

Оптимизация управления спиновым состоянием кубита на одиночном NV-центре с учётом потери когерентности

Овчинников В.А.

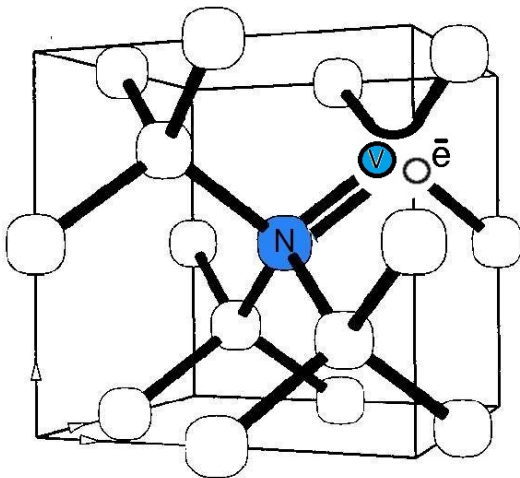
Научный руководитель:
Цуканов А.В.

МФТИ

1 июля 2015

- ▶ Актуальность решаемой задачи: NV-центры и гибридные системы
- ▶ Результаты других исследователей
- ▶ Трёхуровневое приближение и его применимость
- ▶ Оптимизация управления кубитом (операция *NOT*)
- ▶ Измерение состояния кубита

NV-центр



NV-центр

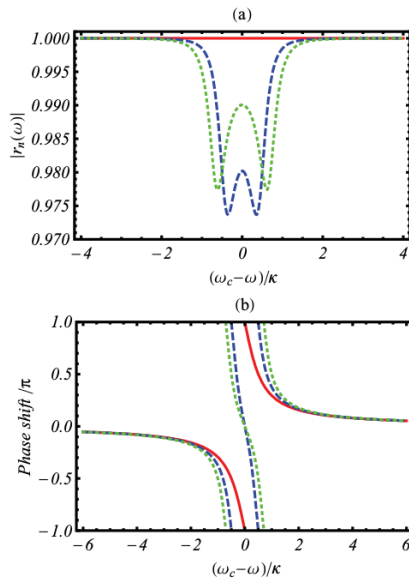
- ▶ Долго сохраняет состояние когерентным (~ 1 мс)
- ▶ Разработаны схемы быстрой инициализации и измерения (~ 300 нс)
- ▶ Возможны быстрые однокубитные вращения (~ 1 нс)

NV-центры в гибридных квантовых системах

- ▶ Опеационный кубит (использованная в работе схема)
- ▶ Кубит памяти (зарядовый кубит + СПР + NV-центр)
- ▶ Ансамблевый кубит памяти (зарядовый кубит + ансамбль NV-центров)

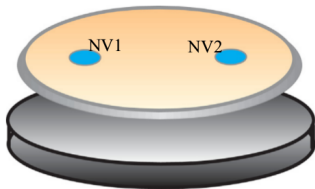
- ▶ Chen Q., Feng M., Quantum-information processing in decoherence-free subspace with low- Q cavities
- ▶ A-Peng Liu et al., Quantum information processing in decoherence-free subspace with nitrogen-vacancy centers coupled to a whispering-gallery mode microresonator

- ▶ Использованы двухуровневые атомы в низкодобротных резонаторах
- ▶ Разработаны схемы однокубитных вентилей Z и Адамара
- ▶ Разработана схема двухкубитного вентиля *Controlled – Z*

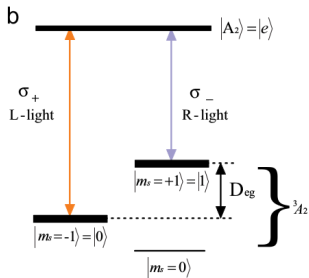


- ▶ Два NV-центра на поверхности микрорезонатора
- ▶ Разработаны схемы двухкубитных вентилей
Controlled – Z, Controlled – NOT
- ▶ Разработана схема записи состояния фотона в состояние центра

a

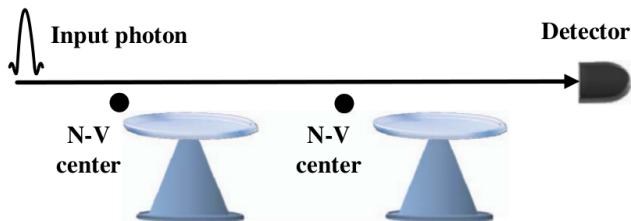


b

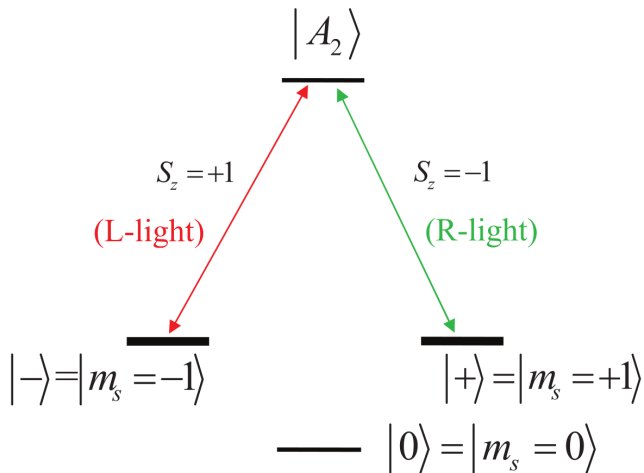


- ▶ Массив алмазных микрорезонаторов
- ▶ Одиночный NV-центр в каждом микрорезонаторе
- ▶ Лазер
- ▶ Управление осуществляется по Λ -схеме

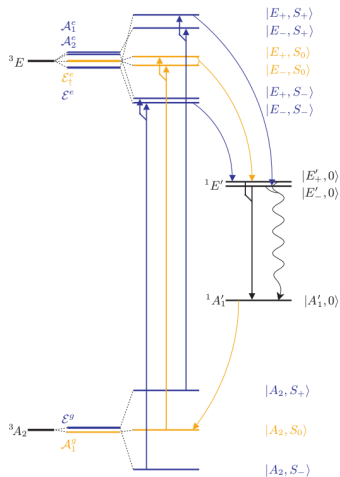
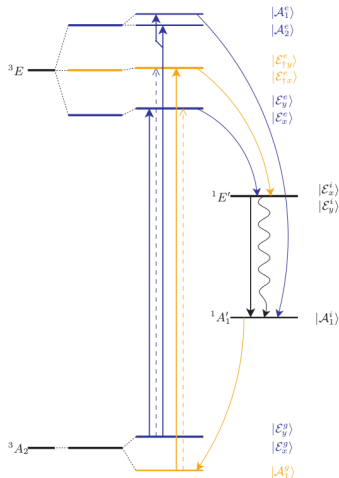
Массив резонаторов



Λ-схема



Спектр NV-центра



Гамильтониан NV-центра

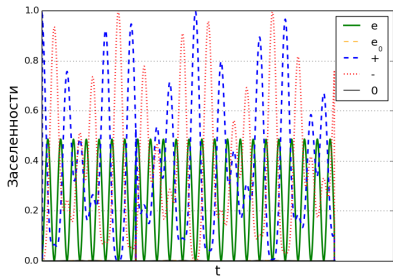
$$\begin{aligned}
 H = & \hbar \{ E_0 |e_0\rangle\langle e_0| + E_+ |+\rangle\langle +| + E_- |-\rangle\langle -| + E_0 |0\rangle\langle 0| \\
 & + \Omega_{e-} (|e\rangle\langle -| + |-\rangle\langle e|) + \Omega_{e+} (|e\rangle\langle +| + |+\rangle\langle e|) \\
 & + \Omega_{e00} (|e_0\rangle\langle 0| + |0\rangle\langle e_0|) + \Omega_{relaxation} |0\rangle\langle e| \\
 & + \Omega_{parasite} (|e_0\rangle\langle +| + |+\rangle\langle e_0| + |e_0\rangle\langle -| + |-\rangle\langle e_0|) \}
 \end{aligned}$$

- ▶ E_0 — энергетическая щель между $|e\rangle$ и $|e_0\rangle$
- ▶ E_{\pm} — энергетические щели между $|\pm\rangle$ и $|e\rangle$,
- ▶ $|\Omega_{e-}| \sim |\Omega_{e+}| \sim |\Omega_{e00}| \gg |\Omega_{parasite}| \sim |\Omega_{relaxation}|$ — частоты Раби переходов $|e\rangle \leftrightarrow |-\rangle$, $|e\rangle \leftrightarrow |+\rangle$, $|e_0\rangle \leftrightarrow |0\rangle$, паразитной связи $|e_0\rangle \leftrightarrow |\pm\rangle$ и релаксации из $|e\rangle$ в $|0\rangle$ соответственно

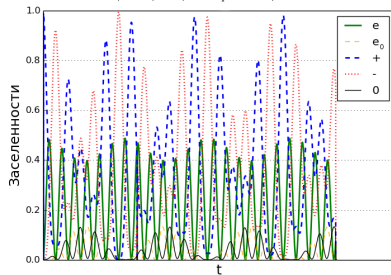
Моделирование эволюции заселенностей уровней NV-центра

Эволюция заселенностей с учетом паразитных уровней

$$|\Omega_{e+}| \sim |100 \Omega_{\text{parasite}}|$$



$$|\Omega_{e+}| \sim |10 \Omega_{\text{parasite}}|$$

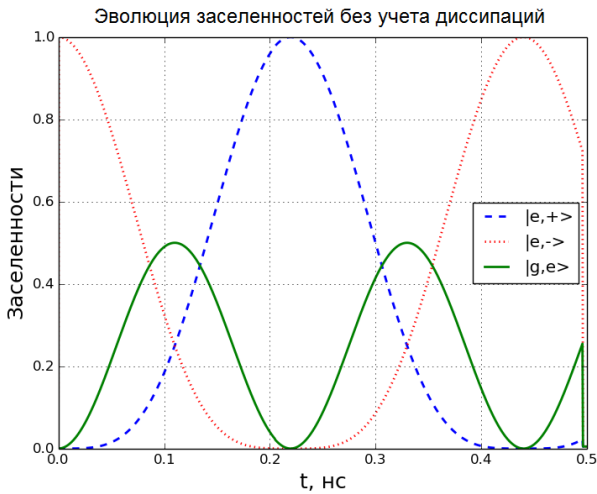


Гамильтониан системы микрорезонатор – NV-центр – лазер

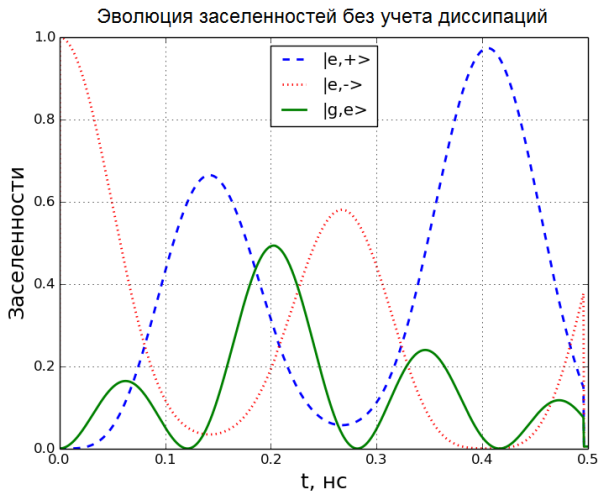
$$\begin{aligned}
 H_{int}^{(I)} = & \hbar g_{e+} (\sigma_+^+ a e^{it(\omega_+ - \Omega_c)} + \sigma_+ a^+ e^{-it(\omega_+ - \Omega_c)}) + \\
 & \hbar g_{e-} (\sigma_-^+ a e^{it(\omega_- - \Omega_c)} + \sigma_- a^+ e^{-it(\omega_- - \Omega_c)}) + \\
 & \hbar g_{e+}^L (\sigma_+^+ a e^{it(\omega_+ - \Omega_L)} + \sigma_+ a^+ e^{-it(\omega_+ - \Omega_L)}) + \\
 & \hbar g_{e-}^L (\sigma_-^+ a e^{it(\omega_- - \Omega_L)} + \sigma_- a^+ e^{-it(\omega_- - \Omega_L)})
 \end{aligned}$$

- ▶ g — частоты Раби взаимодействия NV-центра с полем резонатора
- ▶ g^L — частоты Раби взаимодействия NV-центра с полем лазера

Эволюция заселенностей уровней NV-центра в резонаторе



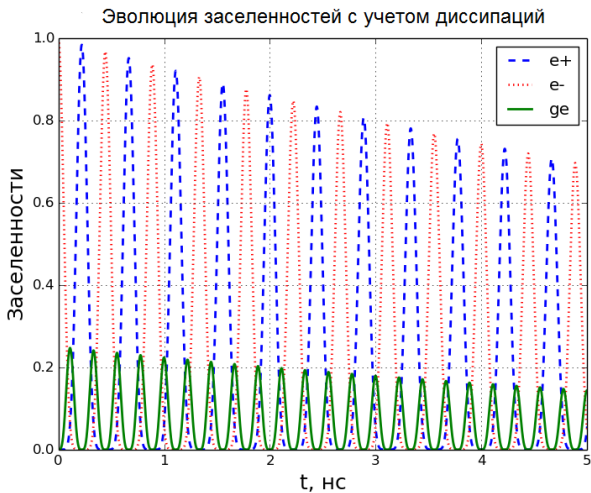
Эволюция заселенностей уровней NV-центра в резонаторе под воздействием лазера



Уравнение Линдблада

$$\frac{d}{dt}\rho = \frac{1}{i\hbar}[H, \rho] + \frac{\kappa}{2\hbar}([a\rho, a^+] + [a, \rho a^+]) + \frac{\gamma}{2\hbar}([\sigma_+\rho, \sigma_+^+] + [\sigma_+, \rho\sigma_+^+])$$

- ▶ ρ — матрица плотности
- ▶ H — гамильтониан системы микрорезонатор – NV-центр
- ▶ κ — скорость ухода фотона из резонатора
- ▶ γ — скорость спонтанного излучения с возбужденного уровня NV-центра
- ▶ $a(a^+)$ — операторы уничтожения (рождения) фотона в резонаторе
- ▶ $\sigma_+(\sigma_+^+)$ — операторы уничтожения (рождения) квантов возбуждений в NV-центре

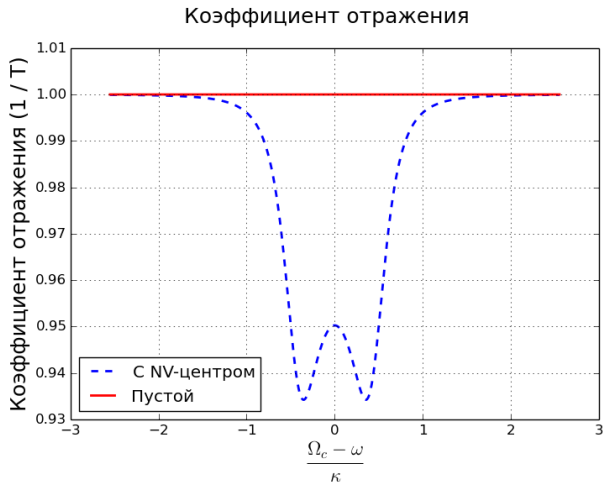


Система уравнений Ланжевена

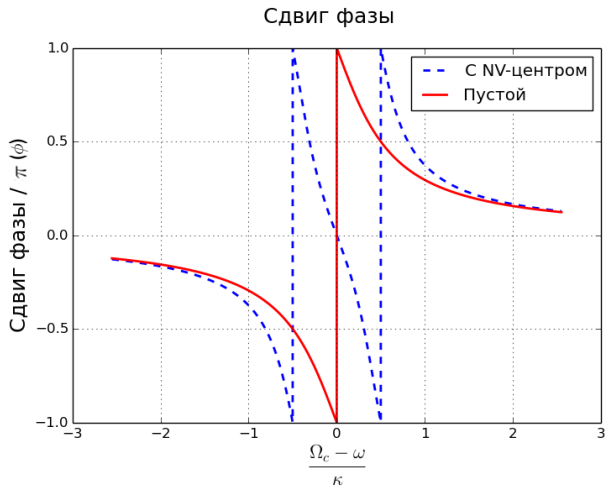
$$\begin{cases} \frac{d}{dt}a(t) = -\frac{i}{\hbar}[a(t), H'] - \frac{\kappa}{2}a(t) + \sqrt{\kappa}a_{OUT}(t) \\ \frac{d}{dt}\sigma(t) = -\frac{i}{\hbar}[\sigma(t), H'] + \frac{\gamma}{2}\sigma(t) - \sqrt{\gamma}b_{IN}(t) \\ a_{OUT} = a_{IN} + \sqrt{\kappa}a \end{cases}$$

$$T(\omega) = \frac{a_{OUT}(\omega)}{a_{IN}(\omega)} = 1 - \frac{\kappa}{i(\Omega_c - \omega) + \frac{\kappa}{2} + \frac{g^2}{i(\omega_{NV} - \omega) - \frac{\gamma}{2}}}$$

Коэффициент отражения системы



Сдвиг фазы света, отраженного от системы



Заключение

- ▶ Показана применимость трехуровневого приближения к рассматриваемой схеме
- ▶ Промоделирована операция *NOT*
- ▶ Разработан метод увеличения скорости операции *NOT*
- ▶ Разработан метод измерения состояния кубита

Вопросы

