

## Лекция 3. Квантовые технологии со связанными состояниями среды и поля

**Алоджанц Александр Павлович**

**Alexander\_AP@list.ru**

- \*) Кафедра физики и прикладной математики  
Владимирского государственного университета , Владимир***
- \*\* ) Российский квантовый центр, Сколково***



# Problems Under Discussion

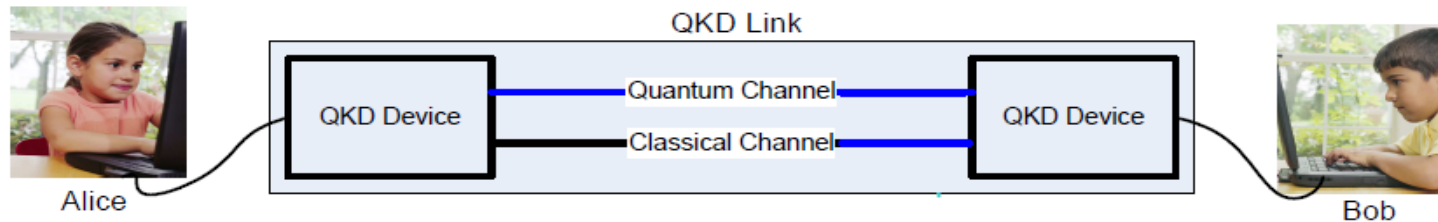
1. Introduction: quantum storage and superfluid properties of polaritons
2. Modern optical cavities for trapping and processing of photons.
3. Low dimensional lattice models for trapping and localization of coupled matter-field states –polaritons ;
4. Nonlinear properties of polaritons in the lattice; Solitons;
5. Quantum storage and memory with atomic polaritons.

# Motivation

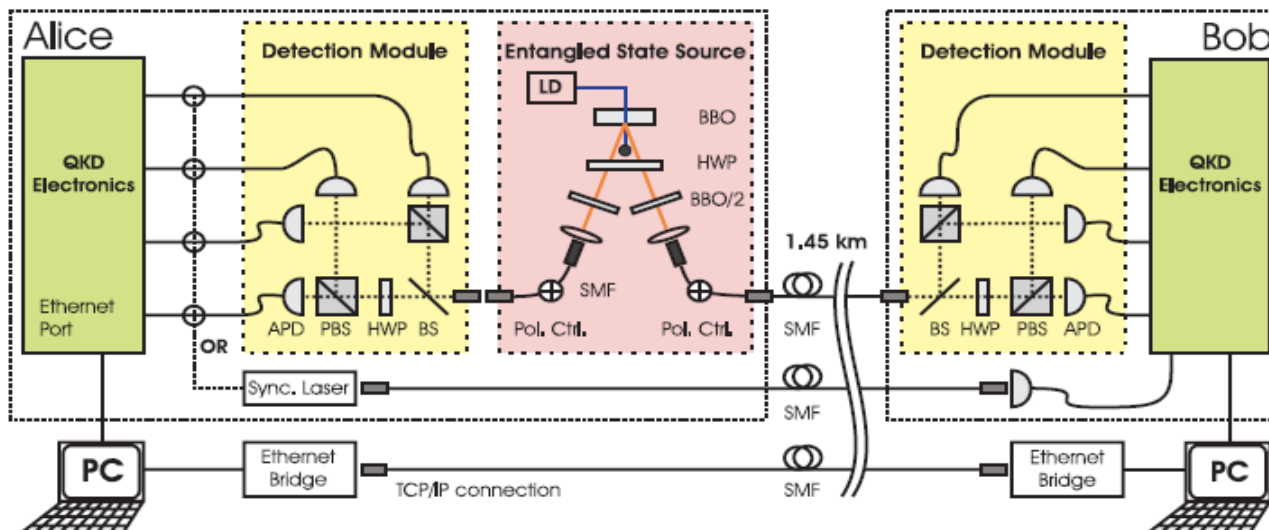
It is connected with modern problems of quantum information and communication - **key problems for quantum cryptography.**

In QC-systems information transmitted and processed by means of quantum states  $|\Psi\rangle$  of small amount of photons with different basis of light polarization.

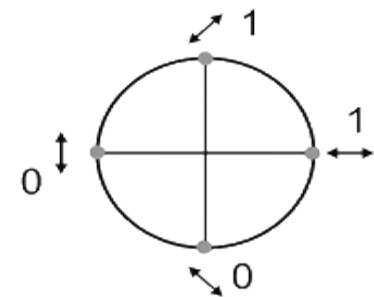
## Conceptual scheme of QC



## Experimental set-up, *Wien University, 2004*



## Poincare sphere cross section



## Polarization qubit coding under the BB84 protocol

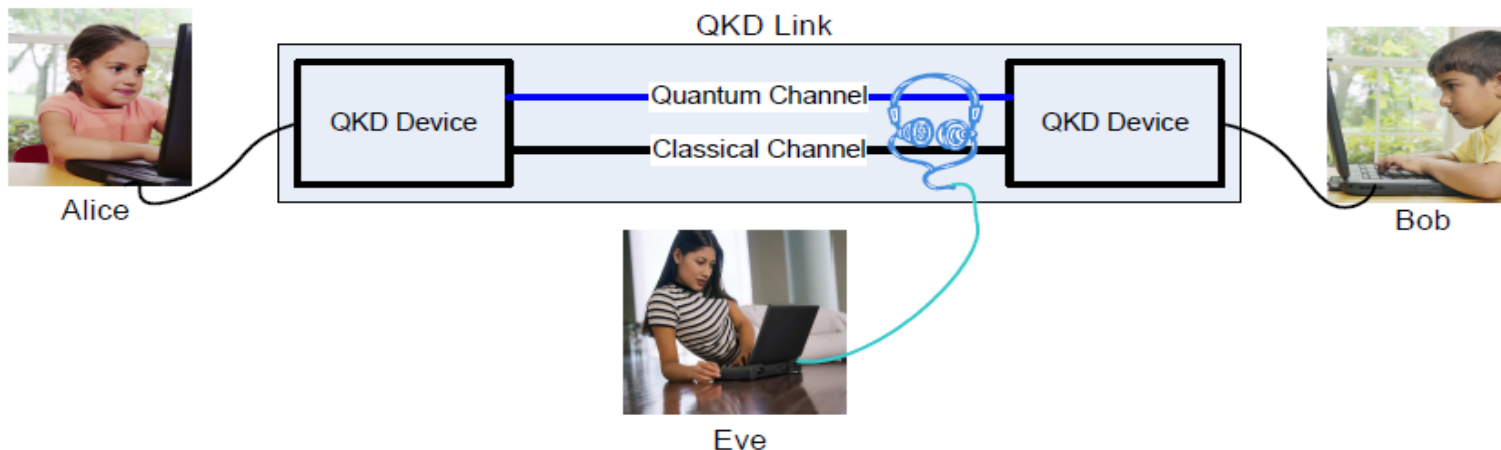
# Basic principles

## Фундаментальные ограничения

- ✓ Невозможно копировать неизвестное квантовое состояние.
- ✓ Каждое измерение вносит возмущение в систему .
- ✓ Невозможно с абсолютной точностью одновременно измерить поляризацию фотона в горизонтально-вертикальном и диагональном базисах.

## Практические проблемы

- ✓ Одиночные фотоны – очень хрупкие объекты: нужны эффективные методы управления их состояниями и перепутыванием.
- ✓ Нужны методы оптимального измерения характеристик одиночных фотонов
- ✓ Нужны эффективные методы отражения атак подслушивания..



Возможное решение - квантовая память : хранение и манипулирование квантовыми состояниями света.

# Classical Information Processing

## Classical memory devices

- ✓ Operate with **classical** signals (**bits**);
- ✓ Storage time physically is very large;
- ✓ Restored signal is “ideal”.

## Classical storage



input image

classical fidelity



output (stored) image

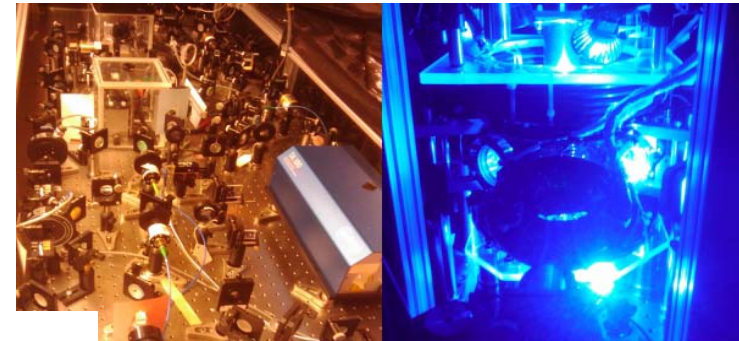
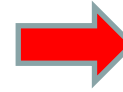
Classical fidelity is limited by classical (technical) noises in memory device

# Quantum Information Processing

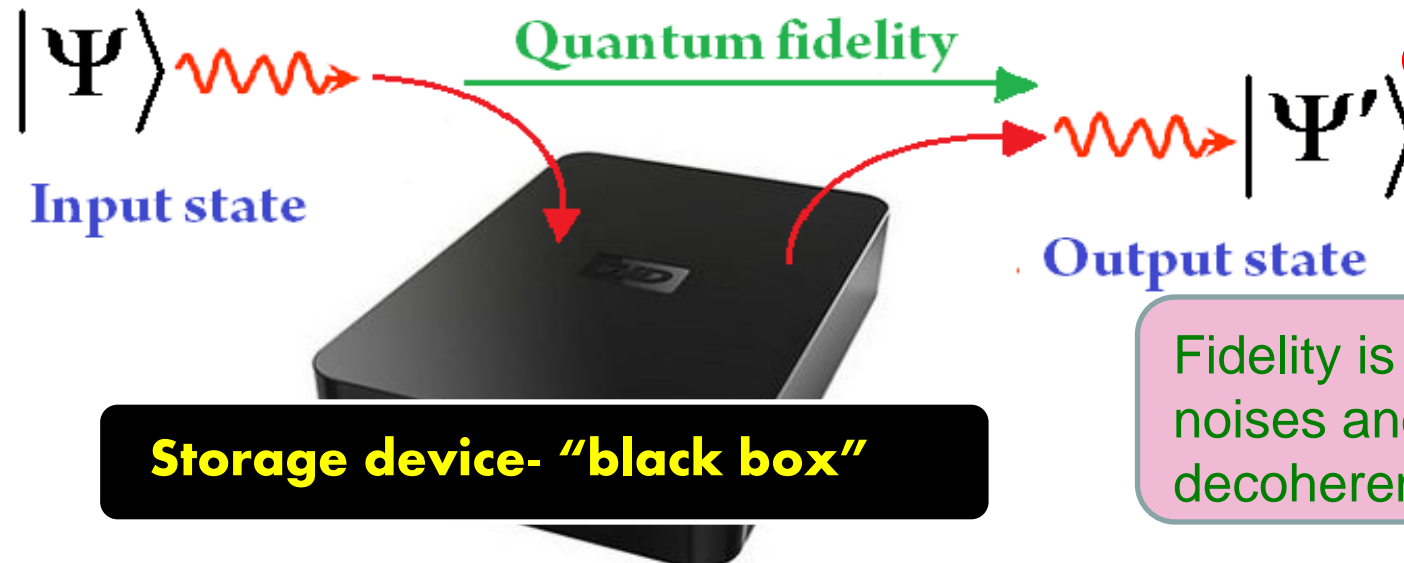
## Quantum memory “device”

- ✓ Operate with **quantum** signals (**qubits**);
- ✓ Storage time physically is restricted by time of decoherence of storage device;
- ✓ Restored signal is modified.

“Fly qubits” – photons are natural carriers for quantum information



Georgia Tech. Lab, USA



Fidelity is limited by quantum noises and matter-field decoherence effects

# Basic Requirements for Quantum Memory

We need to have:

1. Coherent atom-field interaction for a long times (for current experiments storage time is  $\leq 100\mu s$  ;
2. Effective manipulation by group velocity of light.

Existing processes preserving coherence for that are:

- EIT effect in atomic systems (M. Lukin, L. Hau et al )
- QND type schemes of atom-field interaction (*I.Cirac, E.Polzik, et al*);
- Photonic crystals, coupled resonator optical waveguides (CROW's), (M. F. Yanik, S. Fan).
- Photon echo (S. Moiseev, et al)

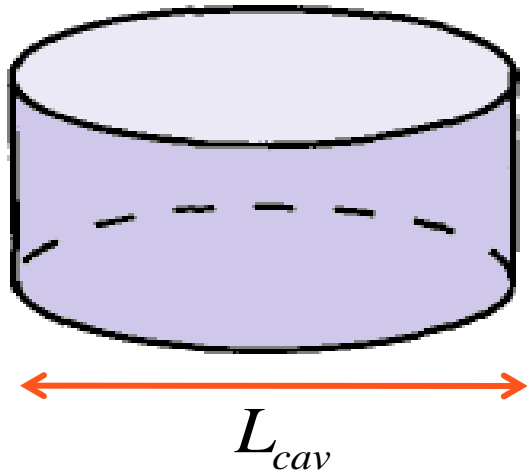
Our proposal is based on to usage of

1. Band-gap structures for complete localization of the light,
2. Coherent (superfluid) coupled matter-field states – polaritons

# Какие Резонаторы Нам Нужны?

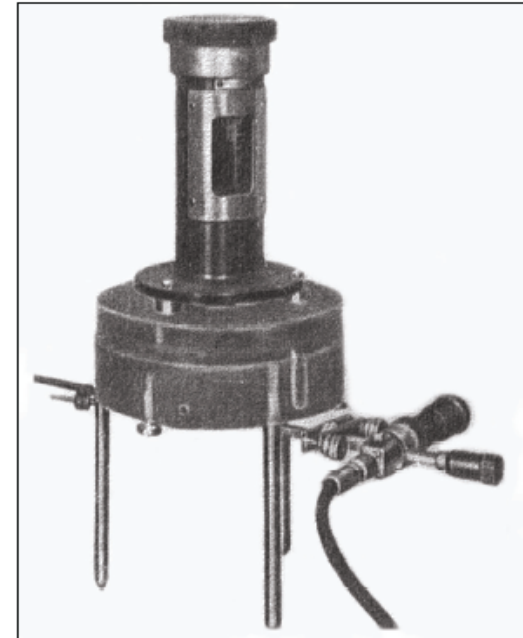
## Закрытые СВЧ-резонаторы?

Вайнштейн Л.А. Открытые резонаторы и открытые волноводы. М.: Сов. радио. 1966. 475 с.



Межмодовый интервал частот:

$$\Delta \nu \propto c / L_{cav}$$



Дисковый резонатор на длине волны 11-13мм,  
А.И. Барчуков, А.М. Прохоров, Радиотех. и  
электроню 14, 2094– (1959)

Число высокодобротных колебаний на оптических частотах

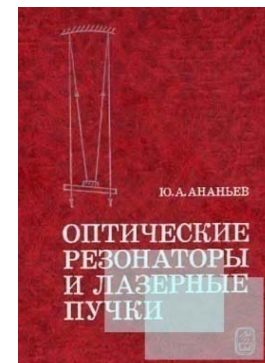
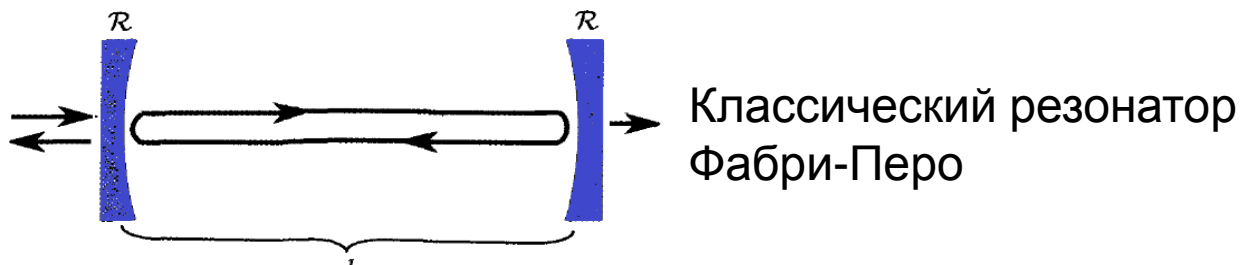
очень велико так как  $L_{cav} \gg \lambda$ , где  $\lambda$  - длина волны света.



# Лазерные Резонаторы

Открытые резонаторы - Ю.А. Ананьев,

ОПТИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ И ЛАЗЕРНЫЕ ПУЧКИ, Наука, 1990



## § 2.1. Общие сведения об открытых резонаторах

**Начальные сведения. Немного истории.** Для существования самой возможности генерации требуется, чтобы резонатор имел сравнительно добротные (медленно затухающие) собственные колебания, или моды, частоты которых приходится на полосу усиления активной среды.

Резонаторы оптического диапазона представляют собой весьма специфические резонансные системы, главным образом, благодаря тому, что их собственные размеры обычно на несколько порядков превышают рабочую длину волны. Это исключает возможность применения широко распространенных в СВЧ-диапазоне закрытых резонаторов, представляющих собой замкнутую полость с отражающими стенками: число высокодобротных колебаний на оптических частотах у них было бы непомерно велико. Поэтому здесь используются открытые, не имеющие боковых стенок, резонаторы, в простейшей своей модификации состоящие из двух установленных друг против друга зеркал, между которыми и помещается активная среда. Сама

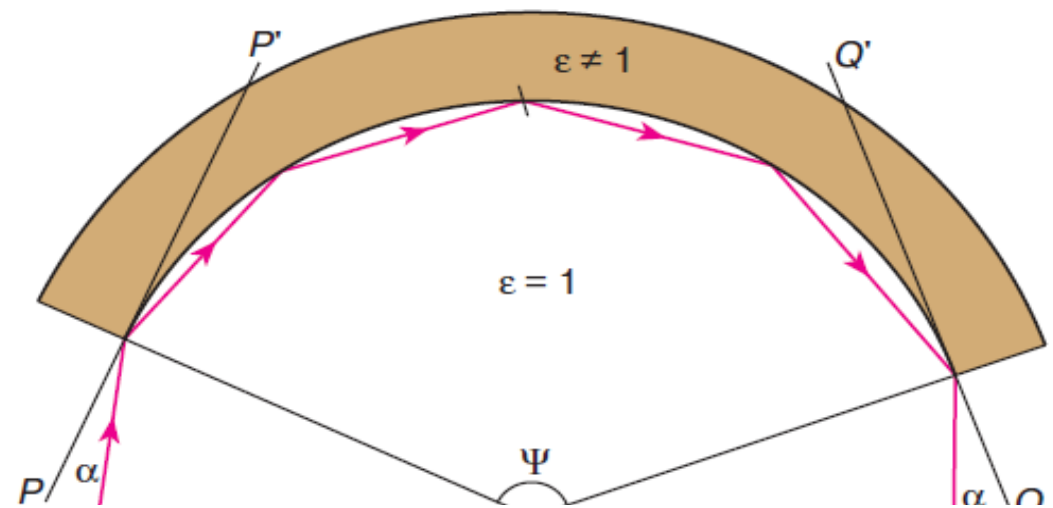
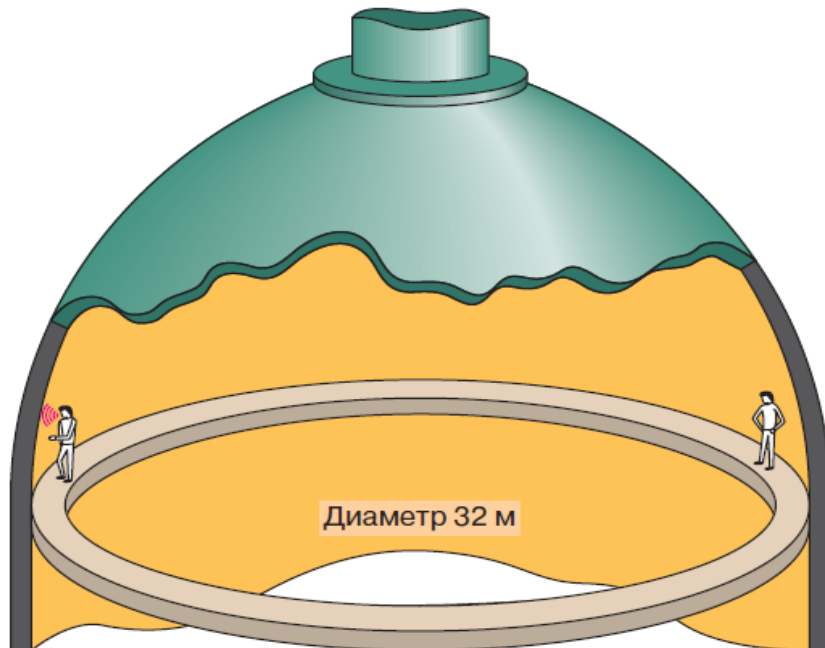
# Опять Закрытые Резонаторы

## Волны Шепчущей Галереи

Брагинский В.Б., Ильченко В.С. Свойства оптических диэлектрических резонаторов // Докл. АН СССР. 1987. Т. 293, № 6. С. 1358–1563.



Шепчущая галерея под куполом святого Павла в Лондоне



Волна шепчущей галереи у поверхности вогнутого зеркала. Стрелками указаны направления входа и выхода волны.  $O$  – центр кривизны зеркала,  $\alpha$  – угол скольжения,  $PP'$  и  $QQ'$  – касательные к поверхности зеркала

# МШГ для цилиндрического волновода

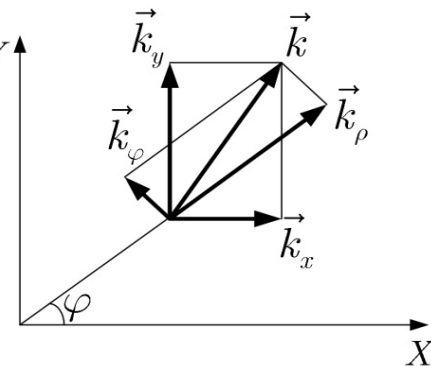
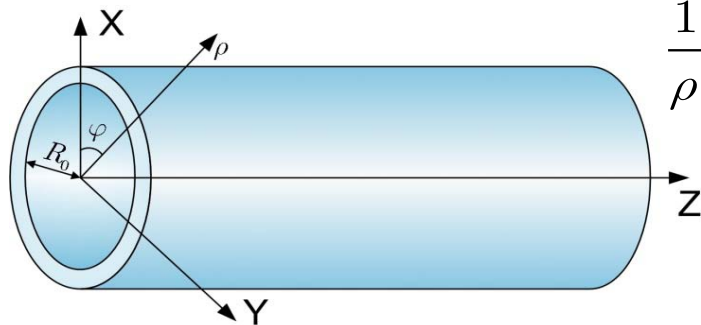
Уравнение Гельмгольца :

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho \frac{\partial E}{\partial \rho} \right) + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 E}{\partial \varphi^2} + k^2 E = 0$$

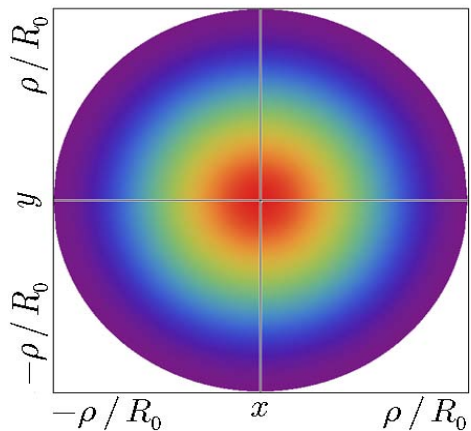
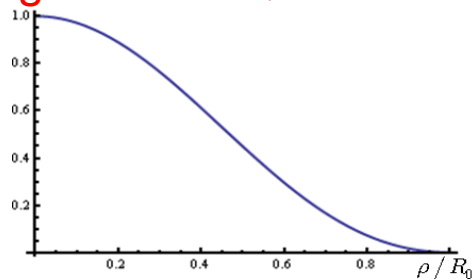


$$E \sim J_m(k_{\perp} \rho)$$

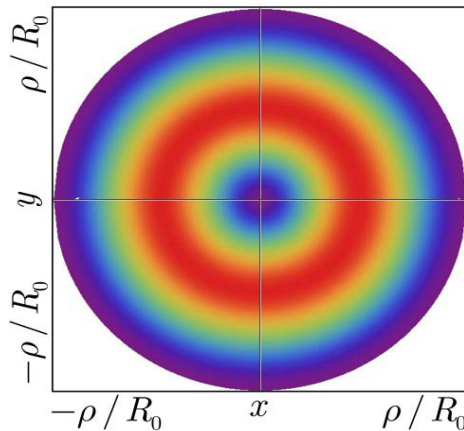
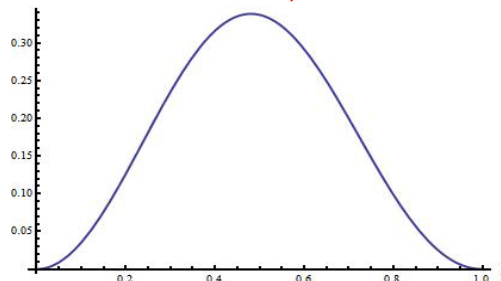
$J_m$  - функция Бесселя



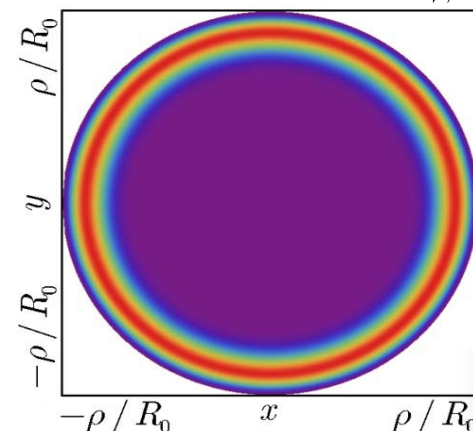
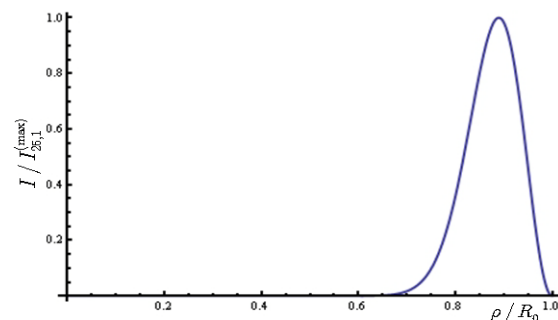
ground  $TM_{0,1}$ -mode



excited  $TM_{1,1}$ -mode

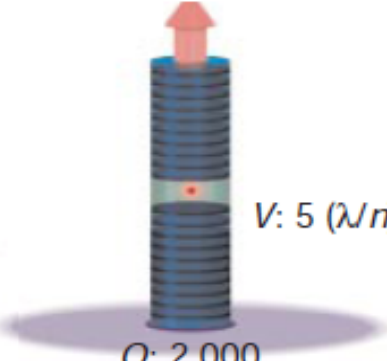
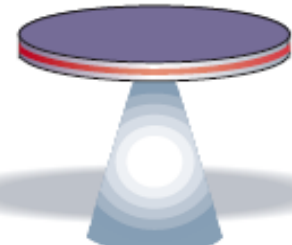
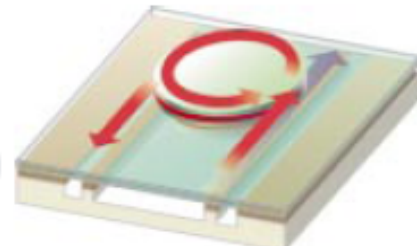
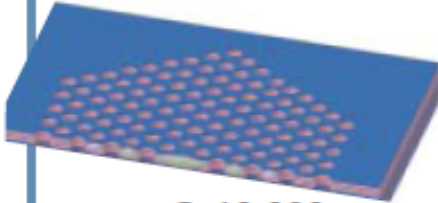
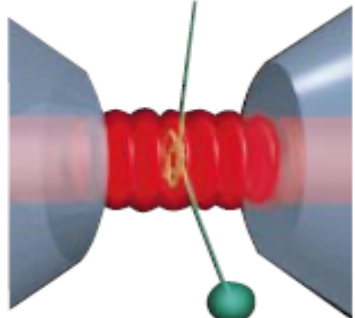
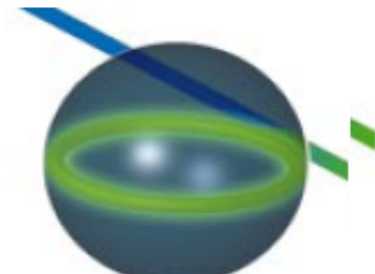
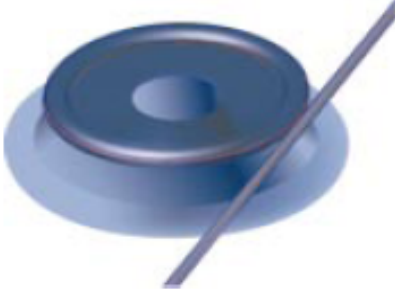


Whispering gallery  $TM_{25,1}$ -mode



# Optical Microcavities; Outlook

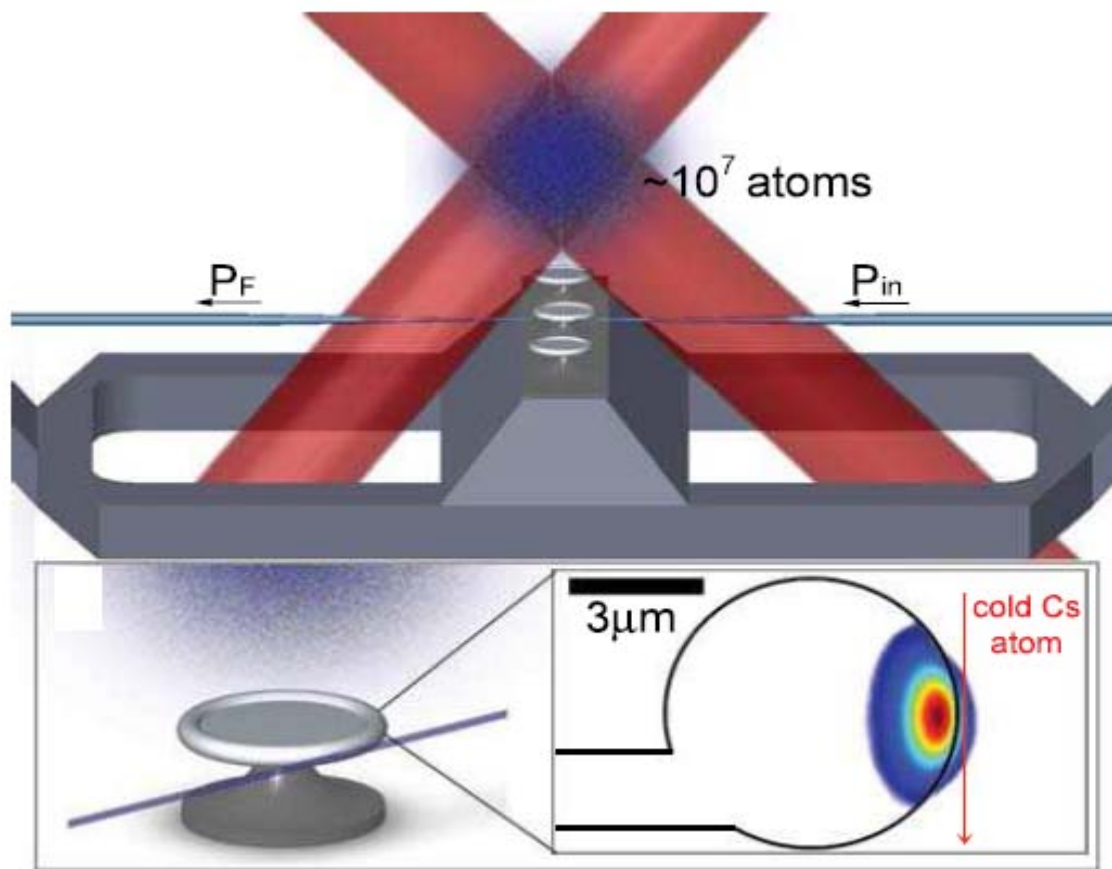
Kerry J. Vahala, *CalTech*. 2003

	Fabry-Perot <b>Micropost</b>	Whispering gallery	Photonic crystal
High Q	 <p><math>V: 5 (\lambda/n)^3</math> <math>Q: 2,000</math></p>	<p><b>Microdisc</b>      <b>Semiconductor polymer</b></p>   <p><math>Q: 12,000</math> <math>V: 6 (\lambda/n)^3</math></p> <p><math>Q_{III-V}: 7,000</math>    <math>Q_{Poly}: 1.3 \times 10^5</math></p>	 <p><math>Q: 13,000</math> <math>V: 1.2 (\lambda/n)^3</math></p>
Ultrahigh Q	 <p><math>F: 4.8 \times 10^5</math> <math>V: 1,690 \mu\text{m}^3</math></p>	<p><b>Microsphere</b>      <b>Microtorroid</b></p>   <p><math>Q: 8 \times 10^9</math> <math>V: 3,000 \mu\text{m}^3</math></p> <p><math>Q: 10^8</math></p>	

$n$  is the material refractive index,  $Q$  is quality factor,  $F$  is a finesse,  $V$  is cavity volume, if not indicated, was not available. Two values are cited for the add/drop filter: one for a polymer design,  $Q_{Poly}$  and the second for a III-V semiconductor design.

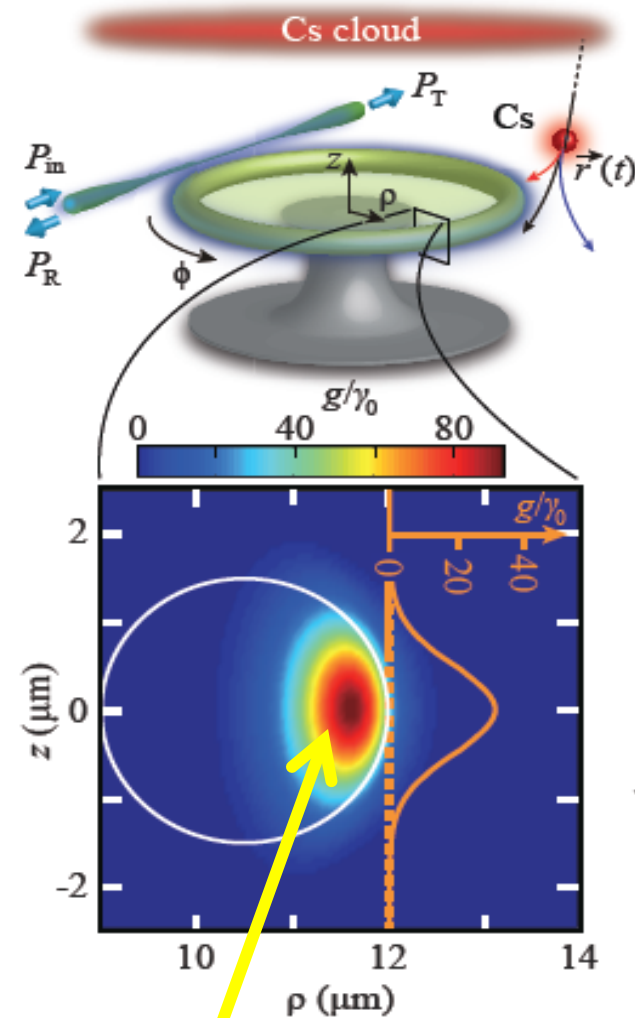
# Atom Near the Surface of a Toroidal Resonator

Scheme of  $\text{SiO}_2$  toroidal resonators chain - CalTech, 2011



Temperature of the cloud  $T = 10\mu\text{K}$

Experimentally achieved single photon  
Rabi frequency is **50MHz**



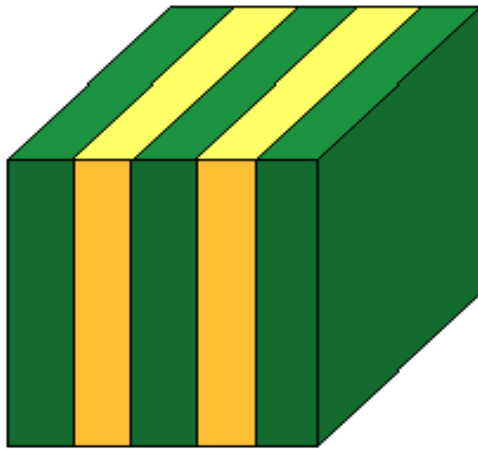
WG Modes

# Photonic Crystals (PhC)

Periodic dielectric structures with photonic band gaps

Lord Rayleigh, 1887

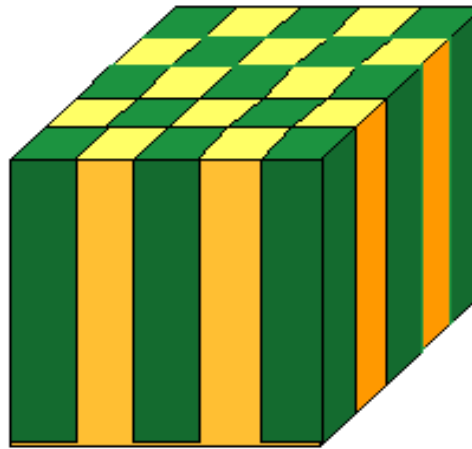
1-D



periodic in  
one direction

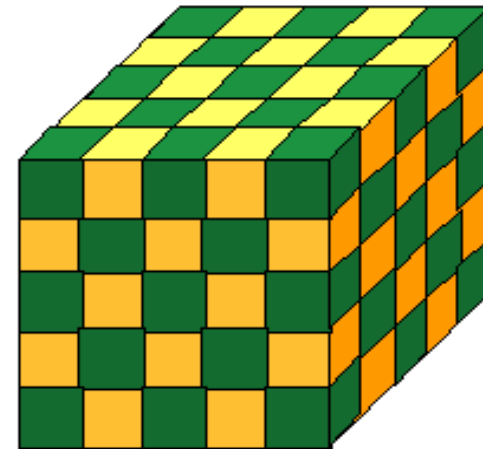
Eli Yablonovitch, John Sajeev, 1987

2-D



periodic in  
two directions

3-D



periodic in  
three directions

 is medium with dielectric constant

$\epsilon_1$

 is medium with dielectric constant

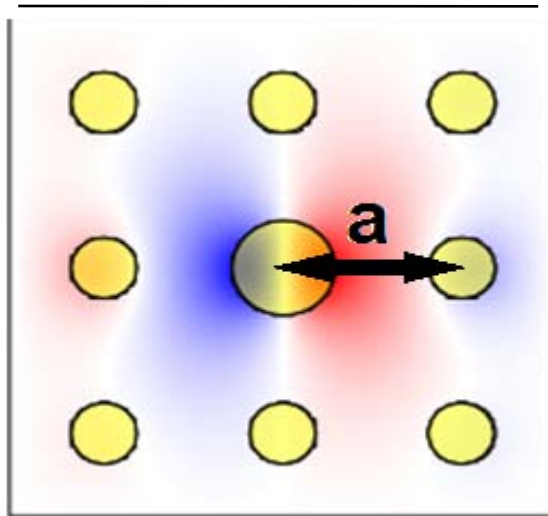
$\epsilon_2$

Textbook: J.D. Joannopoulos et al, *Photonic Crystals. Molding the Flow of Light*, PRINCETON, 2008

# 2D Photonic Crystals with Defects

*How else can we confine light?*

Point defects  
(microcavities)



$$a \sim 0.5 - 2 \mu m$$

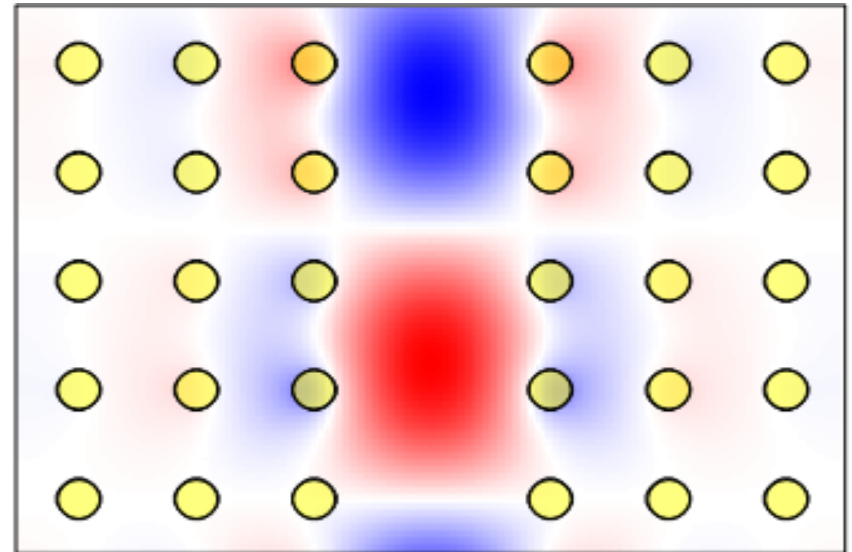
**Main features**

✓ Quality factor is  $\sim 10^5$

✓ Cavity volume is very small:  $1.2(a/n)^3 \sim 1 \mu m^3$

Such a properties can be used for effective atom trapping

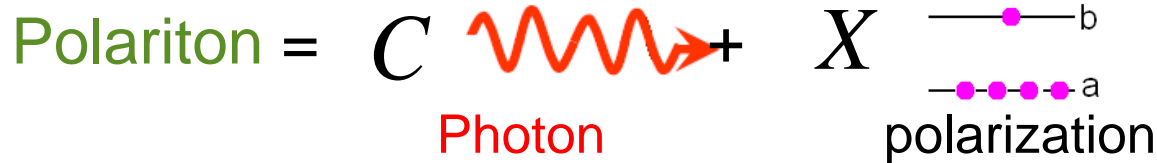
Line defects (waveguides)



Guiding light in air due to gap only!

# Polaritons in Atomic Optics

## Atomic polaritons; definition

$$\text{Polariton} = C \text{ Photon} + X \text{ polarization}$$


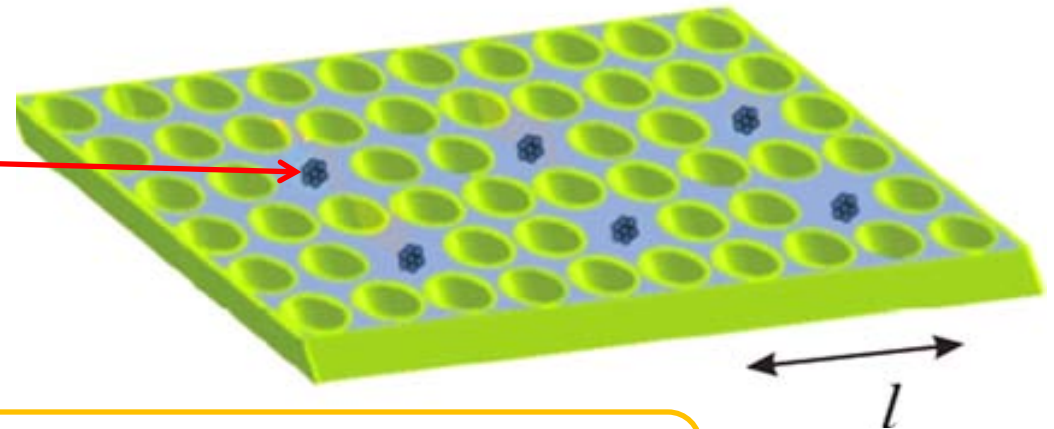
## Quantum coherence and phase transition under the atom-field interaction

- M. Fleischhauer, M.D. Lukin, *Phys. Rev. A* 65, 022314 (2002) - EIT polaritons ;
- A.D. Greentree, et al, *Nature Physics* 2, 856 (2006) – polaritons in PC cavity array;

Two-level atoms or  
quantum dots



(A.P. Alodjants, et al, 2009)



We should have:

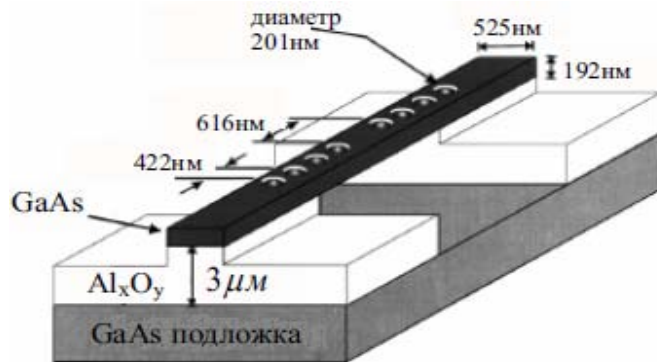
- Photon confinement to create finite photon mass;
- Cavity to increase time of atom-field interaction.



# Microcavities with defects in band gap spatially-periodical structures

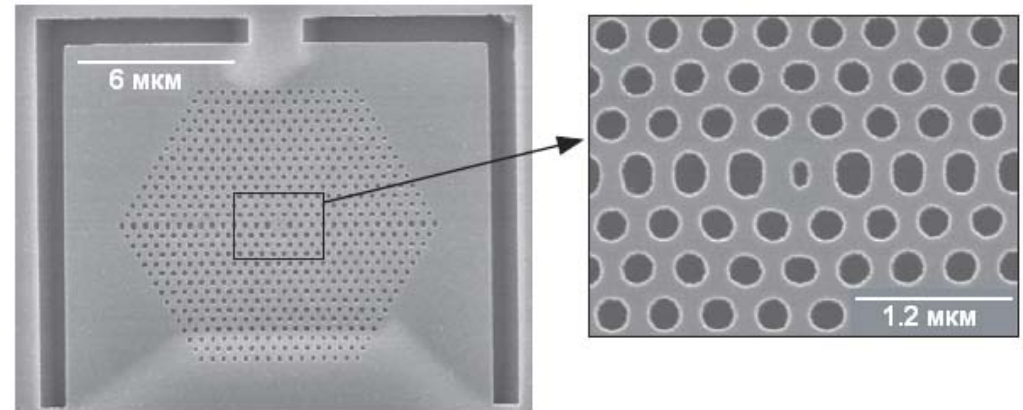
## Microcavity in waveguide

Ripin D.J. et al. J. Appl. Phys. 87, 1578 (2000)

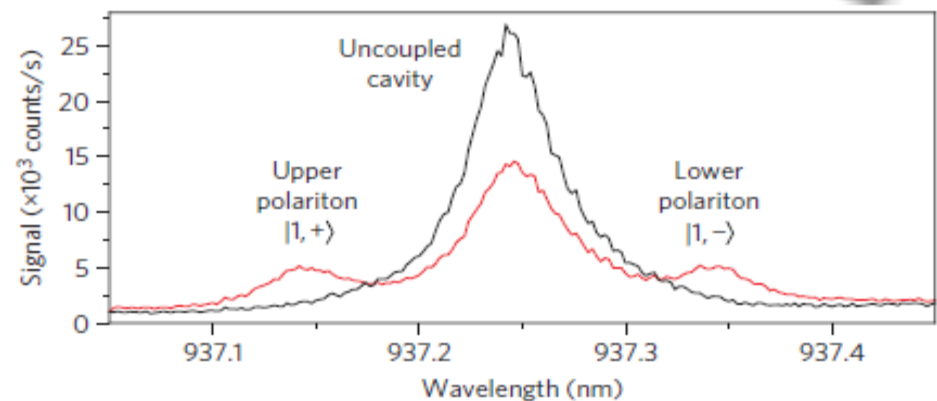
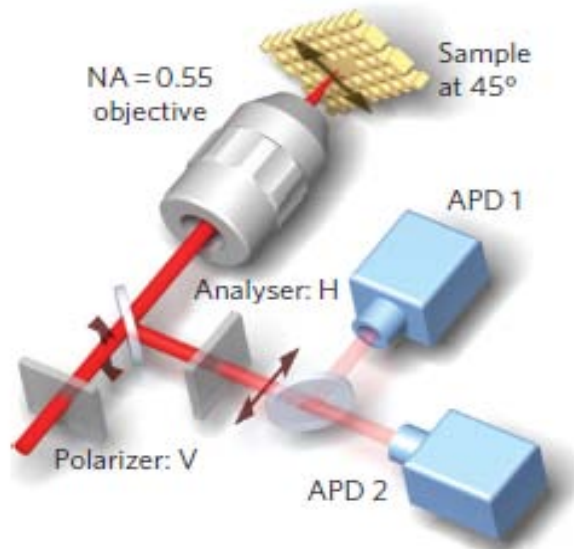


## Microcavity based on defects in PC

Vučković E. et al. Phys. Rev. E. 65, 016608 (2002)



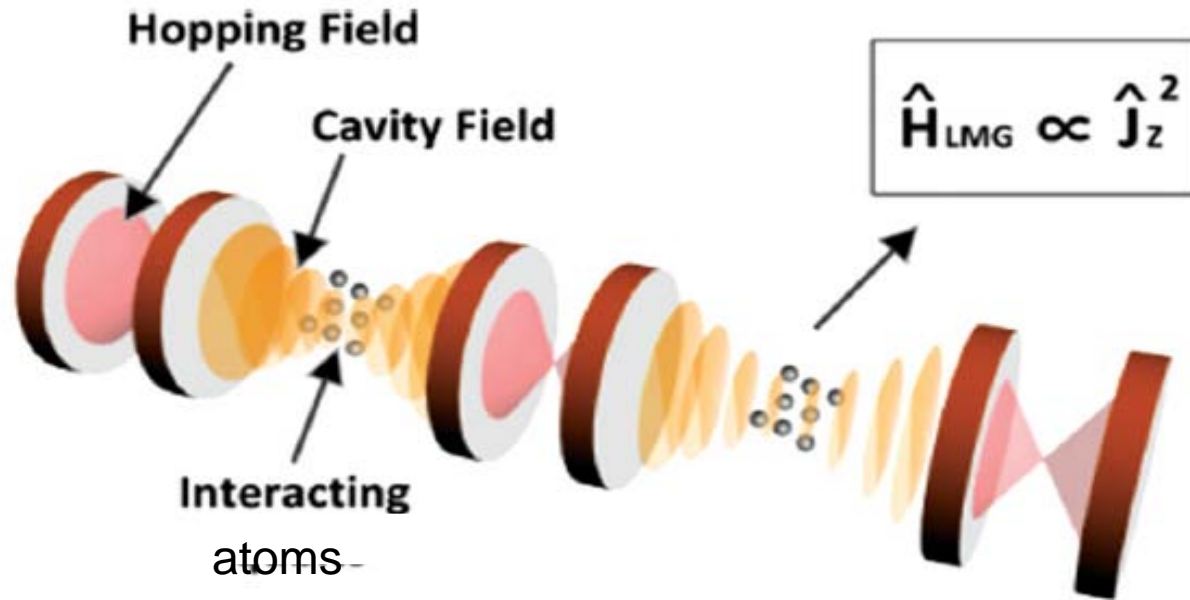
Resonant scattering spectroscopy of a QD strongly coupled to a PC cavity.



A. Reinhard, et al, Nature, v.6, p.93 (2012)

# The Model of 1D Cavity Chain with Two-level Atoms

The scheme; *E.S. Sedov, A.P. Alodjants, S.M. Arakelian, Y.Y. Lin, R.-K. Lee, 2012*



Numerical estimations taken for rubidium atoms:

Average resonance frequency for D-lines is  $\omega_{ab} / 2\pi = 382\text{THz}$

Spontaneous emission rate is  $\Gamma \approx 38\text{MHz}$

Atom-field coupling strength is  $g = 2\pi \times 63.2\text{GHz}$

Number of atoms at each of cavity is  $N = 5 \times 10^5$  with atomic density  $\rho = 10^{14} \text{cm}^{-3}$

Cavity field decay rate is  $\gamma_c = 2\pi \times 30\text{MHz}$

Atom-atom coupling rate is  $\eta = 2\pi \times 0.73\text{kHz}$

# Basic Equations

The Hamiltonian is

$$\hat{H}_{\text{HP}} = \hbar \sum_{i=1}^M \left\{ \Delta \hat{a}_i^\dagger \hat{a}_i + g \left( \hat{a}_i^\dagger \hat{b}_i + \hat{a}_i \hat{b}_i^\dagger \right) - \frac{g}{2N} \left[ \hat{a}_i^\dagger \hat{b}_i^\dagger \hat{b}_i \hat{b}_i + \hat{a}_i \hat{b}_i^\dagger \hat{b}_i^\dagger \hat{b}_i \right] + \right.$$

Photon-atom  
interaction

Nonlinearity

$$\left. + \frac{\eta}{N} \left( \hat{b}_i^\dagger \hat{b}_i \hat{b}_i^\dagger \hat{b}_i - N \hat{b}_i^\dagger \hat{b}_i \right) - \alpha \left( \hat{a}_i^\dagger \hat{a}_{i+1} + \hat{a}_{i+1} \hat{a}_i \right) \right\}$$

Atom-atom  
interaction

Photon tunneling

Discrete Heisenberg Equations for photonic field and atomic polarization operators :  $\hat{b}_i$

$$i \frac{\partial}{\partial t} \hat{b}_i = g \left[ \hat{a}_i - \frac{1}{2N} \left( \hat{a}_i^\dagger \hat{b}_i \hat{b}_i + 2 \hat{a}_i \hat{b}_i^\dagger \hat{b}_i \right) \right] - \eta \hat{b}_i + \frac{2\eta}{N} \hat{b}_i^\dagger \hat{b}_i \hat{b}_i$$

$$i \frac{\partial}{\partial t} \hat{a}_i = \Delta \hat{a}_i - \alpha \left( \hat{a}_{i+1} + \hat{a}_{i-1} \right) + g \left[ \hat{b}_i - \frac{1}{2N} \left( \hat{b}_i^\dagger \hat{b}_i \hat{b}_i \right) \right]$$

# Mean-Field Equations in Continuous Limit

Mean field approach:

$$\hat{a}_i \rightarrow \langle \hat{a}_i \rangle / \sqrt{N_{\text{pol}}} = \psi / \sqrt{N_{\text{pol}}}$$

$$\hat{b}_i \rightarrow \langle \hat{b}_i \rangle / \sqrt{N_{\text{pol}}} = \beta / \sqrt{N_{\text{pol}}}$$

Photonic field variable

Atomic polarization variable

$$N_{\text{pol}} = \left| \langle \hat{a} \rangle \right|^2 + \left| \langle \hat{b} \rangle \right|^2 \quad \text{is total number of polaritons}$$

$$\text{Normalization condition:} \quad |\psi|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Mean field equations:

$$i\partial_t \psi = (\Delta - 2\alpha - i\gamma_c)\psi - \alpha d^2 \partial_{xx} \psi + g\beta - U_{\text{sat}} |\beta|^2 \beta$$

$$i\partial_t \beta = -(i\Gamma_d + \eta)\beta + g\psi - U_{\text{sat}} \left[ \beta^2 \psi^* + 2\psi |\beta|^2 \right] + U_{\text{int}} |\beta|^2 \beta$$

$$U_{\text{int}} \equiv 2\eta n_{\text{pol}}$$

$$U_{\text{sat}} \equiv gn_{\text{pol}} / 2$$

$$n_{\text{pol}} = N_{\text{pol}} / N$$

# Multiple-Scale Envelope Function Method

C. M. de Sterke and J. E. Sipe, *Phys. Rev. A* 38, 5149 (1988)

The core of the method is

(i) Different time and length scale

$$t_m = \lambda^m t \quad x_m = \lambda^m x \quad \lambda \ll 1, \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

(ii) Small parameter expansion

$$\psi = \lambda \psi^{(1)} + \lambda^2 \psi^{(2)} + \lambda^3 \psi^{(3)} + \dots$$

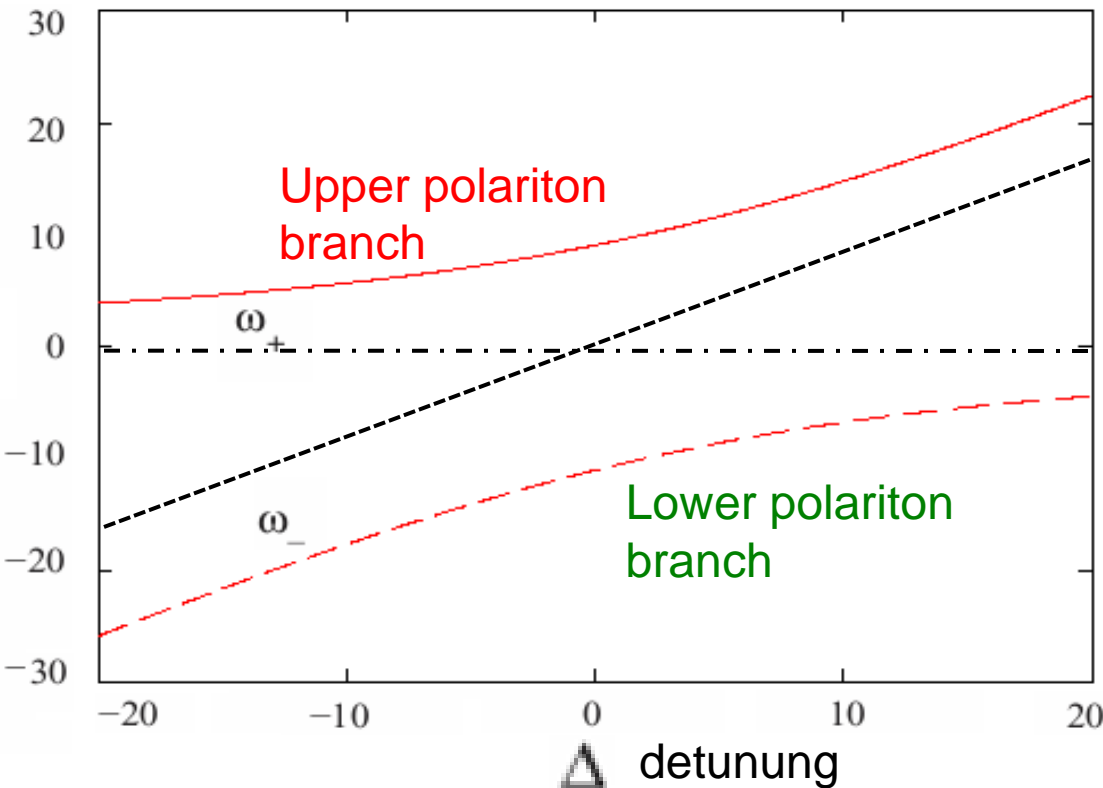
$$\beta = \lambda \beta^{(1)} + \lambda^2 \beta^{(2)} + \lambda^3 \beta^{(3)} + \dots$$

# Dispersion Characteristics

$$\sim \lambda : \quad i\partial_{t_0} \psi^{(1)} = (\Delta - 2\alpha - i\gamma_c) \psi^{(1)} - \alpha d^2 \partial_{x_0}^2 \psi^{(1)} + g \beta^{(1)}$$

$$i\partial_{t_0} \beta^{(1)} = -(i\Gamma_d + \eta) \beta^{(1)} + g \psi^{(1)}$$

Plane wave solutions:  $\psi^{(1)} = E^{(1)} e^{i(kx_0 - \omega t_0)}$   $\beta^{(1)} = \frac{g}{\omega + \eta + i\Gamma_d} E^{(1)} e^{i(kx_0 - \omega t_0)}$



Dispersion relations:

$$\omega_{\pm} = \frac{1}{2} \left[ \Delta - \eta - 2\alpha \left( 1 - \frac{d^2 k^2}{2} \right) - i(\gamma_c + \Gamma_d) \right. \\ \left. \pm \left[ \left( \eta + \Delta - 2\alpha \left( 1 - \frac{d^2 k^2}{2} \right) - i(\gamma_c - \Gamma_d) \right)^2 + 4g^2 \right]^{1/2} \right]$$

The parameters are:

$$k = 0.1, \quad \gamma = 0, \quad g = 10, \quad \alpha = d = 1$$

# Polariton Group Velocities

Wave equation for optical wave packet envelope:

$$\sim \lambda^2 : \quad \left( \partial_{t_1} + v_{\pm} \partial_{x_1} \right) E^{(1)} = 0$$

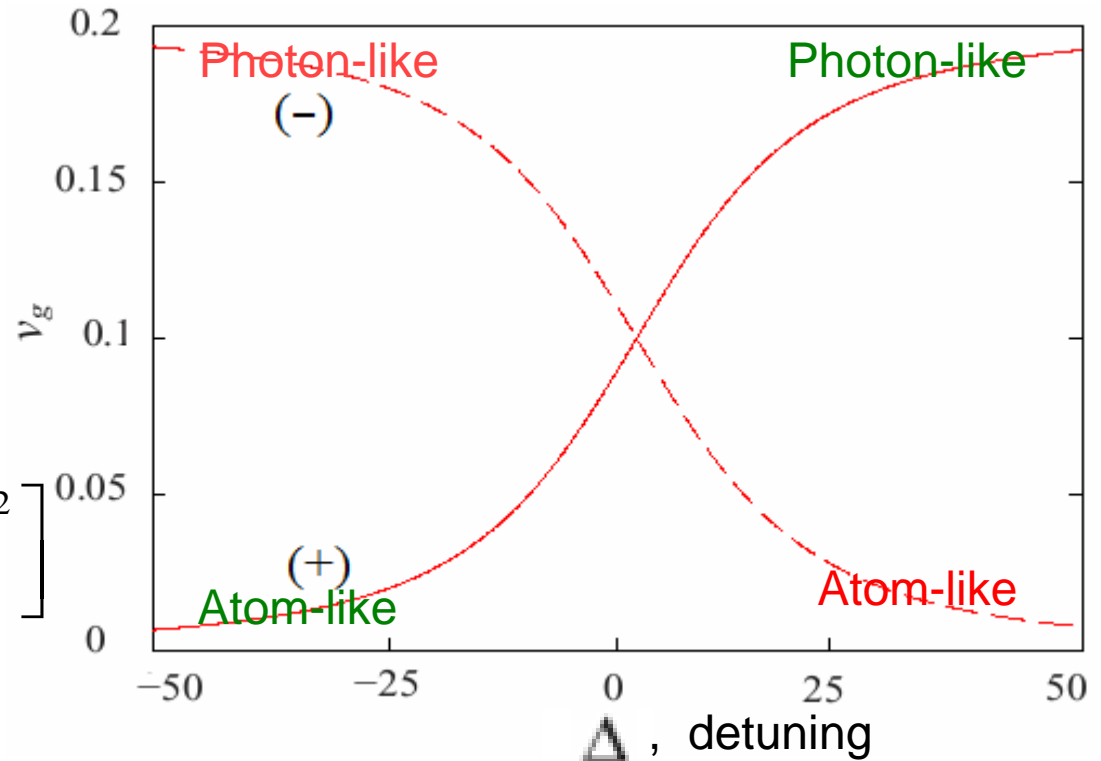
Group velocities:

$$v_{\pm} = \partial_k \omega_{\pm} = \frac{2\alpha k d^2 \Omega_{\pm}^2}{\Omega_{\pm}^2 + g^2}$$

where

$$\Omega_{\pm} = \frac{1}{2} \left[ \delta - i\gamma \pm \left( (\delta - i\gamma)^2 + 4g^2 \right)^{1/2} \right]$$

$$\gamma = \gamma_c - \Gamma$$



Strong coupling condition:

$$\gamma_c, \Gamma < g$$

The parameters are:

$$k = 0.1, \gamma = 0, g = 10, \alpha = d = 1$$

# Ginzburg-Landau Equation for UB Polariton-Solitons

$$\sim \lambda^3 : \quad i \frac{\partial \Psi}{\partial \tau} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + |\Psi|^2 \Psi = -i \varepsilon_1 |\Psi|^2 \Psi + i \varepsilon_2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2}$$

where  $\Psi = \lambda E^{(1)}$  is field amplitude

Nonlinear  
absorption

Diffusion

Perturbation coefficients

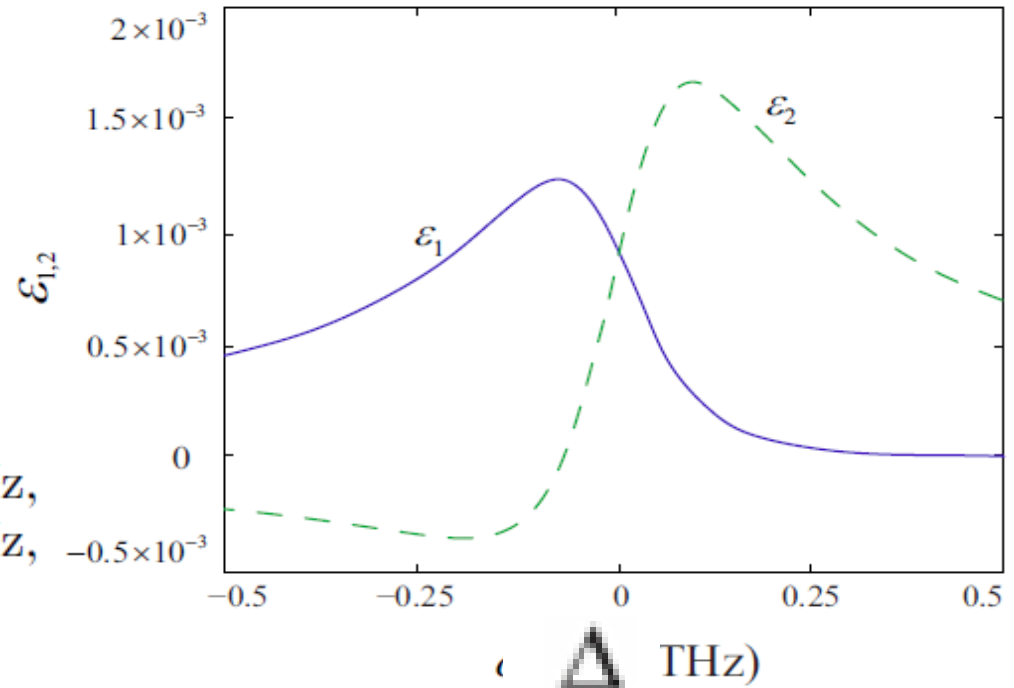
$\varepsilon_1$  and  $\varepsilon_2$

The parameters are:

$$g = 2\pi \times 63.3 \text{GHz}, \quad \alpha = 2\pi \times 10 \text{GHz},$$

$$\gamma_c = 2\pi \times 30 \text{MHz}, \quad \Gamma_d = 2\pi \times 6 \text{MHz},$$

$$d = 5 \mu\text{m}, \quad n_{\text{pol}} = 0.01.$$





# Perturbed bright UB polariton-solitons

V.I. Karpman, V.I. Maslov, *Perturbation theory for solitons*, JETP 75, 537 (1977)

Bright soliton solution:

$$\Psi(\tau, x) = 2A \operatorname{sech} \left[ 2A(x - \zeta(\tau)) \right] e^{i\varphi(\tau, x)}$$

$A$ ,  $\zeta(\tau)$ ,  $\varphi(\tau, x)$  are amplitude, position and phase for the solitons

Equations for perturbed soliton parameters

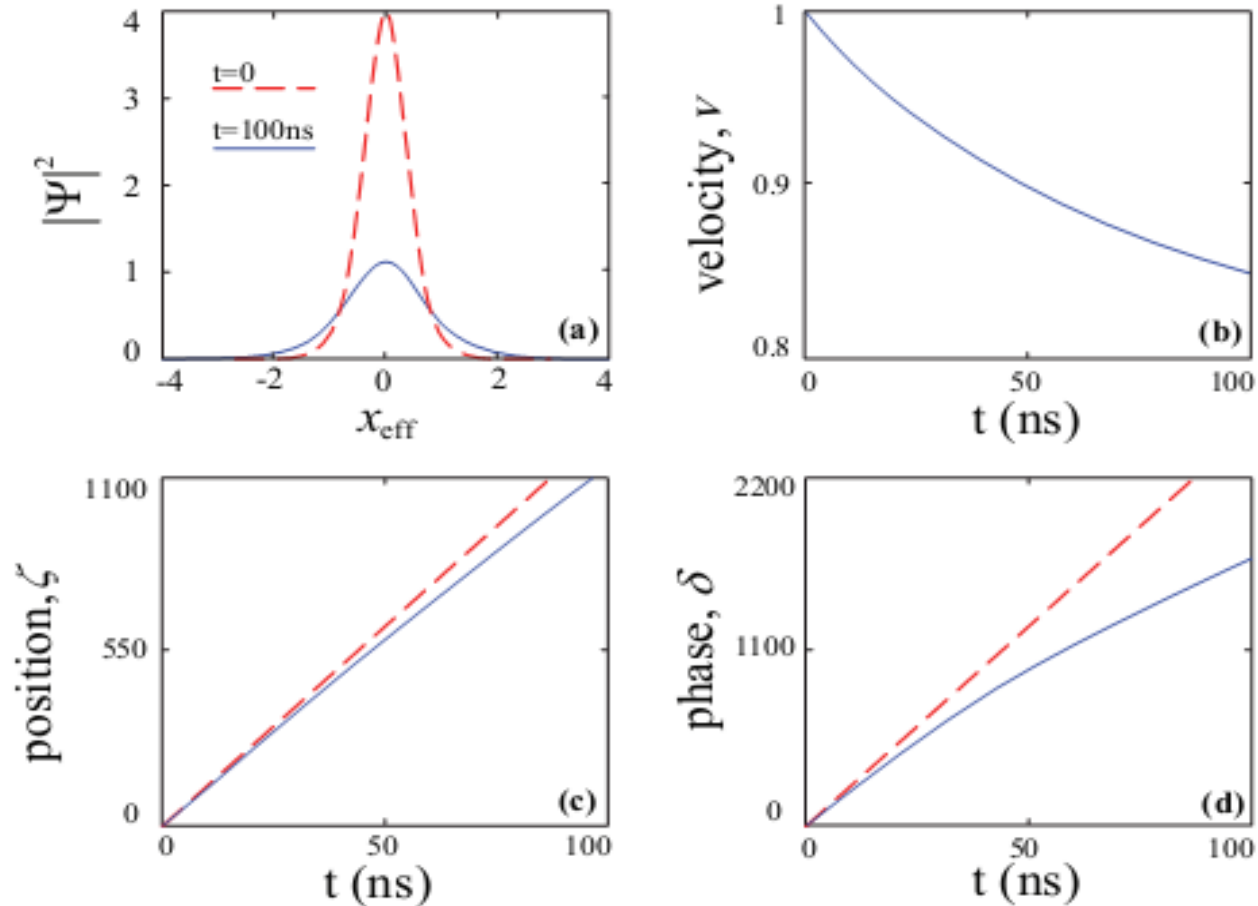
$$\dot{A} = -\frac{8}{3}(2\varepsilon_1 + \varepsilon_2)A^3 - \frac{1}{2}\varepsilon_2 v^2 A \quad \longrightarrow \quad \text{for amplitude}$$

$$\dot{v} = -\frac{16}{3}\varepsilon_2 v A^2 \quad \longrightarrow \quad \text{for velocity}$$

$$\dot{\zeta} = \frac{v}{2} \quad \longrightarrow \quad \text{for position}$$

$$\dot{\delta} = \frac{v^2}{2} + 2A^2 \quad \longrightarrow \quad \text{for phase}$$

# Bright Polariton Soliton Parameters



Field decay rate  $\gamma_c = 2\pi \times 30\text{MHz}$  atom spontaneous emission  $\Gamma = 2\pi \times 6\text{MHz}$

Atom-field coupling strength  $g = 2\pi \times 63.2\text{GHz}$ ,

Photon hopping parameter  $\alpha = 2\pi \times 10\text{GHz}$ , Cavity size  $d = 5\mu\text{m}$ ,

Polariton number density  $n_{\text{pol}} = 0.01$

# Storage of Quantum Optical Information

## LB polaritons as coherent wave packets

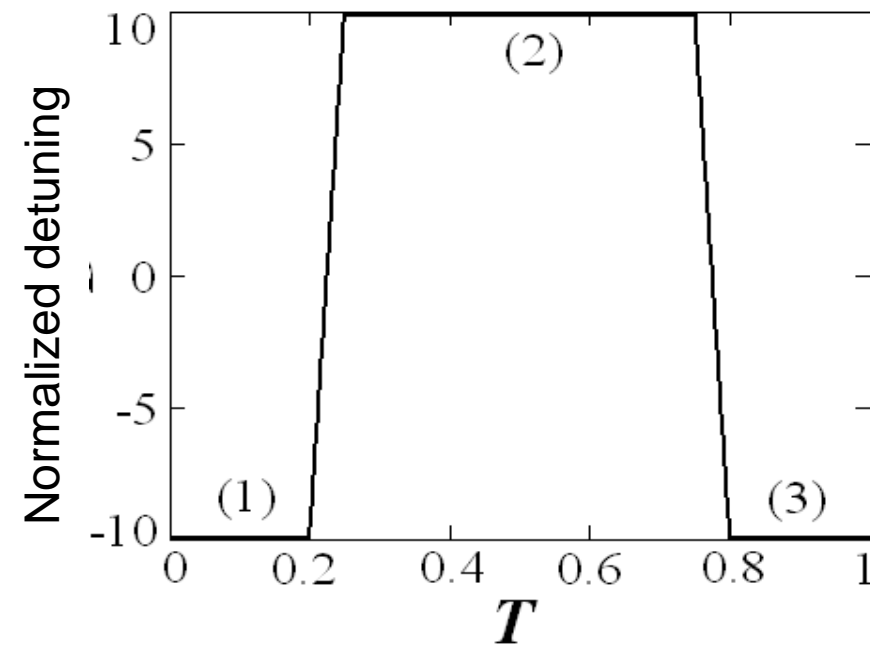
versus normalized time  $T = \hbar t / m_{ph} f^2$

and spatial coordinate  $X = x / f$

$f$  is width of polaritonic wave packet.

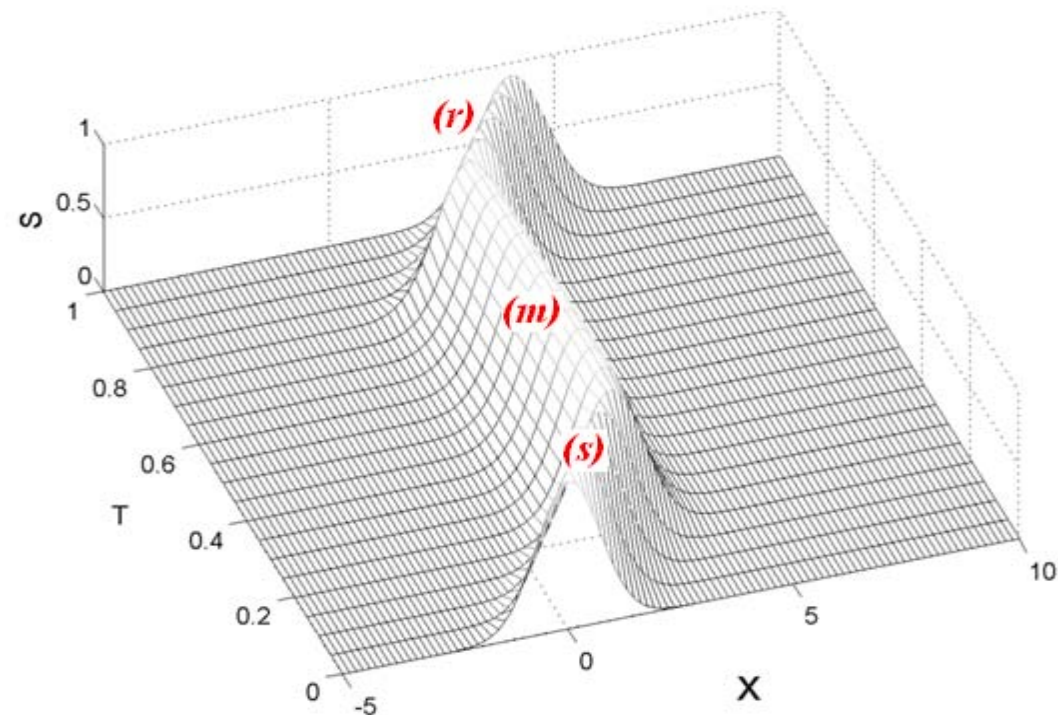
$$S \equiv |\Psi(x, t)|^2 / |\Psi(0, 0)|^2$$

$$X = x / f$$



- 1 – writing stage),
- 2 – storage stage (“stopped” light),
- 3 – retrieving stage

## Normalized probability density



Displacement of wave packet

$$x = v_{pol} t$$

The storage time is limited by excited level lifetime which is about 27 nsec.

# Conclusions

- ❖ Современные квантовые технологии позволяют создавать микро – и нано резонаторы высокой добротности и осуществить сильную связь между отдельным атомом и полем.
- ❖ Для квантовых вычислений особое значение имеют решетки таких резонаторов – поляритонные кристаллы, позволяющие полностью локализовать поляритоны в своей структуре. Сильная нелинейность в этом случае гарантируется поляритон-поляритонным рассеянием.
- ❖ С точки зрения квантовой записи и хранения информации особый интерес представляют устойчивые образования - поляритонные солитоны, число частиц в которых благодаря большой нелинейности может быть очень малым.
- ❖ Квантовая запись и хранение информации в этом случае может быть основано на эффективном управлении поляритонным волновым пакетом в среде.

## Recent Publications

- ✓ I-H. Chen, Y. Y. Lin, Y.-C. Lai, E. S. Sedov, A. P. Alodjants, S. M. Arakelian, R.-K. Lee, *Phys. Rev. A*, v.86, p.023829 (2012),
- ✓ E. S. Sedov, A. P. Alodjants, S. M. Arakelian, Y.Y. Lin, R.-K. Lee. *Phys. Rev. A*, v.84, p. 013813 (2011).

# Stoletov's Vladimir State University

as a Regional Leader in Education, Science and Innovation



## Main features

Natural/Basic, Technical  
and Humanitarian fields

- 26.000 студентов
- 1.300 сотрудников и научных работников
- 18 Институтов
- 52 Кафедры

Годовой бюджет (2011)

55.000.000 USD,

including R&D

17.000.000 USD



# Quantum and Atomic Optics at VISU

The goal is investigation of fundamental problems of coupled matter-field states for quantum and classical optical information transmission and processing

## Main directions of our activity

### 1. Quantum optics with ultra-high density atomic gases.

- ❖ Thermalization of coupled atom-light (dressed) states;
- ❖ High-temperature phase transition problem for polaritons trapped in metallic micro-waveguides in the presence of optical collisions;

### 2. Quantum optics and quantum information with band-gap structures and waveguides

- ❖ Polaritons in band-gap atomic and solid state 2D microstructures;
- ❖ Quantum information processing with coherent polaritons at matter-field interface.
- ❖ Design of waveguide and interferometer containing circuits for quantum information transmission.

# Members of Quantum Optics Group at VISU

Professor , Dr. Sci.  
Sergey M. Arakelian



Professor, Dr. Sci.  
A.P. Alodjants



Associate Prof. Dr.  
Alexei V. Prokhorov

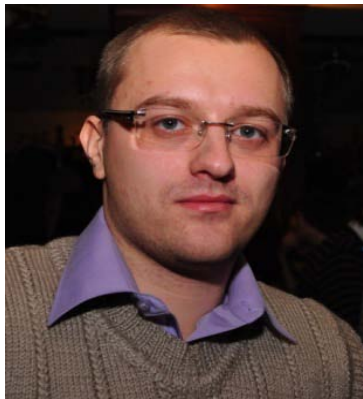


Associate Prof. Dr.  
Andrei Yu. Leksin

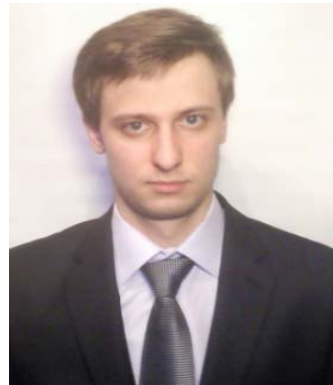


## PhD Students

Igor O. Barinov



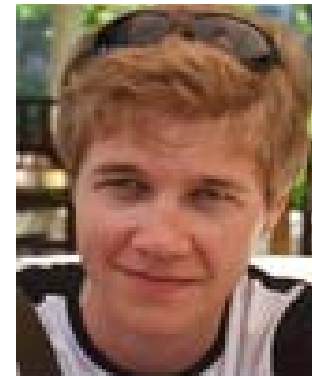
Mikhail Gubin



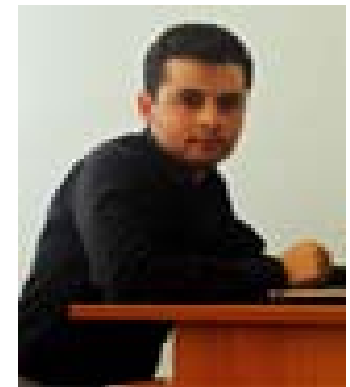
Igor Yu. Chestnov



Evgenii S. Sedov



Martin V. Charukhchyan



# Third Russian-Taiwan School-Seminar on Nonlinear Optics and Photonics

June 14-17, 2013

Suzdal/Vladimir, Russia

*Conference*

Joint Taiwan-Russia School-Seminar on Nonlinear Optics and Photonics will be organized for the third time. The previous two joint Russia-Taiwan symposia "Nonlinear Optics and Photonics" were organized under the NSC-RFBR program in the beginning by the International Laser Center of MSU in Moscow, Russia in 2008 then by Institute of Photonics Technologies, National Tsinghua University, in Hsinchu, Taiwan in 2011. These symposia were a success and provided a basis for further interaction and research co-operation of two complementary scientific communities in Taiwan and Russia. As a result of face-to-face interaction and fruitful discussions several research groups from Taiwan and Russia began scientific collaboration in fields of experimental and theoretical modern non-linear optics and photonics.

<http://agora.guru.ru/rts-nop-2013>

**Приглашаются все заинтересованные!**



# Стипендии для молодых ученых

Российский Квантовый Центр объявляет конкурс стипендиальных программ для талантливых молодых ученых среди кандидатов наук и аспирантов. Стипендиями будут награждаться победители, отобранные на основе международного конкурса.

RQC обеспечивает широкий спектр возможностей для проведения исследований в области квантовой оптики и квантовых технологий:

- Квантовая оптика
- Квантовые материалы
- Квантовая обработка информации
- Квантовая инженерия
- Нанопотоника и метаматериалы

Заявки и перечисленные ниже документы следует направлять на почту [fellowApplication@rqc.ru](mailto:fellowApplication@rqc.ru) до 10 февраля 2013 года:

## Весенняя школа

Russian Quantum Center is organizing a Spring School for graduate students and postdocs on March 17-23, 2013 in Moscow. The School will cover following topics:

- Nonlinear optics and advanced photonics
- Quantum technology of light
- Quantum physics with superconducting circuits
- Optomechanics

## INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUANTUM TECHNOLOGIES

The Second International Conference on Quantum Technologies will take place in Moscow on July 20-24, 2012. It is organized by the [Russian Quantum Center](#). We expect this interdisciplinary meeting to bring together over 100 experts from various fields of physics exploring frontiers of quantum technologies and include sessions on

- mesoscopic physics,
  - quantum optics,
  - ultra-cold atoms and molecules,
  - quantum information,
  - quantum communication.
- <http://www.rqc.ru/about/>

# Выводы

Подведем краткий итог сказанному. В силу того что по самой логике своего развития система научных исследований и научного образования непрерывно отягощается громоздкими административными структурами, заботами финансирования и тяжеловесным механизмом регламентаций и планирования, становится более чем когда-либо необходимым охранять свободу научного творчества и свободную инициативу оригинальных исследований, поскольку эти факторы всегда были и останутся самыми плодотворными источниками великого прогресса Науки.

25 апреля 1978 г.

*Луи де Бройль*

*Спасибо за внимание!*

**Alexander\_AP@list.ru**