

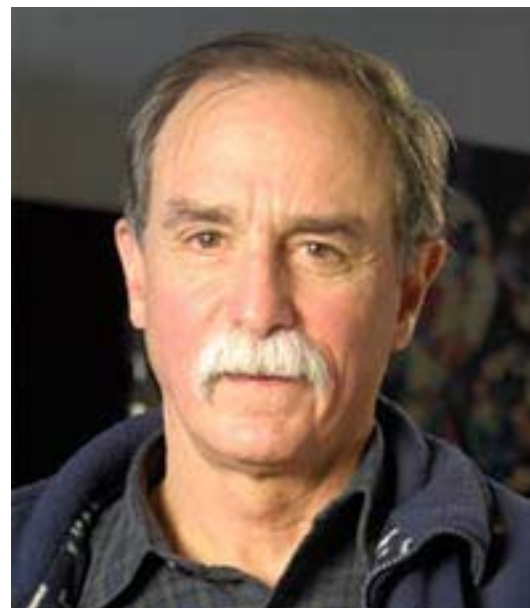
**О Нобелевской
премии по физике
2012 года**

О.Г. Удалов

Лауреаты Нобелевской премии по физике 2012 года



Serge Haroche (Серж Аро́ш)



David J. Wineland (Дэвид Вайнленд)

"for ground-breaking experimental methods that enable measuring and manipulation of individual quantum systems".

План доклада

Дэвид Вайнленд

1. Лазерное охлаждение и регистрация (отдельных) ионов в ловушках
2. Наблюдение запутанных состояний ионов в ловушках и декогеренция этих состояний
3. Квантовые логические операции на отдельных ионах в ловушке
4. Новый стандарт времени

Серж Арош

5. Подсчет фотонов в высокочастотных резонаторах
6. Запутанные состояния поля и атома. Декогеренция
7. “Эволюция” волновой функции при неразрушающих измерениях

Ионы в ловушке

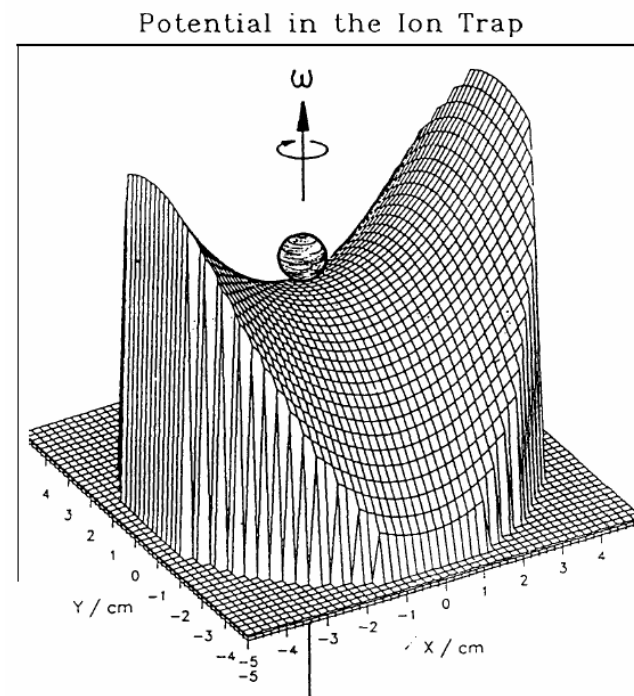
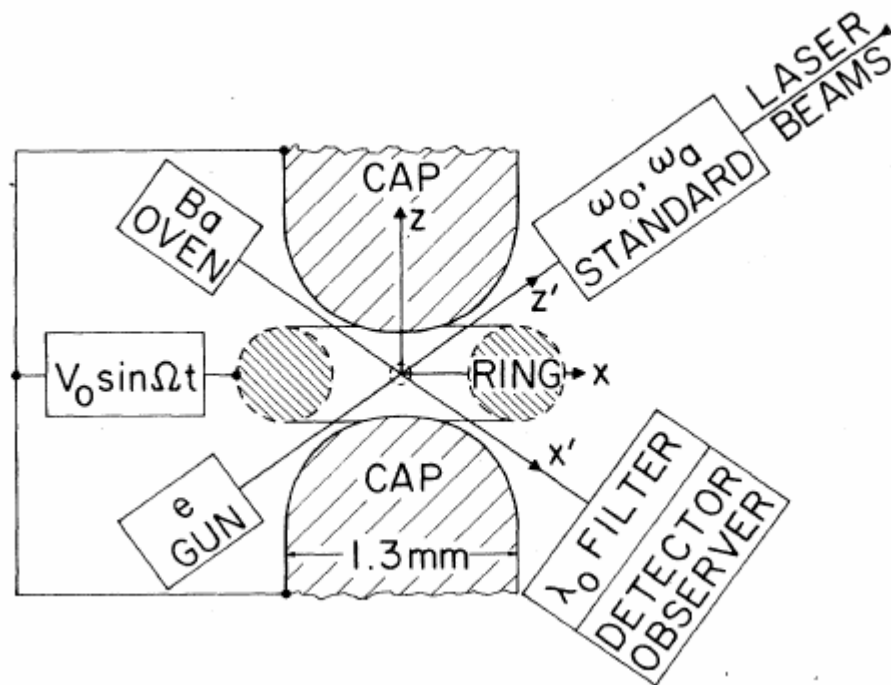


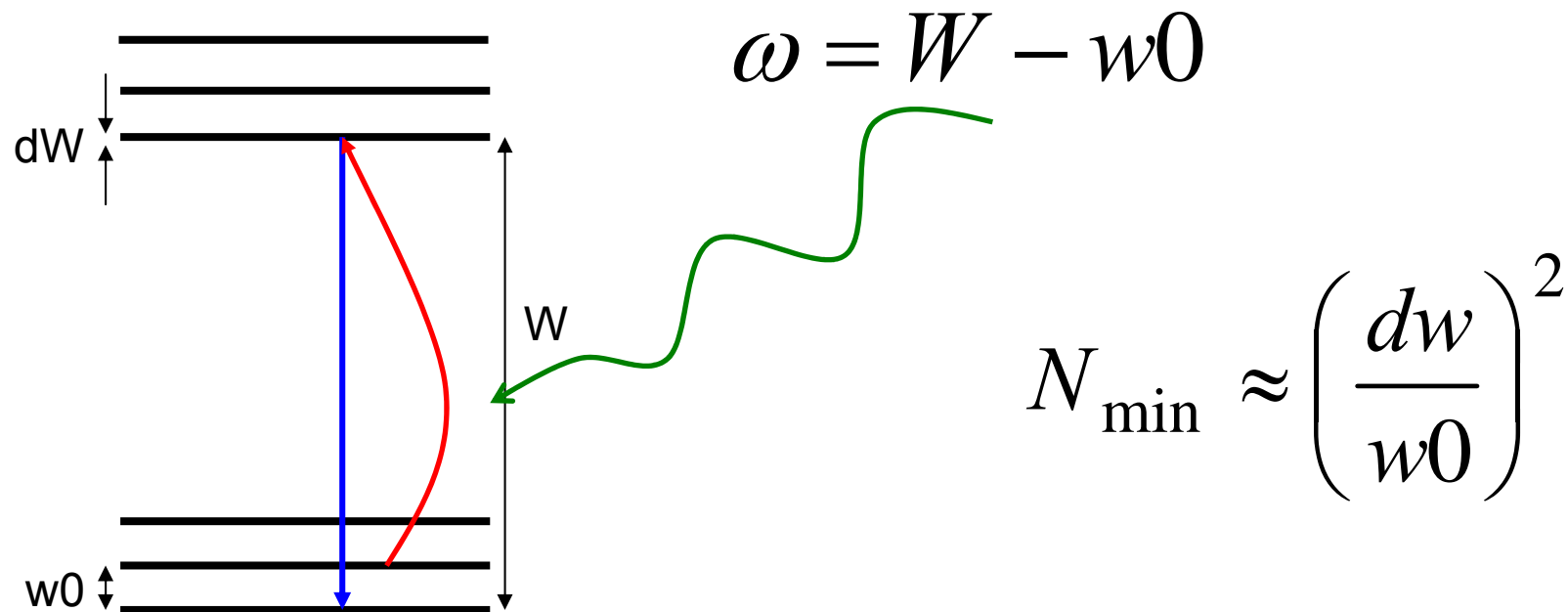
Figure 8. Mechanical analogue model for the ion trap with steelball as "particle"

Нобелевская премия по физике 1989
года. Paul, Dehmelt

Лазерное охлаждение ионов в ловушках

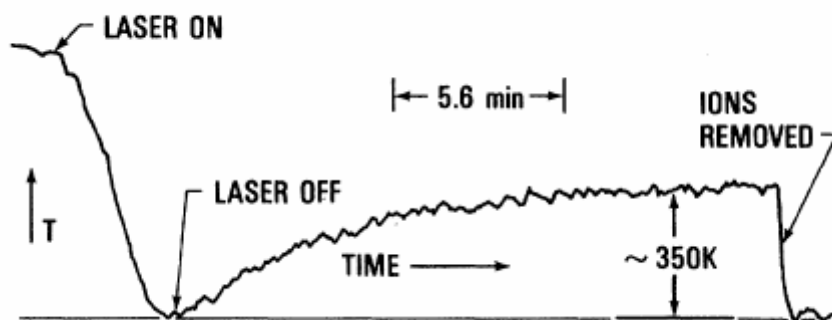
D.J. Wineland and H. Demehmelt, Bull. Am. Phys. Soc. 20, 637 (1975)

F. Diedrich, J.C. Bergqvist, W.M. Itano, D.J. Wineland, PRL, 62, 403 (1989)



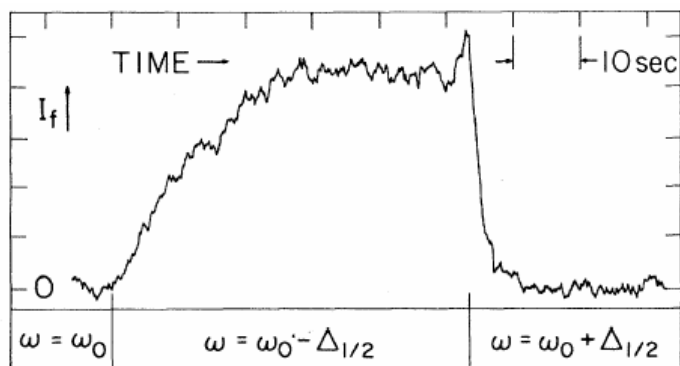
Наблюдение лазерного охлаждения ионов в ловушках

Температура ионов в ловушке в зависимости от времени



D.J. Wineland, R.E.
Drullinger and F.L.
Walls, PRL, 40, 1639
(1978)

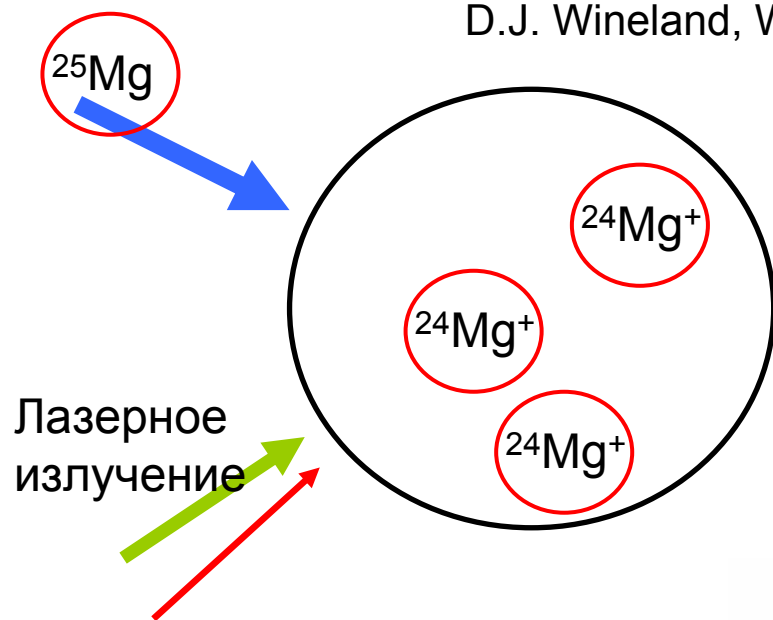
Сигнал флюоресценции ионов в ловушке в зависимости от времени



W. Neuhauser, M. Hohenstatt, P.
Toschek and H. Dehmelt, PRL,
41, 233 (1978)

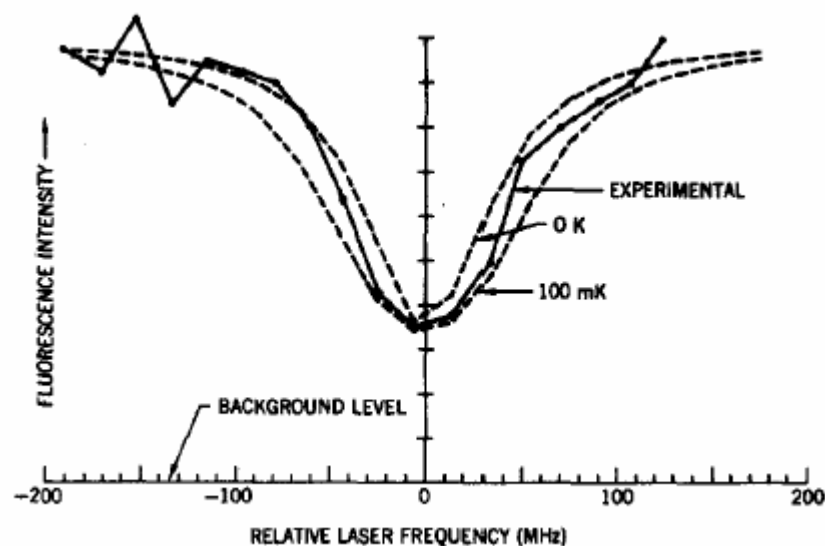
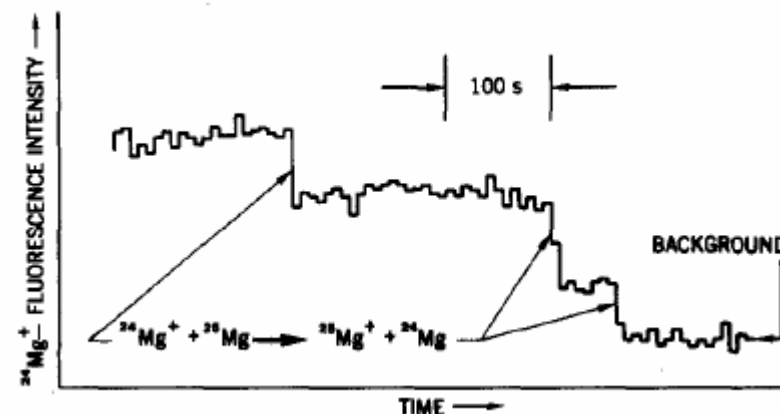
Наблюдение одного охлажденного иона в ловушке

D.J. Wineland, W.M. Itano, Physics Letters, 82A, 75 (1981)



$$3p^2P_{3/2}, M_J = -3/2 \leftarrow 3s^2S_{1/2}, M_J = -1/2$$

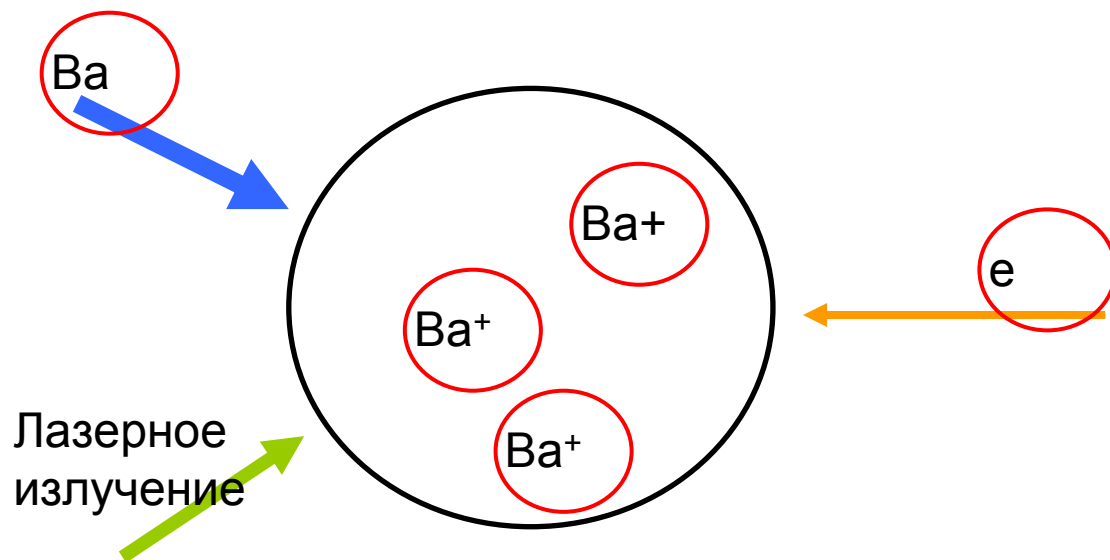
$$^2P_{3/2}, M_J = -1/2 \leftarrow ^2S_{1/2}, M_J = -1/2$$



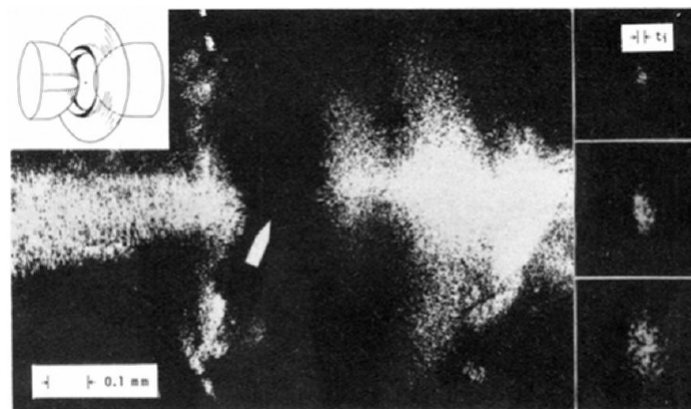
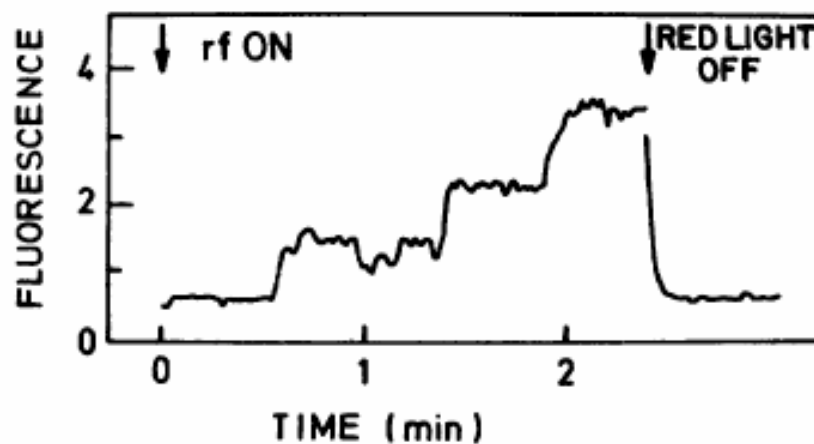
T=50mK

Наблюдение одного иона в ловушке

W. Neuhauser, M. Hohenstatt, P. Toschek and H. Dehmelt, PRA, 22, 1137 (1980)



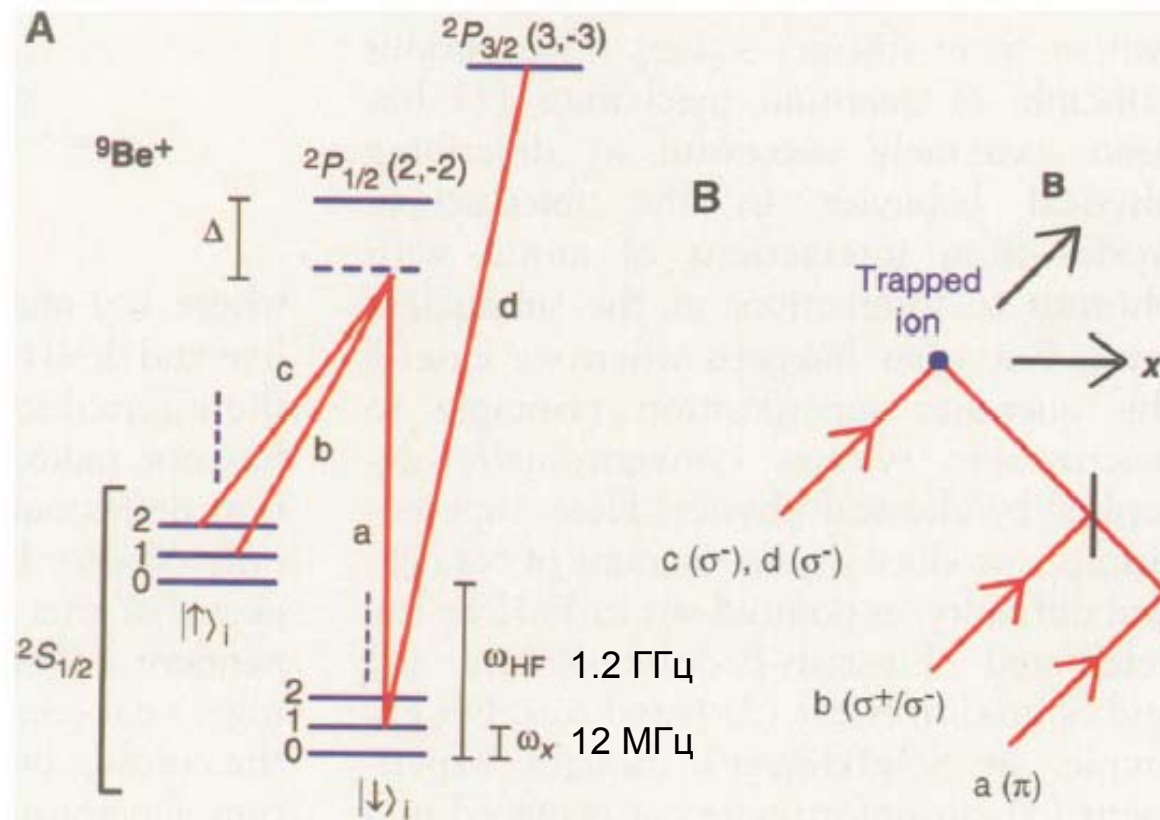
Сигнал флюоресценции ионов в ловушке в зависимости от времени



Запутанные состояния ионов

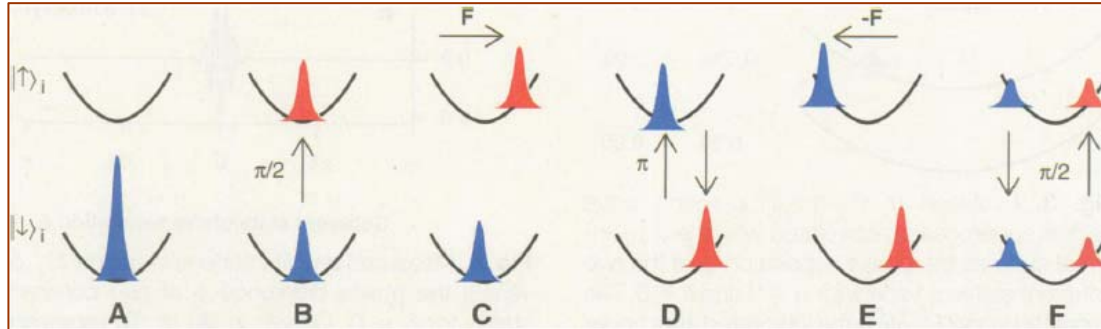
C. Monroe, D.M. Meekhof, B.E. King, D.J. Wineland, Science, 272, 1131 (1996)

$$\psi = \frac{|\text{☺}\rangle |\uparrow\rangle + |\text{☹}\rangle |\downarrow\rangle}{\sqrt{2}}$$



Запутанные состояния ионов

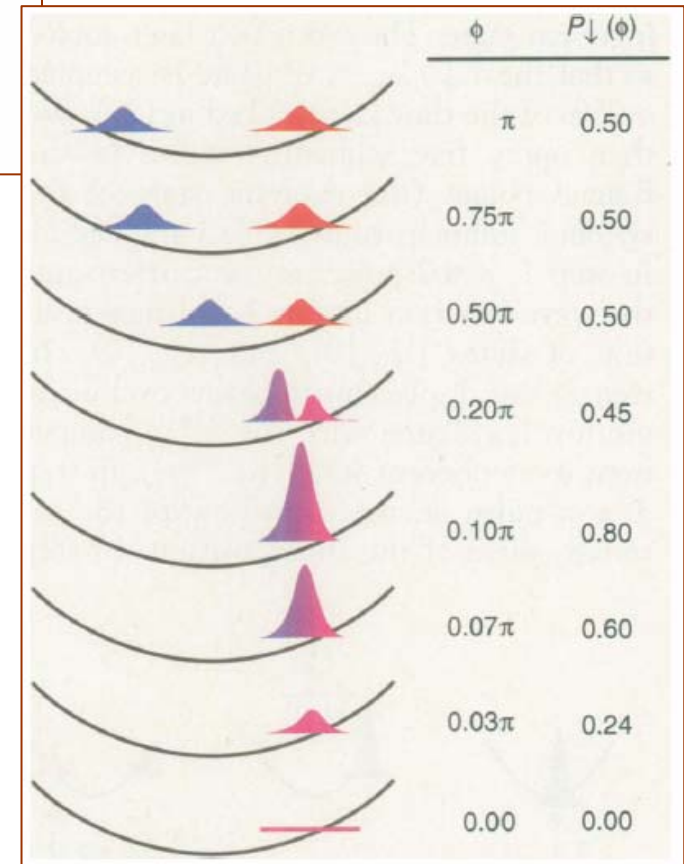
Step	Function	Approximate duration (μs)	Phase	State created (see Fig. 2) (initial state: $ \downarrow\rangle_i 0\rangle_e$)
1	Carrier $\pi/2$ -pulse	0.5	μ	$[\downarrow\rangle_i 0\rangle_e - ie^{-i\mu} \uparrow\rangle_i 0\rangle_e]/\sqrt{2}$
2	Displacement	$\tau \approx 10.0$	$-\phi/2$	$[\downarrow\rangle_i 0\rangle_e - ie^{-i\mu} \uparrow\rangle_i \alpha e^{-i\phi/2}\rangle_e]/\sqrt{2}$
3	Carrier π -pulse	1.0	ν	$[e^{i(\nu-\mu)} \downarrow\rangle_i \alpha e^{-i\phi/2}\rangle_e + ie^{-i\nu} \uparrow\rangle_i 0\rangle_e]/\sqrt{2}$
4	Displacement	$\tau \approx 10.0$	$\phi/2$	$[e^{i(\nu-\mu)} \downarrow\rangle_i \alpha e^{-i\phi/2}\rangle_e + ie^{-i\nu} \uparrow\rangle_i \alpha e^{i\phi/2}\rangle_e]/\sqrt{2}$
5	Carrier $\pi/2$ -pulse	0.5	0	$1/2 \downarrow\rangle_i[\alpha e^{-i\phi/2}\rangle_e - e^{i\delta} \alpha e^{i\phi/2}\rangle_e] - i/2 \uparrow\rangle_i[\alpha e^{-i\phi/2}\rangle_e + e^{i\delta} \alpha e^{i\phi/2}\rangle_e]$



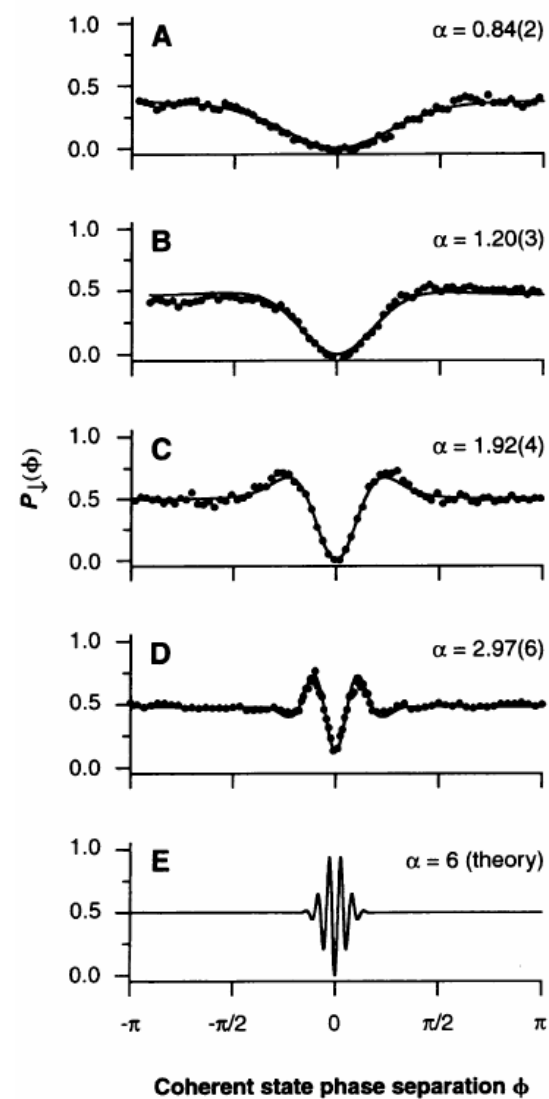
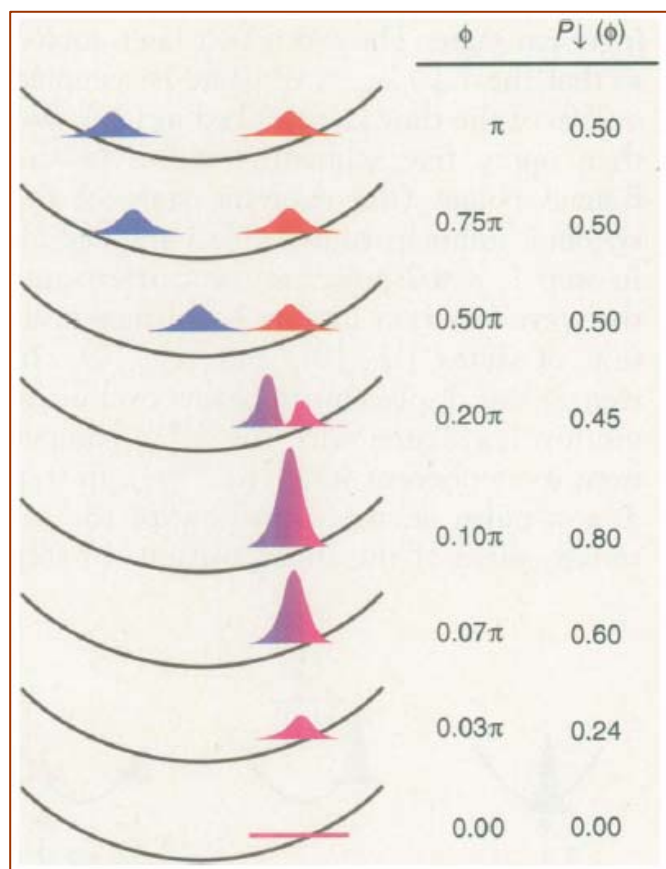
$$|\Psi\rangle = |\downarrow\rangle_i|S_-\rangle_e - i|\uparrow\rangle_i|S_+\rangle_e$$

with

$$|S_{\pm}\rangle_e \equiv \frac{|\alpha e^{-i\phi/2}\rangle_e \pm e^{i\delta}|\alpha e^{i\phi/2}\rangle_e}{2}$$



Запутанные состояния ионов



Искусственная декогеренция квантовой суперпозиции

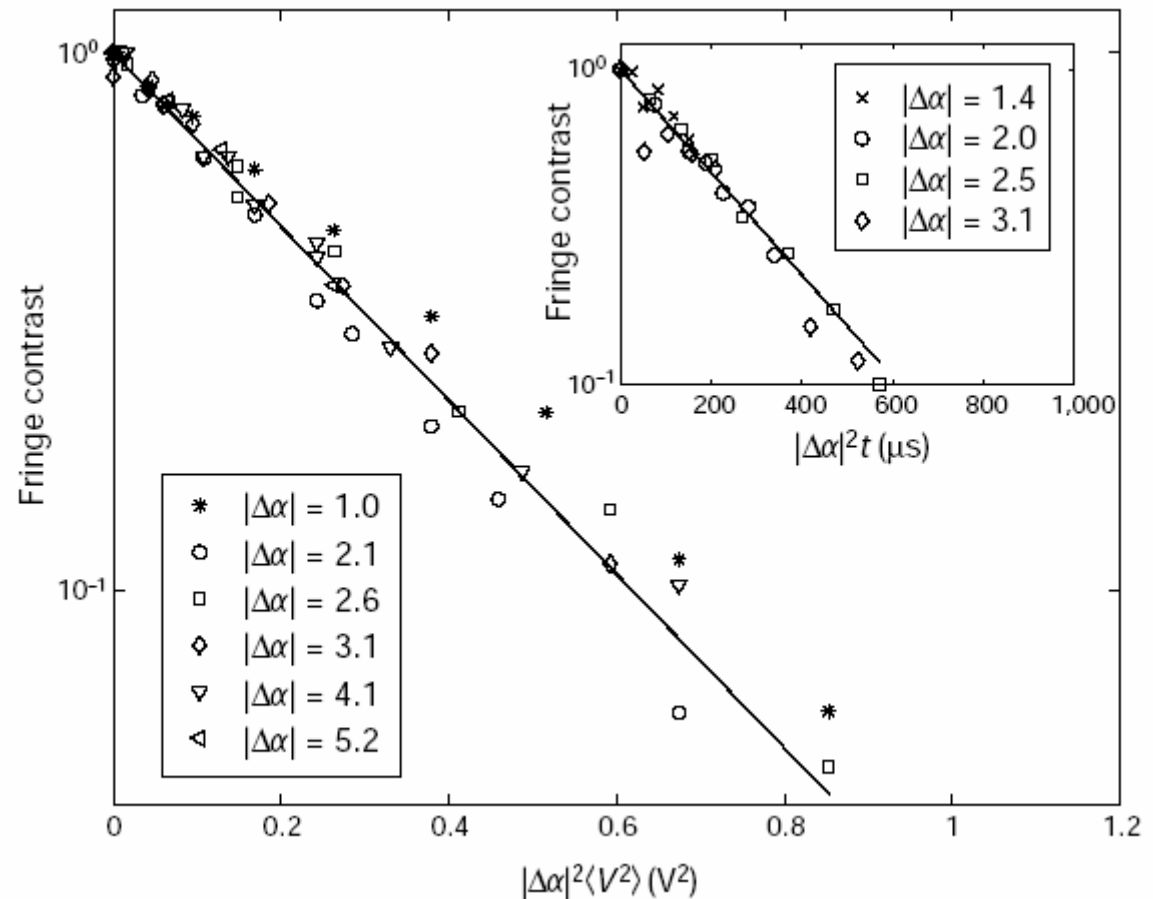
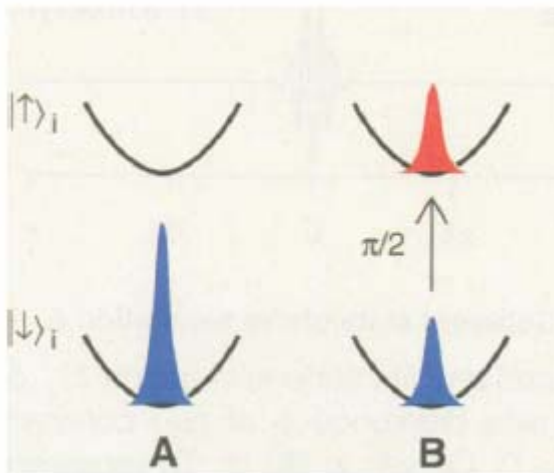
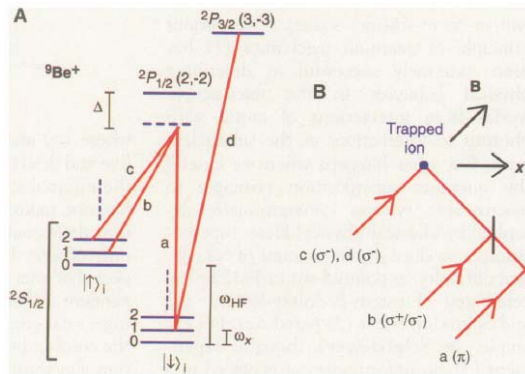
C. Myatt, B.E. King, Q.A. Turchette, C.A. Sackett, D. Kielpinski,
W.M. Itano, C. Monroe, D.J. Wineland, Nature, 403, 269 (2000)

$$\psi(t=0) = C_1|\alpha_1\rangle + C_2|\alpha_2\rangle$$

$$C(t) = \exp[-|\alpha_1 - \alpha_2|^2 \xi t]$$

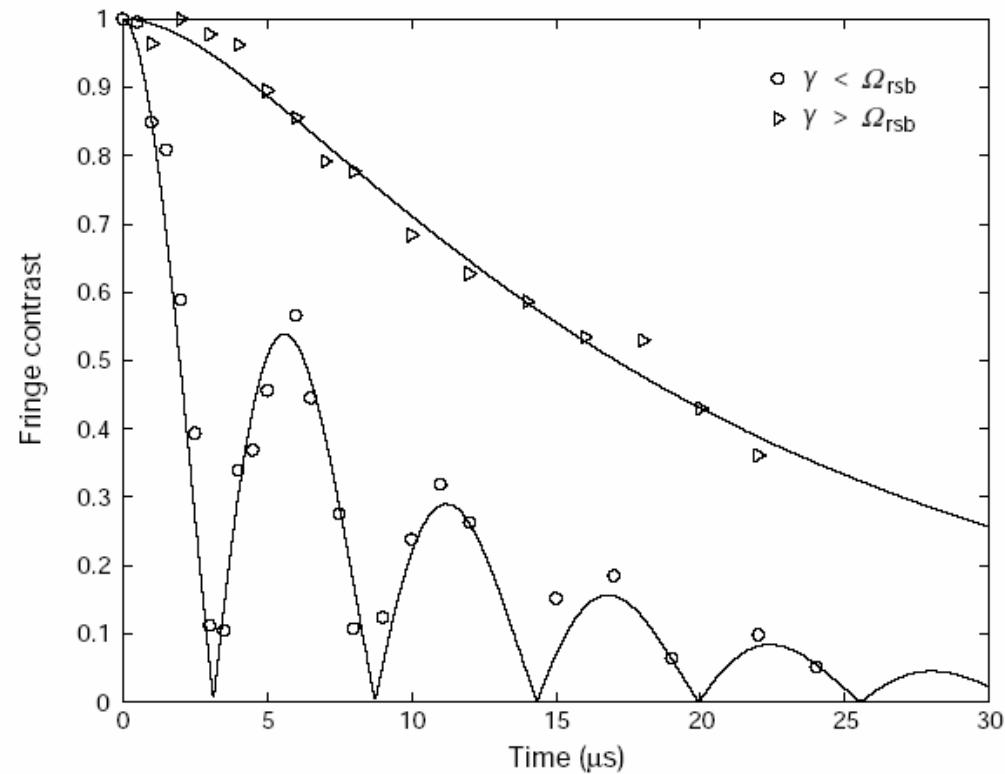
Искусственная декогеренция квантовой суперпозиции

C. Myatt, B.E. King, Q.A. Turchette, C.A. Sackett, D. Kielpinski,
W.M. Itano, C. Monroe, D.J. Wineland, Nature, 403, 269 (2000)



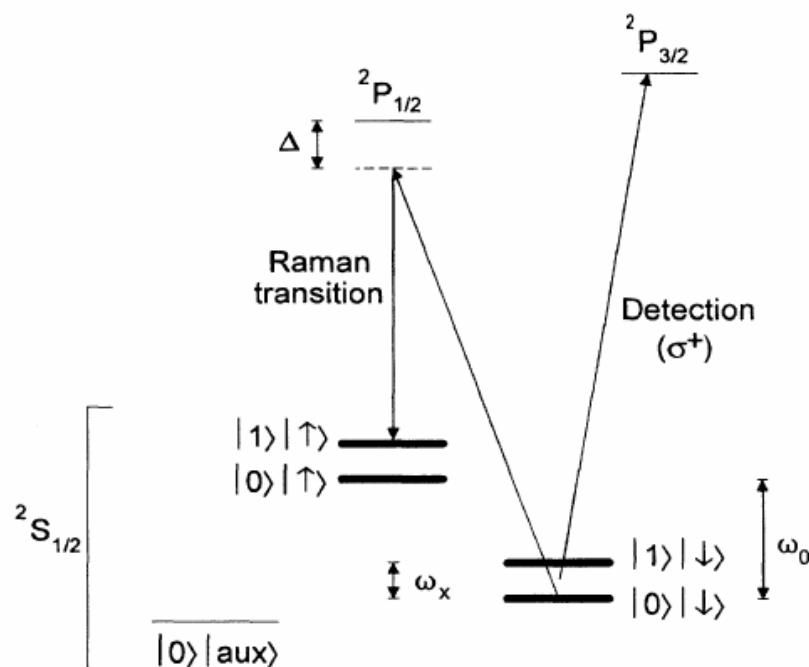
Искусственная декогеренция квантовой суперпозиции

C. Myatt, B.E. King, Q.A. Turchette, C.A. Sackett, D. Kielpinski,
W.M. Itano, C. Monroe, D.J. Wineland, Nature, 403, 269 (2000)



Реализация логической операции CNOT на ионе в ловушке

C. Monroe, D.M. Meekhof, B.E. King, W.M. Itano, D.J. Wineland, PRL, 75, 4714 (1995)



Операция CNOT
(управляемое отрицание)

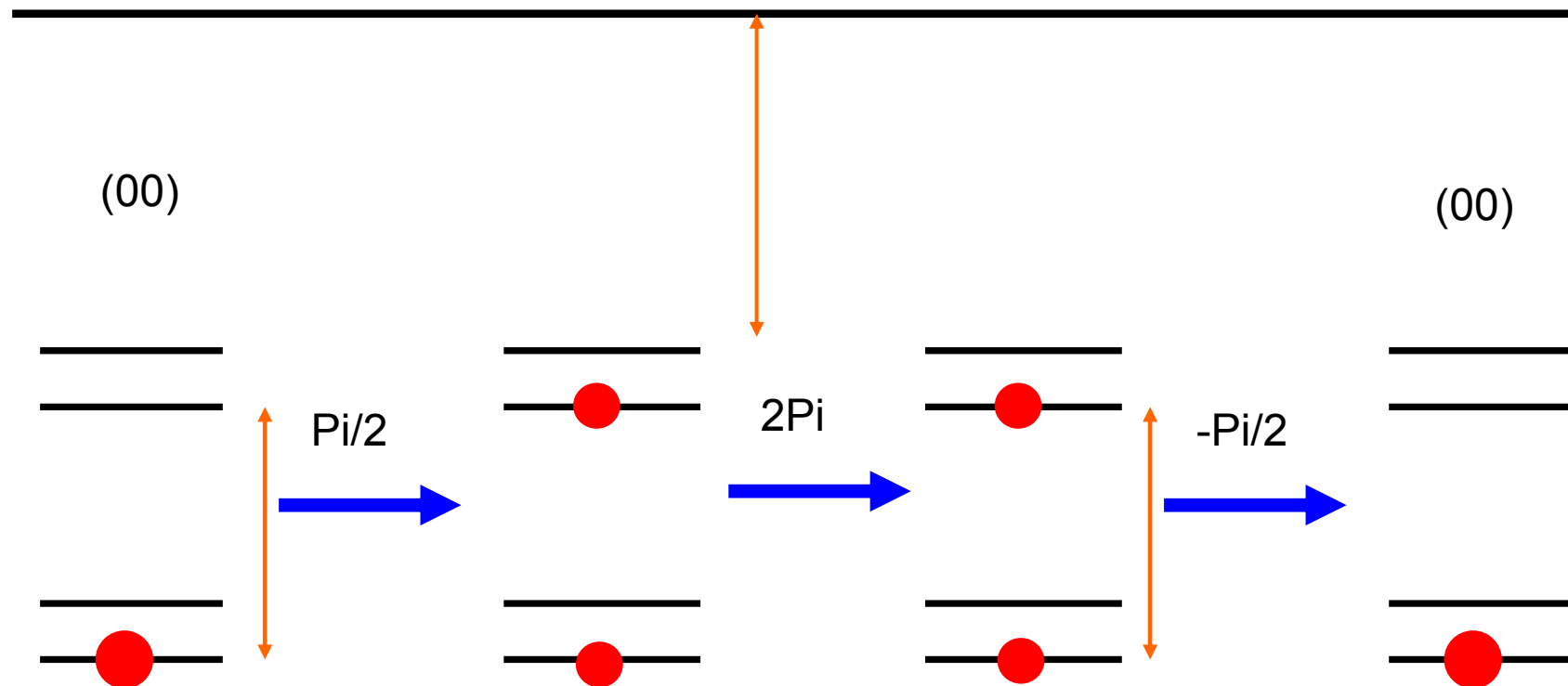
$$|0\rangle|\downarrow\rangle \rightarrow |0\rangle|\downarrow\rangle$$

$$|0\rangle|\uparrow\rangle \rightarrow |0\rangle|\uparrow\rangle$$

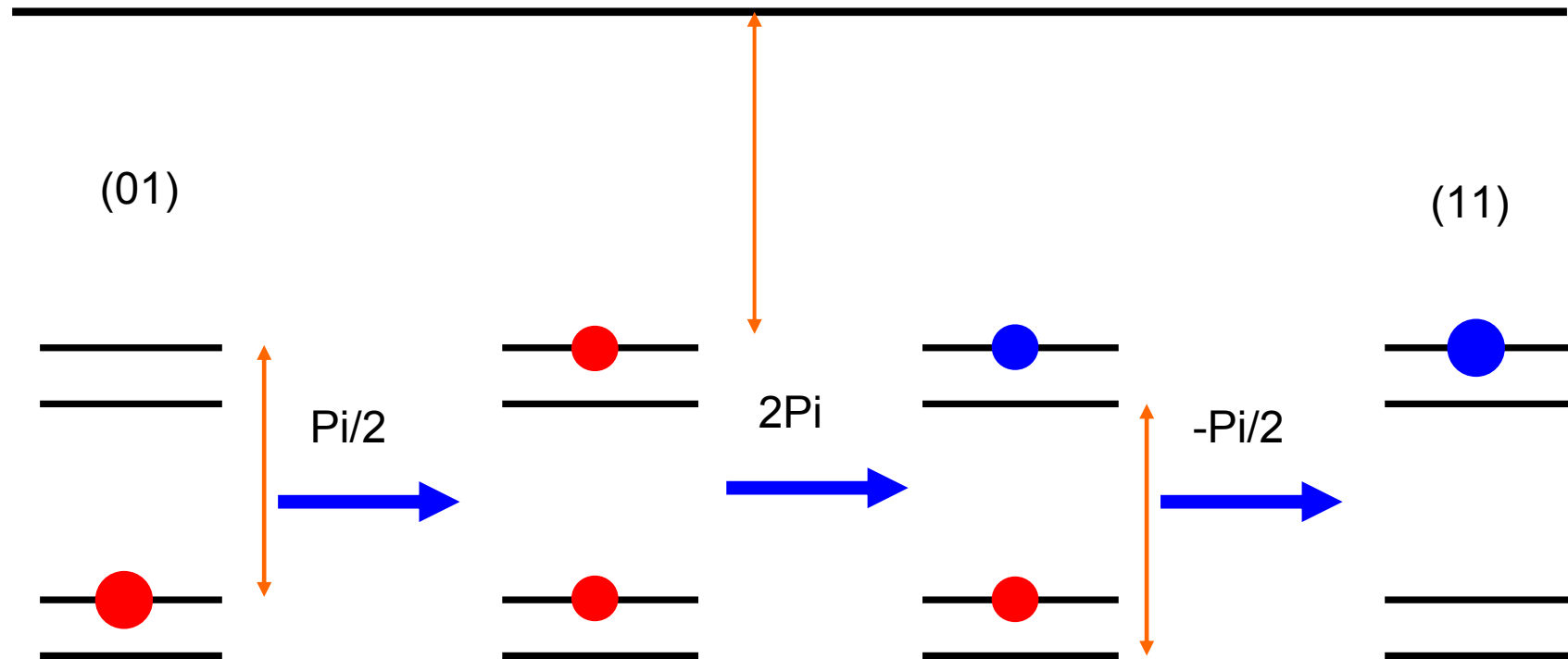
$$|1\rangle|\downarrow\rangle \rightarrow |1\rangle|\uparrow\rangle$$

$$|1\rangle|\uparrow\rangle \rightarrow |1\rangle|\downarrow\rangle.$$

Реализация логической операции CNOT на ионе в ловушке

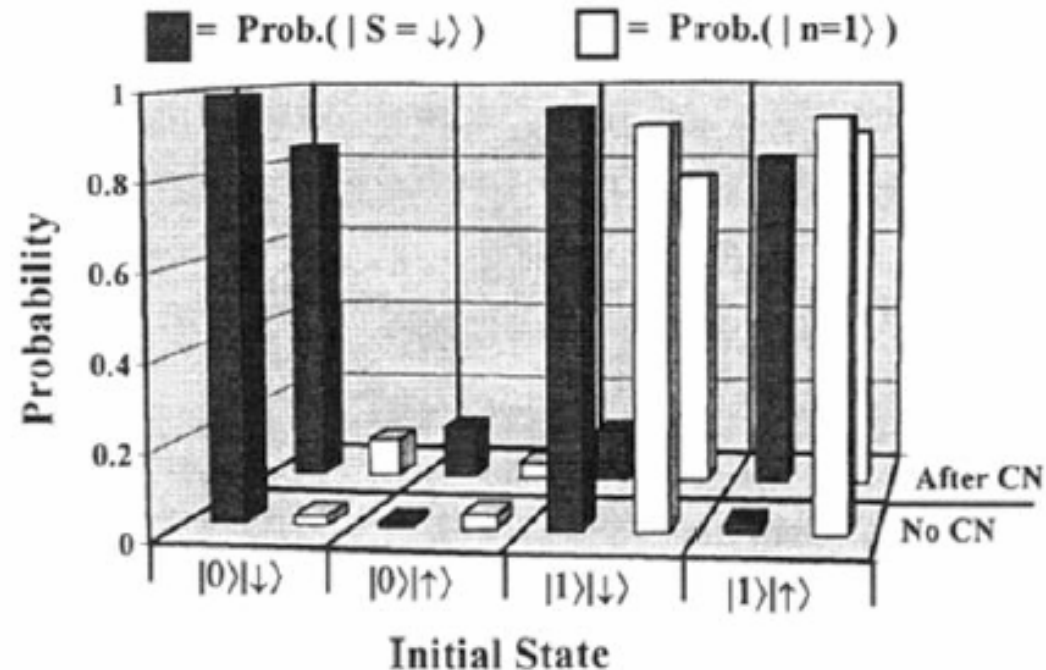


Реализация логической операции CNOT на ионе в ловушке



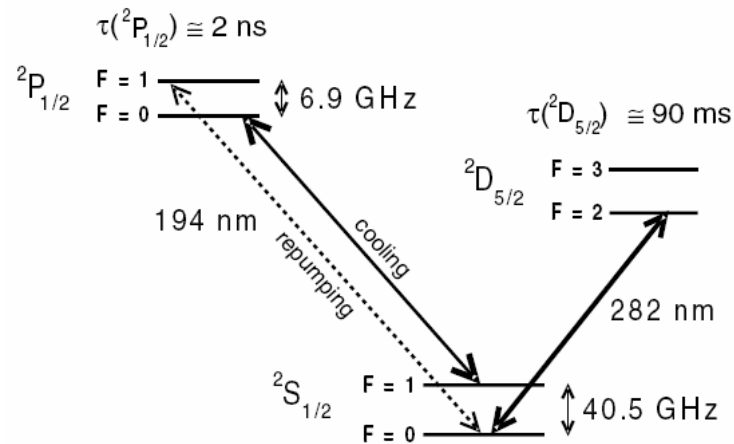
Реализация логической операции CNOT на ионе в ловушке

C. Monroe, D.M. Meekhof, B.E. King, W.M. Itano, D.J. Wineland, PRL, 75, 4714 (1995)



Новый стандарт частоты на ионах ртути $^{199}\text{Hg}^+$ в ловушках

R.J. Rafac, B.C. Young, J.A. Beal, W.M. Itano, D.J. Wineland, J.C. Bergquist, PRL, 85, 2462 (2000)

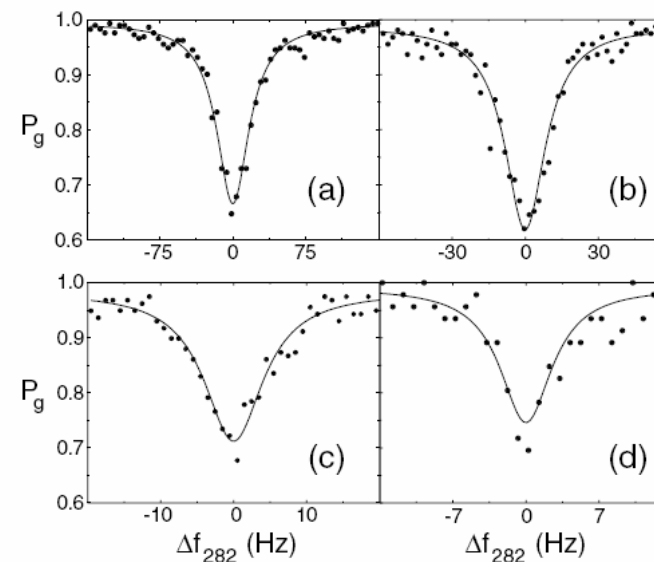


$$\lambda = 282 \text{ nm}$$

$$\nu = 1.06 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

$$\Delta\nu = 6.7 \text{ Гц}$$

S.A. Diddams, Th. Udem, J.C. Bergquist, E.A. Curtis, R.E. Drullinger, L. Hollberg, W.M. Itano, W.D. Lee, C.W. Oates, K.R. Vogel, D.J. Wineland, An optical clock on a single trapped Hg ion, Science, 293, 825 (2001)



Неразрушающий метод исследования фотонов в резонаторе

Rb атомы в Ридберговском состоянии имеют размер порядка 125 нм.

Расстояние между уровнями 51 ГГц

Время жизни фотона в резонаторе 0,13 с!!!

Частота поля в резонаторе меньше расстояния между уровнями.

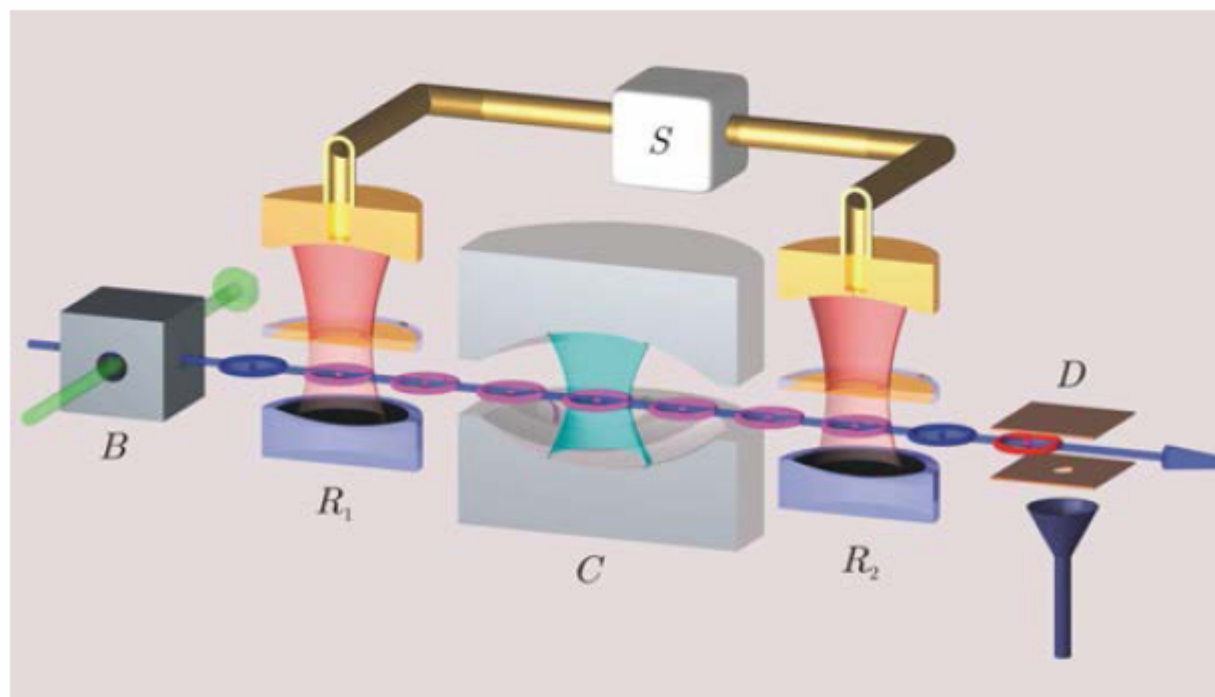
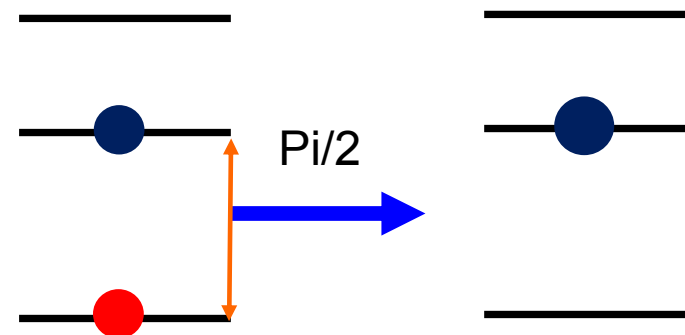
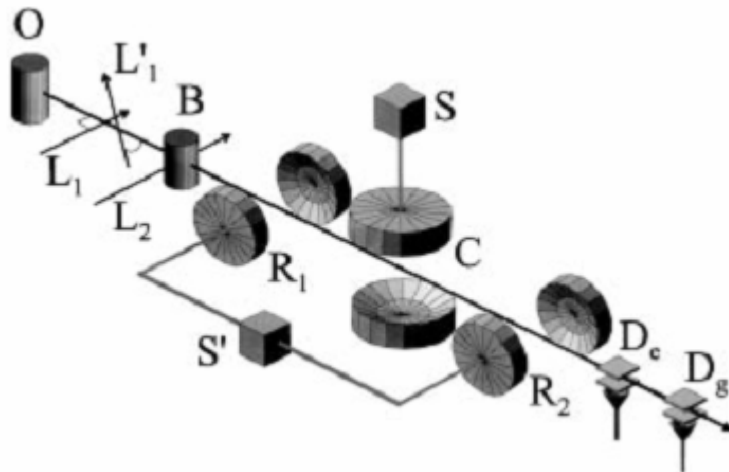
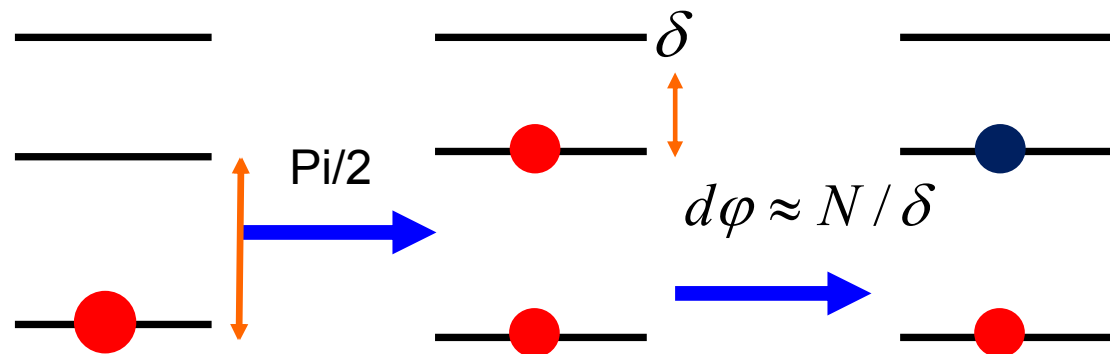
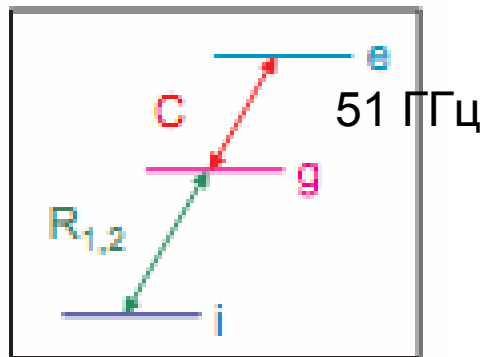


Fig. 4: Experimental setup to study microwave field states with the help of circular Rydberg atoms (see text).

Детектирование одного фотона в резонаторе

M. Brune, S. Haroche, V. Lefevre, J.M. Raimond, N. Zagury, PRL, 65, 976 (1990)

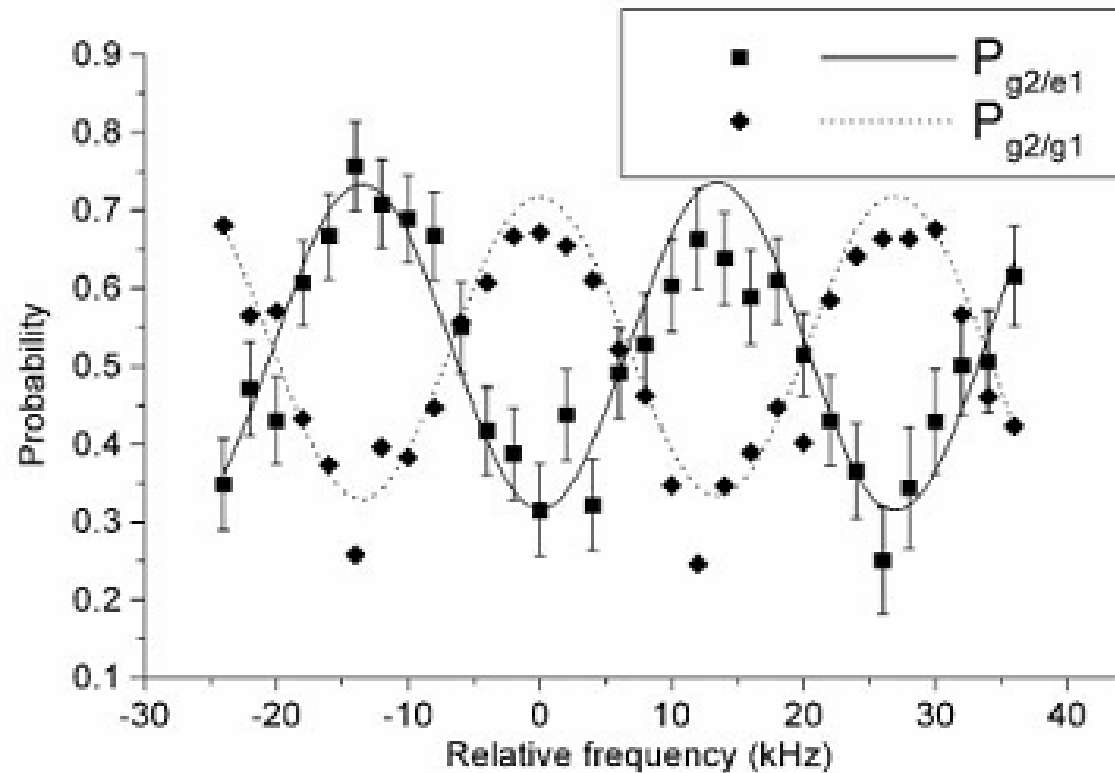
G. Nogues, A. Rauschenbeutel, S. Osnaghi, M. Brune, J. M. Raimond & S. Haroche, Nature, 400, 239 (1999)



Детектирование одного фотона в резонаторе

M. Brune, S. Haroche, V. Lefevre, J.M. Raimond, N. Zagury, PRL, 65, 976 (1990)

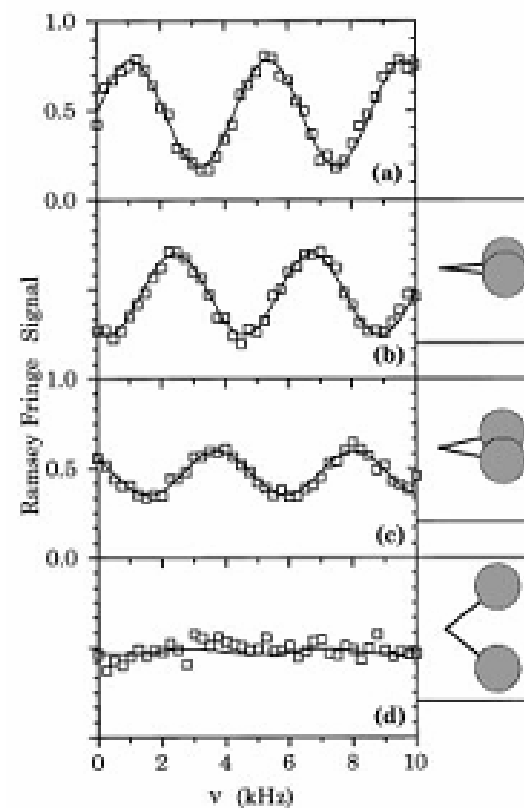
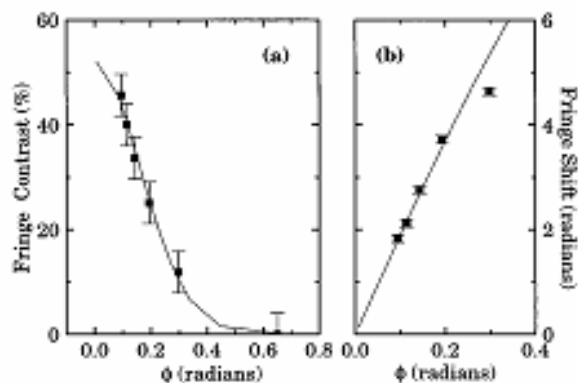
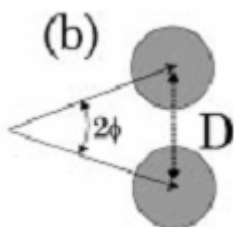
G. Nogues, A. Rauschenbeutel, S. Osnaghi, M. Brune, J. M. Raimond & S. Haroche, Nature, 400, 239 (1999)



Запутанные состояния поля и атома. Декогеренция.

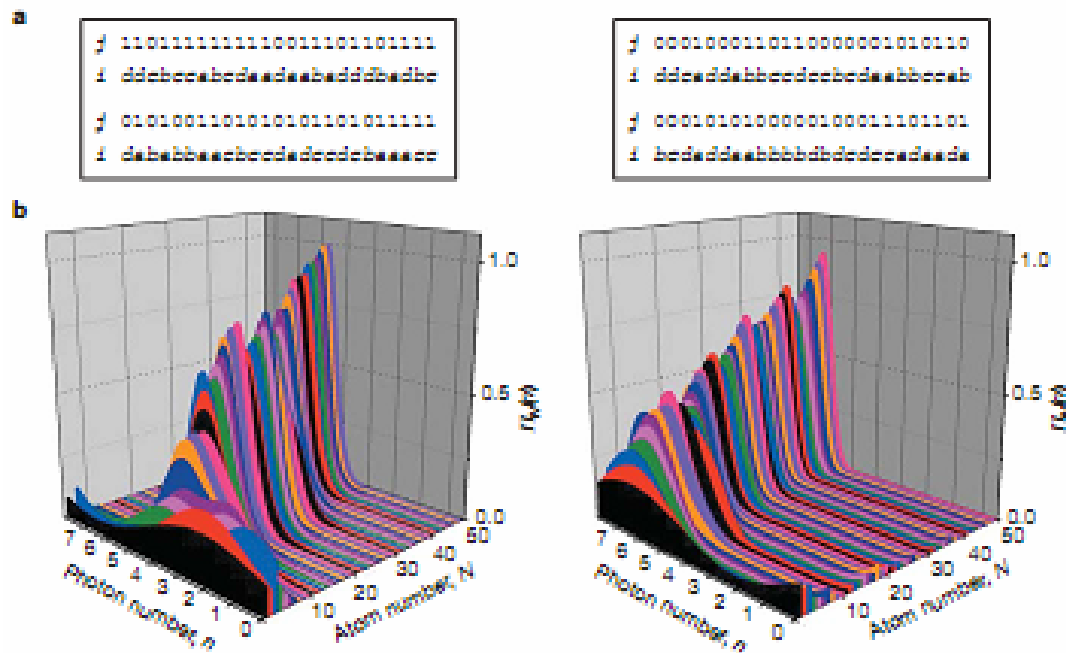
M. Brune, E. Hagley, J. Dreyer, X. Maitre, A. Maali, C. Wunderlich, J.M. Raimond, S. Haroche, PRL, 77, 4887 (1996)

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|e, \alpha e^{i\phi}\rangle + |g, \alpha e^{-i\phi}\rangle).$$



“Эволюция” измеряемой системы при неразрушающих измерениях. Коллапс волновой функции.

C. Guerlin, J. Bernu, S. Deleglise, C. Sayrin, S. Gleyzes, S. Kuhr, M. Brune, J.-M. Raimond, S. Haroche



$$P(n|j,\phi) = P_0(n)P(j,\phi|n)/P(j,\phi)$$

$$P(j,\phi) = \sum_n P(j,\phi|n)P_0(n)$$

$$[\sum_n c_n \langle j,\phi| +_n | \tilde{n} \rangle] \otimes |j,\phi\rangle / \sqrt{P(j,\phi)}$$