Исследование сверхпроводящих потоковых кубитов

∕<u>мфти</u>.

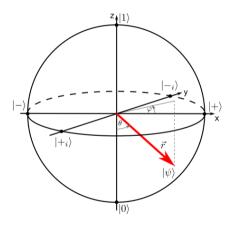
оров Г. Научный руководитель: Шульга К. (Рязанов В.В.)

2014 г.

- Теоретические сведения
 - Квантовые биты
 - Теория изолированного Flux-кубита
 - Энергетический спектр Flux-кубита
 - Кубит, связанный с резонатором
- 2 Экспериментальные методы
 - Установка
 - Техника измерений
- 3 Результаты
 - Спектры
 - Наблюдение квазипересечения уровней
 - Нелинейные эффекты

- Теоретические сведения
 - Квантовые биты
 - Теория изолированного Flux-кубита
 - Энергетический спектр Flux-кубита
 - Кубит, связанный с резонатором
- 2 Экспериментальные методь
 - Установка
 - Техника измерений
- 3 Результаты
 - Спектры
 - Наблюдение квазипересечения уровней
 - Нелинейные эффекты





Сфера Блоха

Состояние классического бита:

0 или 1

Состояние квантового бита:

$$|\psi\rangle=a|0\rangle+b|1\rangle,\ a,b\in\mathbb{C}$$

Теория изолированного Flux-кубита

Теоретические сведения



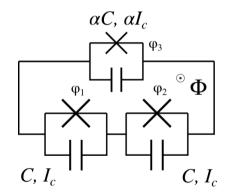
Степени свободы:

$$arphi_1,\;arphi_2,\;arphi_3=2\pirac{\Phi}{\Phi_0}-arphi_1-arphi_2\;$$
 (квантование $\Phi,\;arphi_3$ зависима от первых двух)

Энергия одного перехода:

$$E_i = E_J(1 - \cos\varphi_i) + \frac{\hbar^2}{4E_C}\dot{\varphi}_i^2,$$

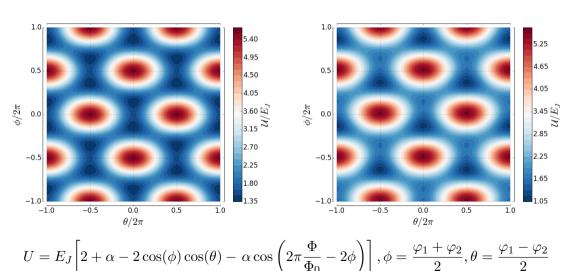
$$E_J = \frac{\hbar}{2e} I_c, \ E_C = \frac{(2e)^2}{2C}$$



Теория изолированного Flux-кубита

Теоретические сведения

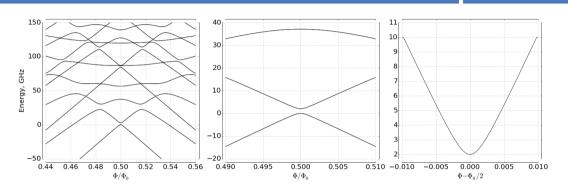




Энергетический спектр Flux-кубита

Теоретические сведения



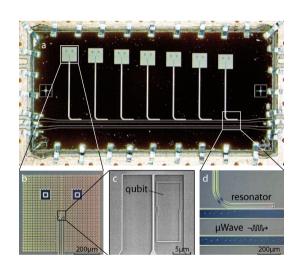


$$\hat{\mathcal{H}}=rac{arepsilon}{2}\,\hat{\sigma}_z+rac{\delta}{2}\,\hat{\sigma}_x,\,\,E_1-E_0=\sqrt{arepsilon^2+\delta^2}$$
 – гипербола по δ

$$|0\rangle_{\Phi_0/2} = (1 \ 0)^T, \ |1\rangle_{\Phi_0/2} = (0 \ 1)^T, \ \delta \propto \Phi - \Phi_0/2$$

Кубит, связанный с резонатором Теоретические сведения





Ситуация при $\Phi = \Phi_0/2$:

$$\hat{\mathcal{H}} = \hat{\mathcal{H}}_q + \hat{\mathcal{H}}_r + \hat{\mathcal{H}}_i,$$

$$\hat{\mathcal{H}}_q = \frac{\varepsilon}{2}\hat{\sigma_z} = \frac{\hbar\omega_q}{2}\hat{\sigma_z},$$

$$\hat{\mathcal{H}}_r = \hbar \omega_r \hat{a}^+ \hat{a},$$

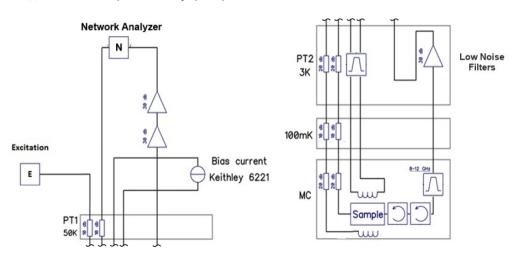
$$\hat{\mathcal{H}}_i = egin{cases} g(\hat{a}^+ + \hat{a})\hat{\sigma}_x = g(\hat{a}^+ + \hat{a})(\hat{\sigma}^+ + \hat{\sigma}^-) \ g(\hat{a}\hat{\sigma}^- + \hat{a}\hat{\sigma}^+) \ , \$$
в приближении

– модель Джейнса-Каммингса

- 1 Теоретические сведения
 - Квантовые биты
 - Теория изолированного Flux-кубита
 - Энергетический спектр Flux-кубита
 - Кубит, связанный с резонатором
- 2 Экспериментальные методы
 - Установка
 - Техника измерений
- 3 Результаты
 - Спектры
 - Наблюдение квазипересечения уровней
 - Нелинейные эффекты



Взаимодействие с образцом внутри криостата:

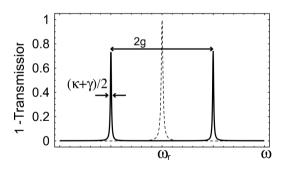


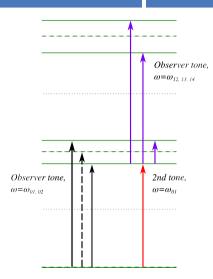
Техника измерений

Экспериментальные методы



В эксперименте фактически наблюдаются сдвиги или расщепления частот поглощения:

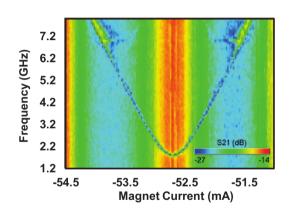


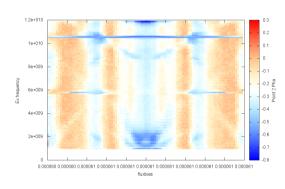


- 1 Теоретические сведения
 - Квантовые биты
 - Теория изолированного Flux-кубита
 - Энергетический спектр Flux-кубита
 - Кубит, связанный с резонатором
- 2 Экспериментальные методы
 - Установка
 - Техника измерений
- 3 Результаты
 - Спектры
 - Наблюдение квазипересечения уровней
 - Нелинейные эффекты

Результаты





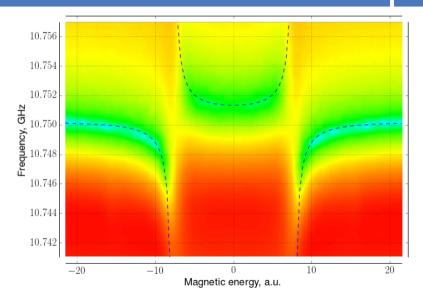


Гиперболическая зависимость от $\delta \propto \Phi - \Phi_0/2$:

$$\hbar\omega_{01}=\sqrt{\varepsilon^2+\delta^2}$$

Наблюдение квазипересечения уровней Результаты

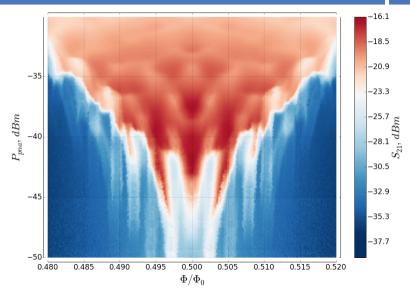




Нелинейные эффекты

Результаты





Сверхпроводимость и эффект Джозефсона





Теория Г.-Л. и уравнения Джозефсона:

$$\Psi(\mathbf{r}) = \sqrt{\frac{n_s}{2}} e^{i\theta(\mathbf{r})}$$

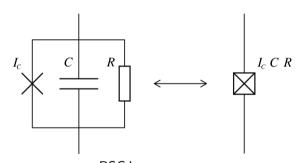
$$I_s = I_c \sin \varphi, \ \hbar \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 2eV$$

$$E = E_J(1 - \cos\varphi) + \frac{\hbar^2}{4E_C}\dot{\varphi}^2,$$

$$E_J = \frac{\hbar}{2e} I_c, \ E_C = \frac{(2e)^2}{2C}$$

Разность фаз на берегах контакта:





RSCJ-модель

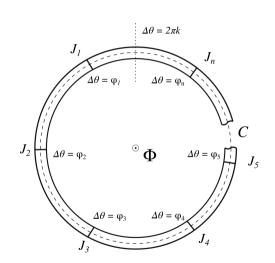
Сверхпроводимость и эффект Джозефсона





Квантование магнитного потока:

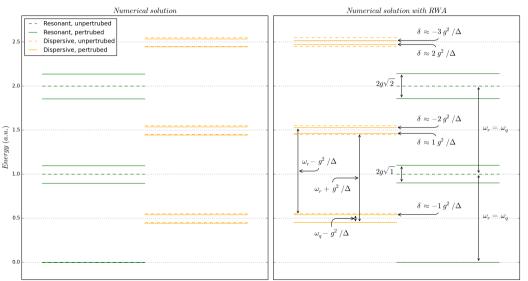
$$\begin{split} \Psi(\mathbf{r}) &= \sqrt{\frac{n_s}{2}} e^{i\theta(\mathbf{r})} \\ \mathbf{j}_s &= \frac{1}{\Lambda} \left(\frac{\Phi_0}{2\pi} \nabla \theta(\mathbf{r}) - \mathbf{A} \right) \\ \sum_i \varphi_n &= 2\pi \left(\frac{\Phi}{\Phi_0} - k \right), \ k \in \mathcal{Z}, \\ \Phi_0 &= \frac{h}{2e} \end{split}$$



Энергетический спектр модели Д.-К.

Вспомогательные материалы





Энергетический спектр модели Д.-К.

Вспомогательные материалы



