

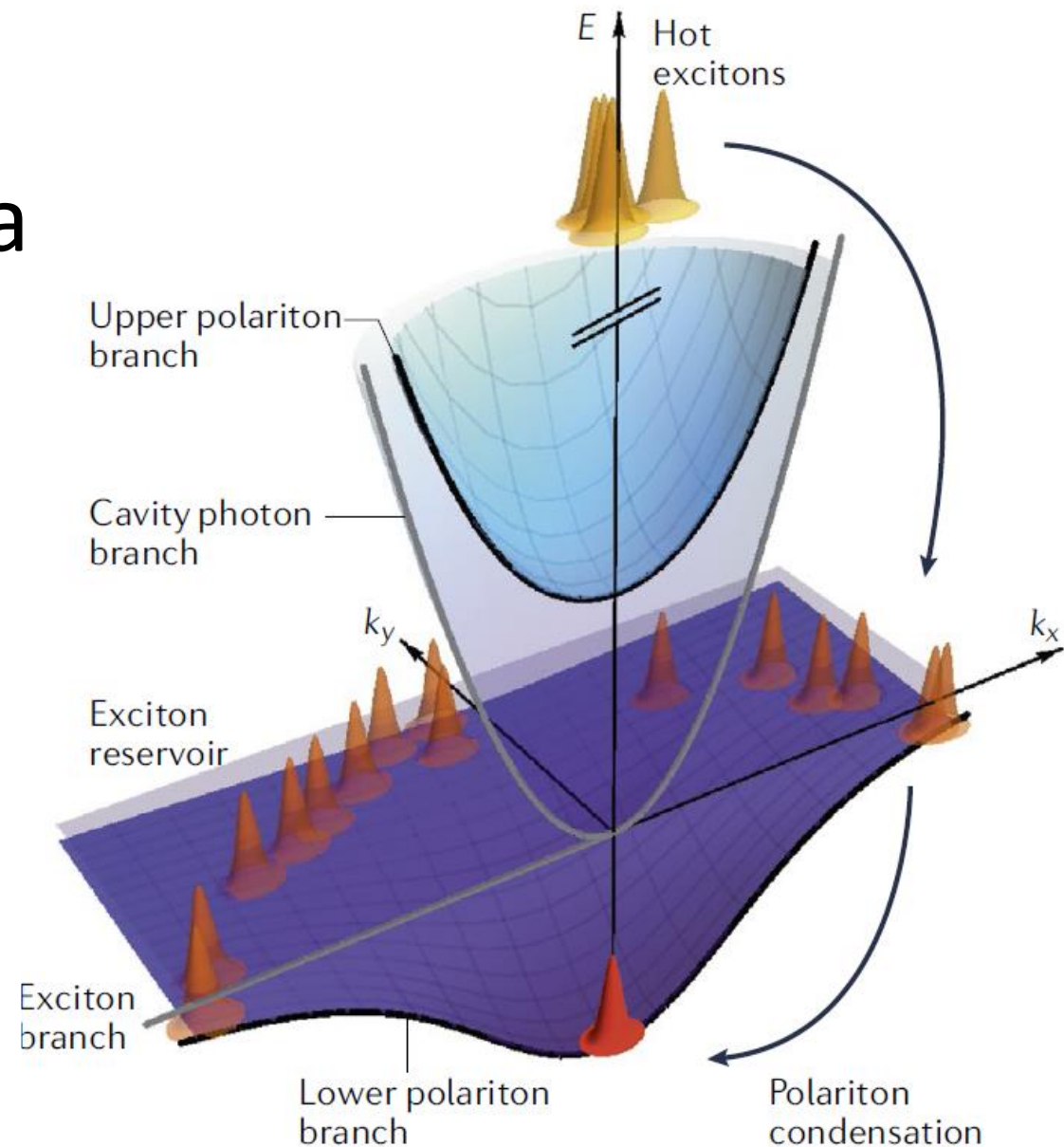
# Прогресс физики экситон- поляритонных конденсатов

Алексей Кавокин

Российский Квантовый Центр и  
МФТИ

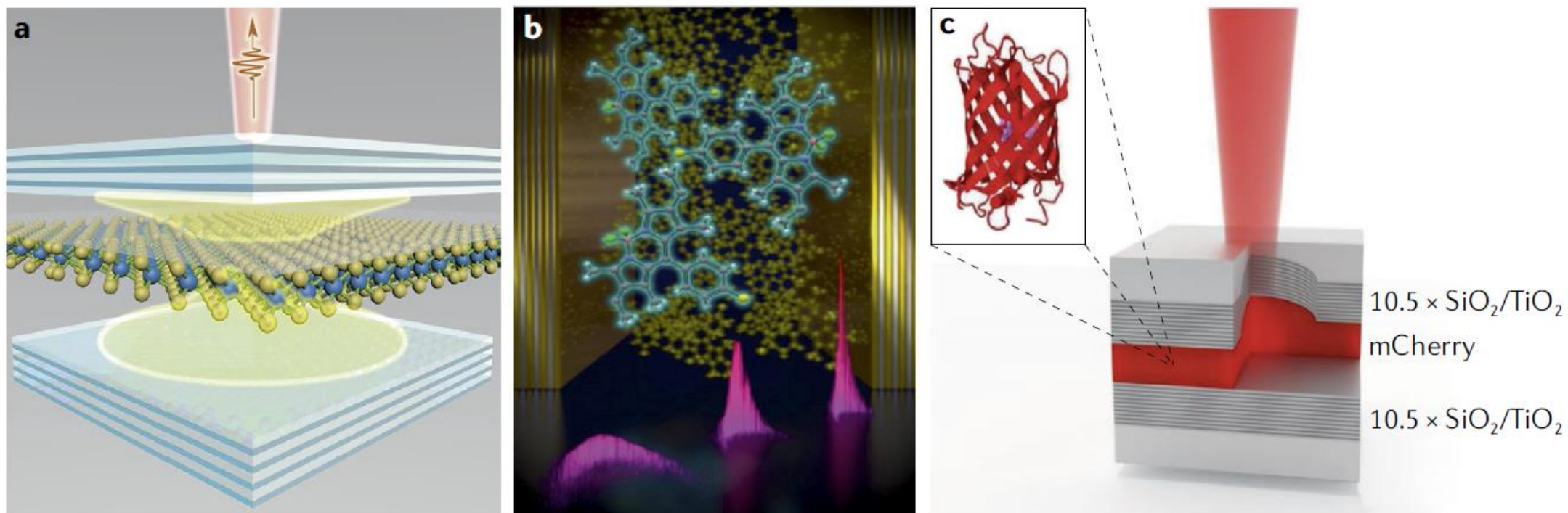
# Формирование поляритонного конденсата

Стимулированное рассеяние  
экситонных поляритонов в  
полупроводниковом  
микрорезонаторе приводит к  
формированию  
макроскопически заселенного  
квантового состояния:  
поляритонного конденсата



Первые эксперименты выполнены на неорганических структурах GaAs/AlGaAs, CdTe/CdMgTe etc

# Примеры современных структур, в которых наблюдаются поляритонные конденсаты



a) дихалькогениды переходных металлов, b) органический материал BODIPY-Br, c) органический материал mCherry

# Новые материальные платформы современной поляритоники

Table 1 | Emergent materials for polaritonics

Material	Advantages	Disadvantages	Perspectives
Transition metal dichalcogenides (TMDCs) and van der Waals heterostructures	Extreme confinement of exciton states, large exciton binding energies, unusual spin-orbit coupling effects, room-temperature operation, tunable interactions based on van der Waals engineering	Small size of flakes if produced by exfoliation, reduced exciton-photon relaxation rates compared with GaAs	Epitaxially grown TMDC crystals of macroscopically large extensions will enable a full scale of studies of transport and topology effects. Polariton condensation via direct current injection seems feasible.
Perovskites	Large exciton oscillator strength, strong coupling at room temperature, possibility of electronic injection in polariton lasers	Large inhomogeneous broadening of excitons, samples deteriorate with time	Applications of perovskite nanoparticles for the realization of quantum light emitters using the blockade effect
Organic molecules	Large exciton oscillator strength, polariton condensation and superfluidity at room temperature	Large inhomogeneous broadening of excitons, samples deteriorate with time, current injection extremely challenging	Applications in room-temperature logic and topological circuits and lattices
Liquid crystals	Easy tuning of TE-TM splitting and optical birefringence parameters. Control over relevant spin-optronic and topology effects	Weak coupling regime in liquid-crystal cavities that can be transformed to strong coupling in hybrid cavities. Still high dephasing rates	Optimization of hybrid structures such as liquid-crystal-perovskite microcavities for applications in topological polariton lasers



# Топологическая поляритоника

Комплексные собственные энергии поляритонных мод

$$E = E_0 - i\Gamma$$

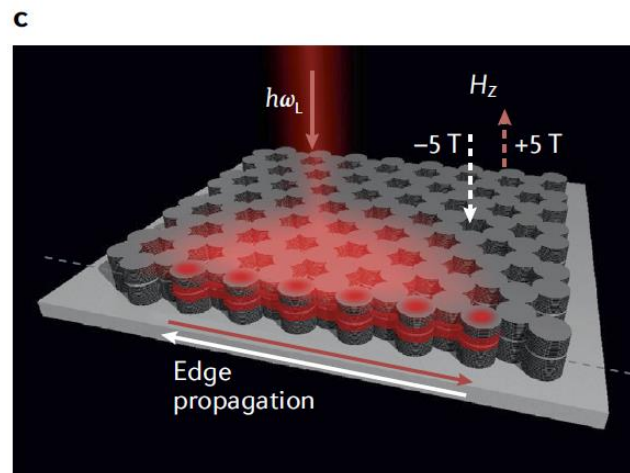
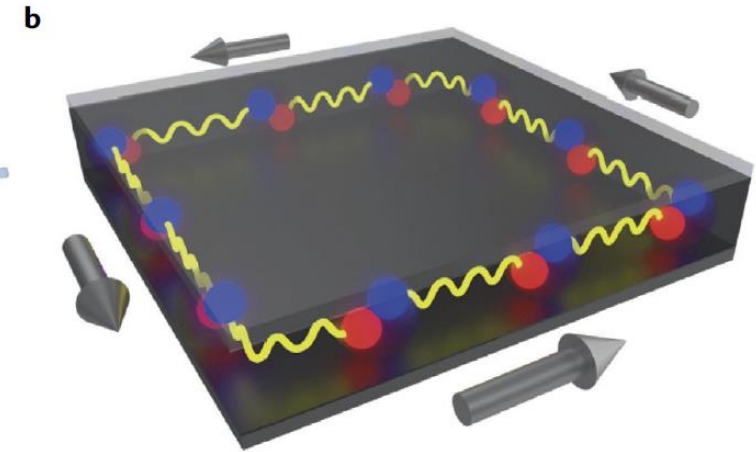
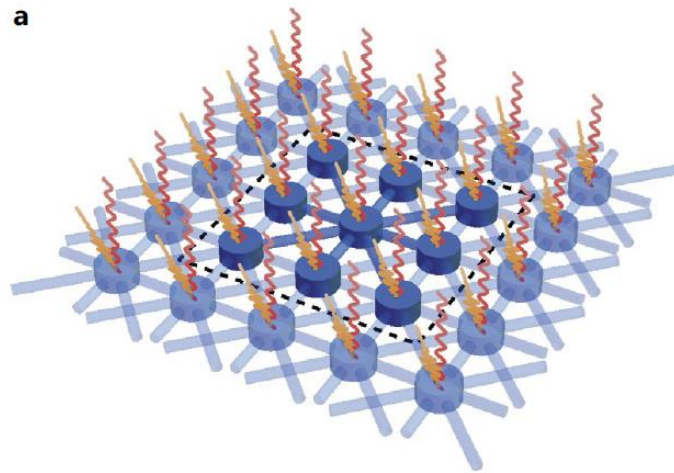
Гамильтониан взаимодействия

$$H = \begin{pmatrix} E + \frac{\delta E}{2} & \frac{J}{2} \\ \frac{J^*}{2} & E - \frac{\delta E}{2} \end{pmatrix}$$

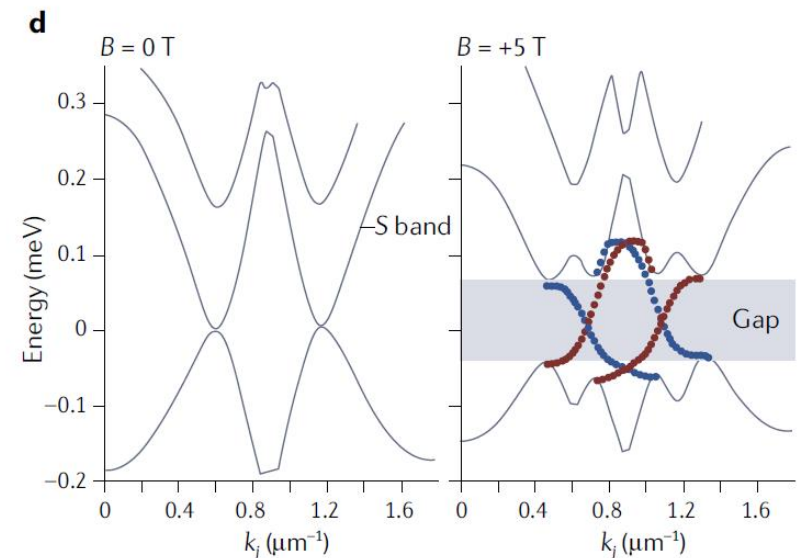
$$E \pm \frac{1}{2} \sqrt{|J|^2 + \delta E^2}$$

Особые точки

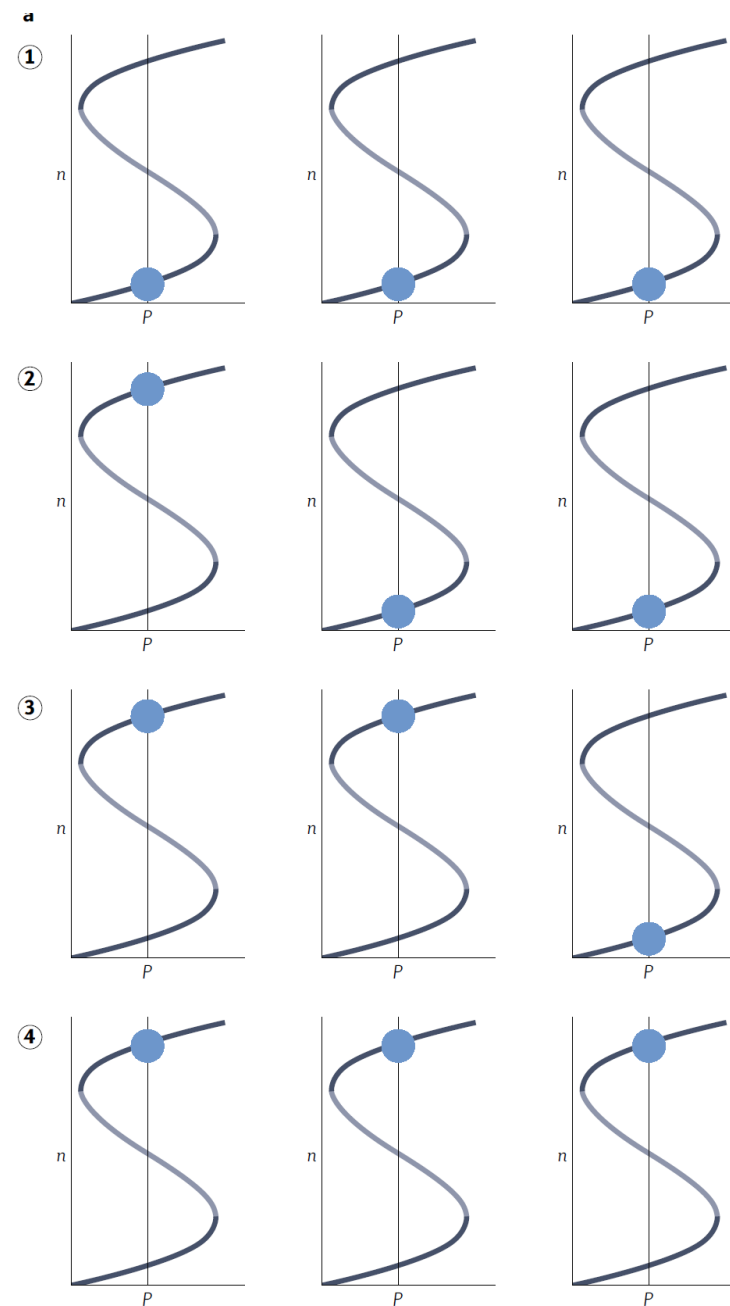
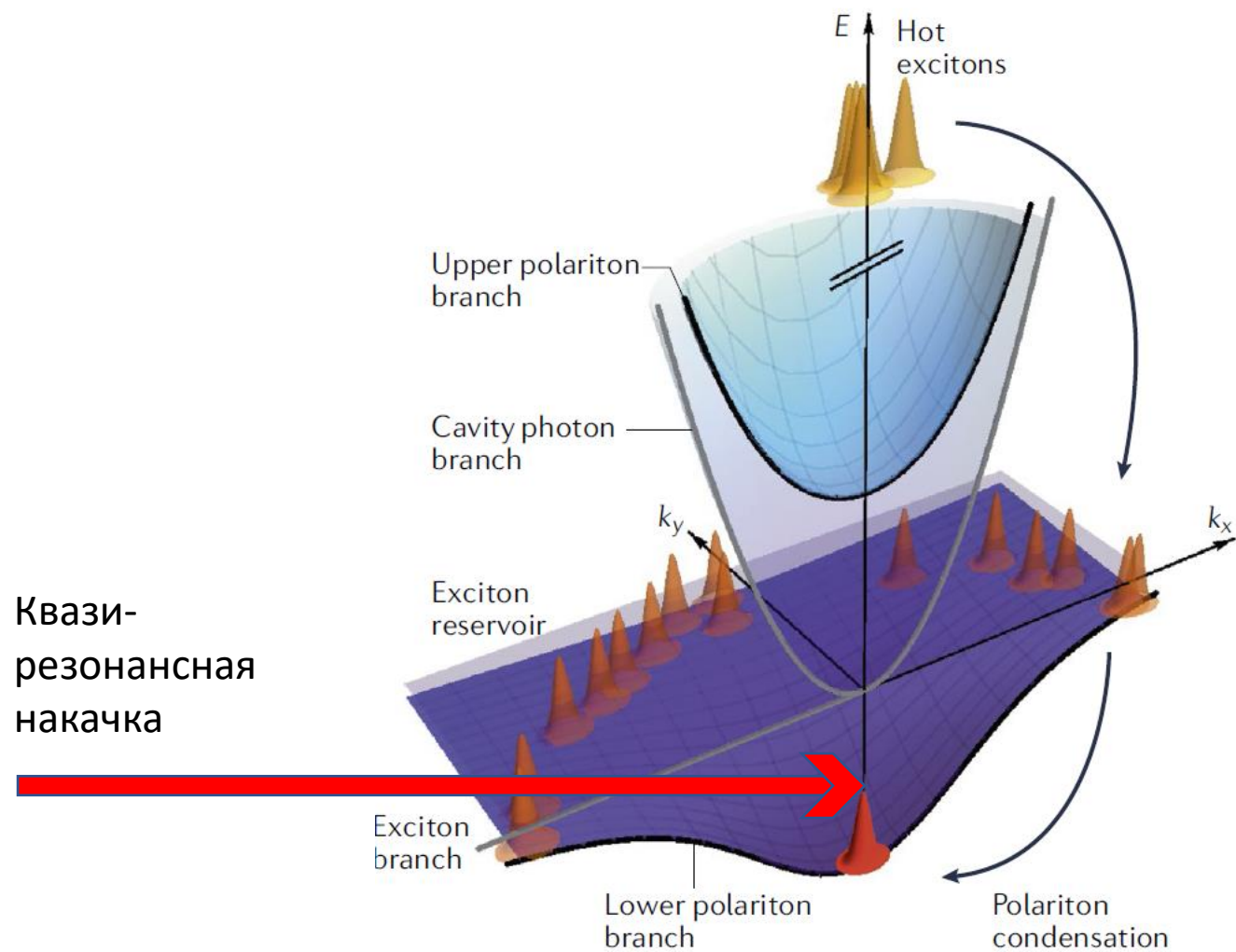
$$\delta E = iJ \text{ (or } \delta E = -iJ)$$



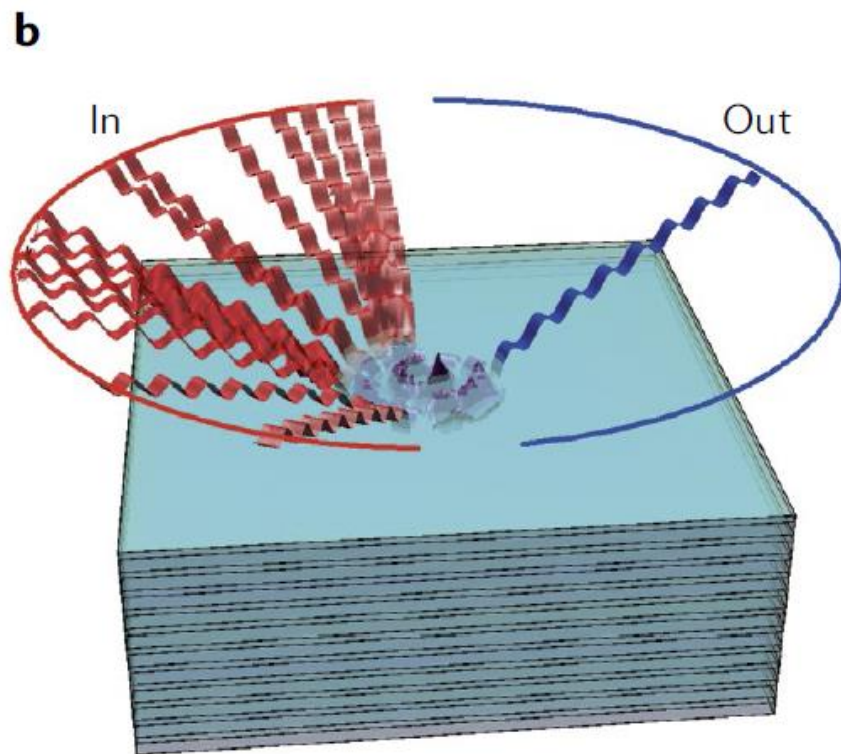
Краевые токи



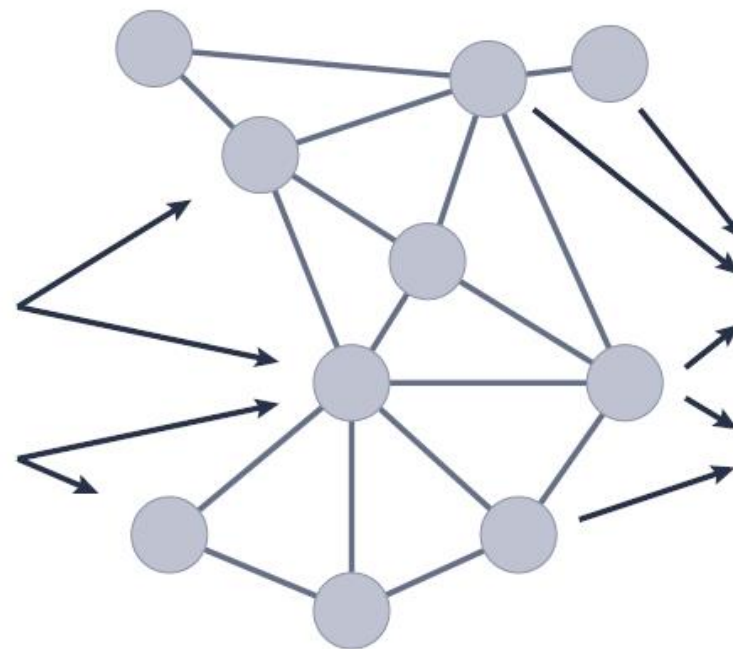
# Поляритонные нейроны



# Нейроморфные сети

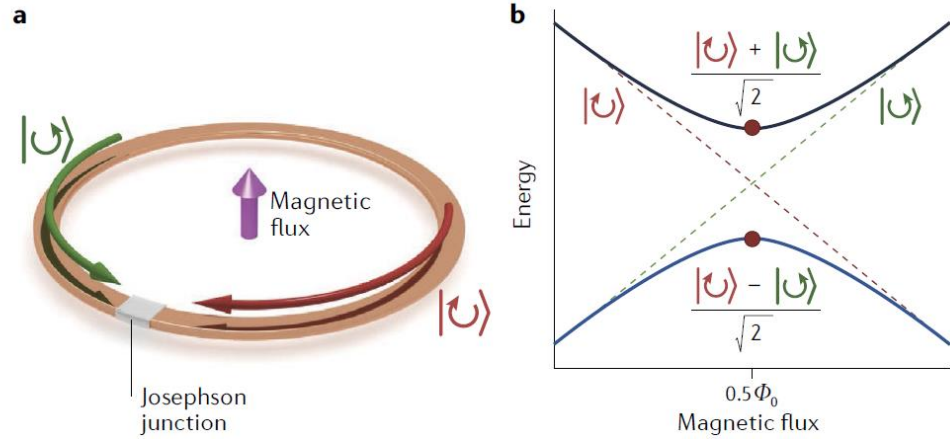


**c Reservoir network**

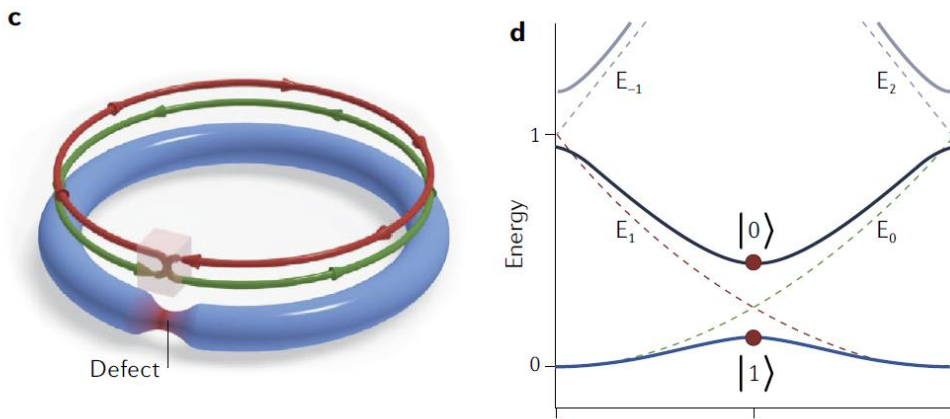


$$u_{n,i} = \sum_j f(W_{n,i,j} u_{n-1,j})$$

# Поляритонные кубиты

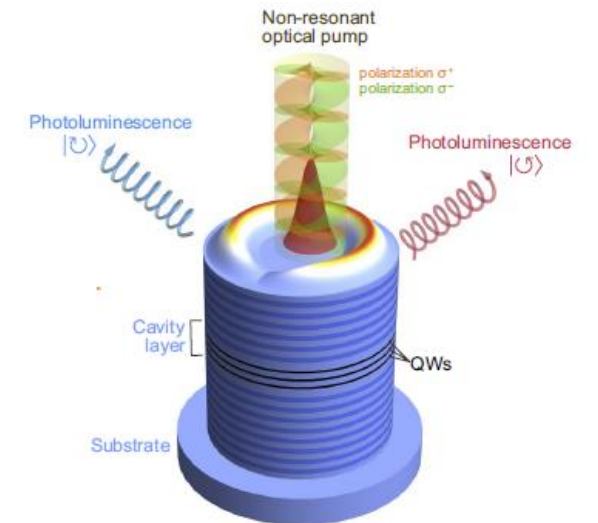


Сверхпроводящий кубит



Степень циркулярной поляризации накачки

Поляритонный кубит





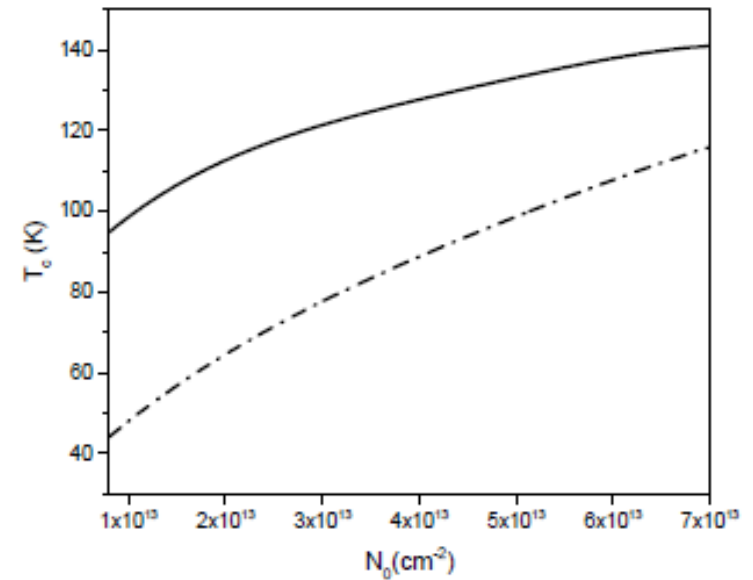
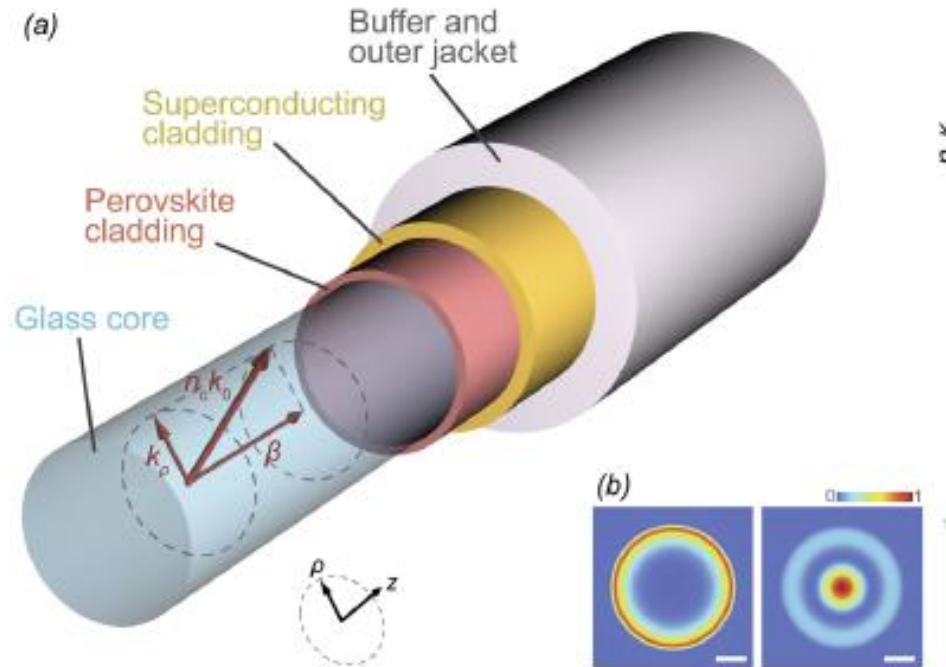
# Поляритонная платформа для классических и квантовых вычислений

Table 2 | **Polaritonics for quantum information and topological physics**

Application	Advantages	Challenges	Perspectives
Topological polariton lasers	Large nonlinearity and controllable spin-orbit interactions offer high flexibility compared to photonic structures. Lattice potential landscape technologies in a wide range of material platforms	The power of polariton lasers is limited by Mott transition. The role of the interplay of nonlinearity and topology is largely unexplored.	Development of electronically injected topological polariton lasers operating at room temperature. Coherent coupling of a large array of individual vertical emitter lasers
Neuromorphic polariton networks	Full optical control over the domain wall dynamics, high scalability, ultrafast operations	Room-temperature operation not yet shown, the interface with conventional electronics to be designed	Development of neuromorphic polariton networks, integrable to conventional computing environment
Quantum computation	Polariton superfluids keep spatial coherence over extremely long times. Optical read-out of quantum states is easy. Scaling of optically controlled networks is straightforward.	Entanglement, double-qubit gates are still to be demonstrated. Nonlinearity induced by polariton-polariton interactions may affect Bloch sphere mapping of qubit states.	Proof-of-concept experiments showing Pauli and Hadamard operations on split-ring polariton condensates, then demonstration of iSWAP and CNOT (controlled NOT) two-qubit gates

CNOT, controlled-NOT gate; iSWAP, a form of entangling swapping gate in which the qubits obtain a phase of  $i$  if their state is swapped.

# Поляритоника как путь к сверхпроводимости



Сочетание фотонного и поляритонного механизмов сверхпроводимости приводит к резкому росту критической температуры

# Поляритоника: на полпути от эффектов к приложениям

- Специфика поляритонов: легкая масса, конечное время жизни, взаимодействия
- Возможность управления формой конденсатов оптическими методами
- Возможность оптического контроля направления сверхтекучих токов
- Взаимодействие с электронным газом открывает путь к сверхпроводимости

Свежий обзор (2022):

## Polariton condensates for classical and quantum computing

---

NATURE REVIEWS | PHYSICS

*Alexey Kavokin<sup>1</sup>✉, Timothy C. H. Liew<sup>2</sup>, Christian Schneider<sup>3</sup>, Pavlos G. Lagoudakis<sup>4,5</sup>, Sebastian Klembt<sup>6,7</sup> and Sven Hoefling<sup>6,7</sup>*