



Софийски университет “Св. Климент Охридски”
Физически факултет, катедра Квантова електроника

СИНГУЛЯРНА ОПТИКА? ТОВА Е НЕЩО ПРОСТО!

1. Няколко известни примера.
2. Ранната история на вълновите сингулярности.
3. Тъмни и светли оптични снопове /същност и методи за генериране/:
 - 3.1. Едномерни тъмни вълни;
 - 3.2. Оптични вихри;
 - 3.3. Пръстеновидни тъмни вълни;
 - 3.4. Оптични вихрови диполи.
4. Линейна и нелинейна динамика:
 - 4.1. Напълно-оптични взаимодействия;
 - 4.2. Други идеи за приложения.
5. Перспективи за развитие на сингулярната оптика.

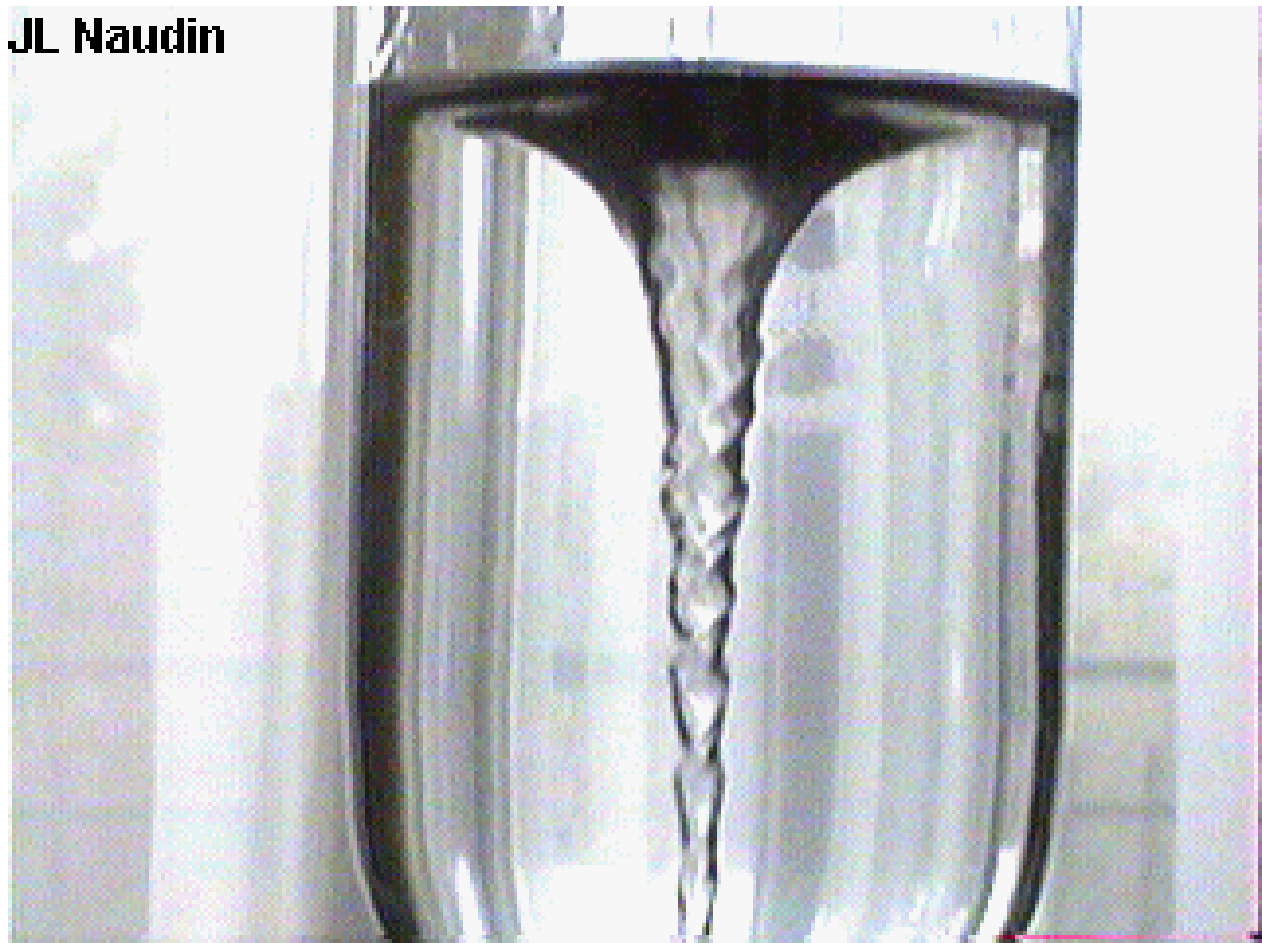
Няколко известни примера: водовъртеж



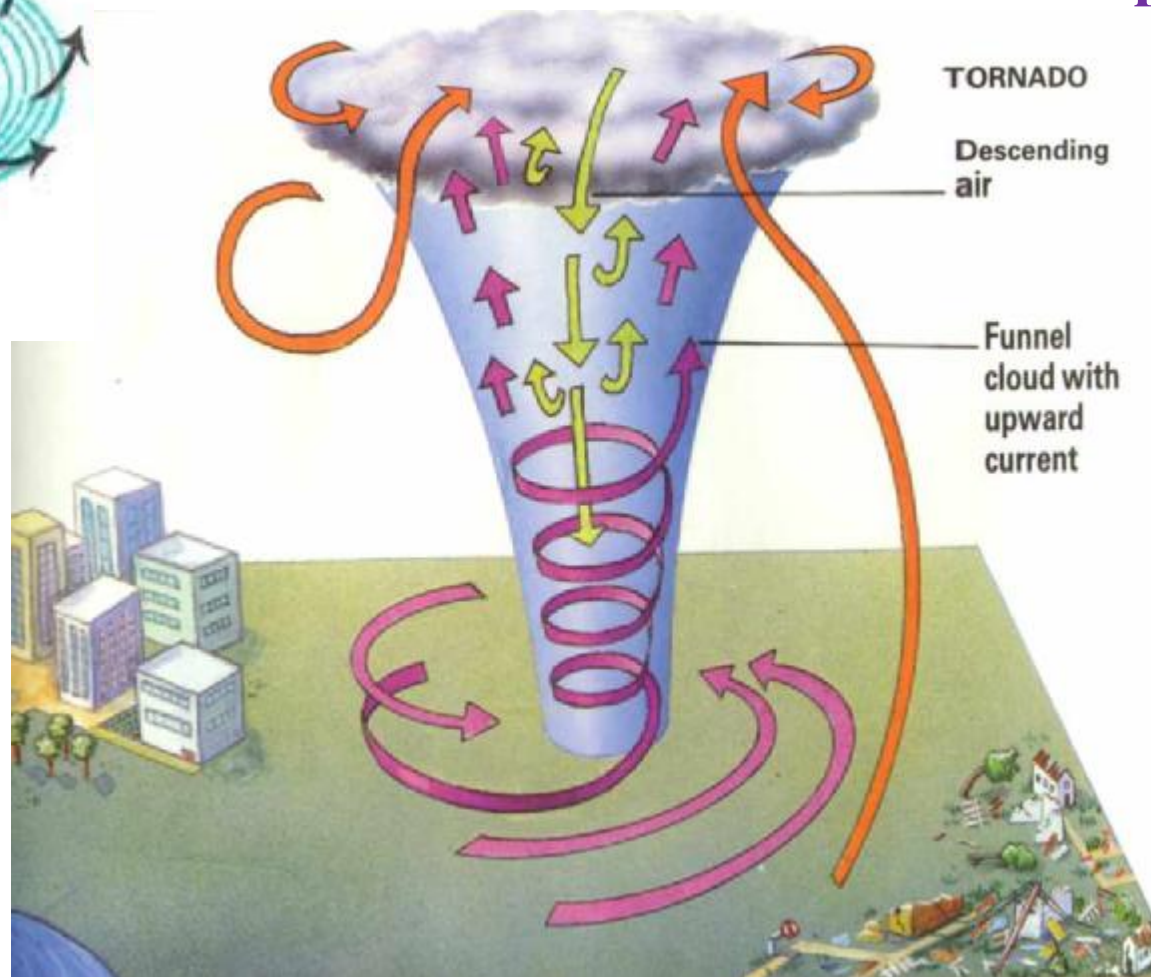
Няколко известни примера: вихър в бутилка



JL Naudin



Няколко известни примера: торнадо





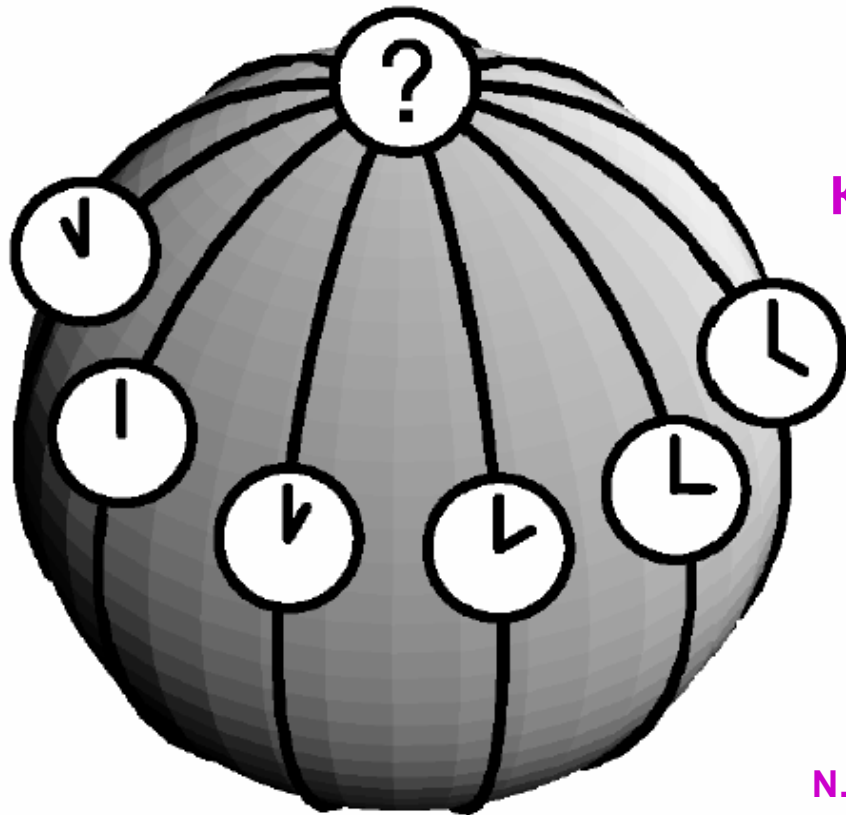
Няколко известни примера: торнадо



Няколко известни примера: ураган



Няколко известни примера: часовите зони



Колко е часът на Северния полюс?

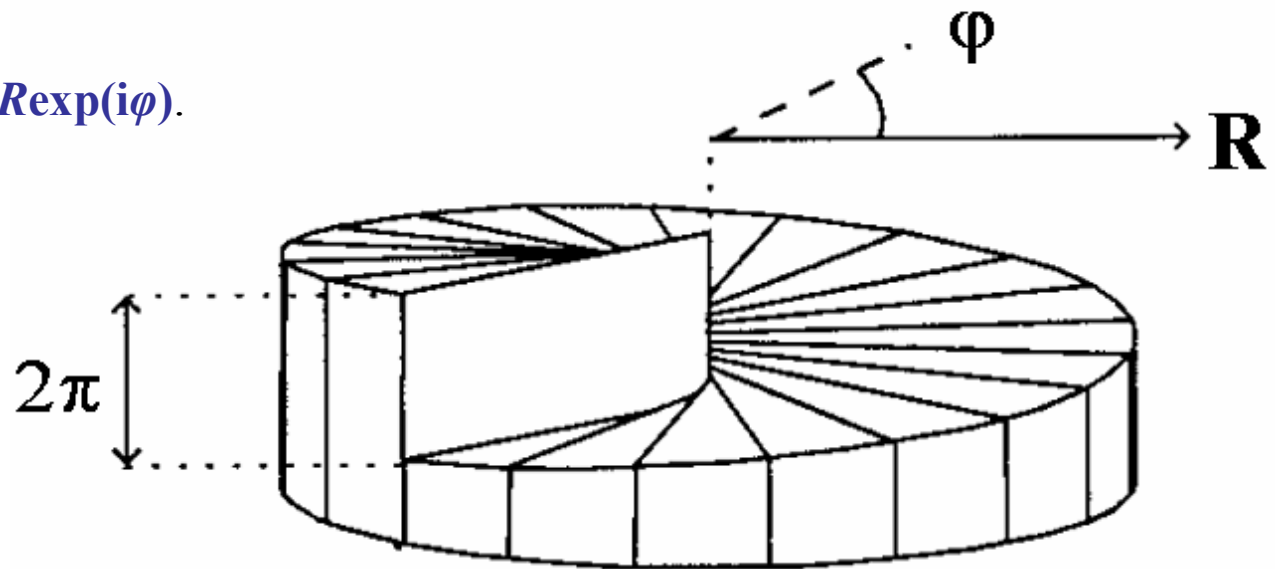
*(Точкова сингулярност
на времето?)*

N.B. На Южния полюс като стандартно време е прието това по Гринуич (GMT), а посоката на компаса се приема да е по Гринуичкия меридиан.

Фазови сингулярности има навсякъде, където ъглова координата зависи по непрекъснат начин от два или три пространствени параметъра.

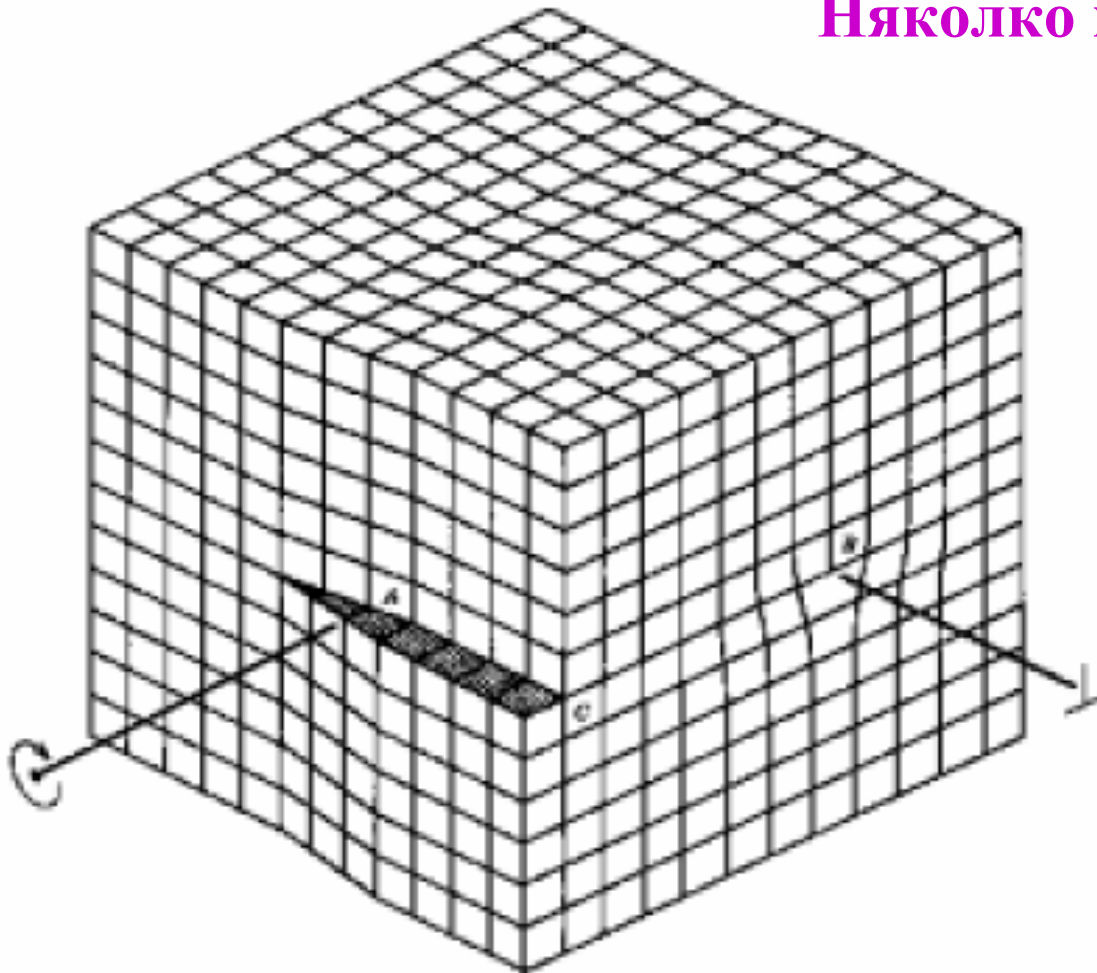
Пример: Връзката между Картезианското пространство и комплексната равнина

$$\psi(x, y) = x + iy = R \exp(i\varphi).$$



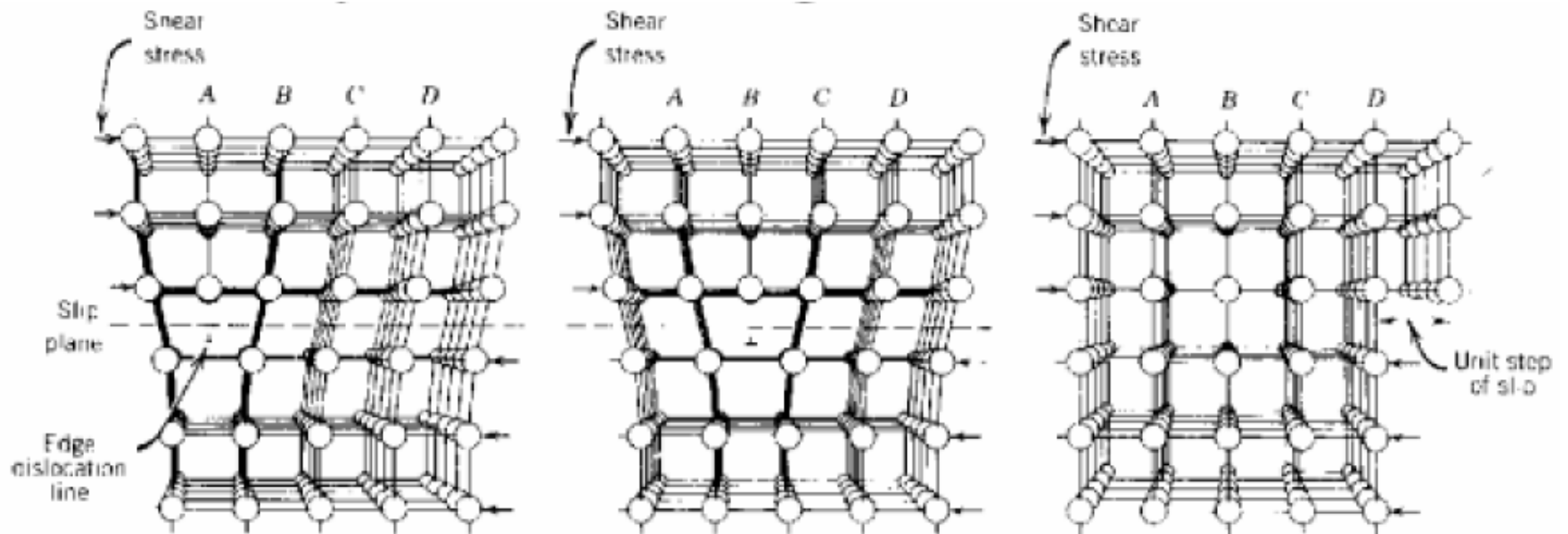
Интерпретация в оптиката: Фазата се съпоставя на полярния ъгъл φ , който е дефиниран навсякъде, освен в центъра на координатната система.

**Няколко известни примера:
винтови и краеве
дислокации
във ФТТ**



**W. Callister, Jr.,
Materials Science and Engineering: An Introduction
J. Wiley & Sons (1985).**

Няколко известни примера: движение на краева дислокация

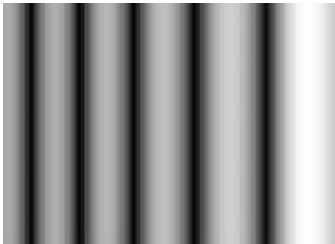


**W. Callister, Jr.,
Materials Science and Engineering: An Introduction
J. Wiley & Sons (1985).**

2. Ранната история на вълновите сингулярности

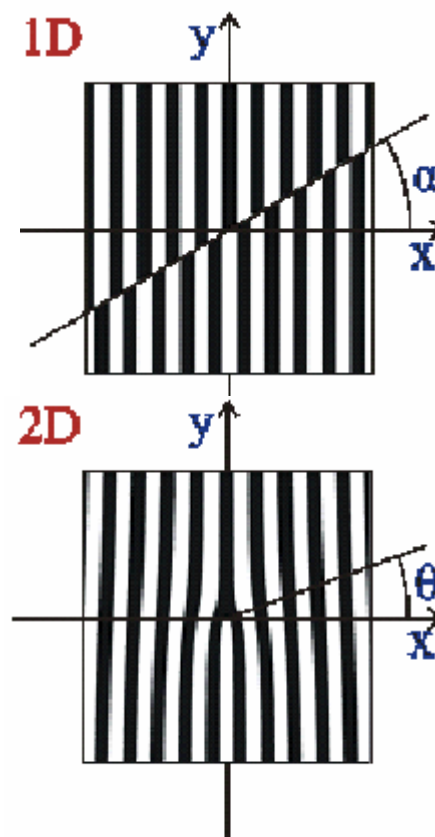
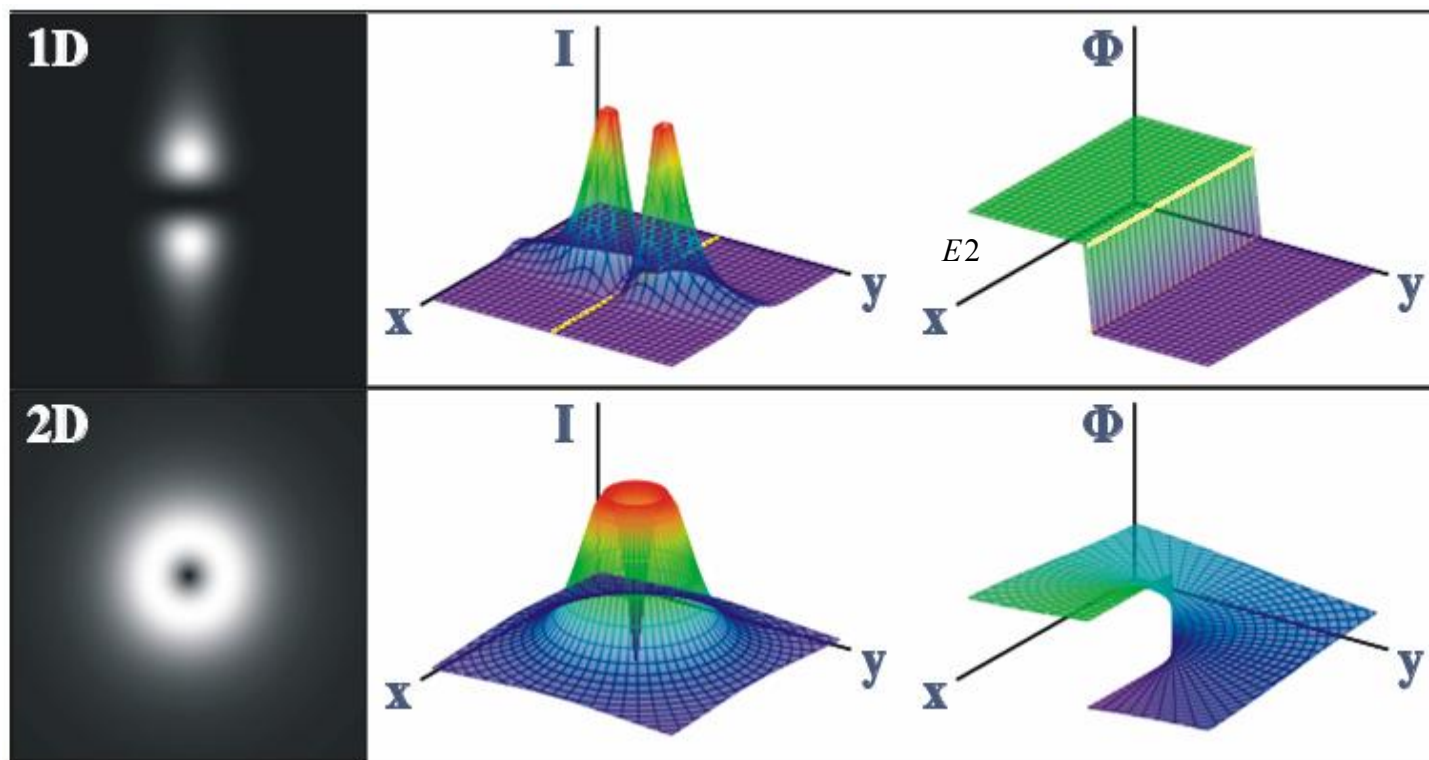
(M. Berry, "Making waves in physics," Nature, vol. 403, p. 21 (2000))

Сингулярностите са на местата, където математичните величини стават безкрайни или се променят рязко.

Година	Име	Проблем	
1832	William Rowan Hamilton	Конична рефракция: В произволен анизотропен материал има две направления (оптични оси), по които скоростите на вълните са едни и същи. Като функция на направлението, двете скорости се представят чрез повърхнина с два конуса. Извод: Светлинната вълна е напречна.	 Eur. J. Phys. 20 , pp. 1–14 (1999).
1833 1836	William Whewell	Приливни вълни в океаните: Извод: Трябва да съществува ротационна система от приливни вълни, Линиите на приливите на които се въртят около точка, в която няма приливи ('amphidromy'). <i>A. Defant, Physical Oceanography</i> , vol. 2. Oxford: Pergamon, 1961.	
1838	George Biddell Airy	Дъгата: Два века по-рано Декарт я разбира като насочено фокусиране на слънчеви лъчи от водни капки. Изводи: • Дъгата е частен случай на каустика – линия, където светлинните лъчи се фокусират. • Каустиките са сингулярности, в които лъчевата оптика предсказва безкрайна яркост на светлината. • Вълновата оптика 'смекчава' сингулярностите.	

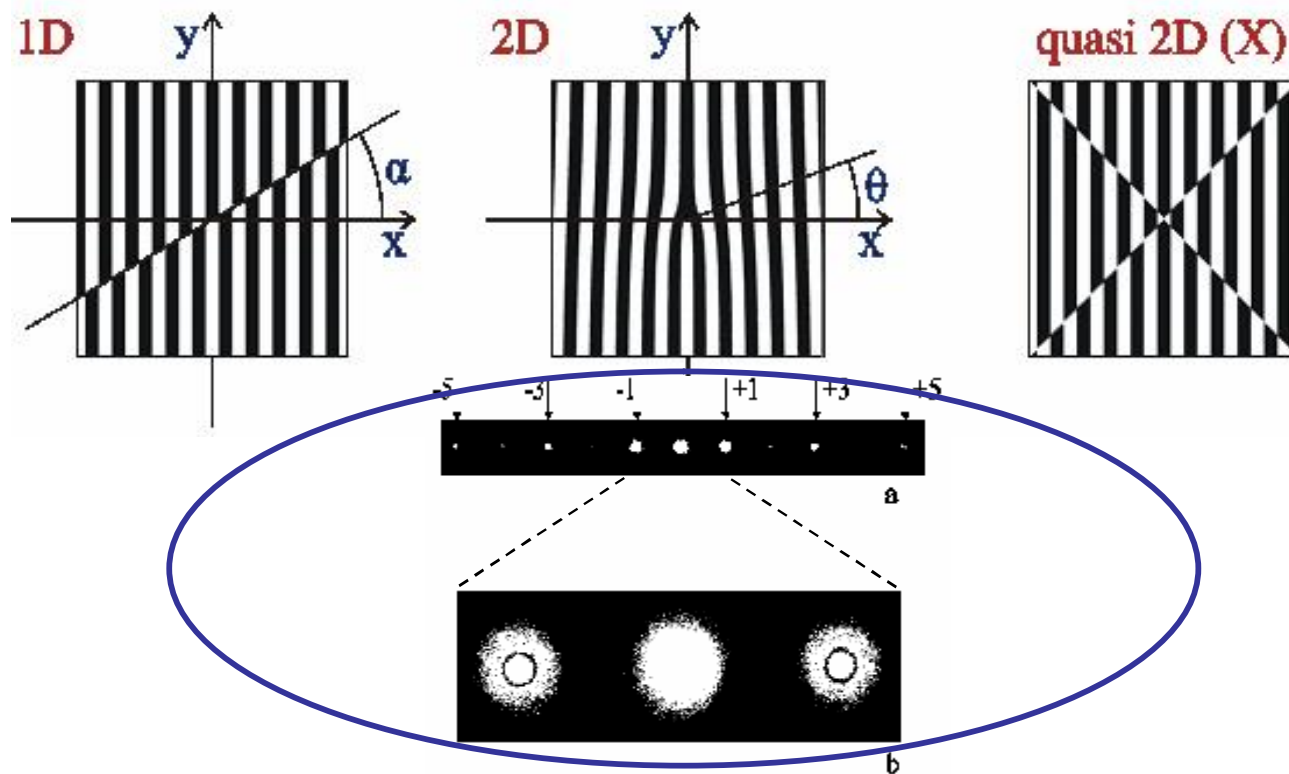
Компютърно-синтезирани холограми

$$E_{KIX}^2(x, y) = E_B^2(x, y) + E_D^2(x, y) + 2E_B(x, y)E_D(x, y)\cos(\Delta\Phi(x, y) + \alpha x)$$

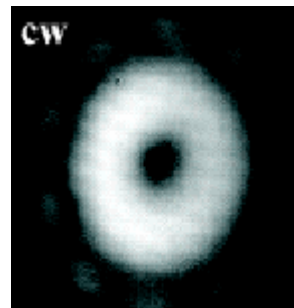
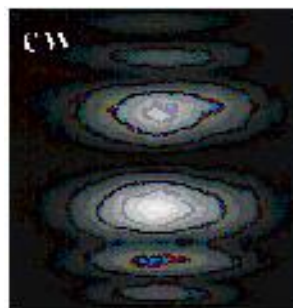


..... И ТЯХНОТО ВЪЗПРОИЗВЕЖДАНЕ

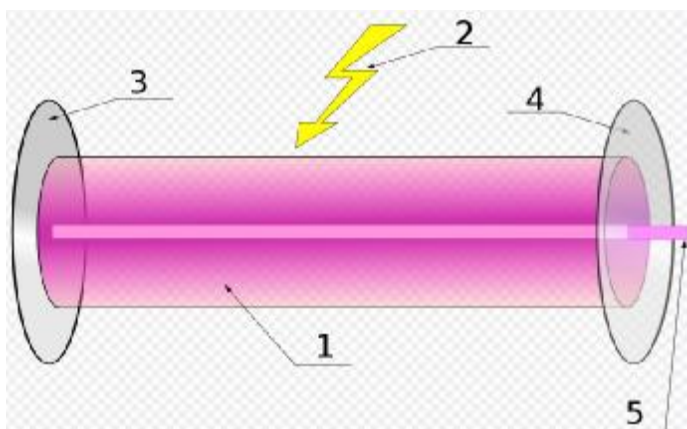
КТХ



Интензи-
тет

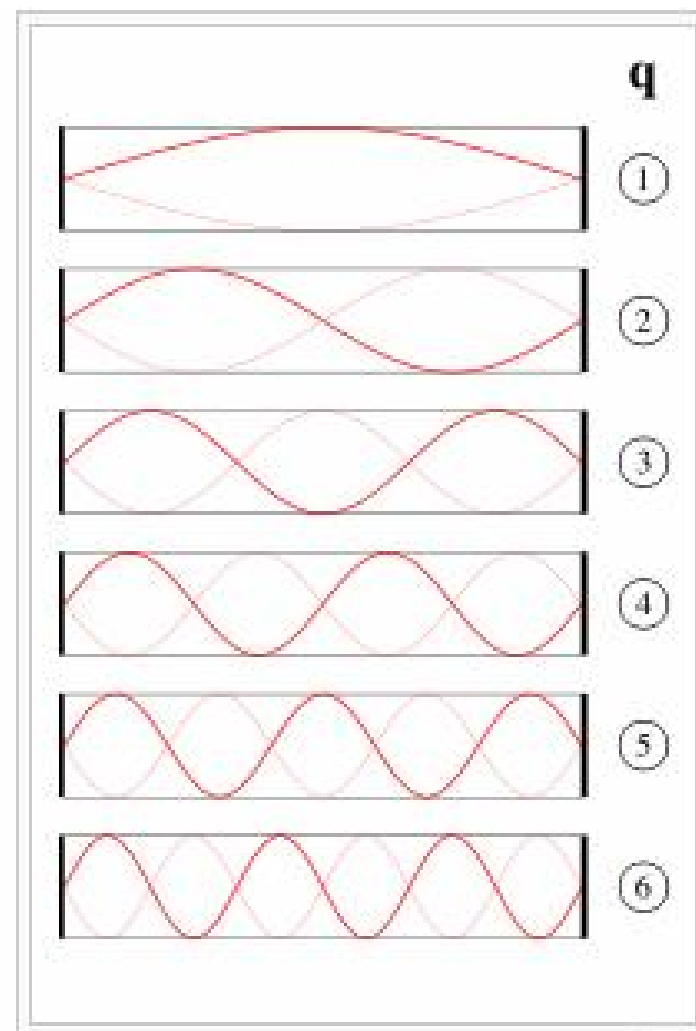


В оптичните резонатори се формират *надлъжни* модове.

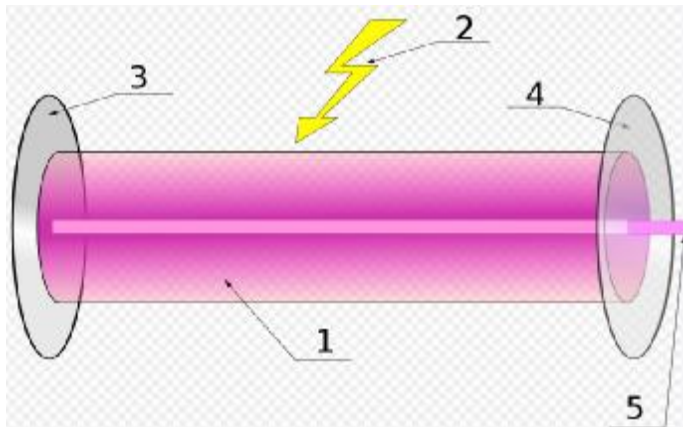


$$L = q \frac{\lambda}{2}$$

$$\Delta\nu = \frac{c}{2nL}$$

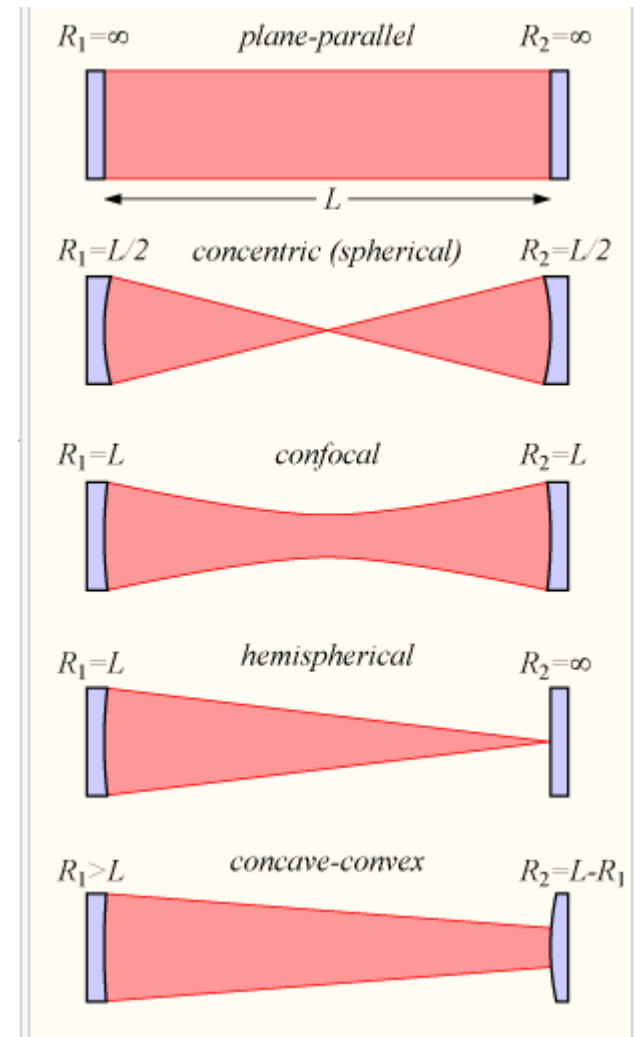


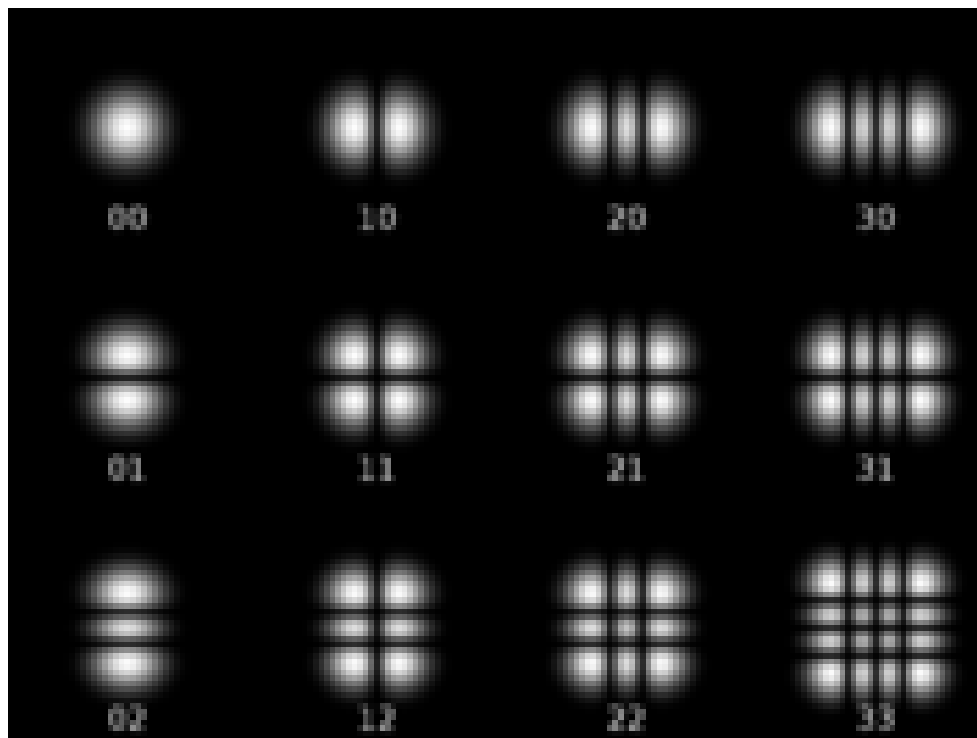
В оптичните резонатори се формират и *напречни* модове.



$$L = q \frac{\lambda}{2}$$

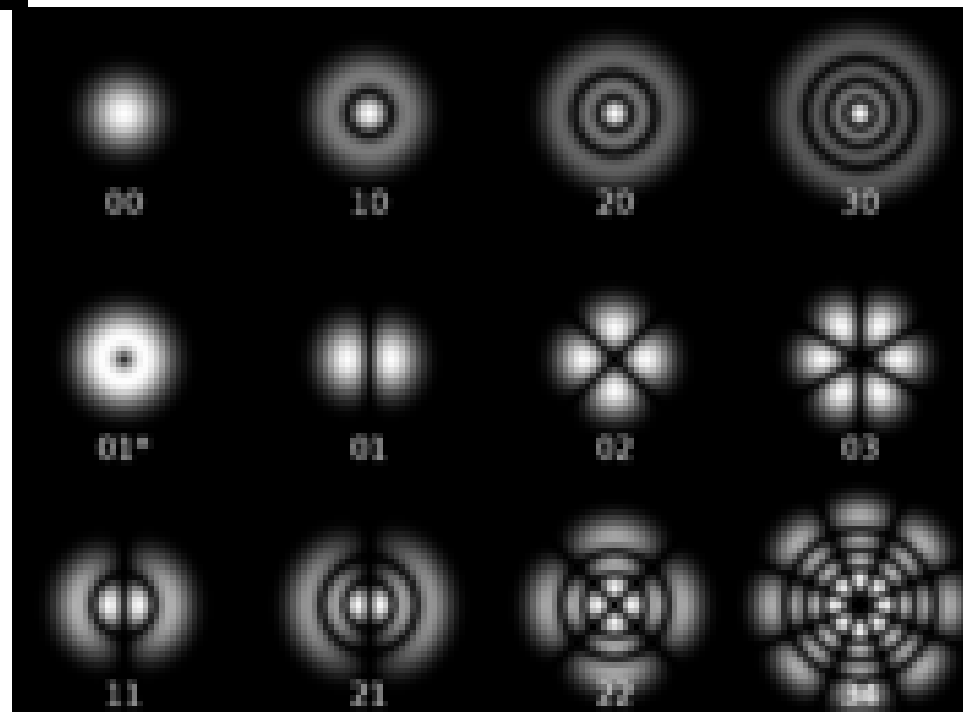
$$\Delta\nu = \frac{c}{2nL}$$





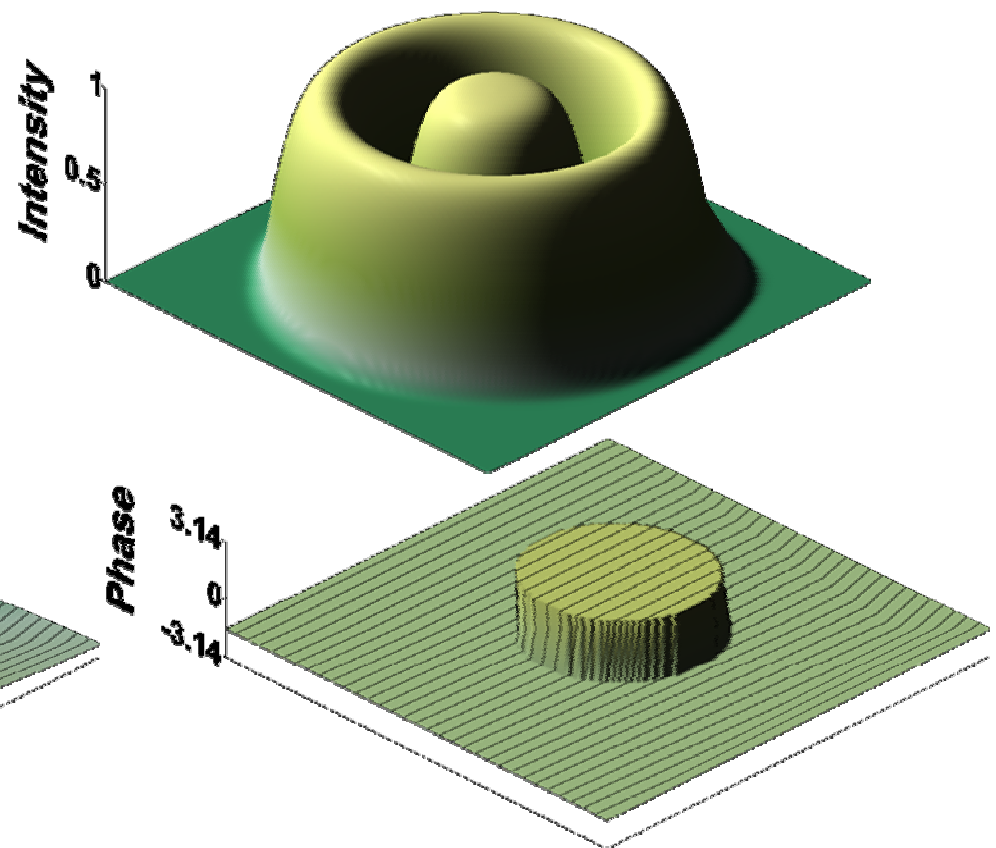
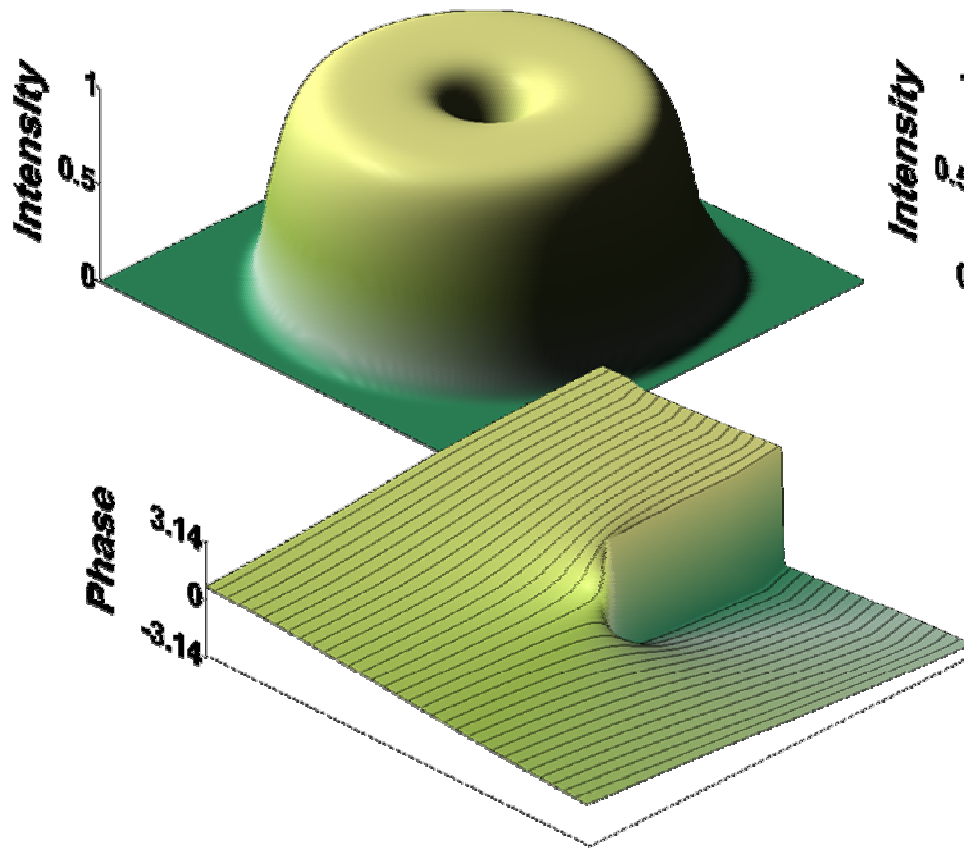
Напречни модове в
резонатори с правоъгълни
огледала

Напречни модове в
резонатори с цилиндрична
симетрия

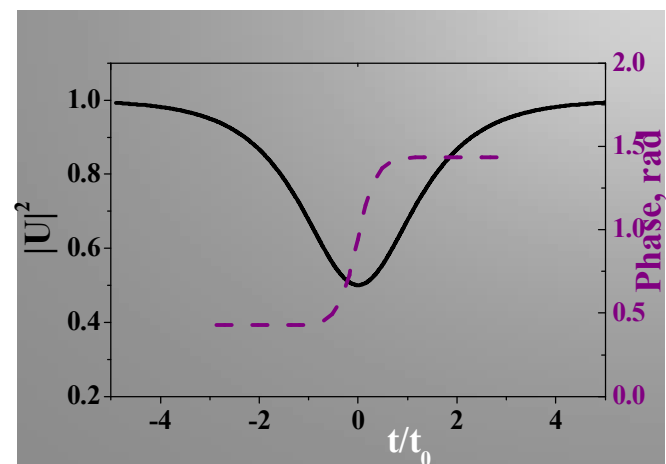
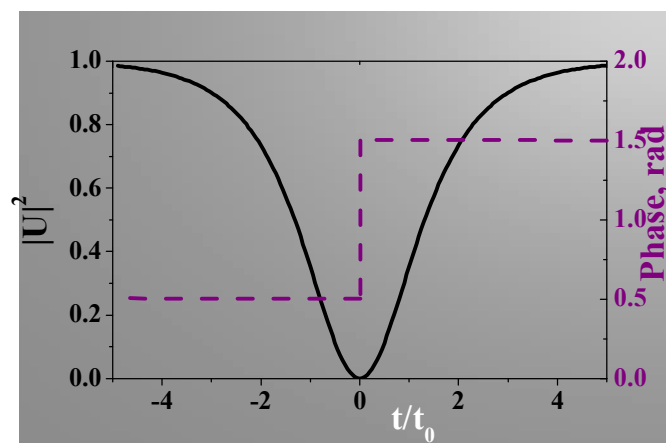
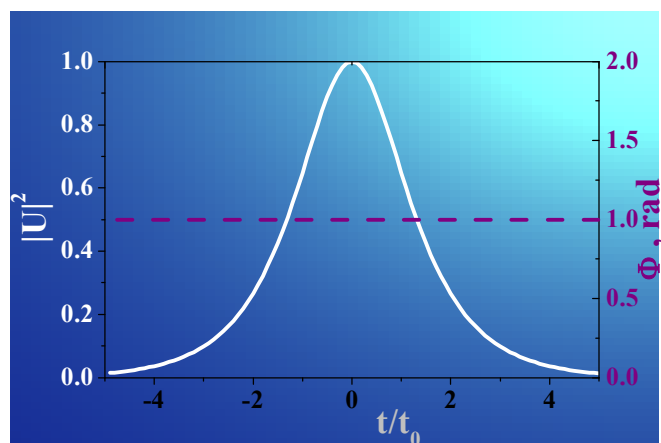


$$\text{OB} \rightarrow LG_0^1$$

$$\text{OB} \rightarrow LG_1^0$$



СВЕТЛИ и ТЪМНИ снопове



ИСТОРИЯТА НАКРАТКО

Scott Russel (1844)

V. Zakharov, A. Shabat (1972 - 1973) – The IST

A. Hasegawa, F. Tappert, Appl. Phys. Lett. 23 (1973) 142 – Soliton data transmission

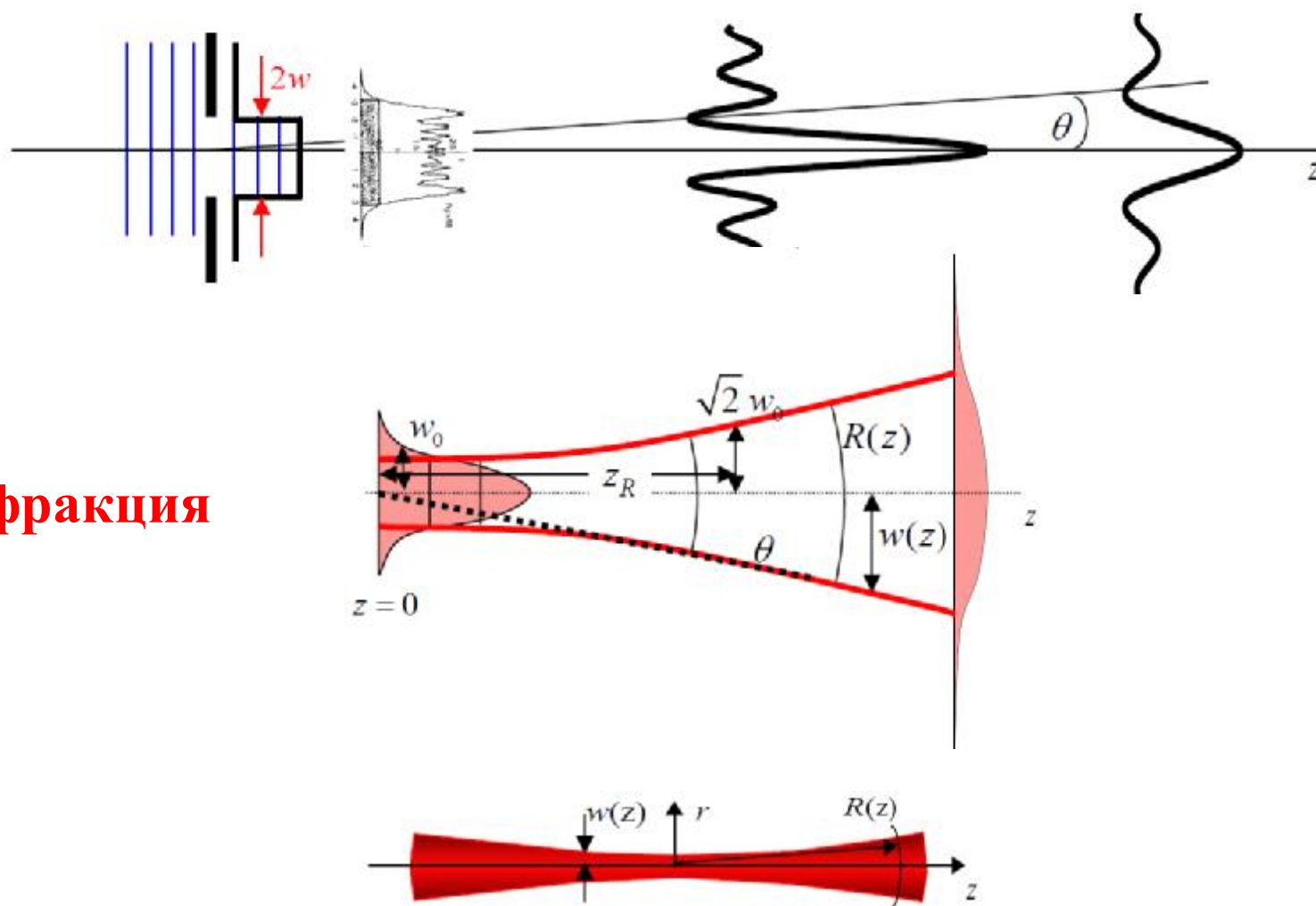
A. Weiner et al., Phys. Rev. Lett. 61 (1988) 2445 – Dark temporal solitons exist!

G. Swartzlander, Jr., and C. T. Law, PRL 69, pp. 2503-2506 (1992) – OVSs exist!

Yu. S. Kivshar and X. P. Yang, Phys. Rev. E 50, R40-R43 (1994) – RDSWs exist!

4а. Линейна динамика

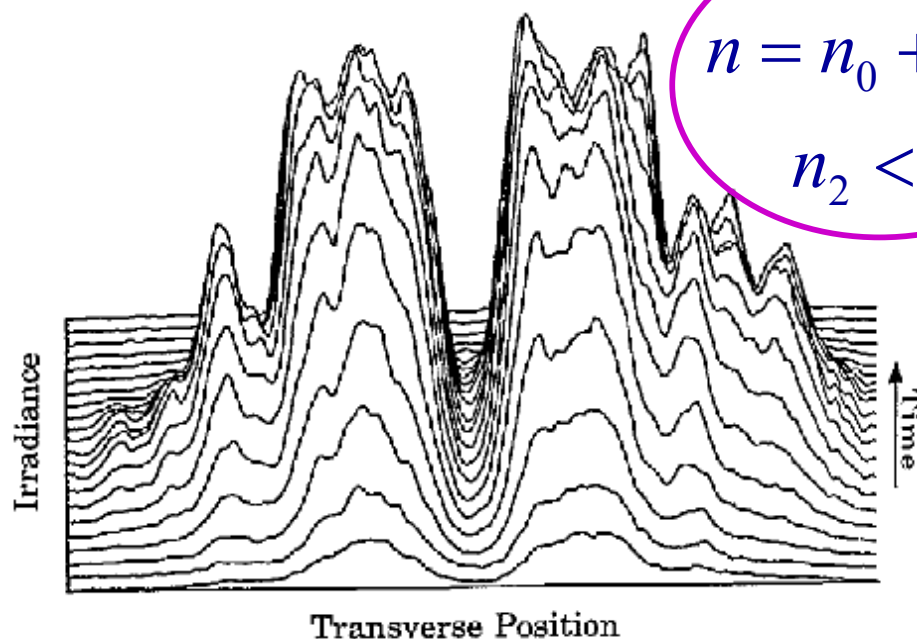
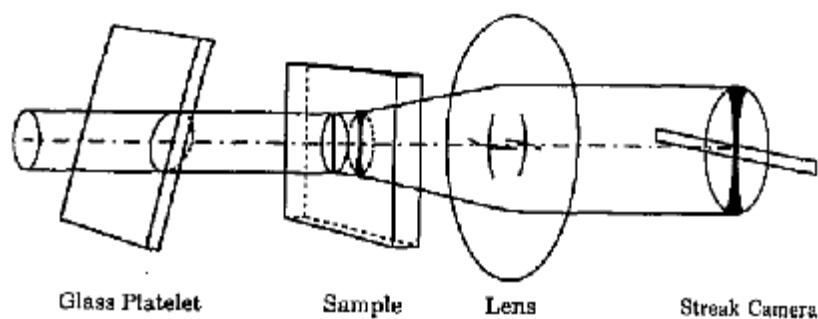
Дифракция



4b. Нелинейная динамика

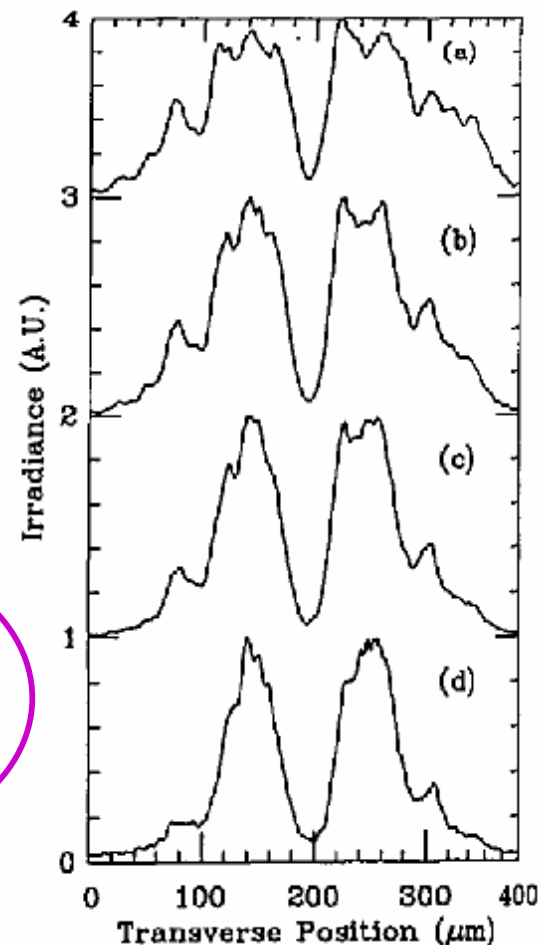
Observation of fundamental dark spatial solitons in semiconductors using picosecond pulses

G. R. Allan, S. R. Skinner, D. R. Andersen, and A. L. Smirl



$$n = n_0 + n_2 I$$

$$n_2 < 0$$



Experimental results showing the spatial irradiance profile after propagation through a 5-mm sample thickness for four incident pulse irradiances: (a) 1.6 GW/cm², (b) 1.4 GW/cm², (c) 1.0 GW/cm², and (d) linear diffraction.

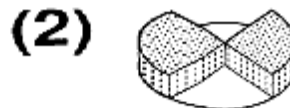
Spatial Dark-Soliton Stripes and Grids in Self-Defocusing Materials

G. A. Swartzlander, Jr.,^{(1),(2)} D. R. Andersen,⁽²⁾ J. J. Regan,⁽²⁾ H. Yin,^{(1),(3)} and A. E. Kaplan⁽¹⁾

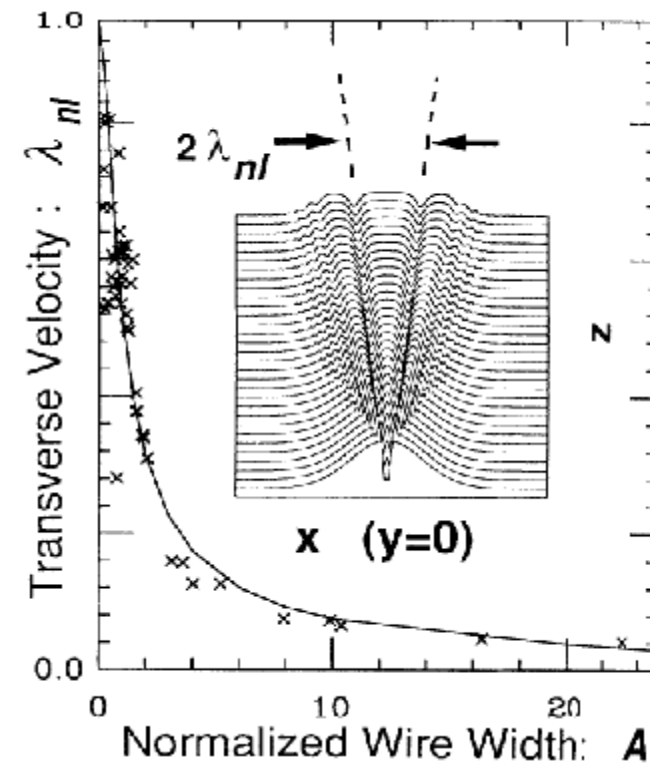
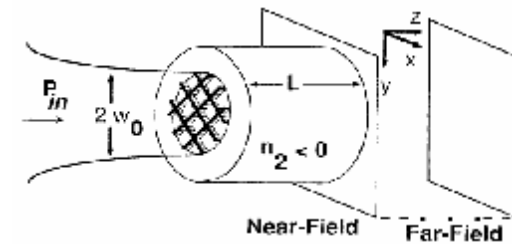
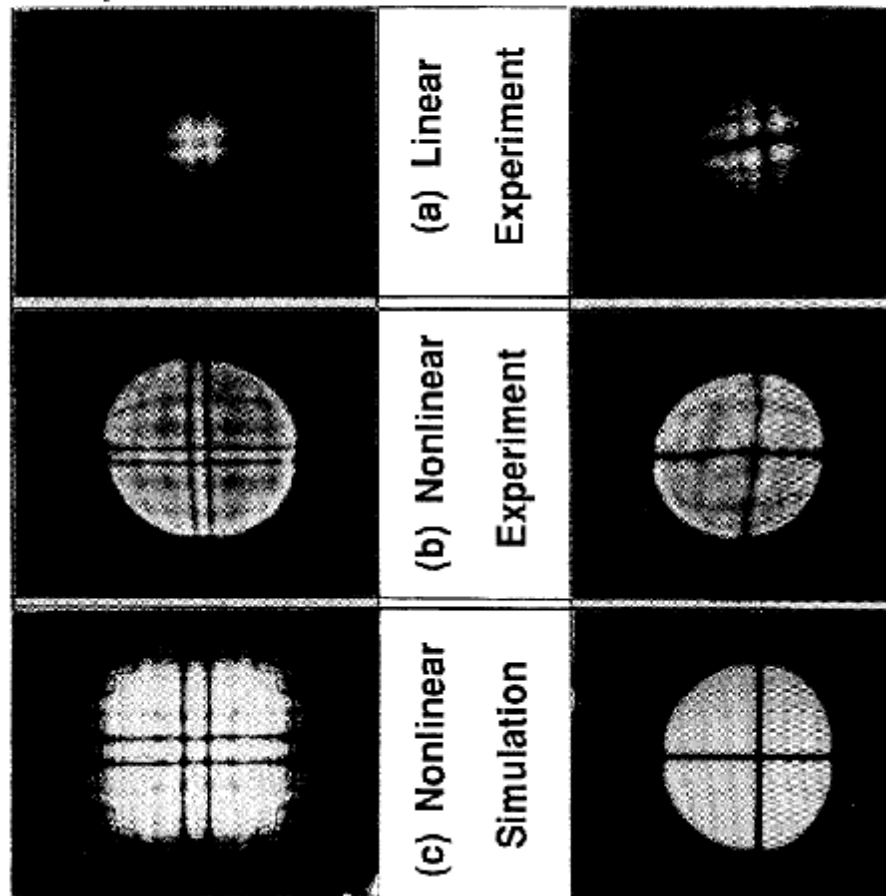
$$n = n_0 + n_2 I; \quad n_2 < 0$$



Amplitude Mask

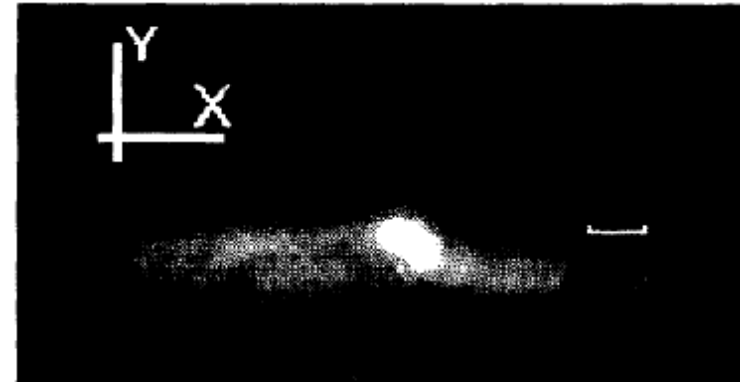
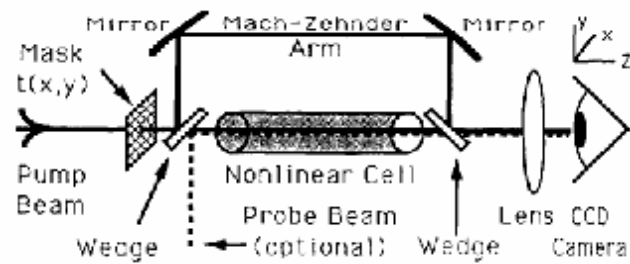


Phase Mask

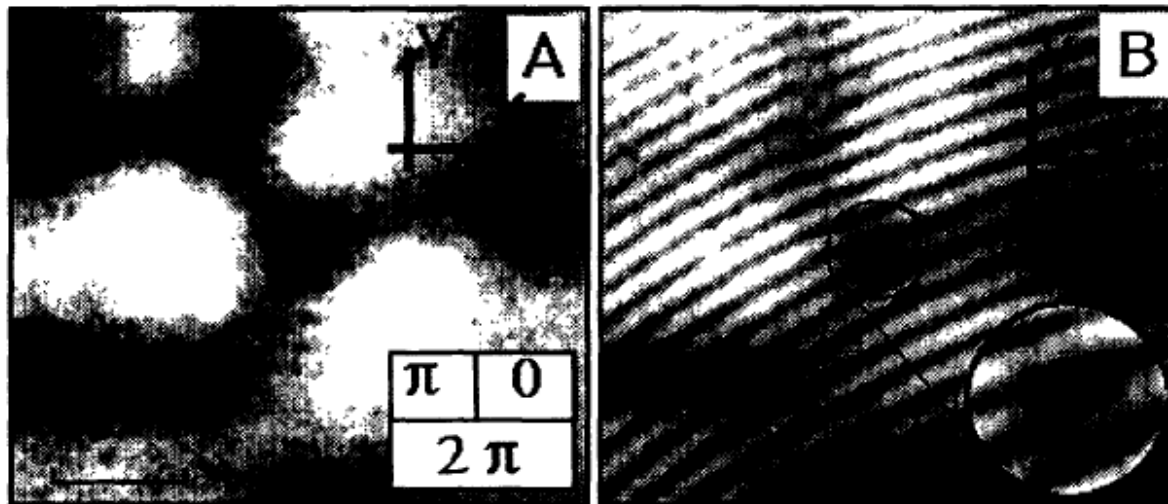


Optical Vortex Solitons Observed in Kerr Nonlinear Media

G. A. Swartzlander, Jr.,⁽¹⁾ and C. T. Law⁽²⁾



Wave guiding of a He-Ne probe laser beam

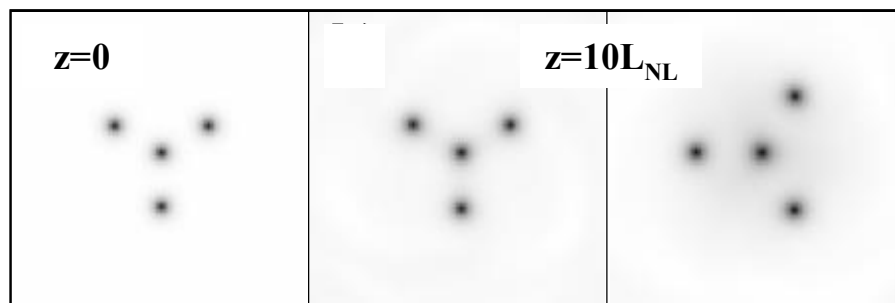


$$n = n_0 + n_2 I$$

$$n_2 < 0$$

Фазовите сингулярности са важни, защото присъствието им определя фазовата структура около тях.

ОВ с $m=1$



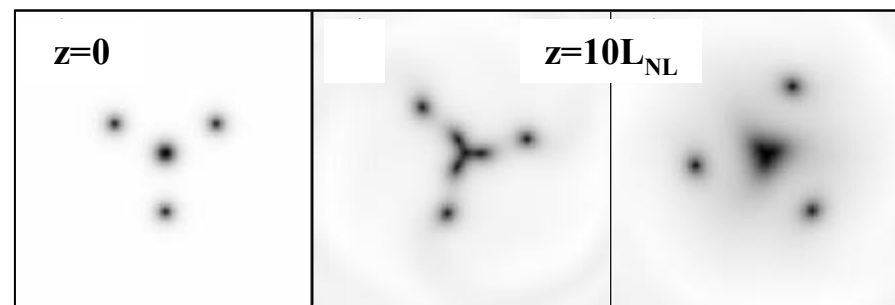
$m_c = -m_0$

$m_c = m_0$

ОВ с $m=1$

във върховете
на триъгълник;

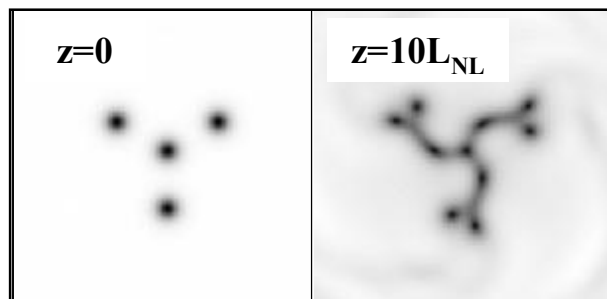
Контролен ОВ с
 $m=2$.



$m_c = -2m_0$

$m_c = 2m_0$

$m=2$



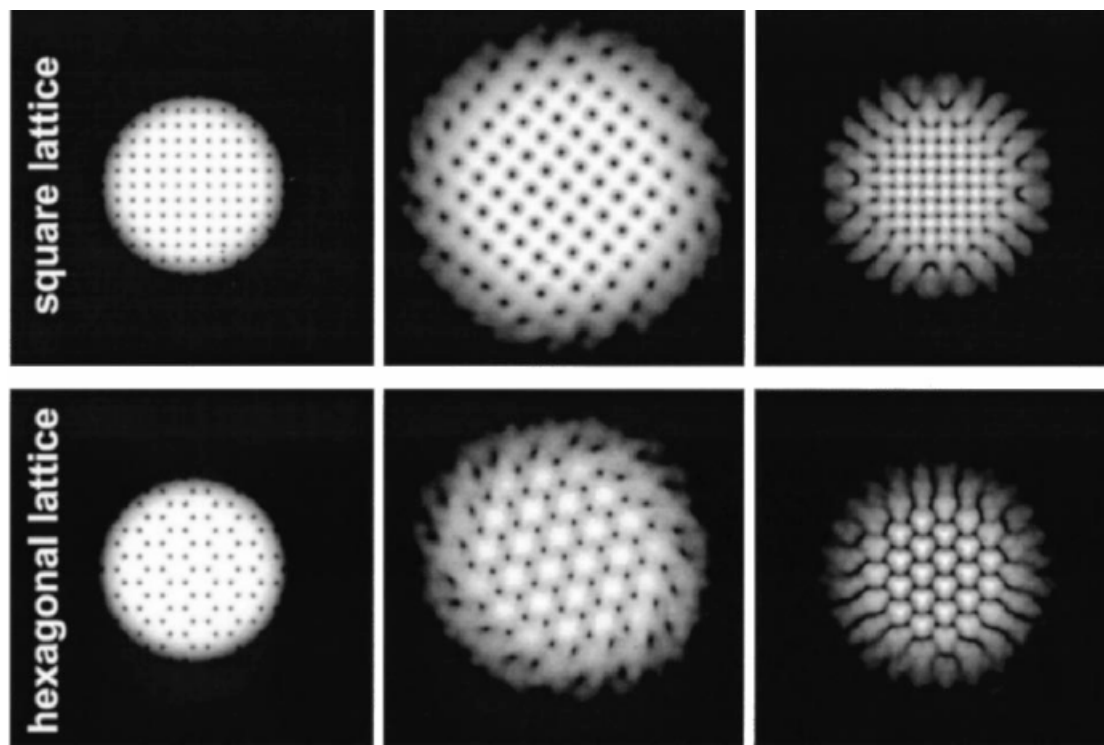
Формиране на елементарна клетка от
хексагонална ОВ “кристална” решетка.

Opt. Commun. 151, pp.413–421 (1998)

СУ, ФзФ, 02.07.2013г.

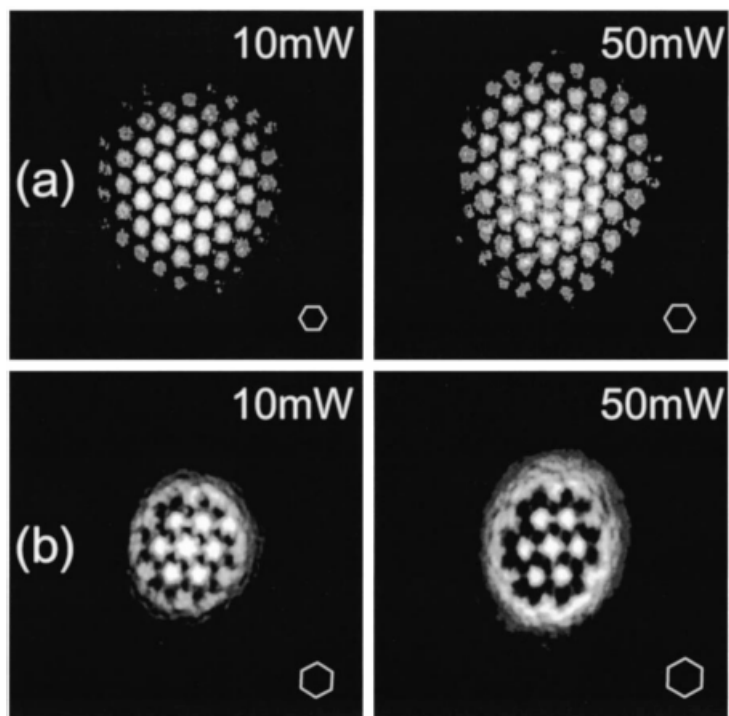
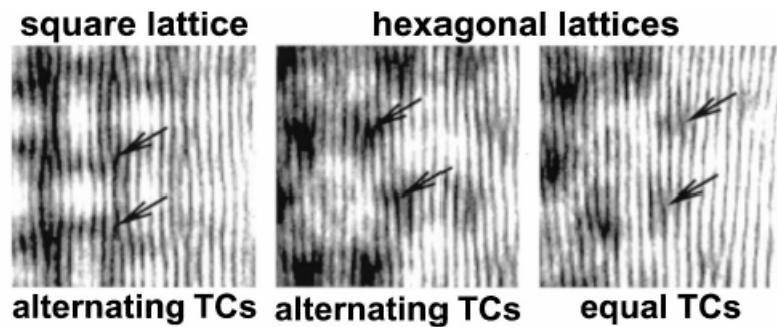
“Кристална” решетка от оптични вихри – нима е възможна?

Еднакви ТЗ / Алтернативни ТЗ

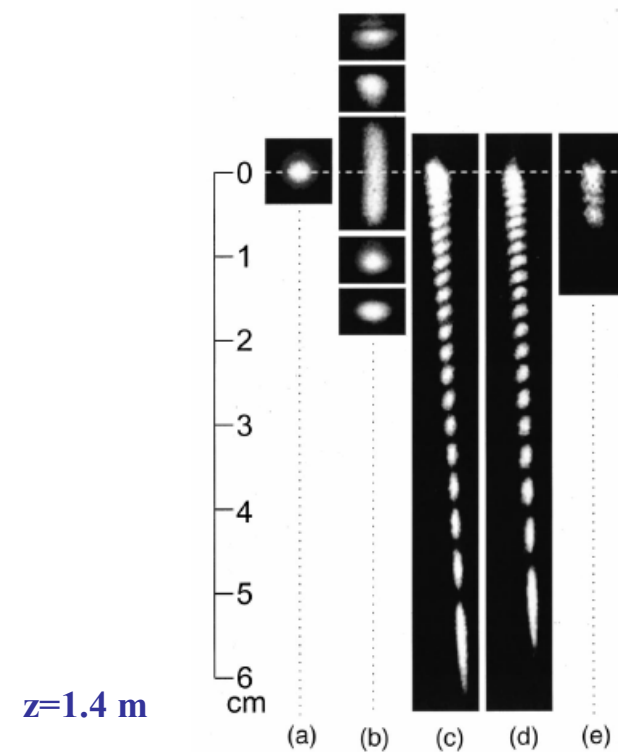


J. Opt. Soc. Am. B19, pp. 550-556 (2002)

СУ, ФзФ, 02.07.2013г.

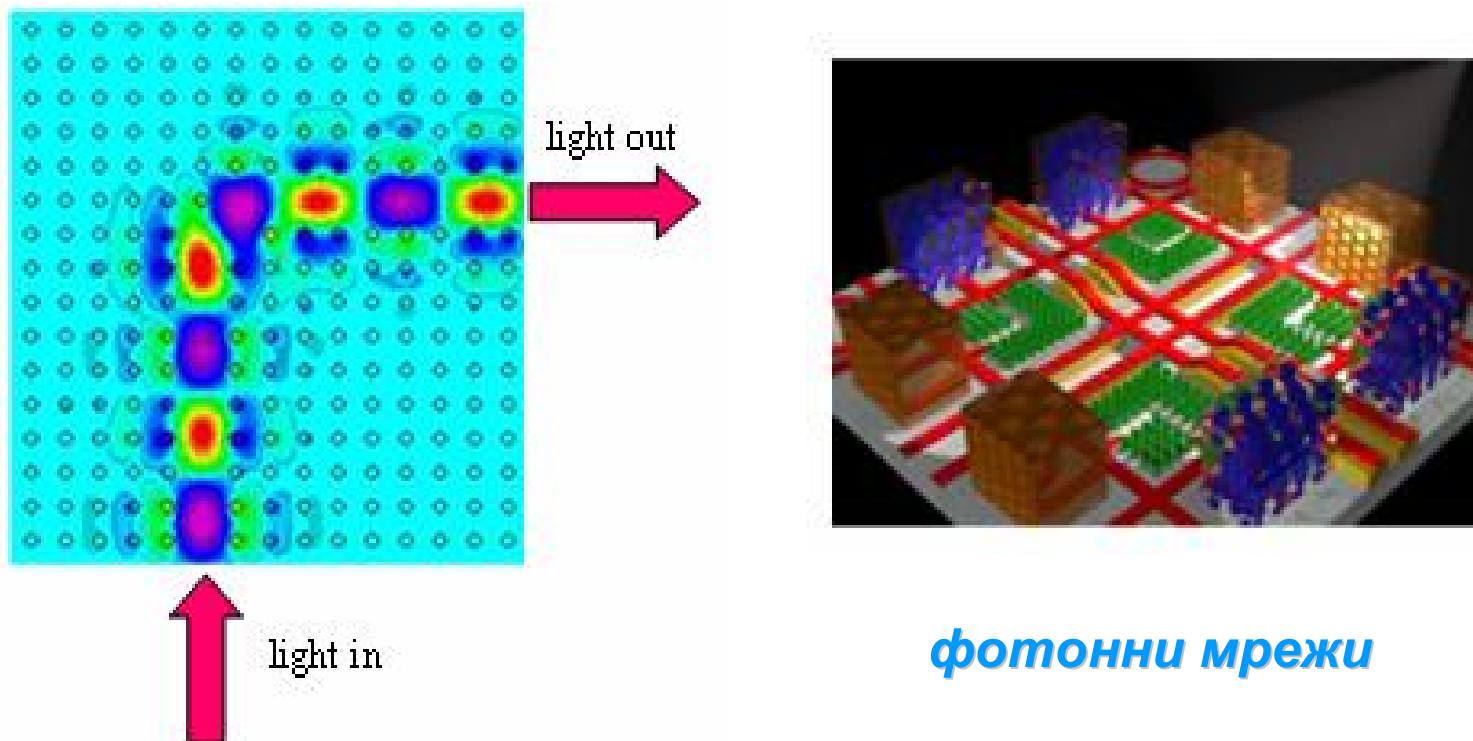


ДИФРАКЦИЯ НА СВЕТИНА ОТ СВЕТИНА !!!



J. Opt. Soc. Am. B19, pp. 550-556 (2002)

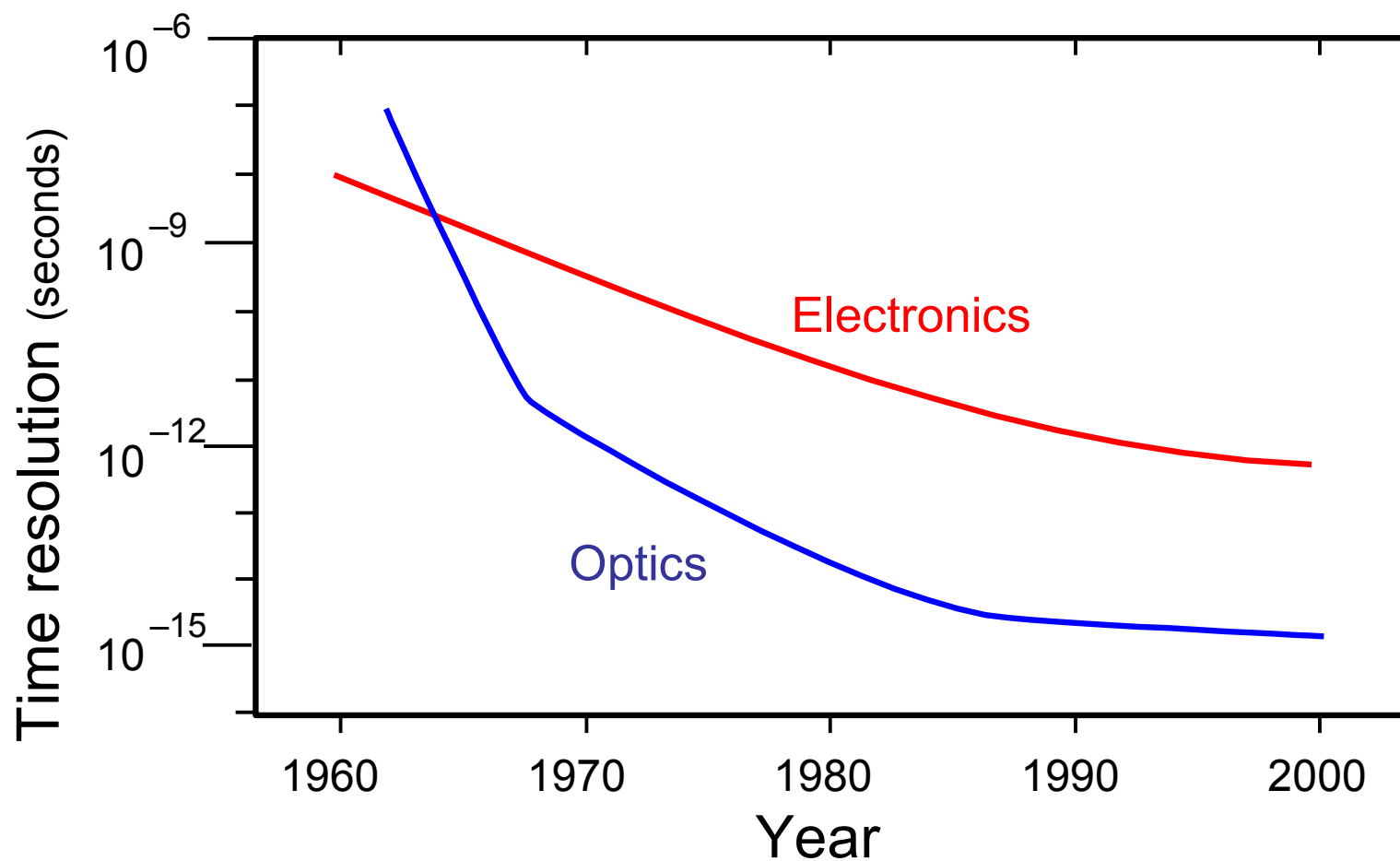
През 21 век фотониката ще измести в много области електрониката.



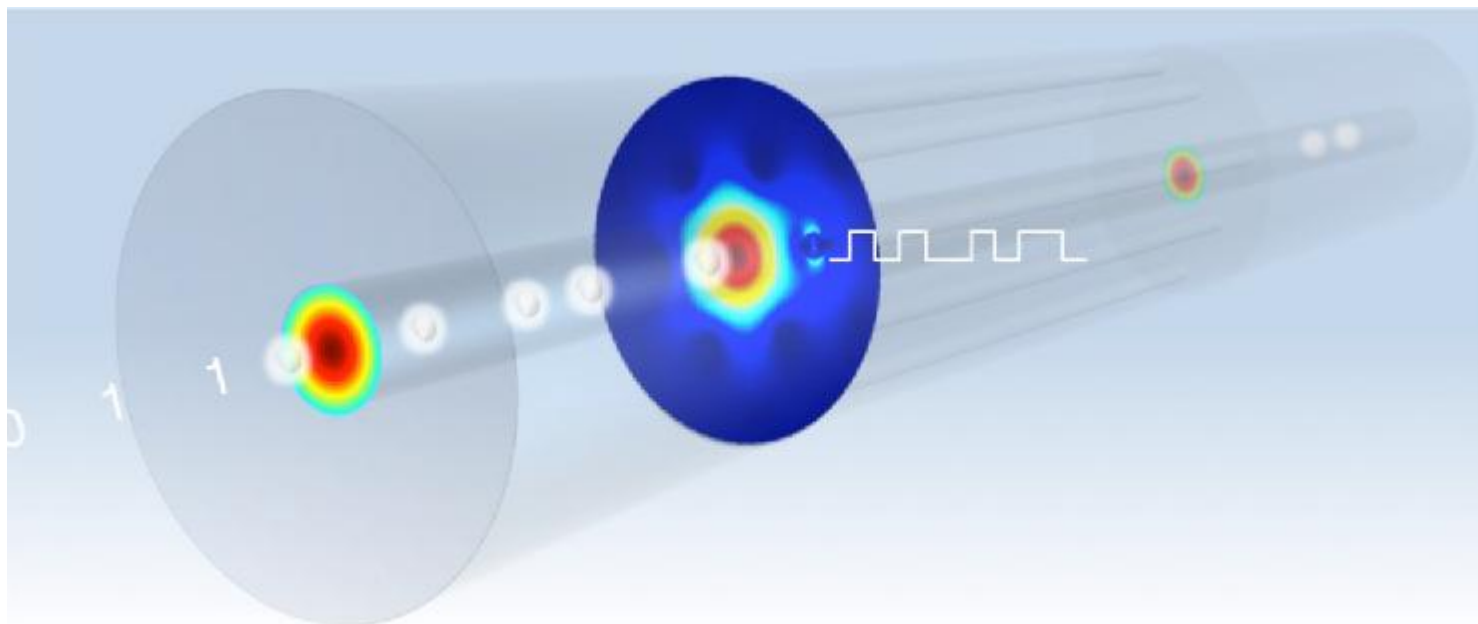
фотонни мрежи

Късите светлинни импулси са необходими за предаване на информация с висока плътност.

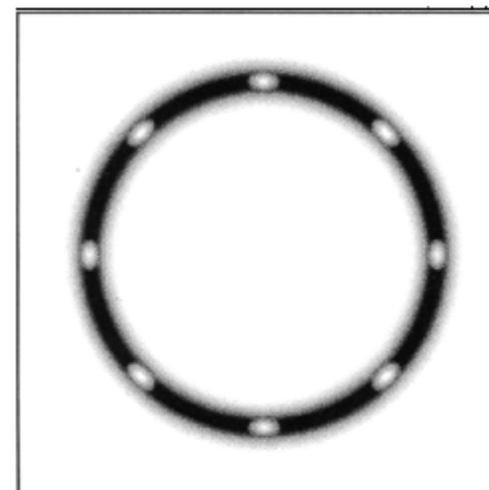
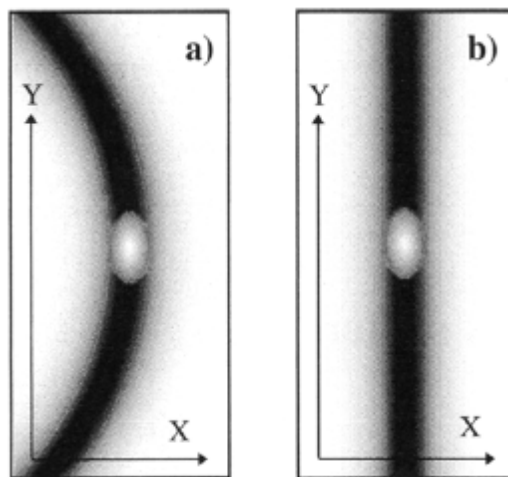
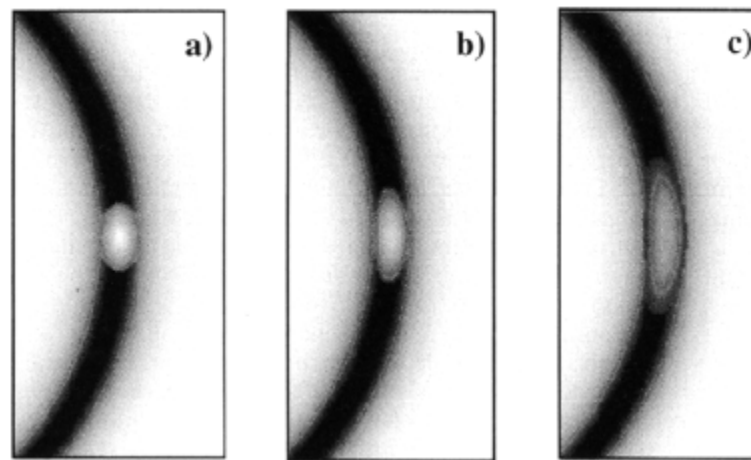
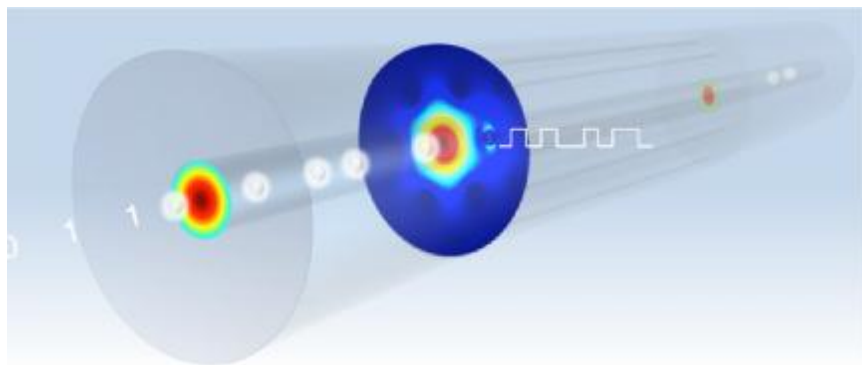
Какво означава “бързо” в оптиката и в електрониката?



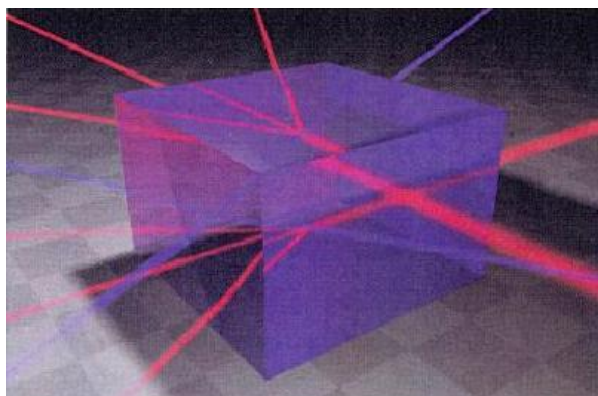
ИДЕИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЯ НА СИНГУЛЯРНА ОПТИКА – ОПТИЧЕН КАБЕЛ



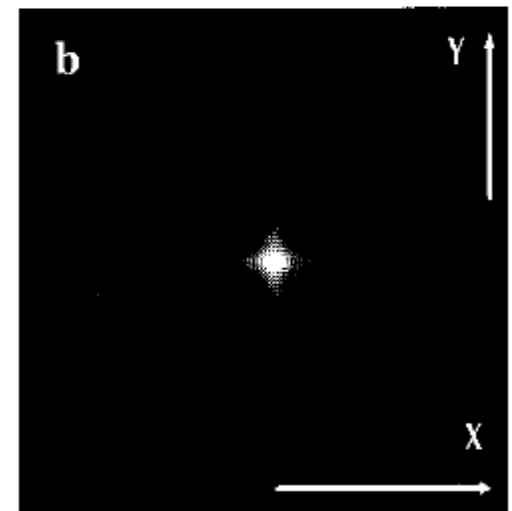
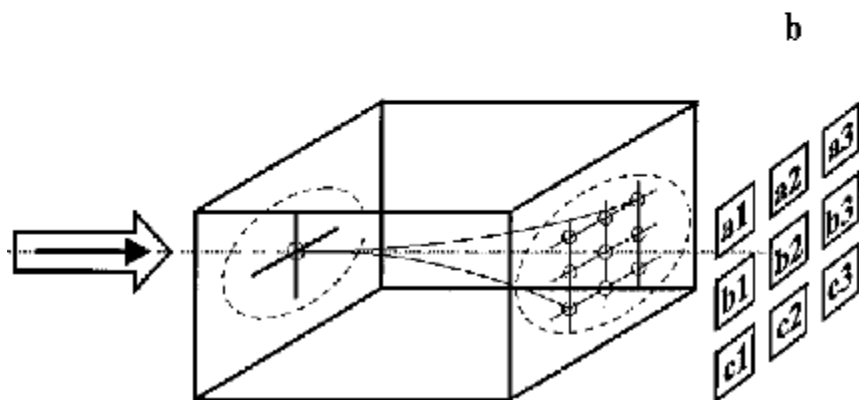
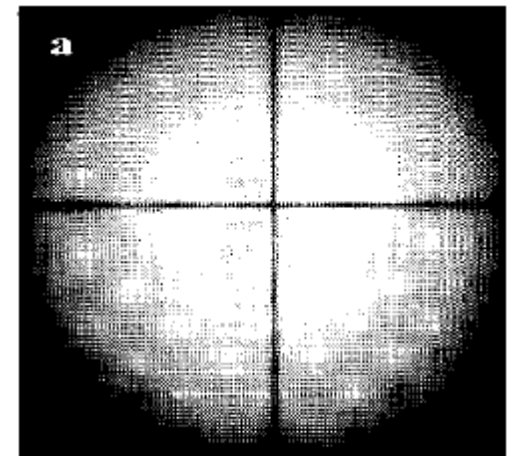
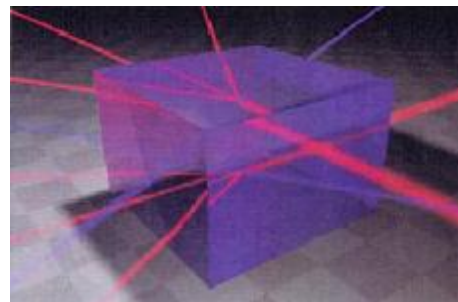
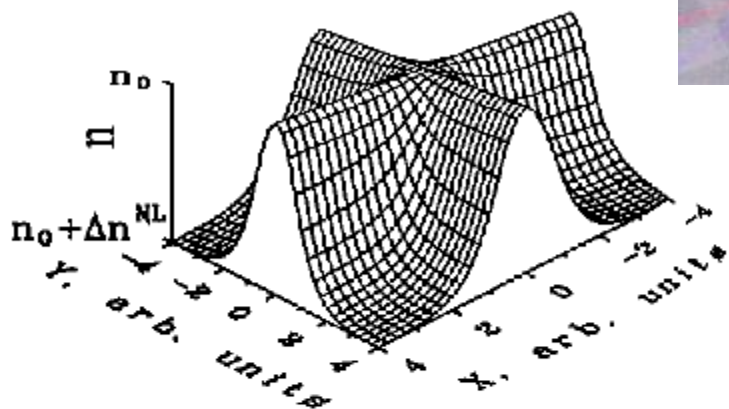
ИДЕИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЯ НА СИНГУЛЯРНА ОПТИКА – ПАРАЛЕЛЕН ОПТИЧЕН КАБЕЛ



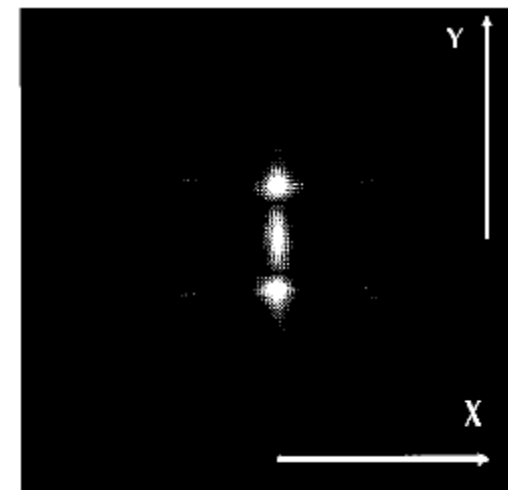
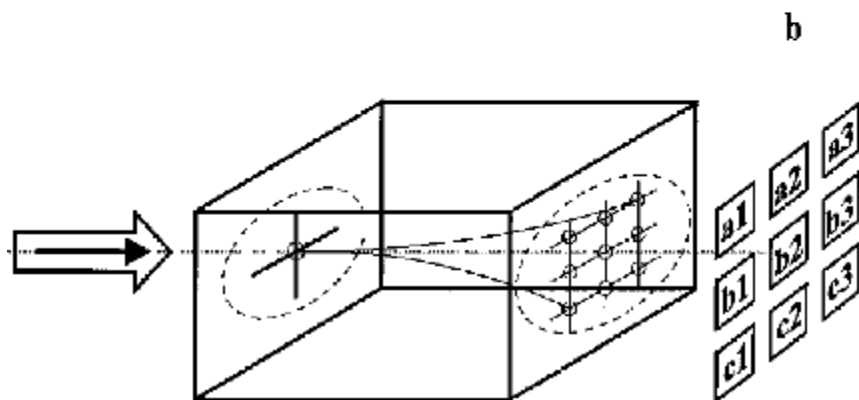
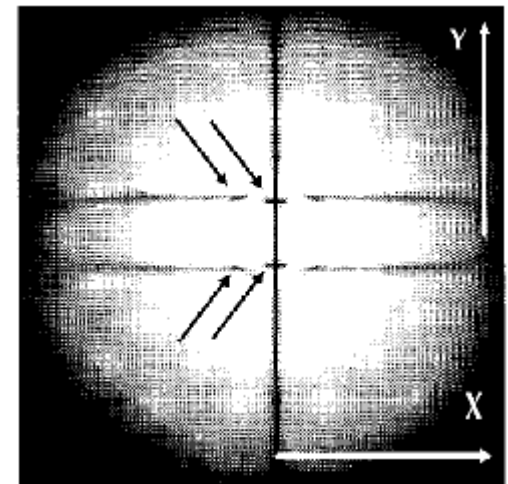
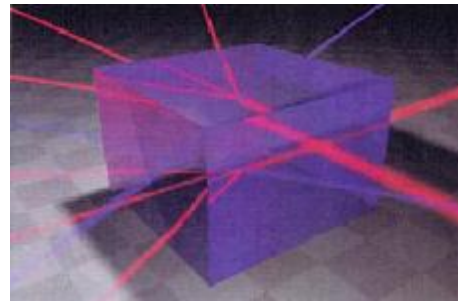
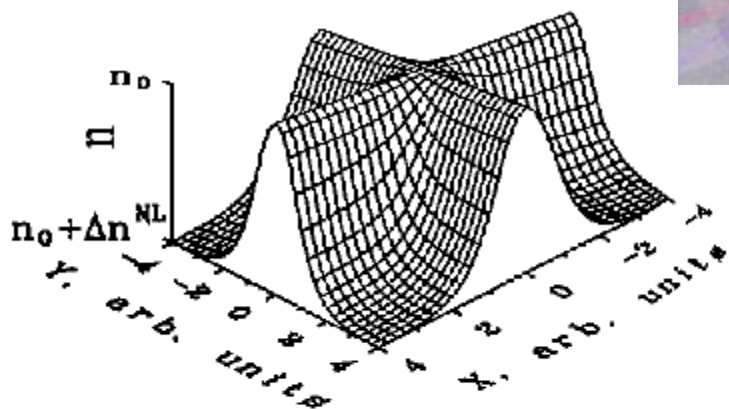
ИДЕИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЯ НА СИНГУЛЯРНА ОПТИКА – ОПТИЧЕН РАЗКЛОНИТЕЛ



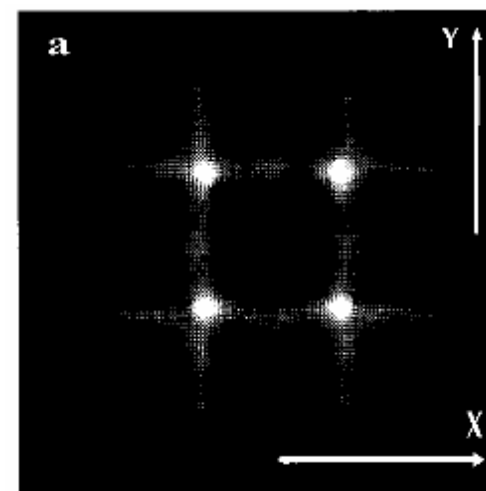
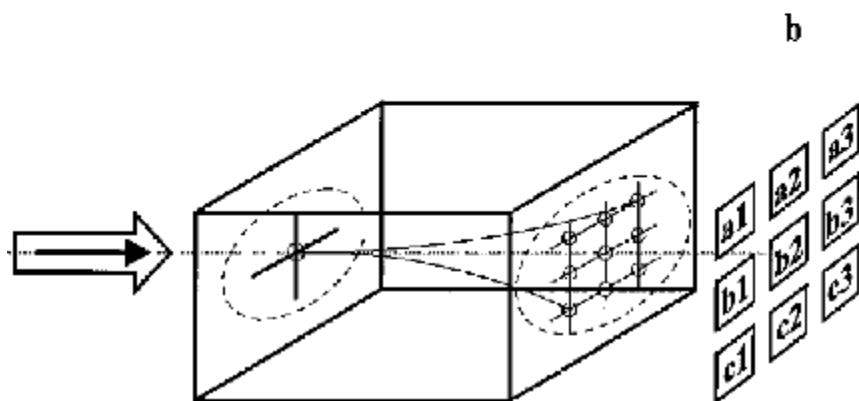
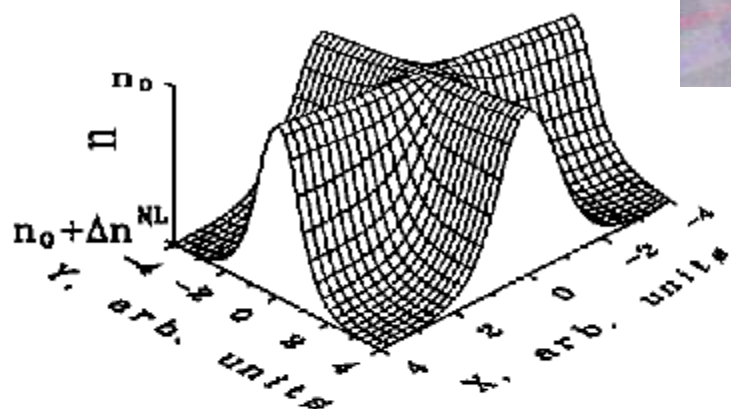
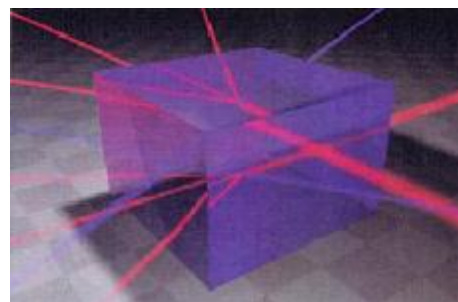
ОПТИЧЕН РАЗКЛОНИТЕЛ



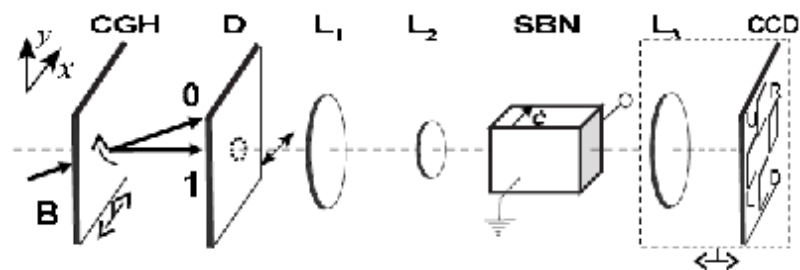
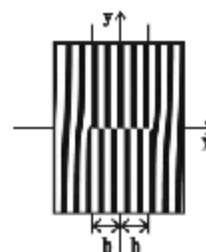
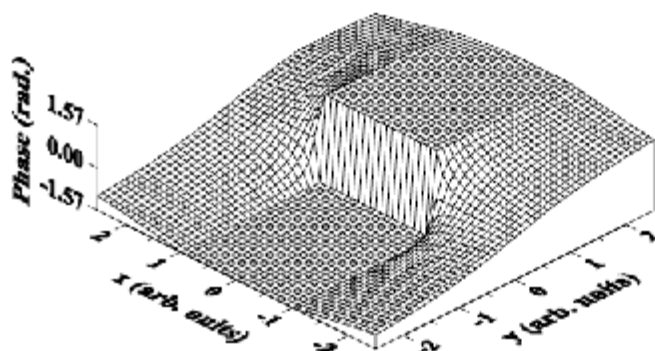
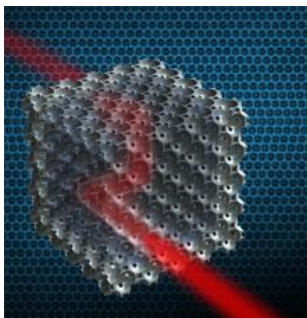
ОПТИЧЕН РАЗКЛОНИТЕЛ



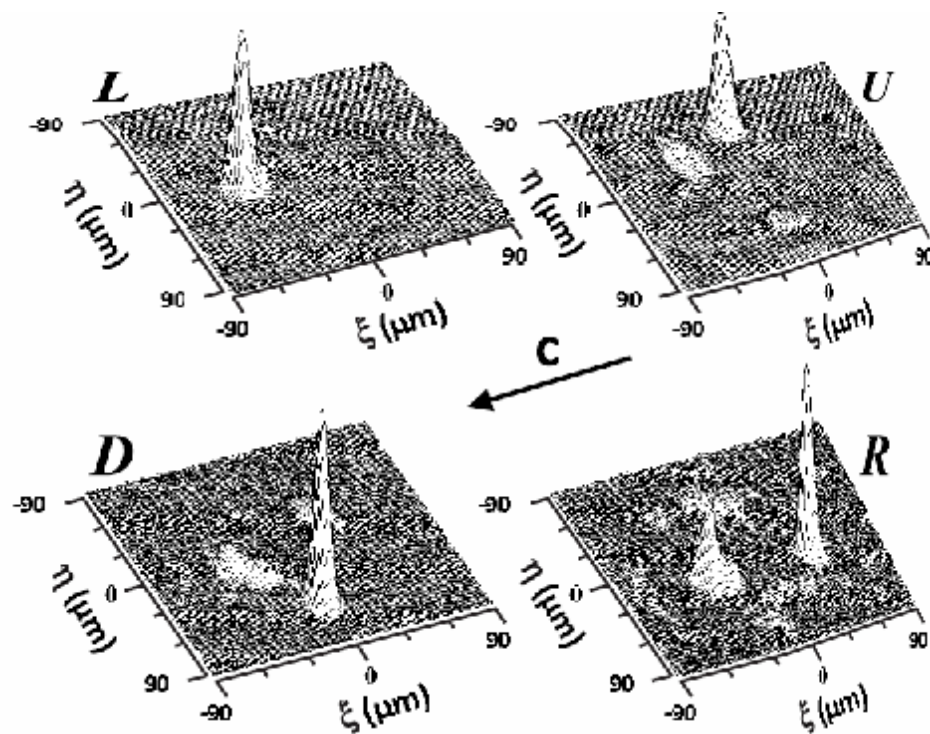
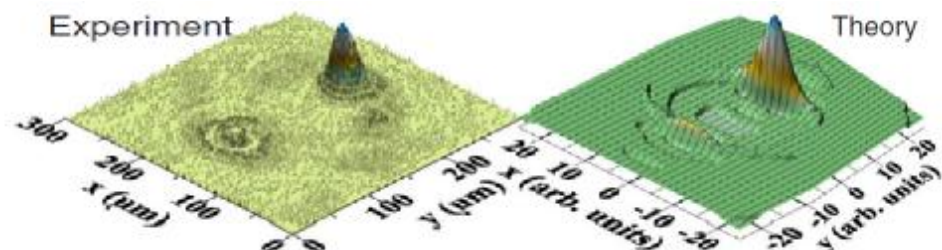
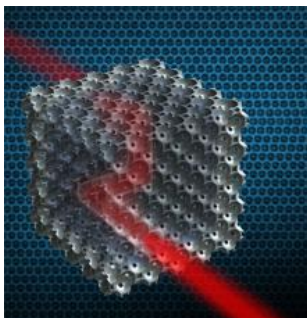
ОПТИЧЕН РАЗКЛОНИТЕЛ



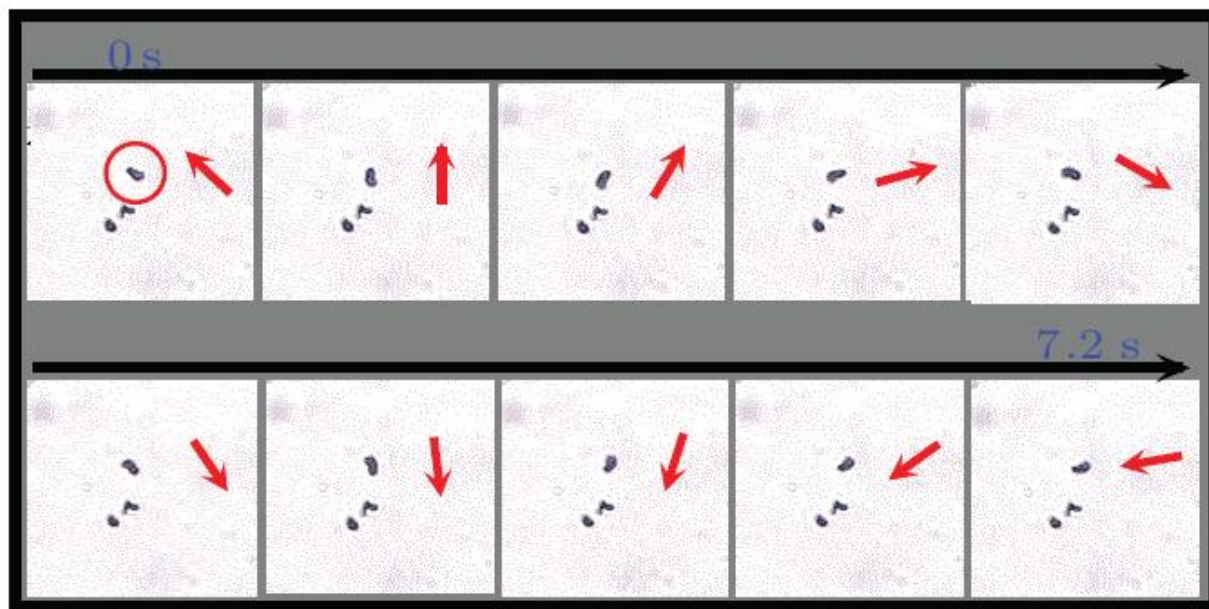
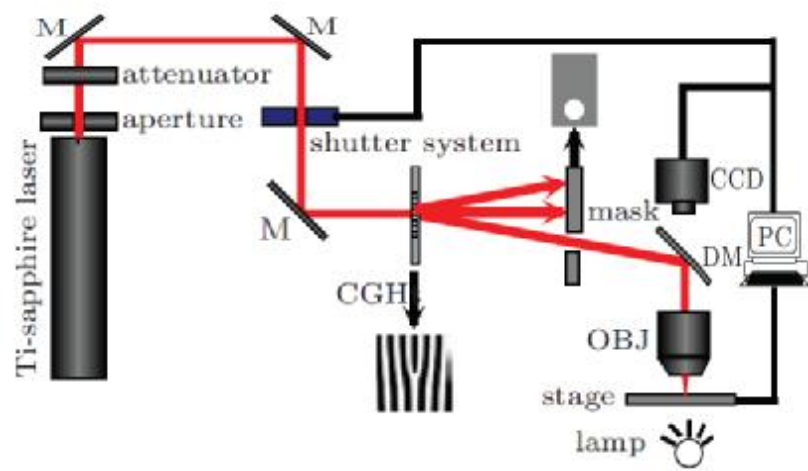
ИДЕЯ – ОПТИЧНО-ИНДУЦИРОВАН ОТКЛОНИТЕЛ



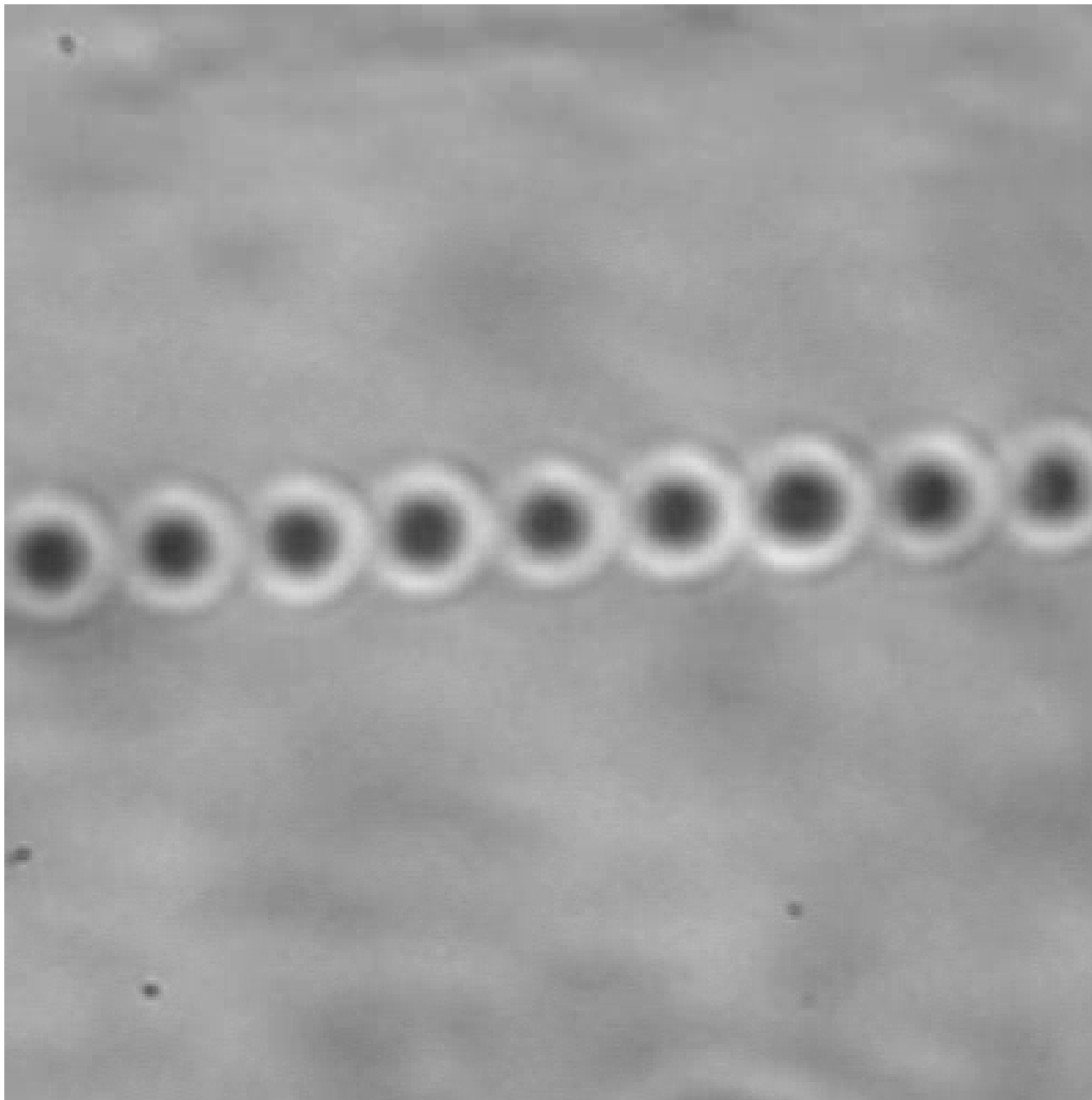
ИДЕЯ – ОПТИЧНО-ИНДУЦИРОВАН ОТКЛОНИТЕЛ



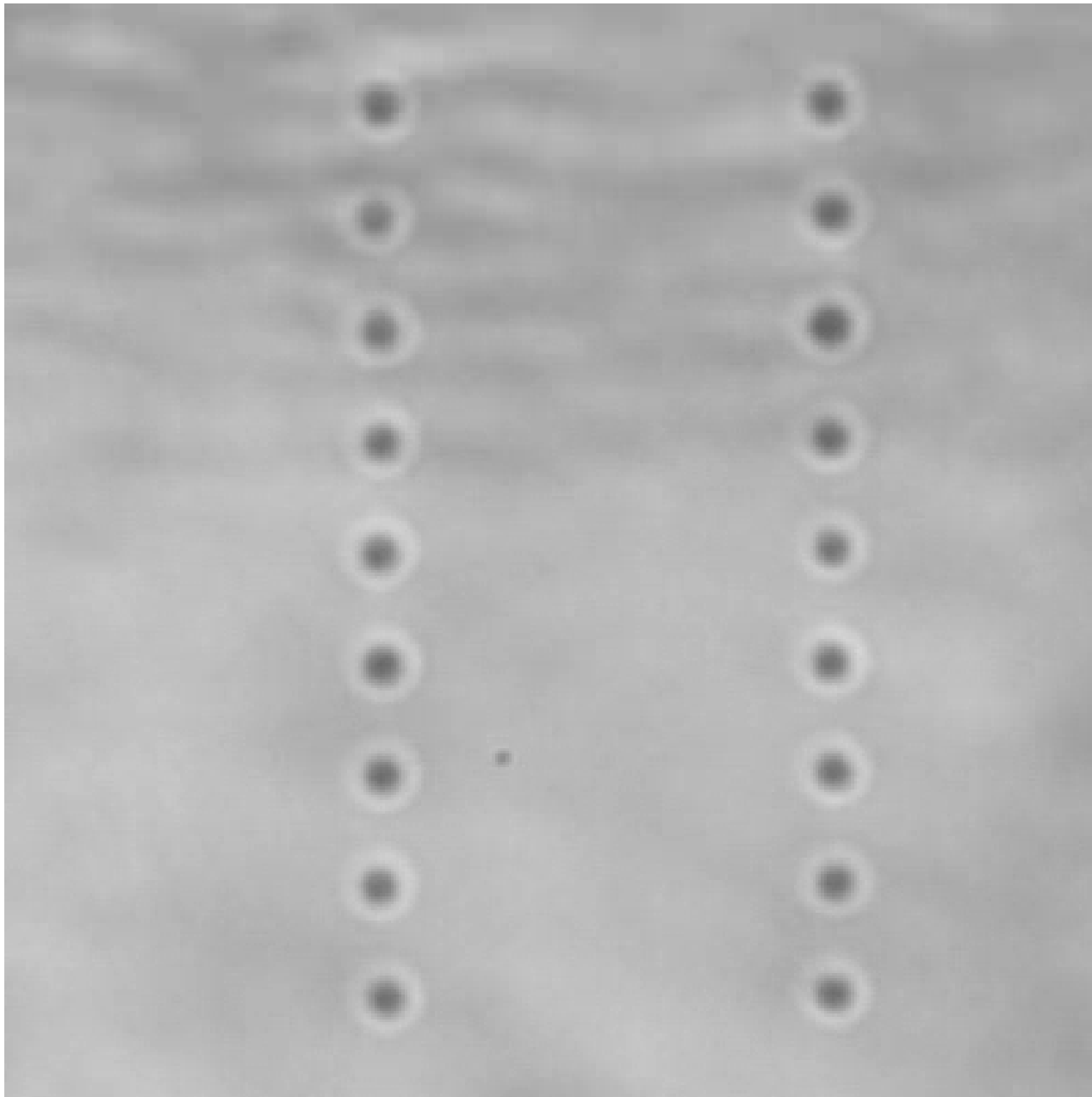
ИДЕЯ – ОПТИЧНИ ПИНСЕТЫ



ИДЕЯ – ОПТИЧНИ ПИНЦЕТИ



ИДЕЯ – ОПТИЧНИ ПИНЦЕТИ



БЛАГОДАРЯ НА КОЛЕГИТЕ И ПРИЯТЕЛИТЕ, С КОИТО ИМАХ УДОВОЛСТВИЕТО ДА РАБОТЯ !

Софийски университет

С. Динев Д. Нешев

Я. Велчев В. Каменов

К. Безуханов Г. Малешков

С. Салтиел И. Стефанов

Н. Димитров Л. Стоянов

MPI for Quantum Optics

G. G. Paulus

F. Lindner

H. Walther

The Australian National University

Yu. Kivshar

W. Krolikowski

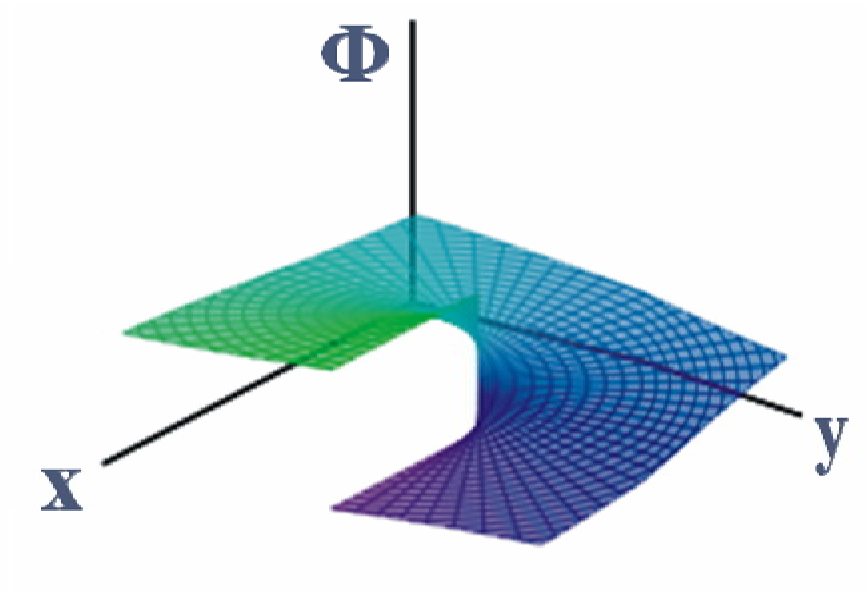
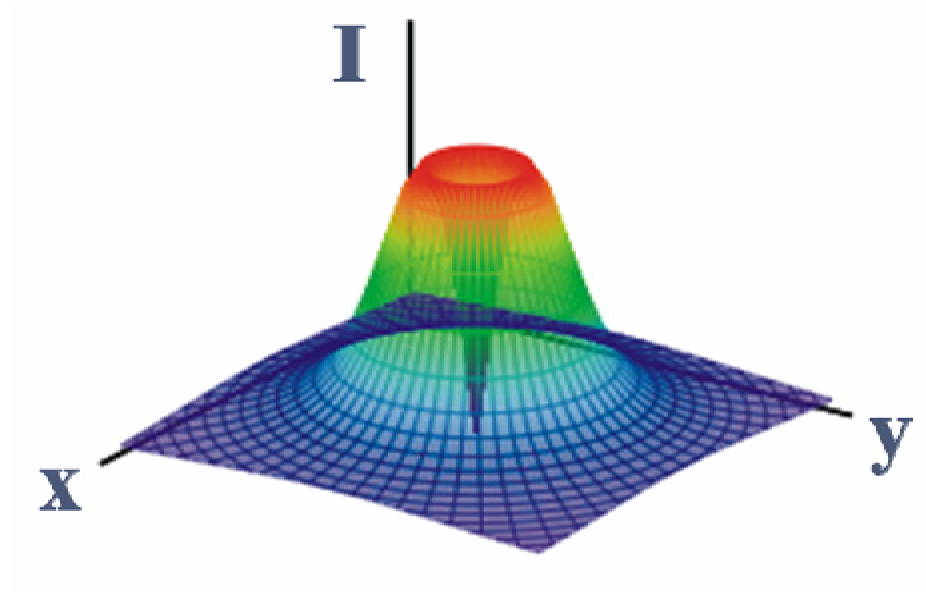
D. Neshev

Friedrich-Schiller-University, IOQ

G. G. Paulus

P. Hansinger

Ch. Spielmann



БЛАГОДАРЯ ЗА ВНИМАНИЕТО !