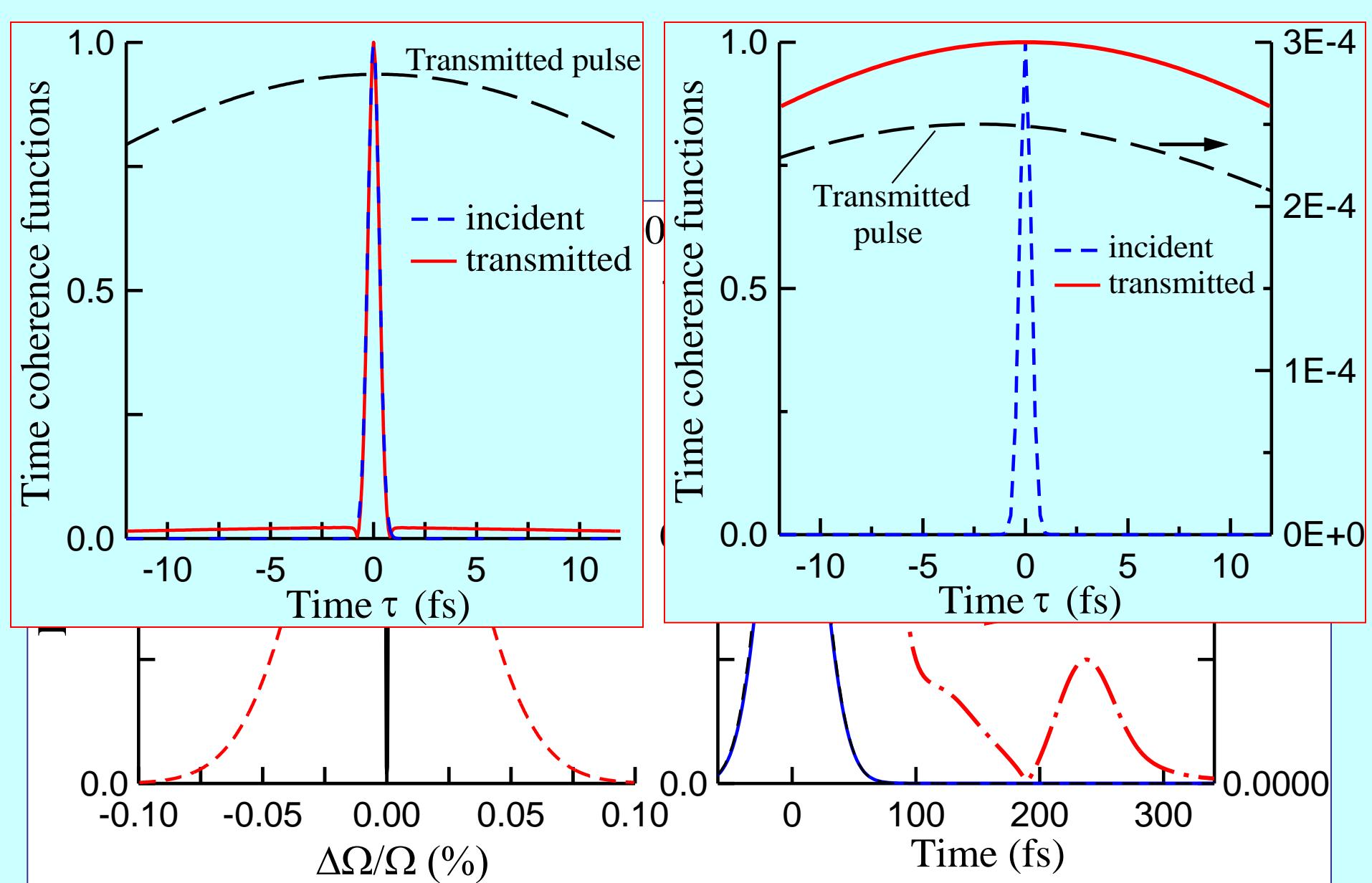


Pulse transmission
in Bragg geometry

T-pulse

Coherent pulse, C(400), L=20 μm , $\lambda=0.15\text{nm}$

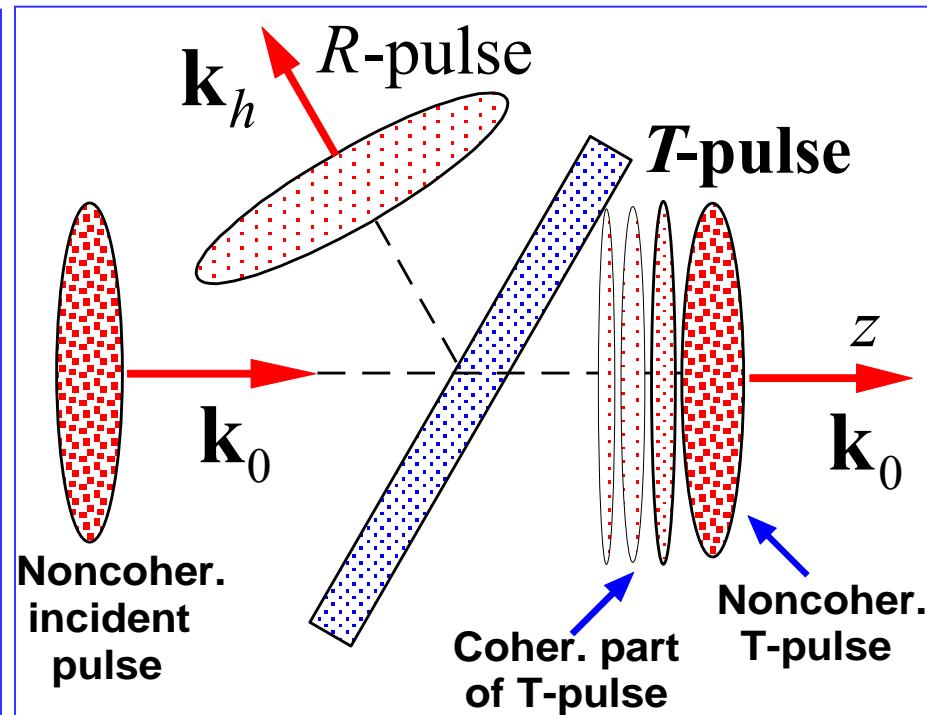
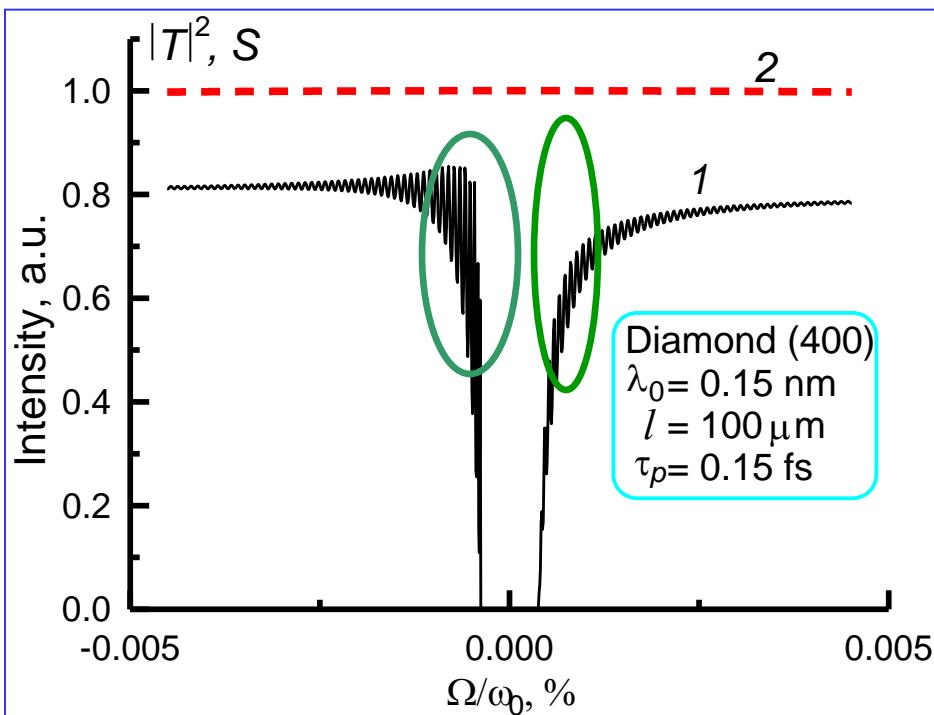




Bandwidth down to 10^{-5}

T-pulse

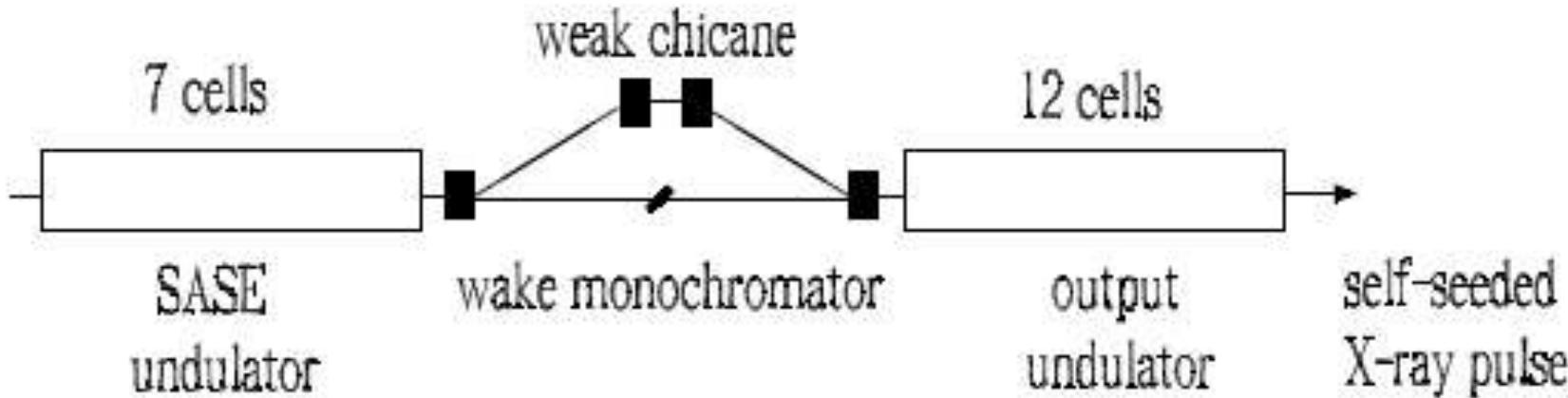
Прохождение в геометрии Брэгга



Spectral transmission curve $|T(\Omega)|^2$ (1) and a spectrum of the incident pulse $S(\Omega)$ (2). Parameters: $\lambda_0 = 0.15 \text{ nm}$, $\tau_p = 0.15 \text{ fs}$; diamond, reflection (400), crystal thickness $l = 100 \mu\text{m}$.

Cascade self-seeding scheme with wake monochromator for narrow-bandwidth X-ray FELs

Gianluca Geloni, Vitali Kocharyan, Evgeni Saldin (2010)



Bandwidth down to 10^{-5}

G. Geloni, V. Kocharyan, E. Saldin, A simple method for controlling the line width of SASE X-ray FELs, DESY 10-053 (2010).

R. R. Lindberg, and Yu. V. Shvyd'ko, Time dependence of Bragg forward scattering and self-seeding of hard x-ray free-electron lasers // ArXiv: 1202.1472v3 (9 Mar 2012) (Advanced Photon Source, Argonne National Laboratory, Argonne, IL 60439, USA).



PUBLISHED ONLINE: 12 AUGUST 2012 | DOI: 10.1038/NPHOTON.2012.180

ARTICLES

Demonstration of self-seeding in a hard-X-ray free-electron laser

J. Amann¹, W. Berg², V. Blank³, F.-J. Decker¹, Y. Ding¹, P. Emma^{4*}, Y. Feng¹, J. Frisch¹, D. Fritz¹, J. Hastings¹, Z. Huang¹, J. Krzywinski¹, R. Lindberg², H. Loos¹, A. Lutman¹, H.-D. Nuhn¹, D. Ratner¹, J. Rzepiela¹, D. Shu², Yu. Shvyd'ko², S. Spampinati¹, S. Stoupin², S. Terentyev³, E. Trakhtenberg², D. Walz¹, J. Welch¹, J. Wu¹, A. Zholtens² and D. Zhu¹

1. SLAC National Accelerator Laboratory, Stanford, California 94309, USA,

2. Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois 60439, USA,

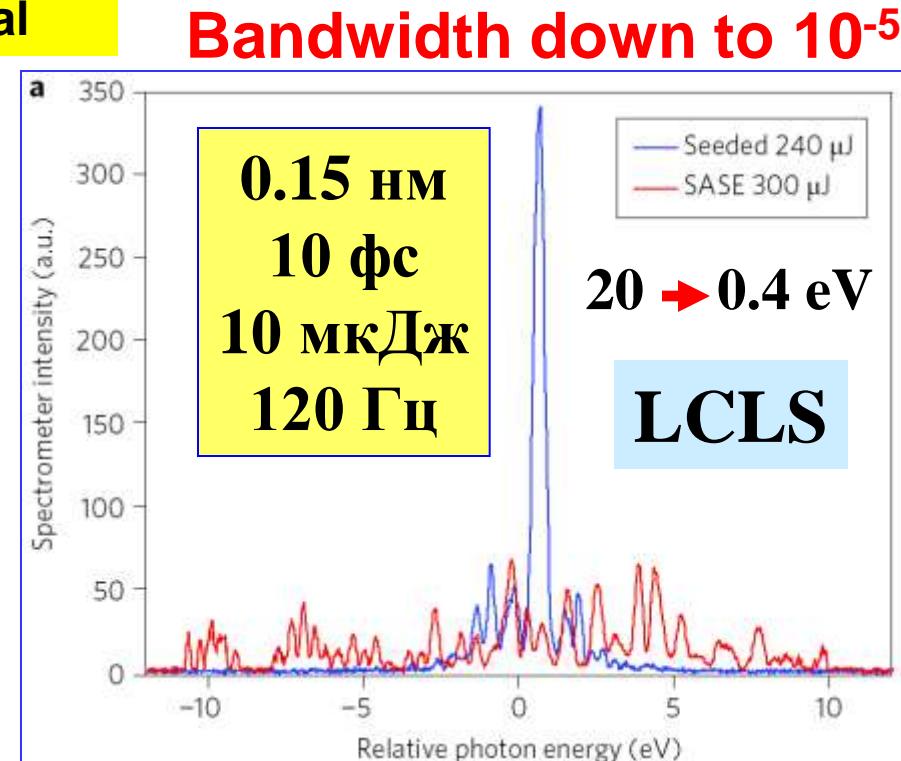
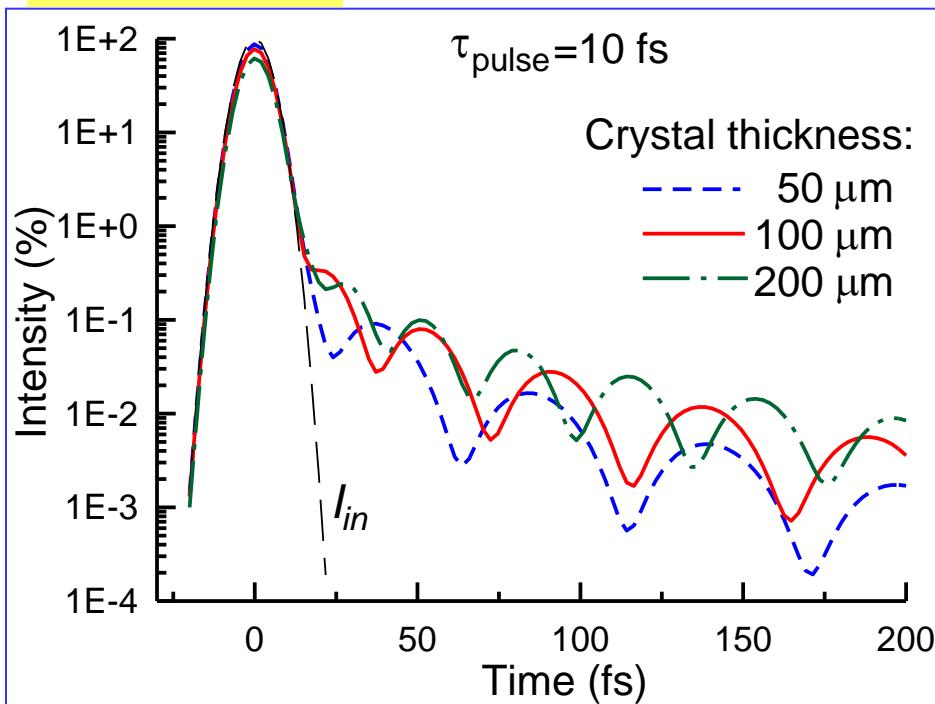
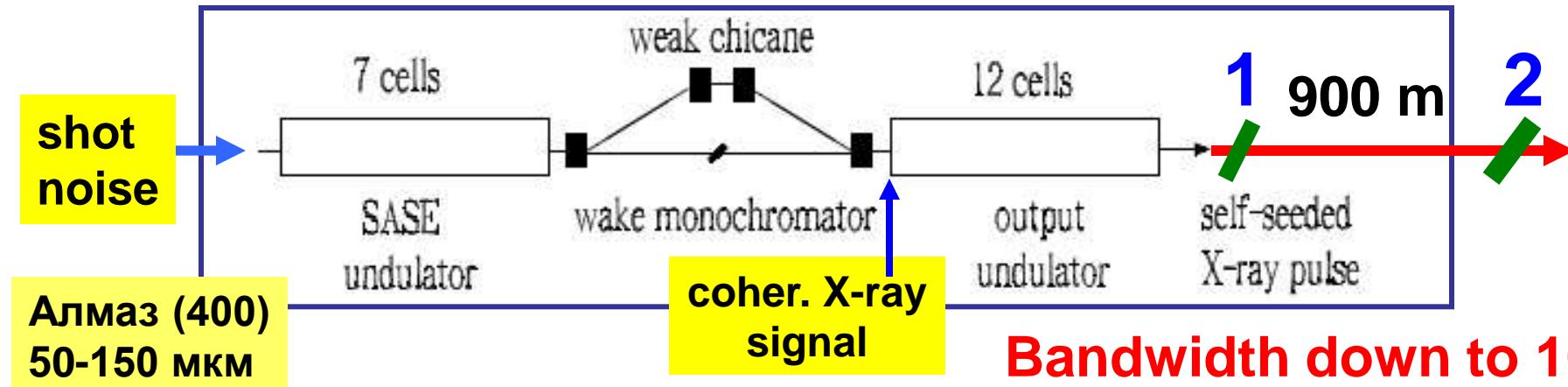
3. Technical Institute for Superhard and Novel Carbon Materials, Troitsk, Russia 141190,

4. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California 94720, USA.

Self-seeding scheme with wake monochromator for narrow-bandwidth X-ray FELs

66/86

[1] G. Geloni, V. Kocharyan, E. Saldin, DESY 10-053 (2010)



Влияние теплового разогрева кристалла на дифракцию импульсов РЛСЭ

...Для сравнения:

1. Утюг - **5 Вт/см²** ;



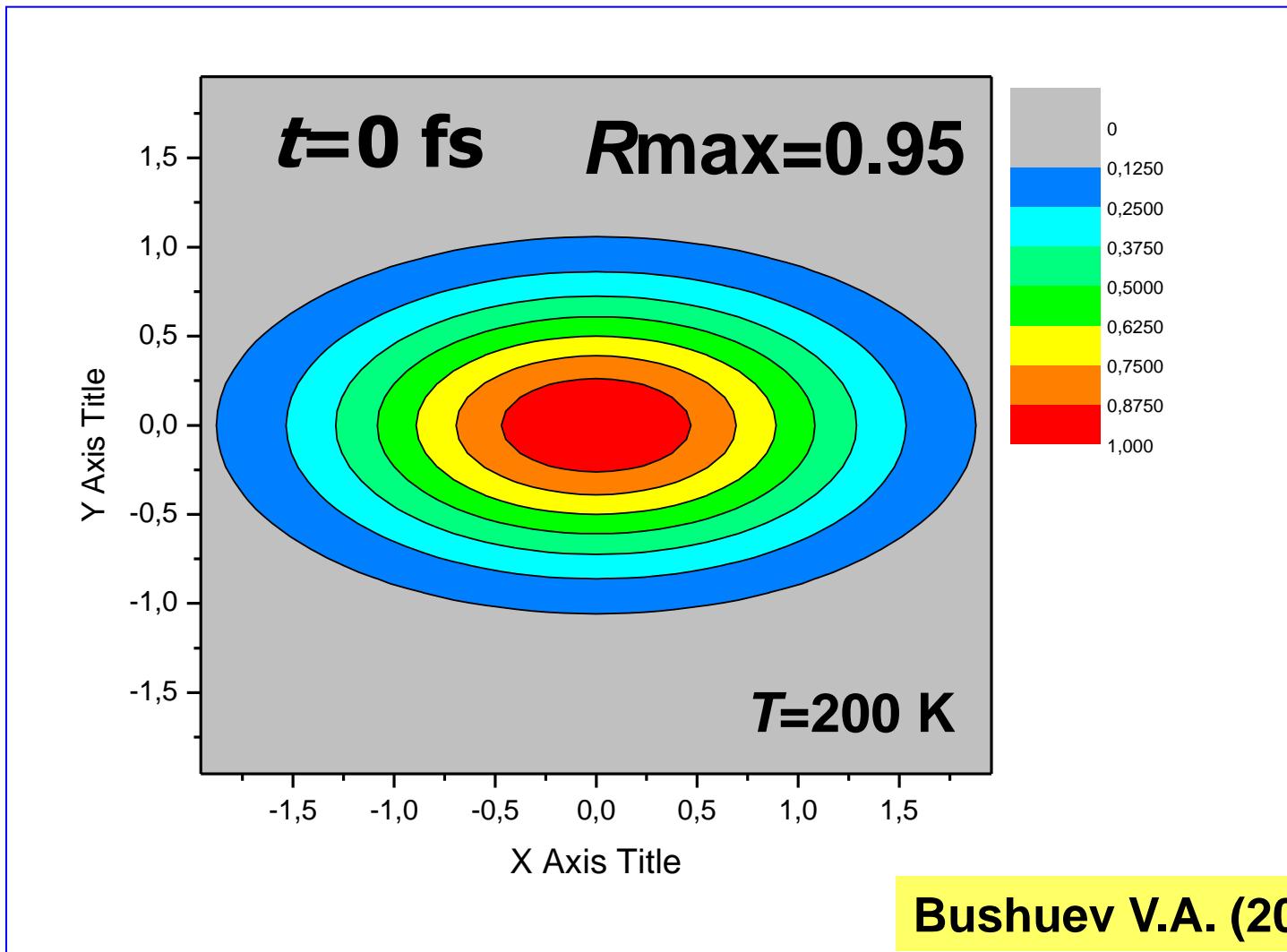
2. ТВЭЛы на АЭС - **200 Вт/см²** ;



3. XFEL - **3-10 кВт/см²**

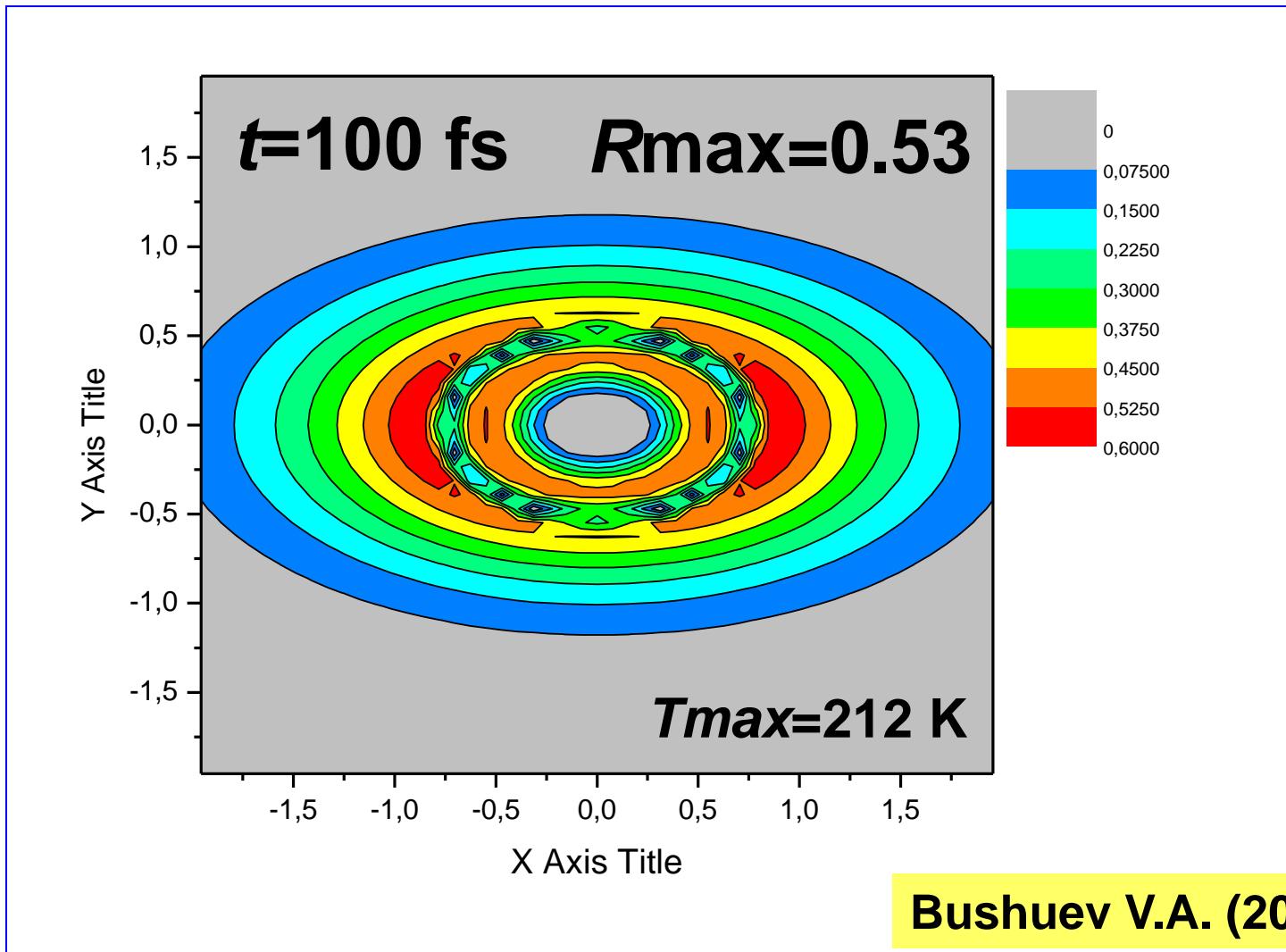


Карта распределения интенсивности R -импульсов $I_R(x, y, t, \Omega = 0)$ в различные моменты времени t



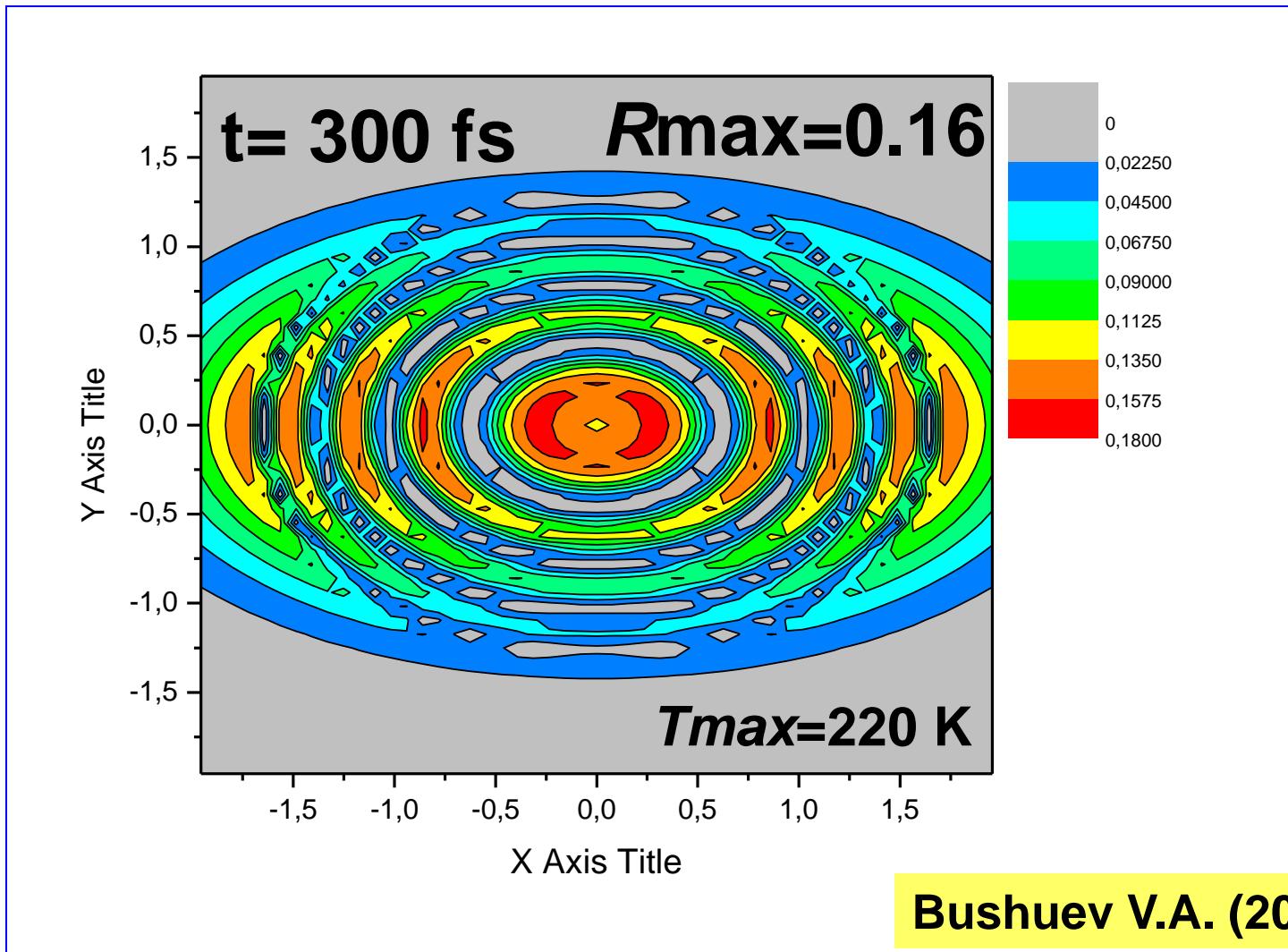
$N = 10^{11}$ фотон/имп, $T = 200$ К, алмаз типа IIa 69/86

Карта распределения интенсивности R -импульсов $I_R(x, y, t, \Omega = 0)$ в различные моменты времени t



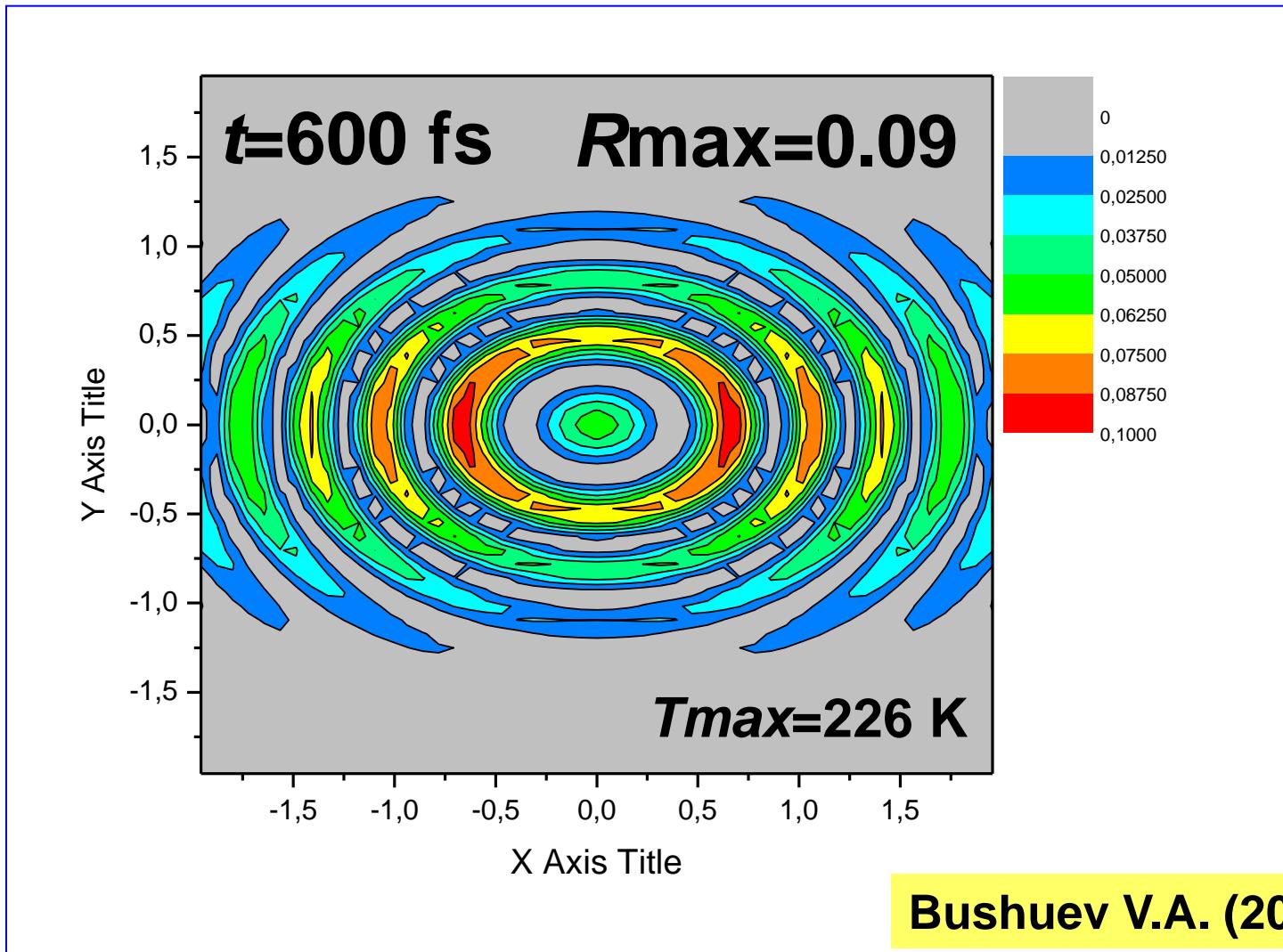
$N = 10^{11}$ фотон/имп, $T = 200$ К, алмаз типа IIa 70/86

Карта распределения интенсивности R -импульсов $I_R(x, y, t, \Omega = 0)$ в различные моменты времени t



$N = 10^{11}$ фотон/имп, $T = 200$ К, алмаз типа IIa

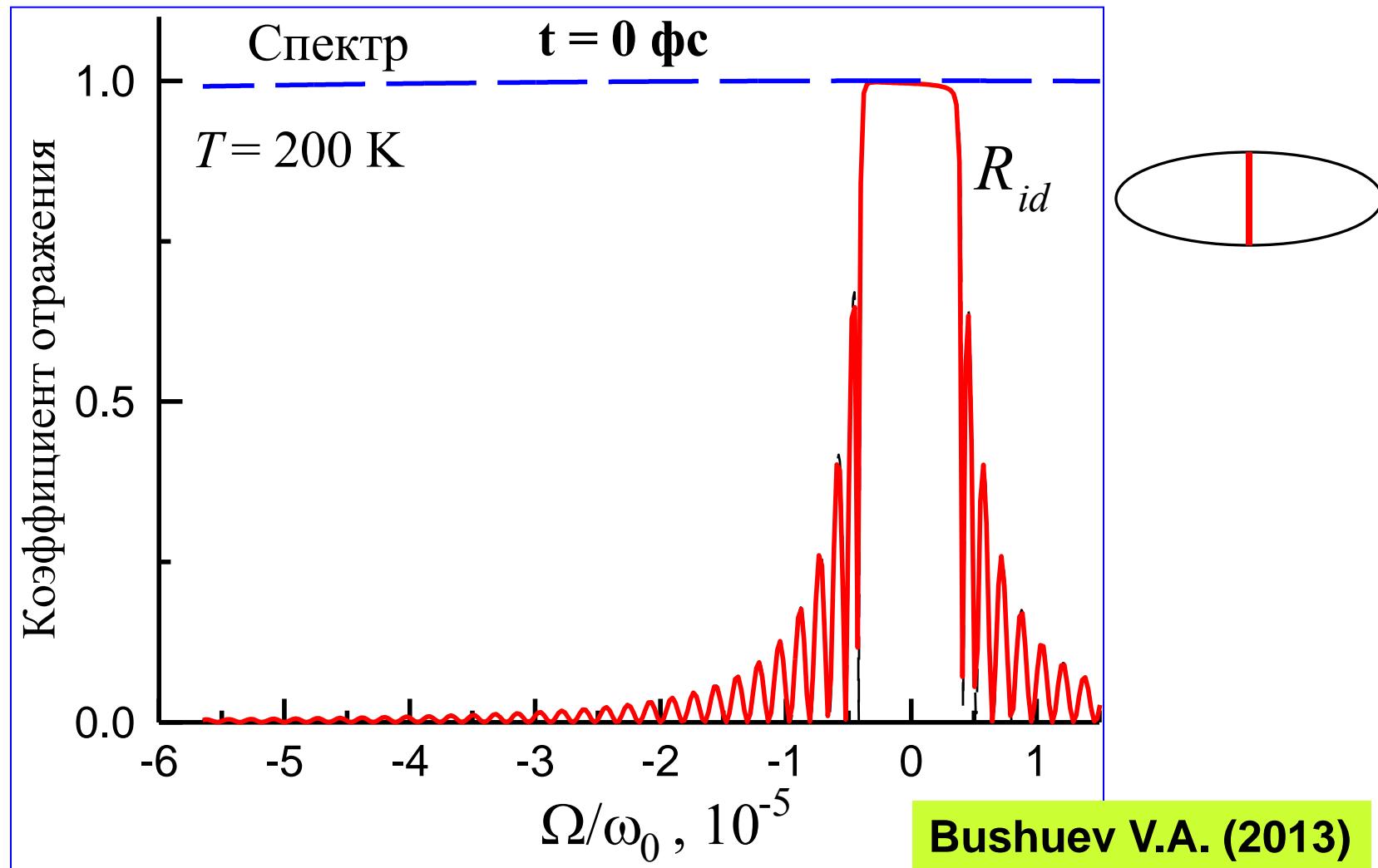
Карта распределения интенсивности R -импульсов $I_R(x, y, t, \Omega = 0)$ в различные моменты времени t



Bushuev V.A. (2013)

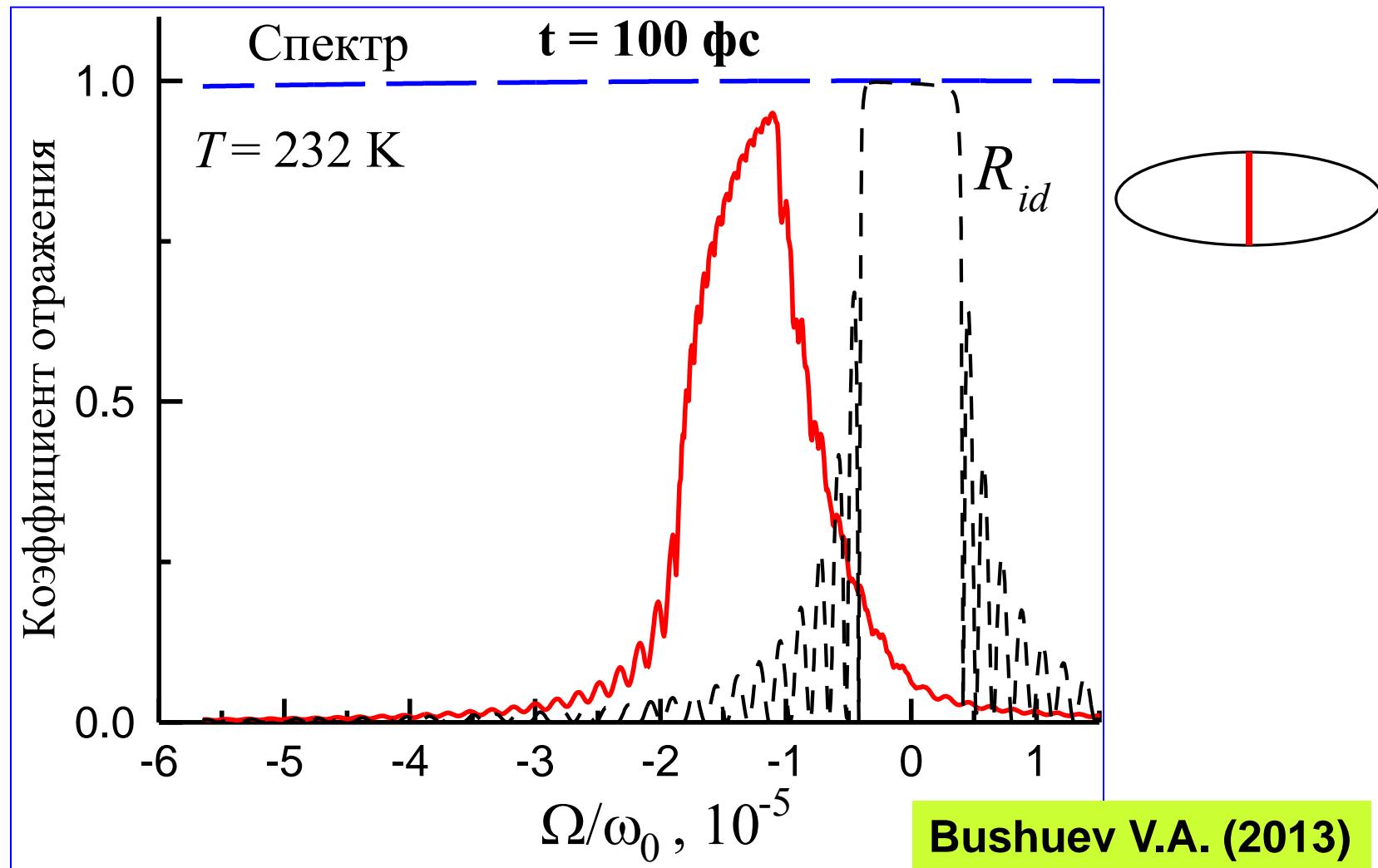
$N = 10^{11}$ фотон/имп, $T = 200$ К, алмаз типа IIa 72/86

Спектральный коэффициент отражения в различные моменты времени



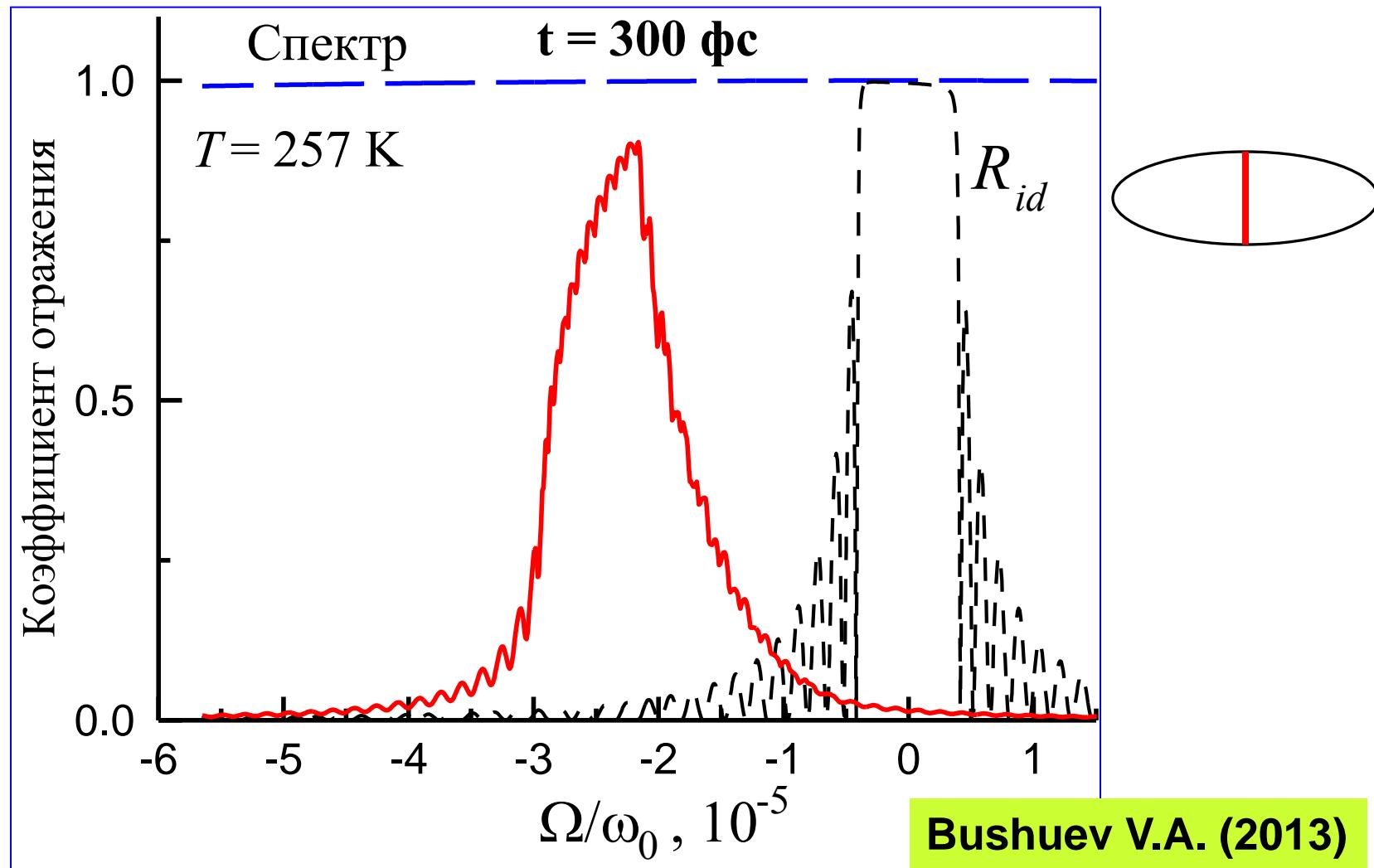
$$N = 2.8 \cdot 10^{11}, T_0 = 200 \text{ K}, \Delta T_c = 8.4 \text{ K.}$$

Спектральный коэффициент отражения в различные моменты времени



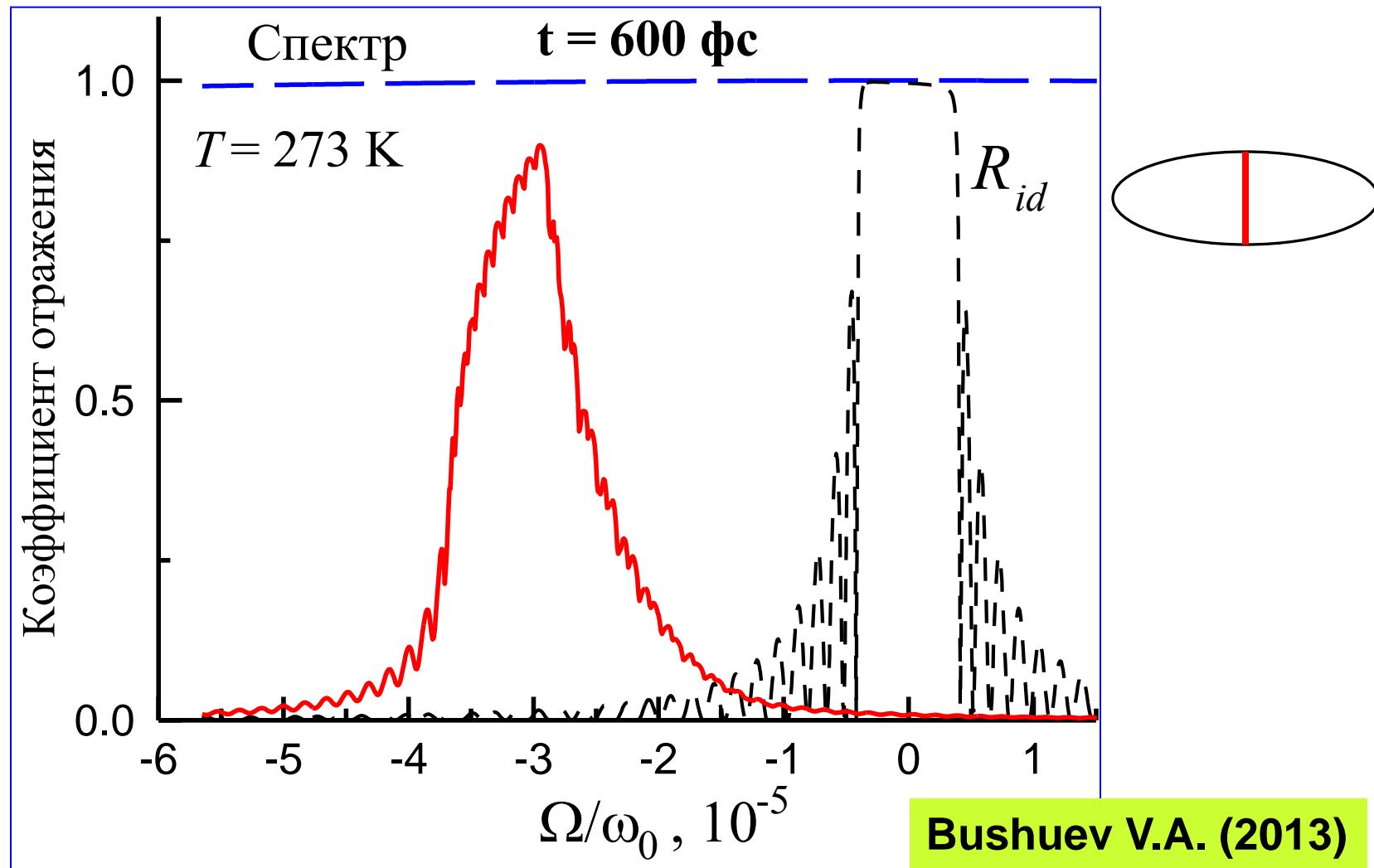
$$N = 2.8 \cdot 10^{11}, T_0 = 200 \text{ K}, \Delta T_c = 8.4 \text{ K.}$$

Спектральный коэффициент отражения в различные моменты времени



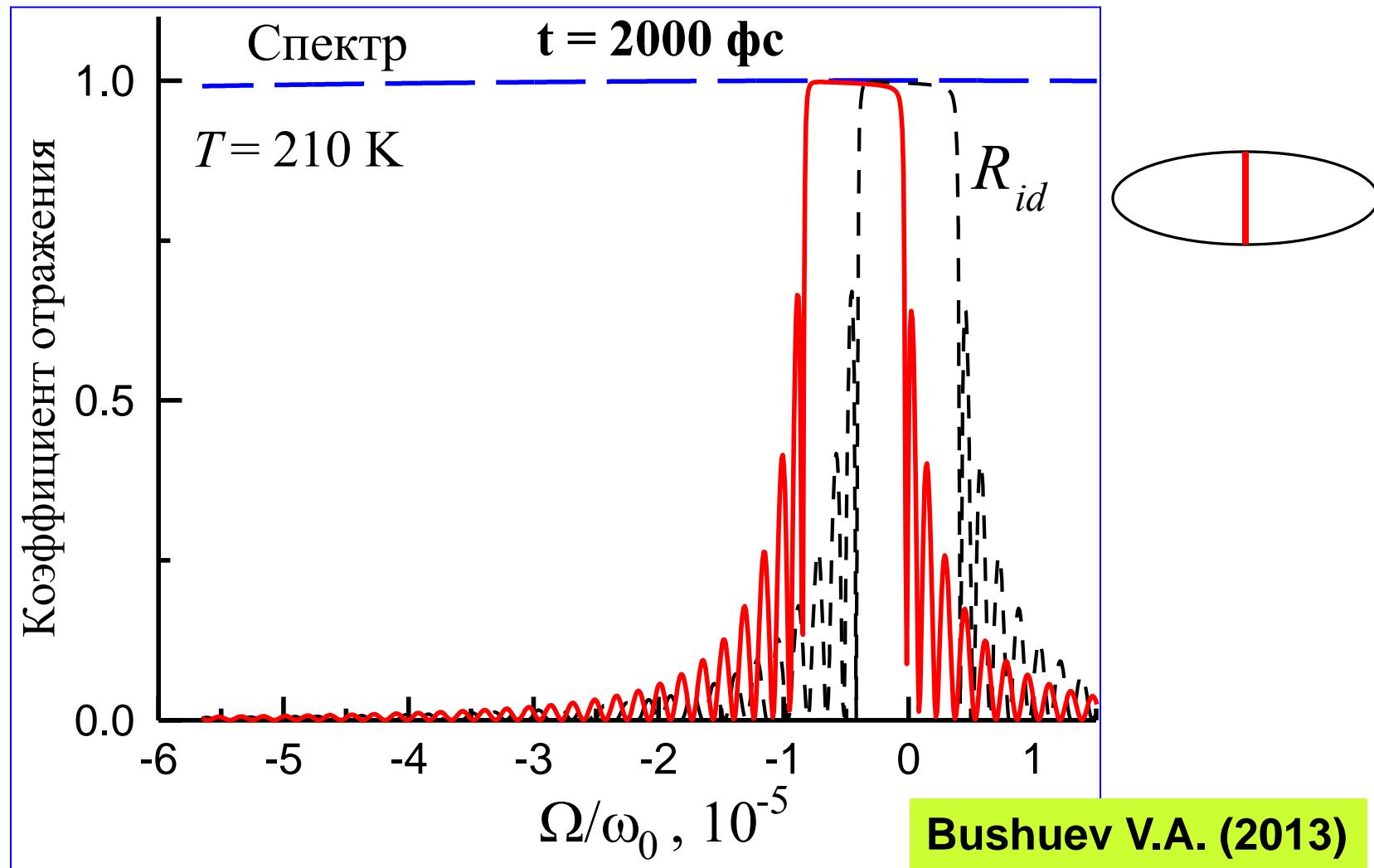
$$N = 2.8 \cdot 10^{11}, T_0 = 200 \text{ K}, \Delta T_c = 8.4 \text{ K.}$$

Спектральный коэффициент отражения в различные моменты времени



$$N = 2.8 \cdot 10^{11}, T_0 = 200 \text{ K}, \Delta T_c = 8.4 \text{ K.}$$

Спектральный коэффициент отражения в различные моменты времени



$$N = 2.8 \cdot 10^{11}, T_0 = 200 \text{ K}, \Delta T_c = 8.4 \text{ K.}$$

Специальная благодарность

В.Е. Дмитриенко

**за существенный вклад
в название моего доклада**

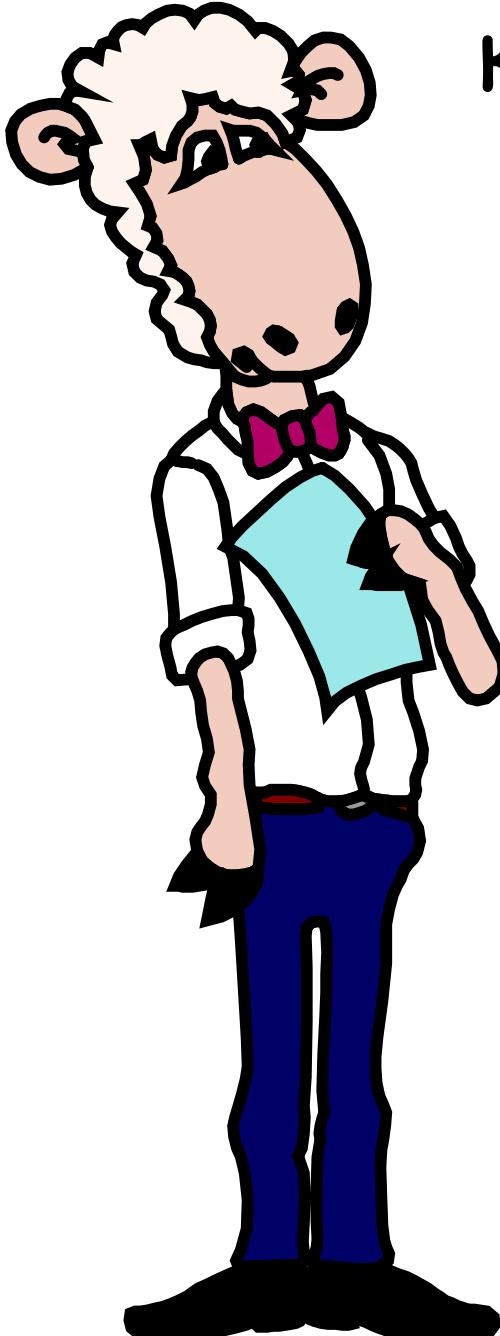
“... и другие интересные явления”

Но это еще не все....



В. Бушуев

**Несколько слов и картинок
в качестве пожеланий
студентам, аспирантам
и молодым ученым**



Как Вы думаете – кто это такой ??

**Это типичный
молодой ученый**

Примечание:

Слегка глуповатый вид и некая лопоухость – это явление **временное**
(по моим оценкам от 3-х до 6-ти лет без права не читать и не писать)

Dear young scientists !!

В настоящий момент Вы весьма малограмотны, слабо информированы и не совсем хорошо знаете физику.....

Now you are not an absolutely competent physicists. Now you do not know a great volume of information and knowledge.

**But it is your advantage and strength.
In this connection I shall tell to you one story.**

**It is an old good anecdote or joke.
But it is quite possible, that it was actually in a life.....**

I very wish to hope !!

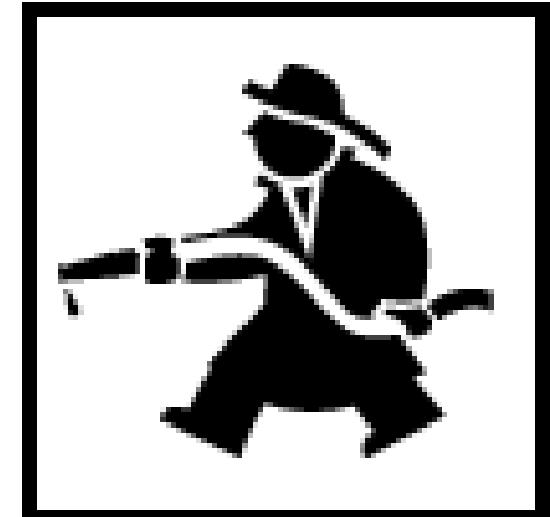


Hospital

Imagine, that the hospital burns.
A fire (пожар в больнице).

There come fire brigade.
They run with the water
and fire extinguishers.

At last they have
extinguished a fire.
Hurray !!! Урппа !!





The commander of firemen reports to the head medical doctor: “We have arrived in 10 minutes, in 20 minutes the fire was killed.



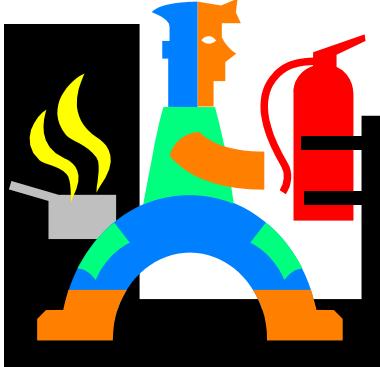
Unfortunately there are losses. Three patients were lost. They have died.

But five patients we have saved and returned to the life. Now they are alive and healthy !”



The head medical doctor slowly falls down on the ground. It is a faint.

After 5 minutes he comes to the senses,
rises and asks the main fireman:
“Do you know, what you extinguished ??”



The fireman answers:
“I do not know”.



The doctor – “You extinguished
a morgue, near a crematorium.....”

It is very good, when not quite competent people could make such acts, which could not make the professional doctors.

I very much hope, that you, as a young scientists, will make a such great discovery and inventions, which could not make more oldest and experienced physicists!!

**Вот такой
оптимистический
The End !!!**

**Желаю всяческих успехов
в науке и в жизни !!**

Thank for your attention

