

Top

TEST

Left side

Right side

Bottom

las lecciones en pdf están en:



<https://www.physics.umd.edu/rgroups/amo/orozco/results/2023/Results23.htm>

Correlaciones en óptica y en óptica cuántica:

Una serie de lecciones a cerca de correlaciones y coherencia Junio 2023

Luis A. Orozco

www.jqi.umd.edu

Universidad de Concepción



Lección 7

Lista tentativa de tópicos a tratar:

- De la estadística y el algebra lineal a la densidad espectral de potencia.
- Perspectiva histórica y ejemplos en varias areas de física.
- Funciones de correlación en óptica clásica
- La relación entre correlación y la coherencia.
- Funciones de correlación en óptica cuántica.
- Electrodinámica cuántica de cavidades.
- **Correlaciones en electrodinámica cuántica de cavidades I: $g^{(3/2)}$.**
- Correlaciones en electrodinámica cuántica de cavidades II: $g^{(2)}$.

Las funciones de correlación nos dicen algo sobre las fluctuaciones.

Las correlaciones tienen límites clásicos.

Son mediciones condicionales.

¿Podemos usarlas para medir el campo asociado con una FLUCTUACIÓN de un fotón?

Función de correlación; Medición condicional.

Detectar un fotón: obtener un estado condicional.

El sistema debe tener al menos dos fotones.

¿Tenemos suficiente relación señal/ruido?

$$\frac{|LO|^2}{\text{Ruido de Disparo}} + \frac{2 LO S \cos(\phi)}{\text{Señal}}$$

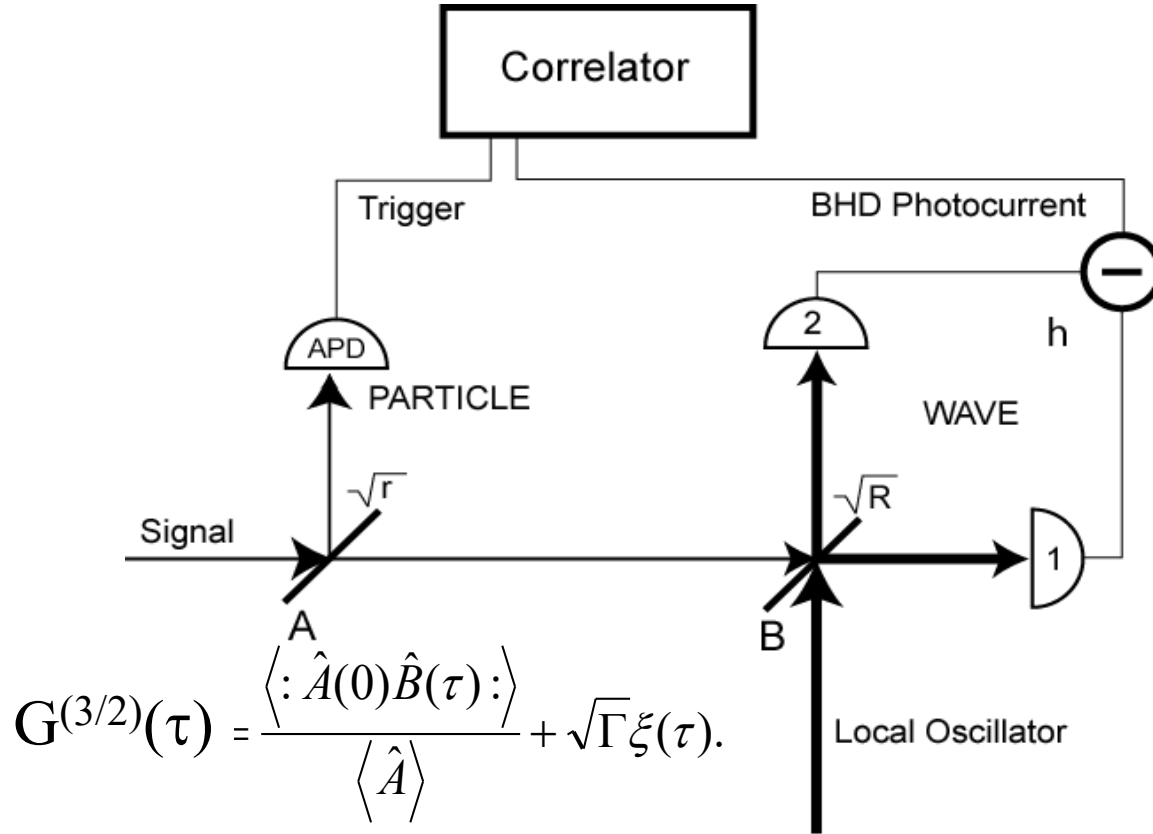
¿Cómo correlacionar
campos e
intensidades?

Detección del campo: Homodia.

Medición condicional: Solo medimos cuando obtenemos un clic de fotón.

Fuente: Cavidad QED

El correlacionador de campo de intensidad.



Condición en un clic

Mide la función de correlación de la Intensidad y el

Campo:

$\langle I(t) E(t+\tau) \rangle$ Forma normalizada:

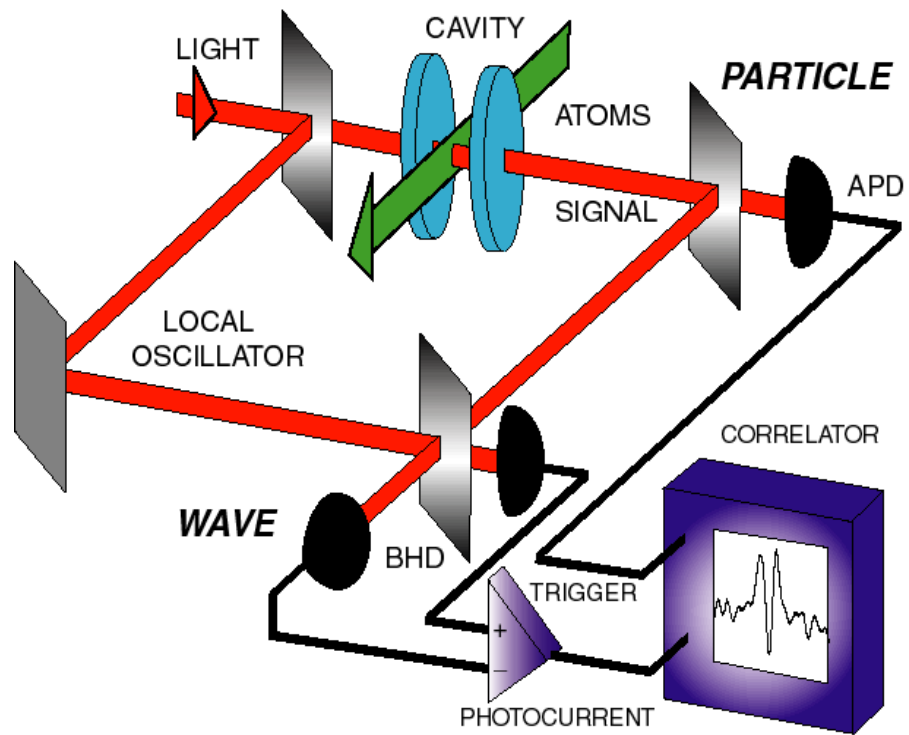
Normalized form:

$$g^{(3/2)}_{\theta}(\tau) = h_{\theta}(\tau) = \langle E(\tau) \rangle_c / \langle E \rangle$$

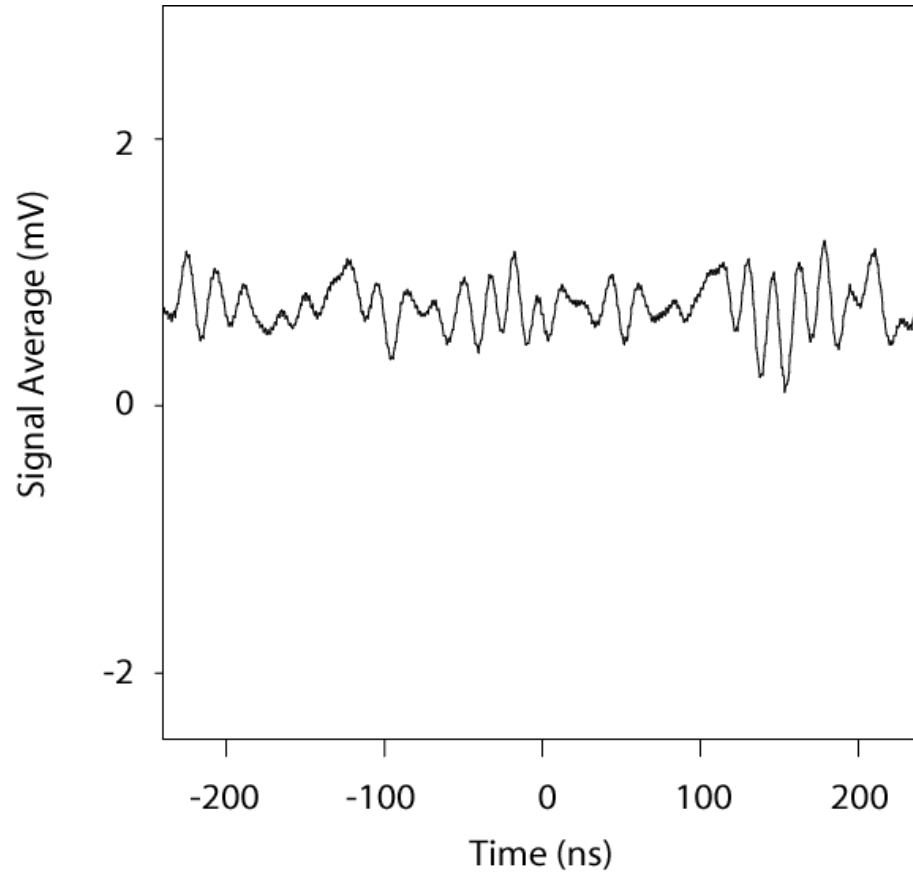
De las desigualdades de Cauchy Schwartz:

$$0 \leq \bar{h}_0(0) - 1 \leq 2$$

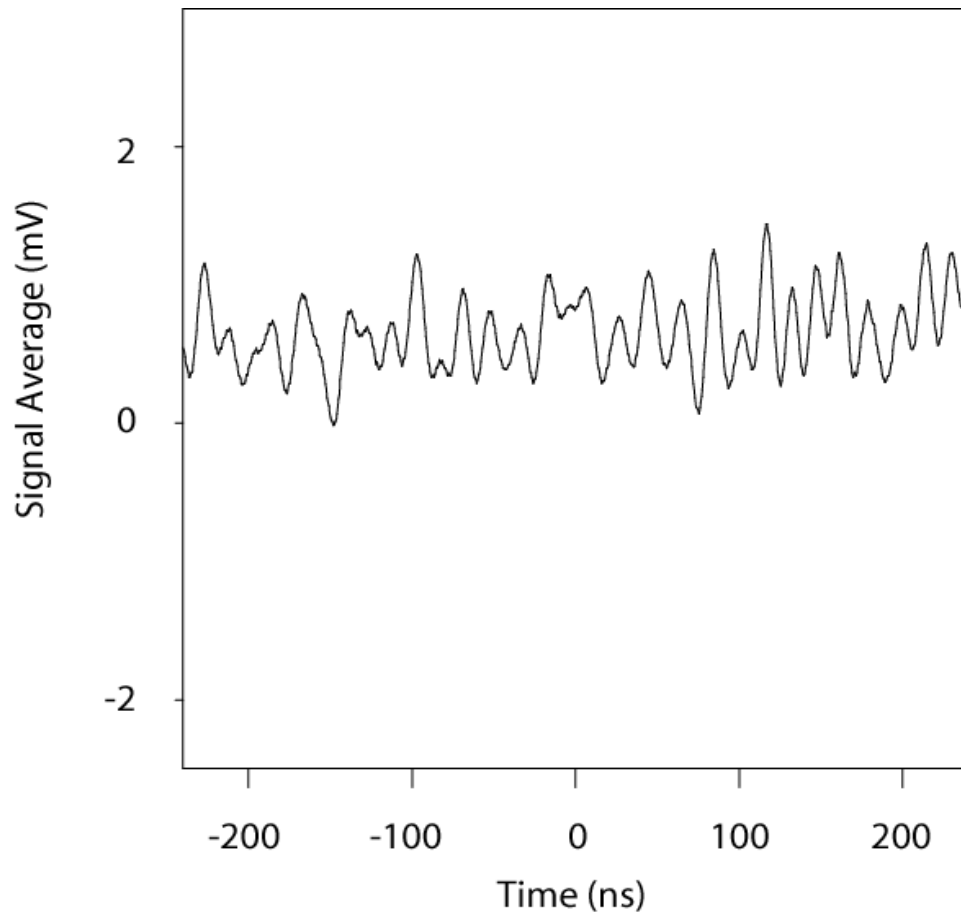
$$|\bar{h}_0(\tau) - 1| \leq |\bar{h}_0(0) - 1|$$

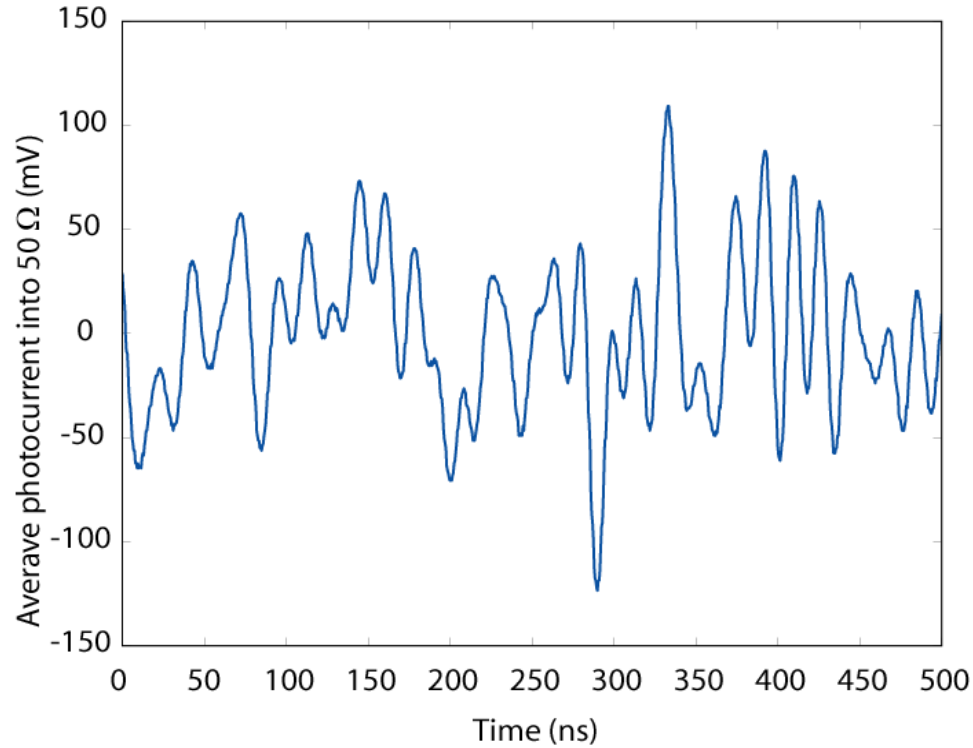


Promedio de la fotocorriente con condicionamiento aleatorio

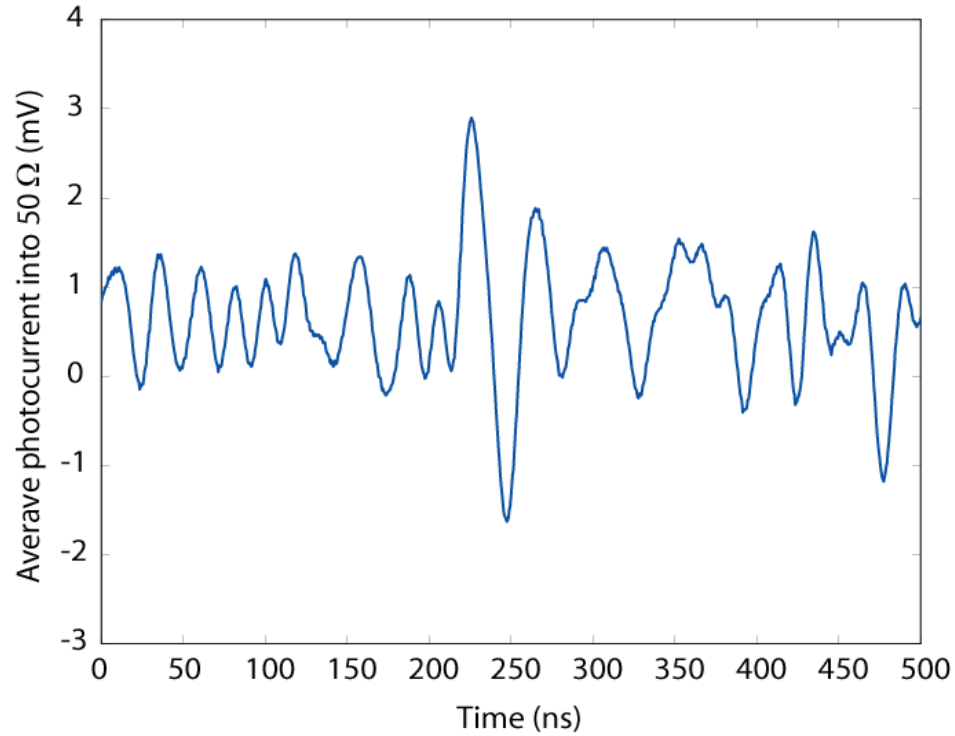


Fotocorriente condicional sin átomos en la cavidad.

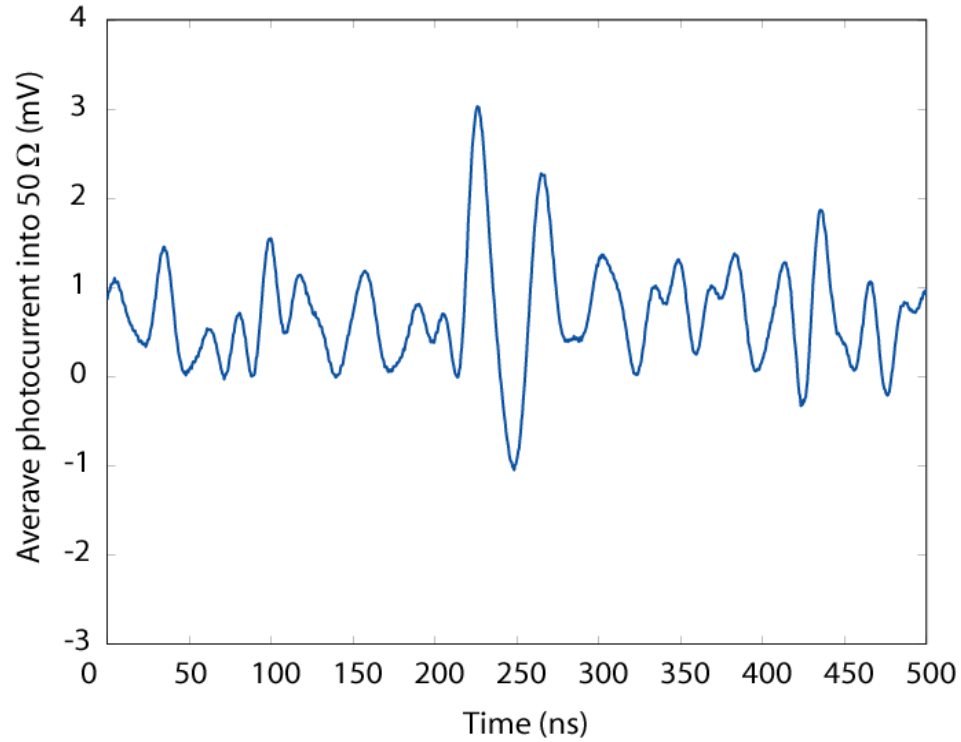




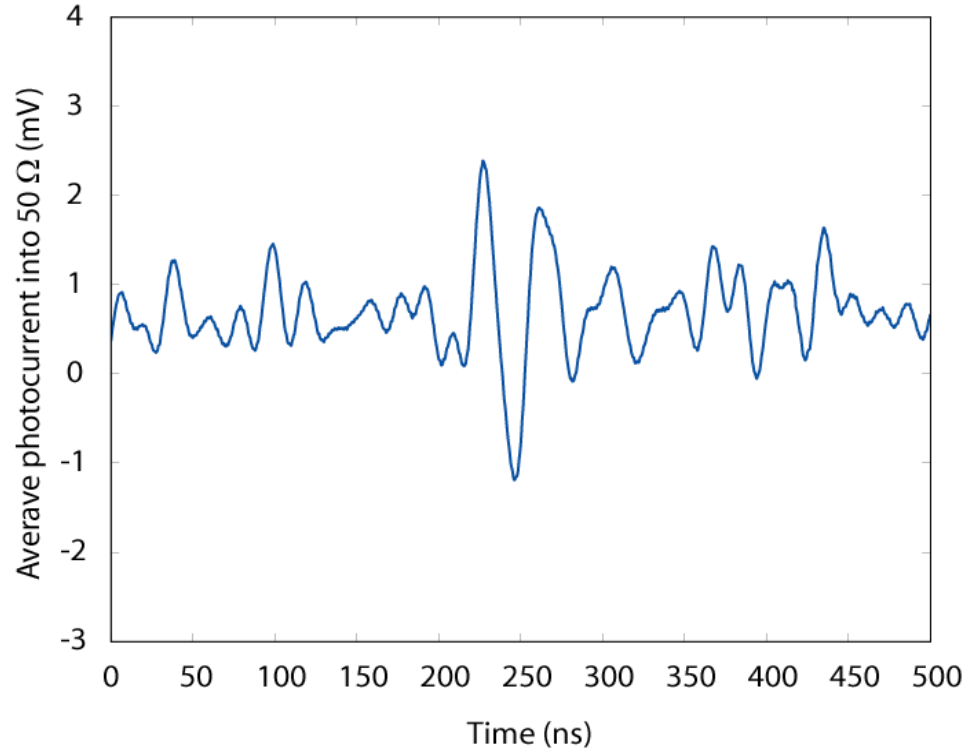
Después de 1 promedio, pp~200 mV



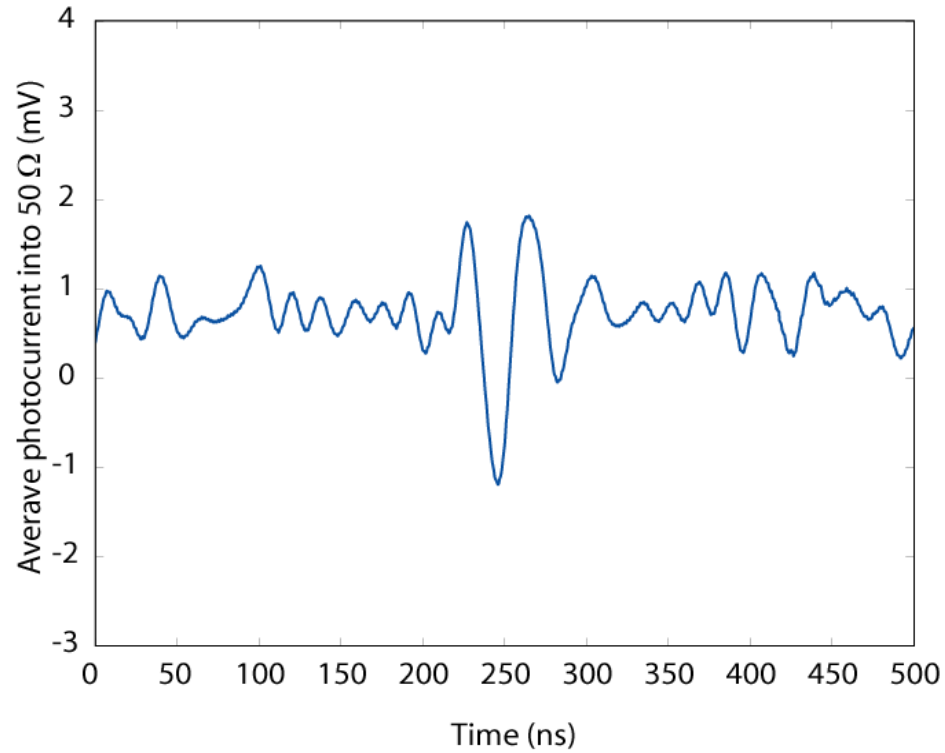
Después de 6.000 promedios



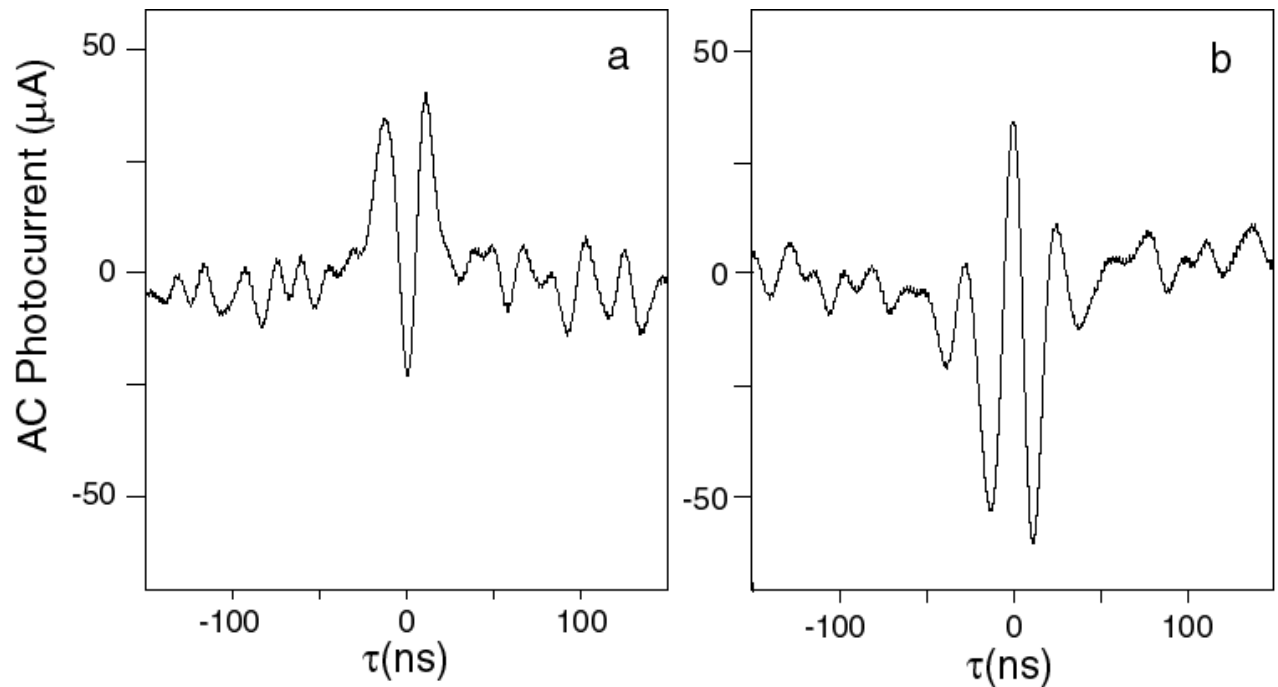
Después de 10.000 promedios



Después de 30.000 promedios

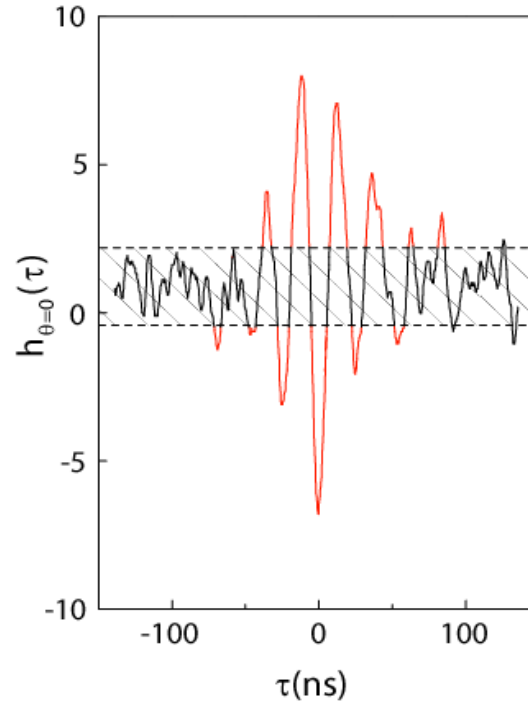


Después de 65,000 promedios, ruido pp \sim 1mV



Cambio la fase del Mach-Zehnder por 146°

Simulaciones Monte Carlo para excitación débil:



en negro la región
clásicamente
permitida

Haz atómico N=11

Esta es la evolución condicional del campo de una fracción de un fotón $[B(t)]$ a partir de la función de correlación.

$$g^{(3/2)}(\tau) = h_{\theta}(\tau) = \langle E(\tau) \rangle_c / \langle E \rangle$$

El campo condicional preparado por el clic es:

$$A(t)|0\rangle + B(t)|1\rangle \text{ con } A(t) \approx 1 \text{ y } B(t) \ll 1$$

¡Medimos el campo de una fracción de fotón!

Las fluctuaciones son muy importantes.

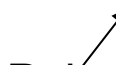
Evolución condicional del estado un átomo

$$|\Psi_{ss}\rangle = |0, g\rangle + \lambda|1, g\rangle - \frac{2g}{\gamma}\lambda|0, e\rangle + \frac{\lambda^2 pq}{\sqrt{2}}|2, g\rangle - \frac{2g\lambda^2 q}{\gamma}|1, e\rangle$$


$$\lambda = \langle \hat{a} \rangle, \quad p = p(g, \kappa, \gamma) \text{ and } q = q(g, \kappa, \gamma) \quad \lambda = \frac{\varepsilon}{\kappa} \left(\frac{1}{1+2C} \right)$$

$$p = 1 - 2C'_1, \quad q = (1 + 2C) / (1 + 2C - 2C'_1) \quad \text{with } C'_1 = C_1(1 + \gamma/2\kappa)^{-1}$$

$$\hat{a}|\Psi_{ss}\rangle \Rightarrow |\Psi_{conditioned}\rangle = |0, g\rangle + \lambda pq|1, g\rangle - \frac{2g\lambda q}{\gamma}|0, e\rangle$$



Polarización atómica



campo

$$g^{(3/2)}(0) = |pq| = 1 - \frac{4C_1^2}{(1 + \gamma/2\kappa)(1 - 2C_1) - 2C_1}$$

Para N átomos que no interactúan

$$|\chi(t)\rangle = |00\rangle + A_1(t)|10\rangle + A_2(t)|01\rangle \\ + A_3(t)|20\rangle + A_4(t)|11\rangle + A_5(t)|02\rangle$$

$$\dot{A}_1 = -\kappa A_1 + \sqrt{N}gA_2 + \mathcal{E}$$

Campo forzado \mathcal{E}

$$\dot{A}_2 = -(\gamma/2)A_2 - \sqrt{N}gA_1$$

Polarización

$$\dot{A}_3 = -2\kappa A_3 + \sqrt{2}\sqrt{N}gA_4 + \sqrt{2}\mathcal{E}A_1,$$

$$\dot{A}_4 = -(\kappa + \gamma/2)A_4 - \sqrt{2}\sqrt{N}gA_3$$

$$+ \sqrt{2}\sqrt{N-1}gA_5 + \mathcal{E}A_2,$$

$$\dot{A}_5 = -\gamma A_5 - \sqrt{2}\sqrt{N-1}gA_4.$$

Ecuaciones de
movimiento de
los coeficientes.

$$g^{(3/2)}(\tau) = 1 + \mathcal{A}\mathcal{F} \quad (17)$$

where \mathcal{F} is a decaying oscillation,

$$\mathcal{F} = e^{-\beta\tau} [\cos(\Omega_0\tau) + (\beta/\Omega_0)\sin(\Omega_0\tau)], \quad (18)$$

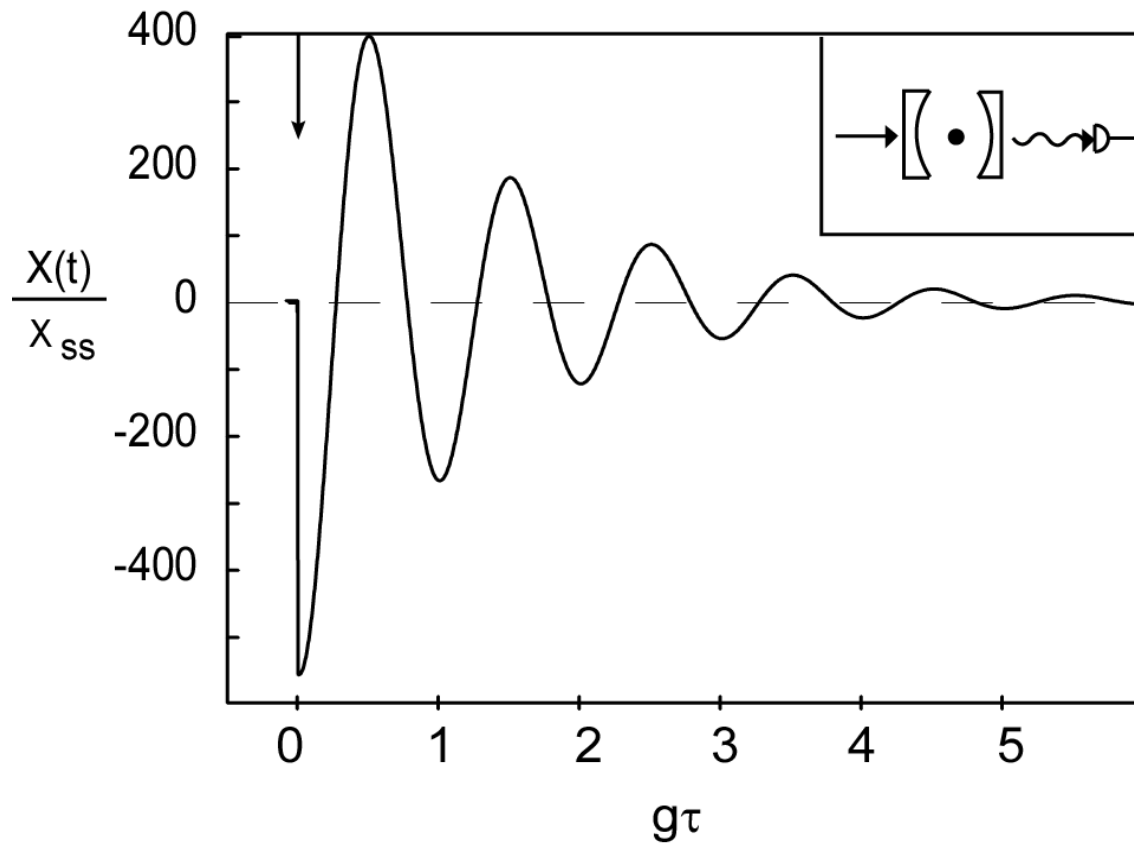
with $\beta \equiv (\kappa + \gamma_{\perp})/2$ representing the average decay rate and Ω_0 the vacuum Rabi frequency in the low intensity limit:

$$\Omega_0 = \sqrt{g^2 N - \frac{(\kappa - \gamma_{\perp})^2}{4}}.$$

The amplitude of the decaying oscillations is given by

$$\mathcal{A} = -\frac{4C_1^2 N}{(1 + \gamma_{\perp}/\kappa)(1 + 2C_1 N) - 2C_1}.$$

Regresión del campo al estado estacionario
después de la detección de un fotón.

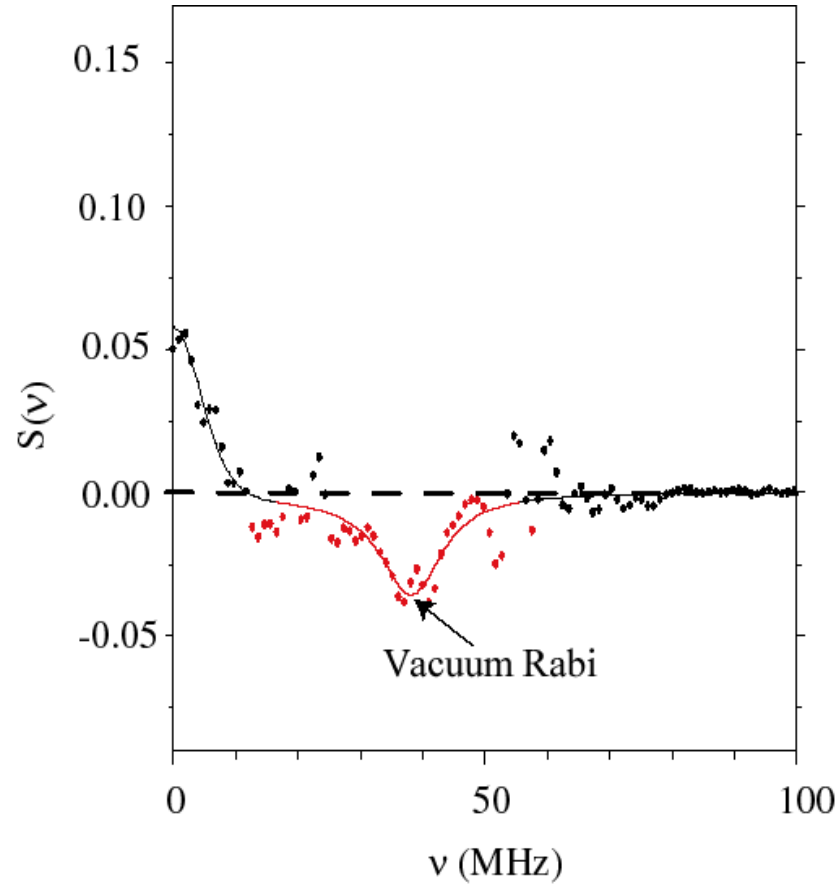


Las fluctuaciones del campo electromagnético se miden por el espectro de compresión. Mira el espectro de ruido de la fotocorriente.

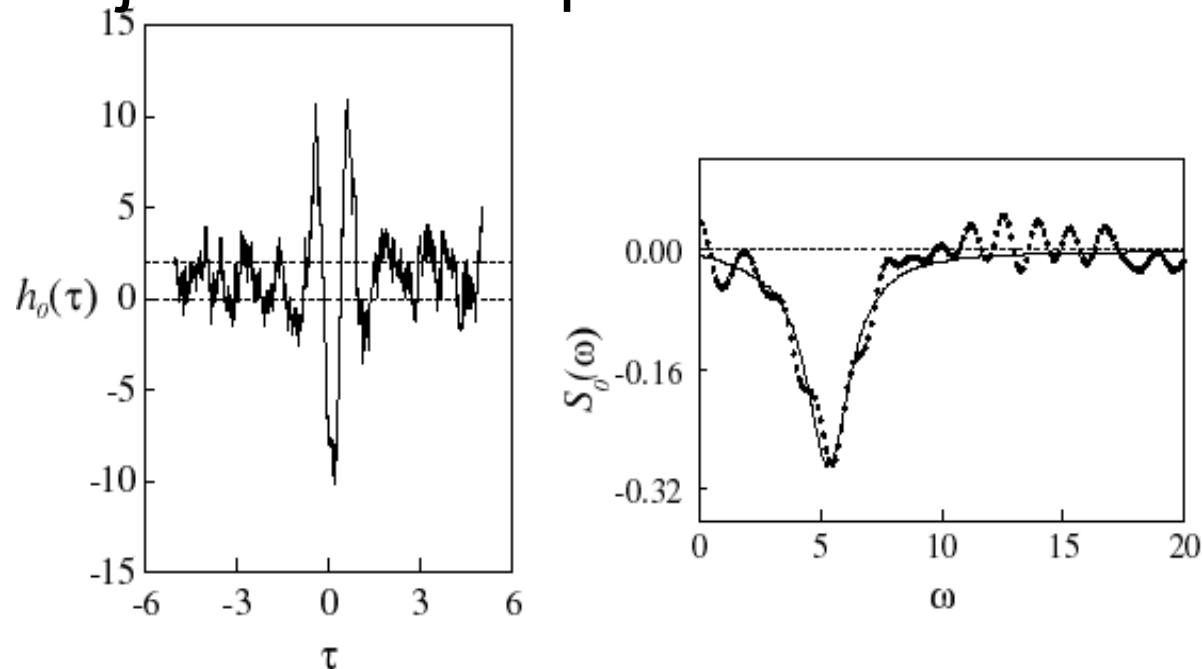
$$S(\nu, 0^\circ) = 4F \int_0^\infty \cos(2\pi\nu\tau) [g^{(3/2)}(\tau) - 1] d\tau$$

F es el flujo de fotones en el correlacionador.

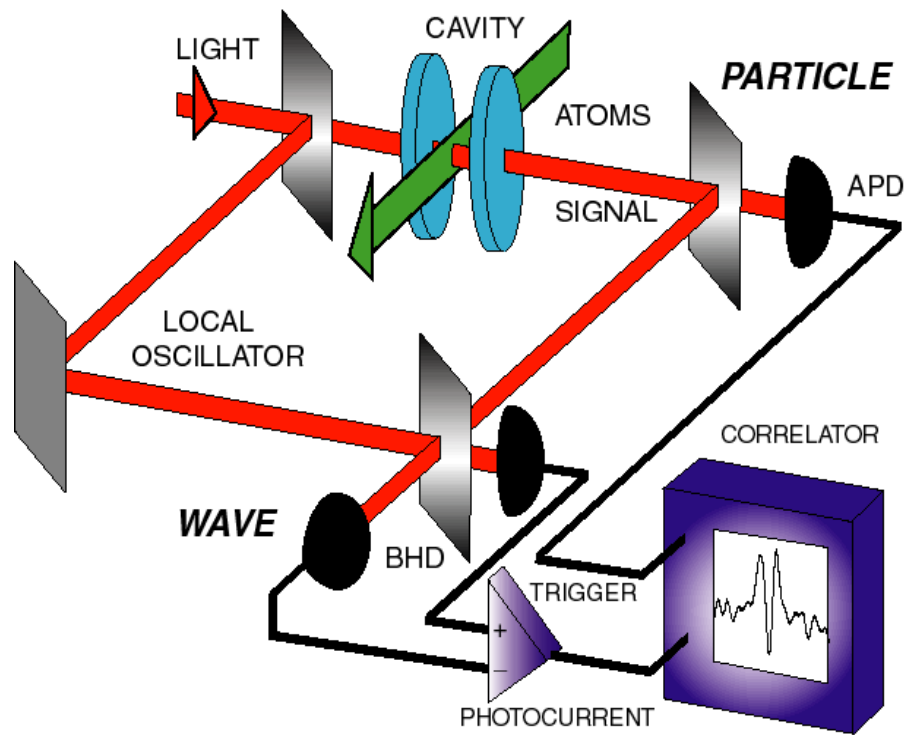
Espectro de squeezing de la T. F. de $g^{(3/2)}(\tau)=h_0(\tau)$

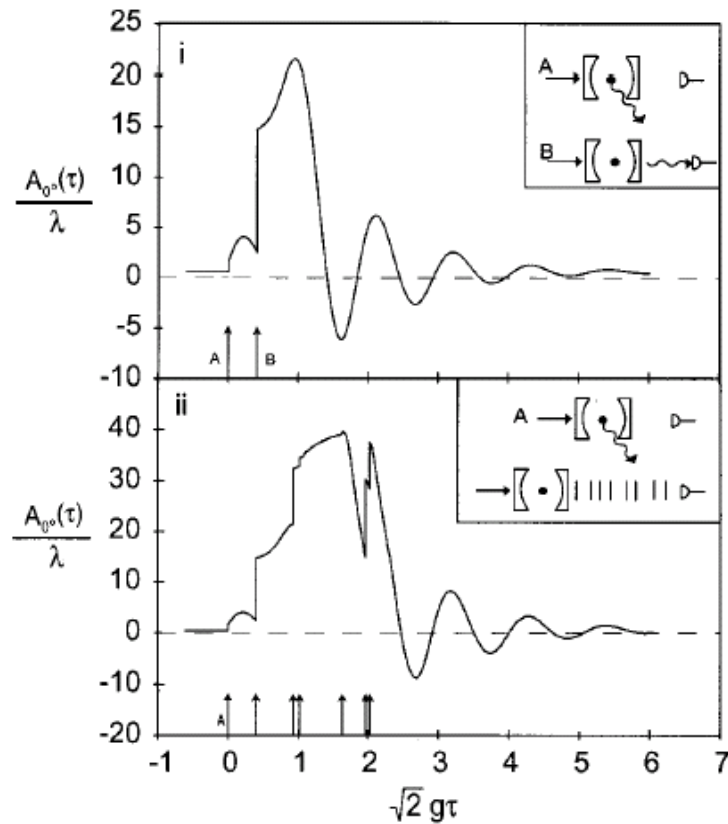


Simulaciones Monte Carlo de la correlación onda-partícula y el espectro de compresión en el límite de baja intensidad para un haz atómico.

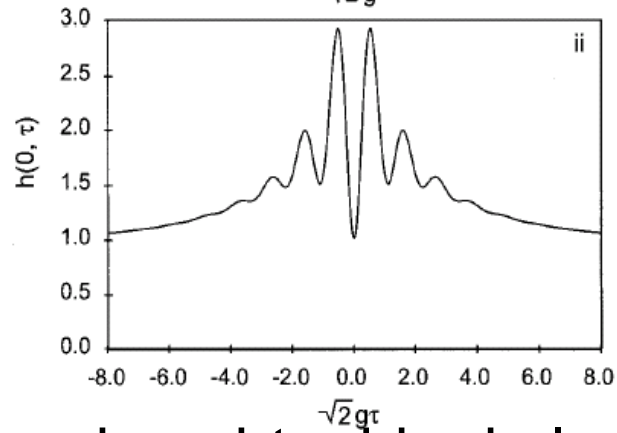
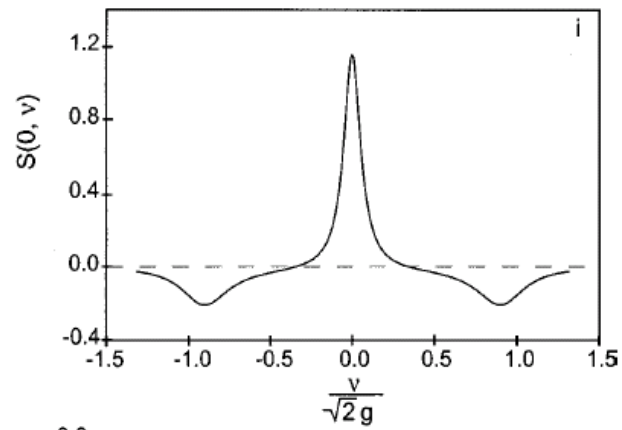


Tiene límites clásicos superiores e inferiores



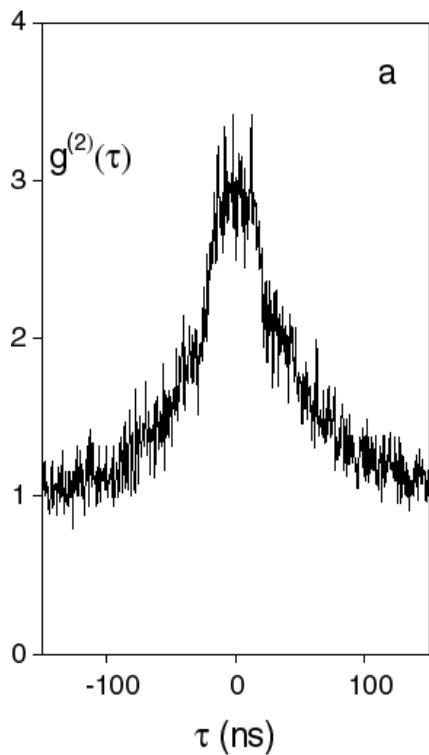


Simulación de trayectorias cuánticas simples del sistema QED de cavidad con emisión espontánea.

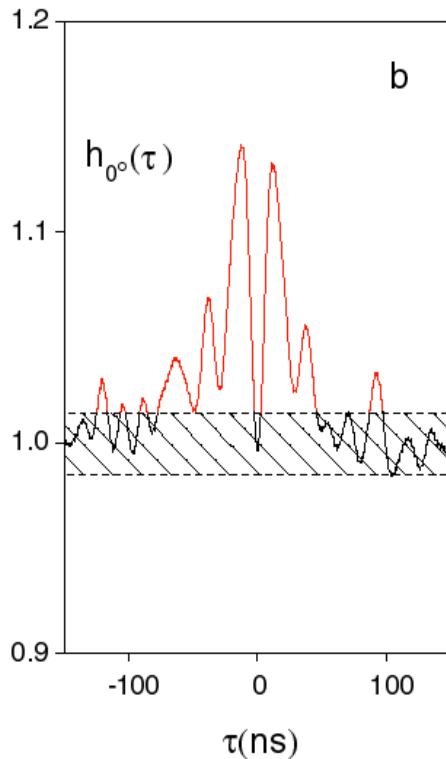


(i) Espectro de squeezing obtenido de la función de correlación $g^{(3/2)}(\tau)$ promediada que muestra los efectos de la emisión espontánea.

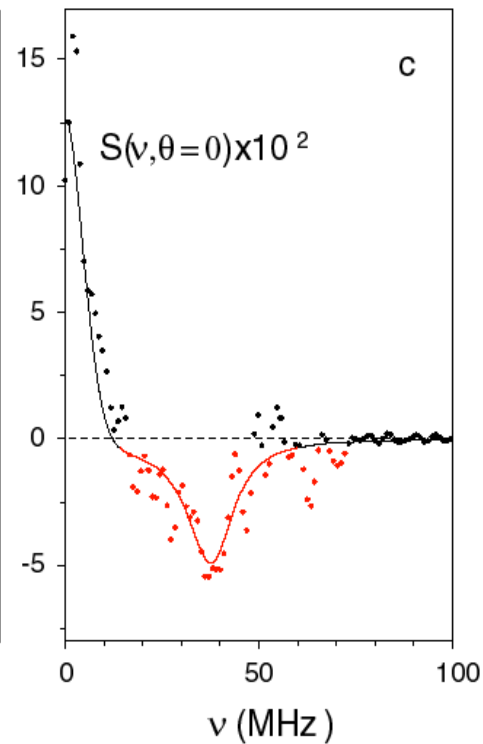
Clásica $g^{(2)}$



No-clásica h



Squeezing



$N=13; 1.2n_0$

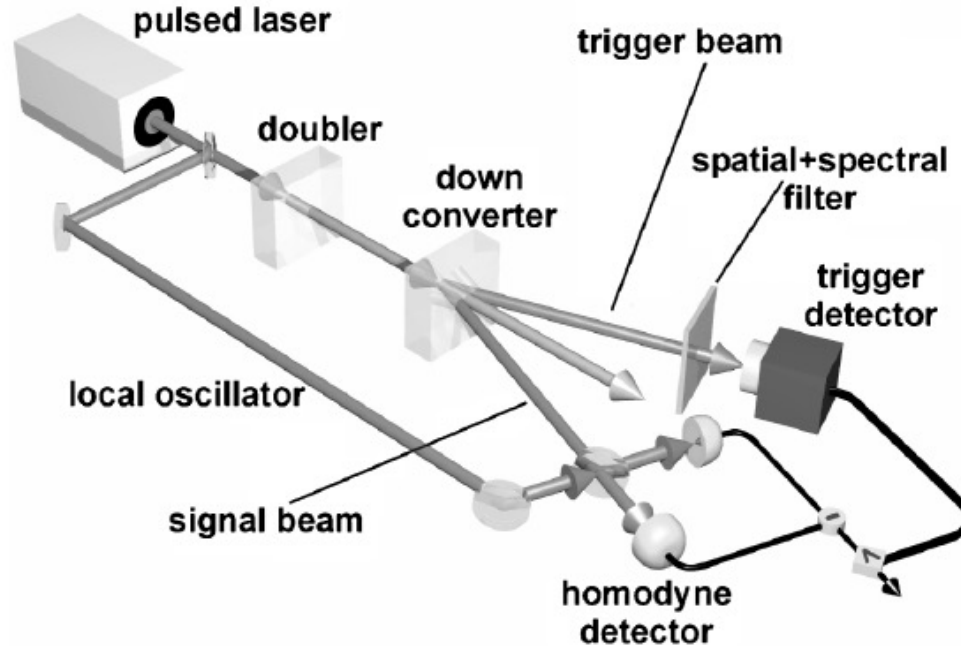
Otros sistemas

Fotones gemelos por conversión hacia abajo

Quantum State Reconstruction of the Single-Photon Fock State

A. I. Lvovsky,* H. Hansen, T. Aichele, O. Benson, J. Mlynek,[†] and S. Schiller[‡]

Phys. Rev. Lett. 87, 050402 (2001)



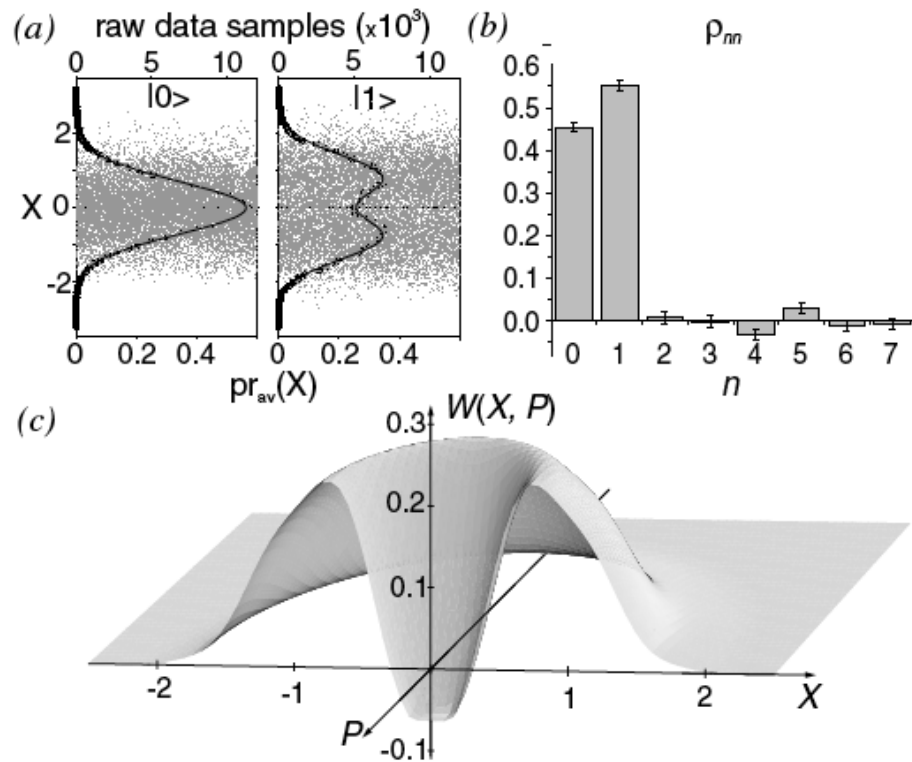
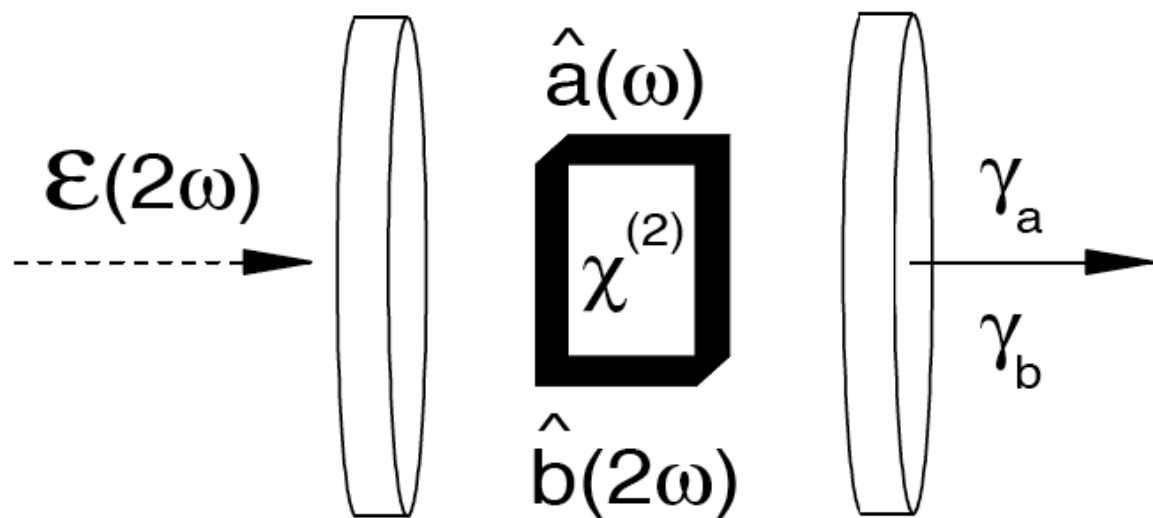


FIG. 4. Experimental results: (a) raw quantum noise data for the vacuum (left) and Fock (right) states along with their histograms corresponding to the phase-randomized marginal distributions; (b) diagonal elements of the density matrix of the state measured; (c) reconstructed WF which is negative near the origin point. The measurement efficiency is 55%.

Oscilador paramétrico óptico



$$H = \hbar\omega_a \hat{a}^\dagger \hat{a} + \hbar\omega_b \hat{b}^\dagger \hat{b} + \frac{i\hbar\chi}{2} (\hat{a}^{\dagger 2} \hat{b} - \hat{a}^2 \hat{b}^\dagger).$$

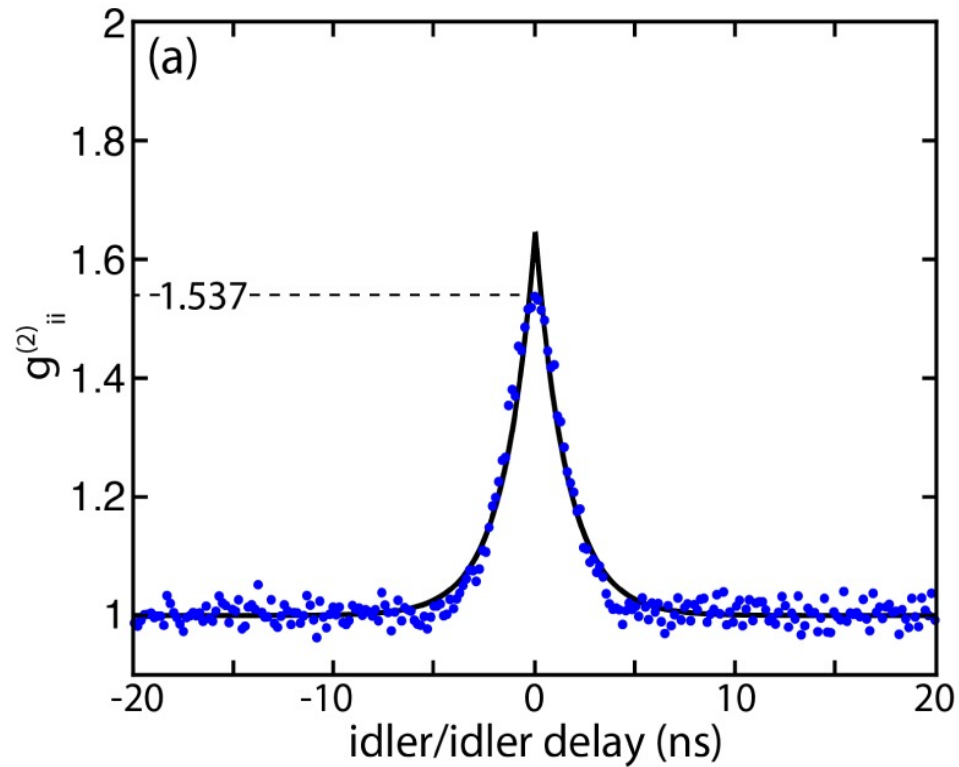


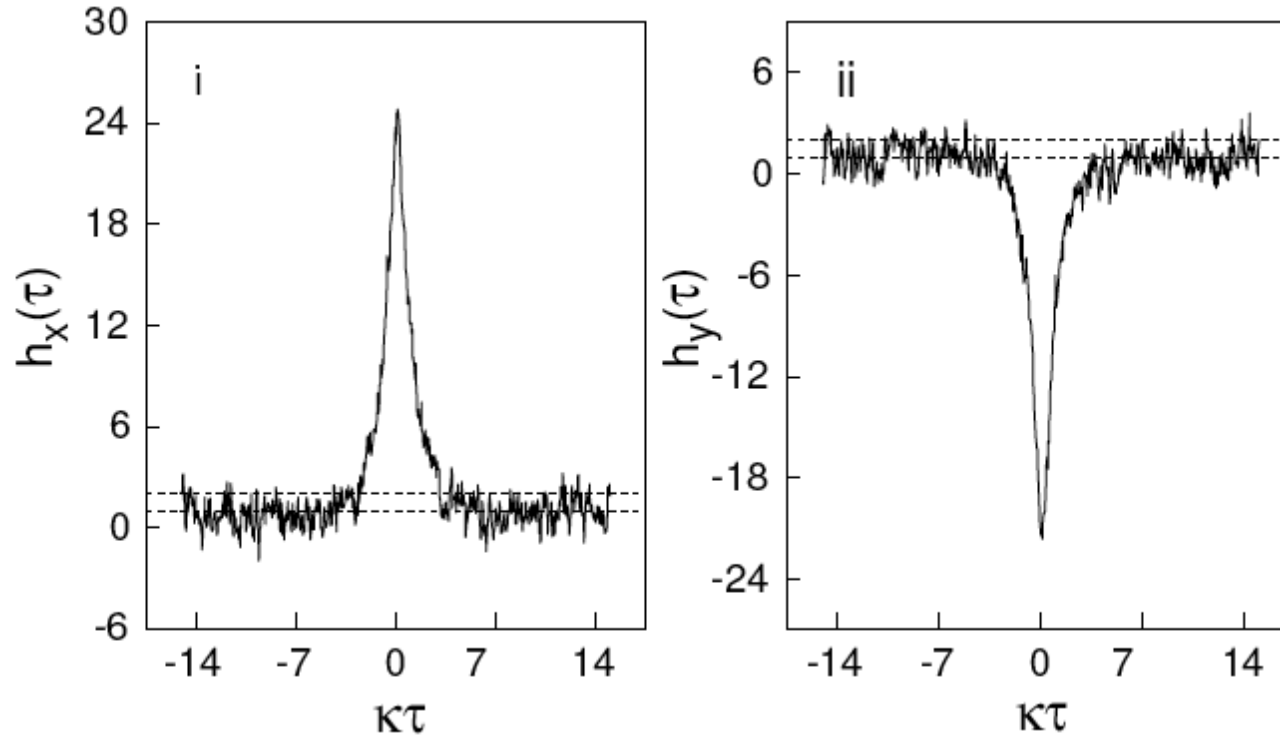
Fig. 4

Citation

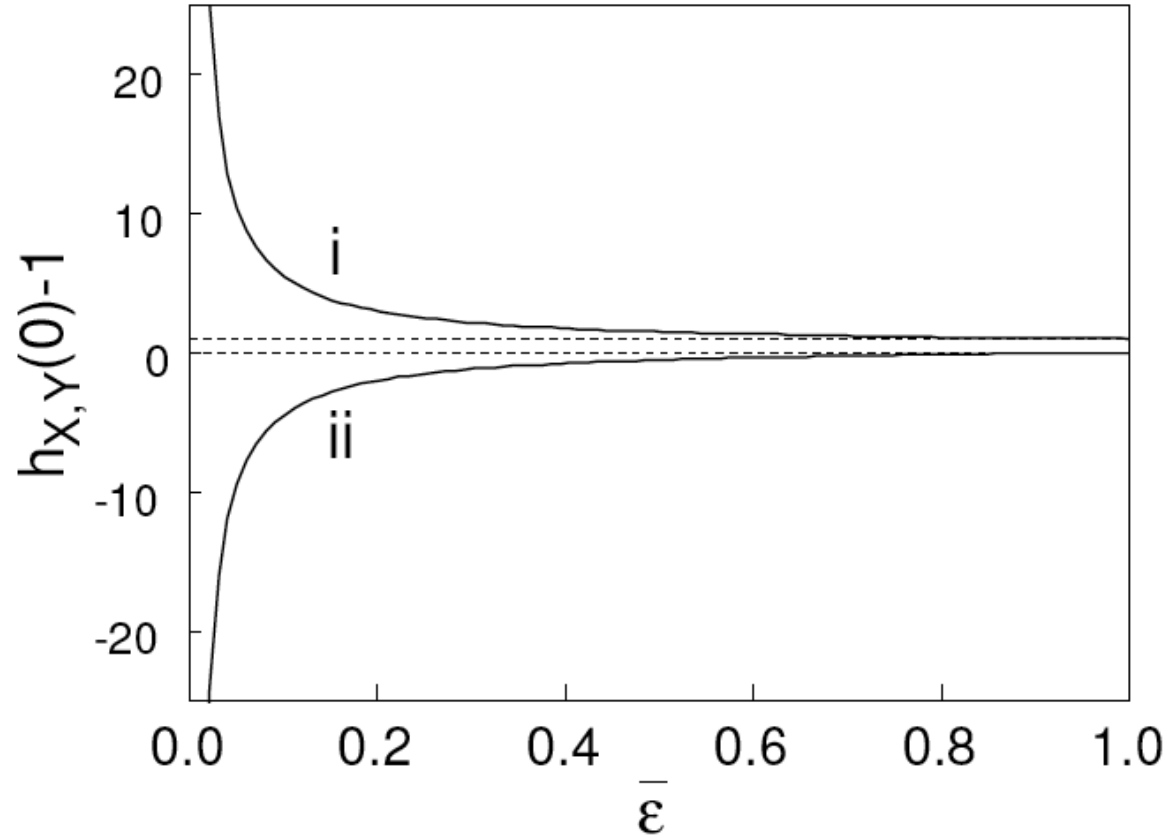
Christian Reimer, Lucia Caspani, Matteo Clerici, Marcello Ferrera, Michael Kues, Marco Peccianti, Alessia Pasquazi, Luca Razzari, Brent E. Little, Sai T. Chu, David J. Moss, Roberto Morandotti, "Integrated frequency comb source of heralded single photons," *Opt. Express* **22**, 6535-6546 (2014);

<https://www.osapublishing.org/oe/abstract.cfm?uri=oe-22-6-6535>

Calculation of $g^{(3/2)}_{\theta}(\tau)$ en una OPO muy por debajo del umbral con los límites clásicos



Máximo de $h_{\theta}(\tau) = g^{(3/2)}_{\theta}(\tau)$ en una OPO por debajo del umbral



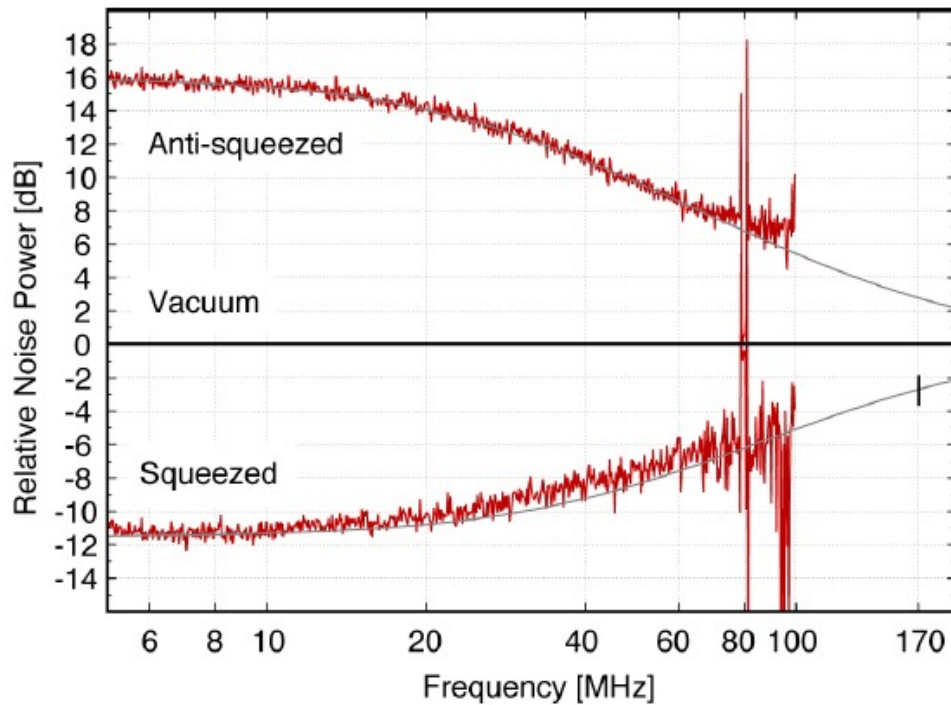


FIG. 6: High bandwidth squeezing spectrum. Squeezing (bottom trace) and anti-squeezing (top trace) are shown relative to the vacuum noise variance. The measurements were performed from 5 MHz

M. Mehmet, H. Vahlbruch, N. Lastzka, K. Danzmann, and R. Schnabel, Phys. Rev. A **81**, 013814.

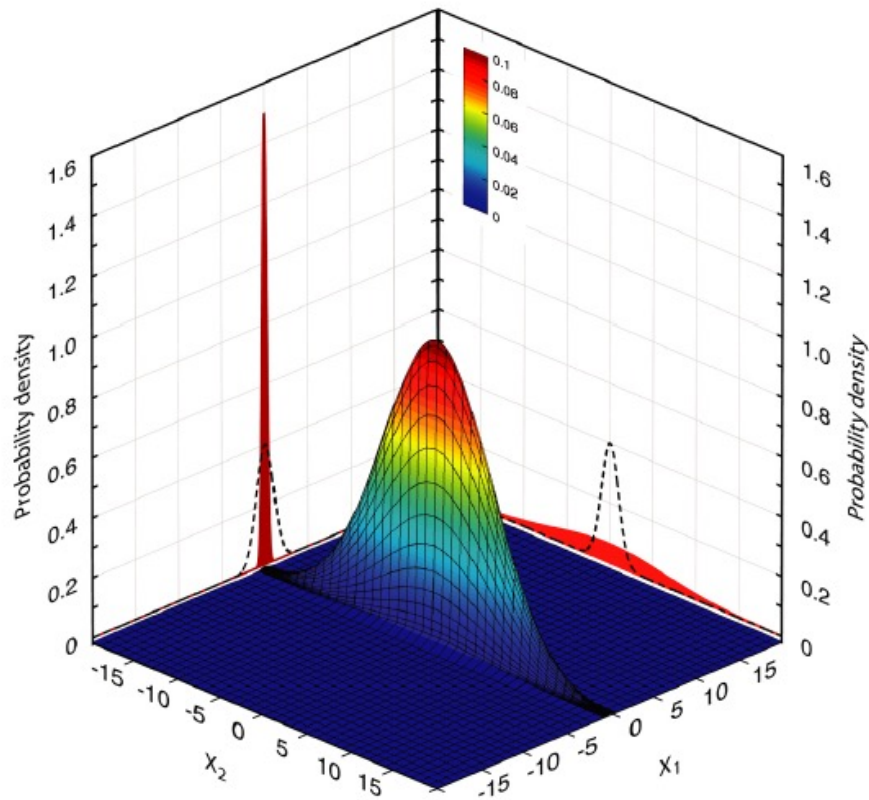


FIG. 3: Wigner function of the squeezed vacuum state produced by our OPO. The projections (filled curves) onto the two quadratures yield the gaussian probability distributions with variances of -11.5 dB and 16 dB relative to the projections belonging to a pure vacuum state (dotted curves).

Fluorescencia de resonancia de iones individuales

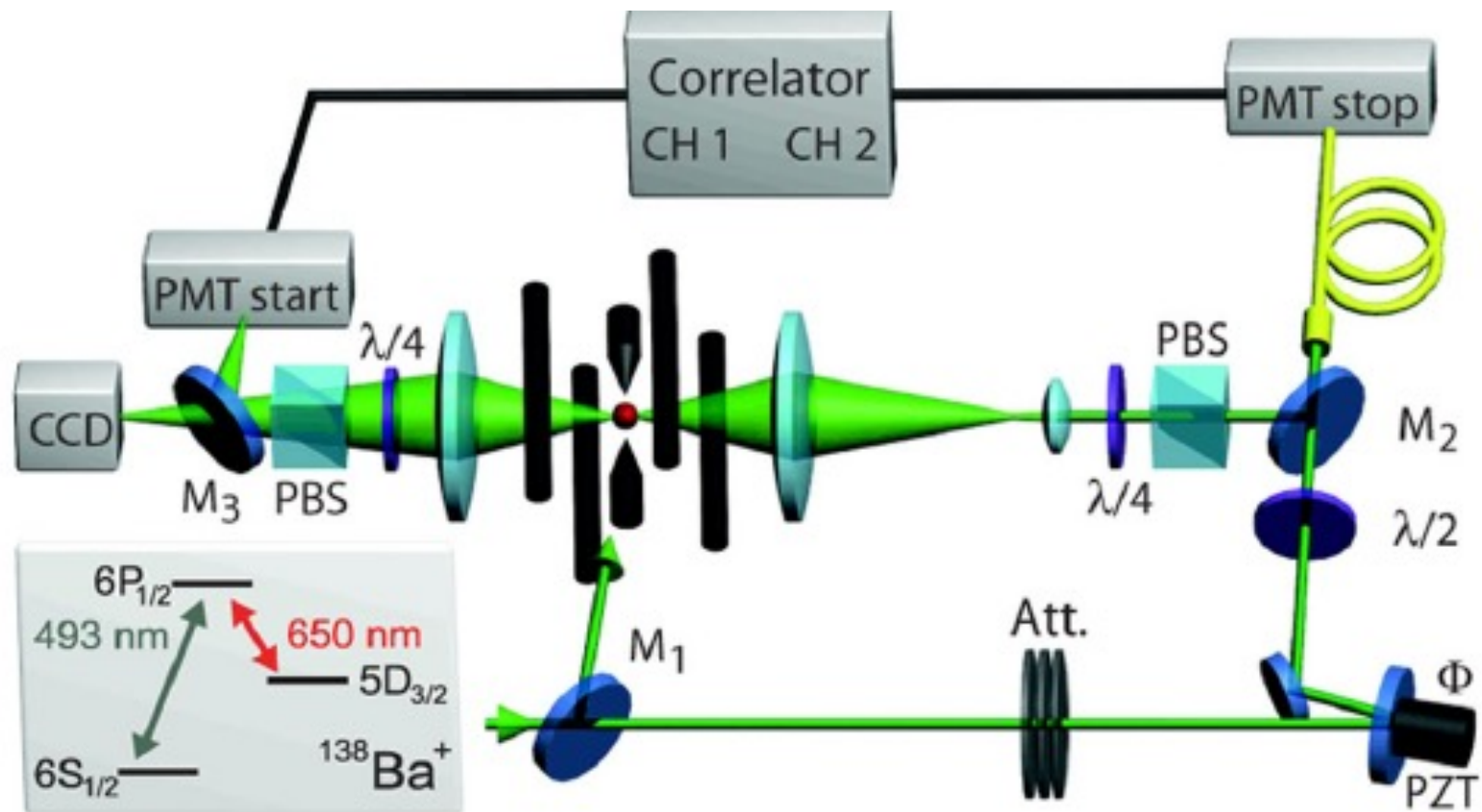
PRL **102**, 183601 (2009)

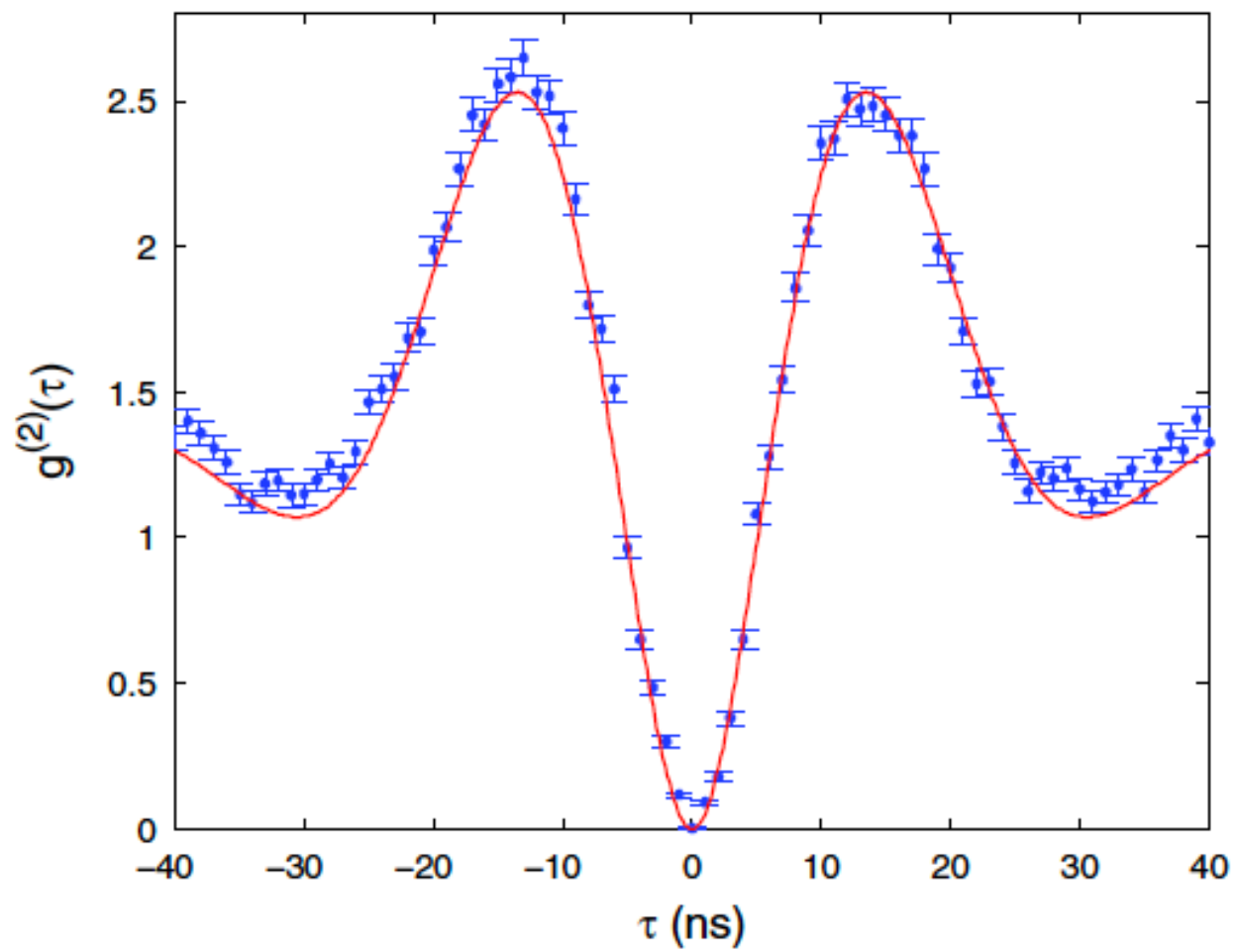
PHYSICAL REVIEW LETTERS

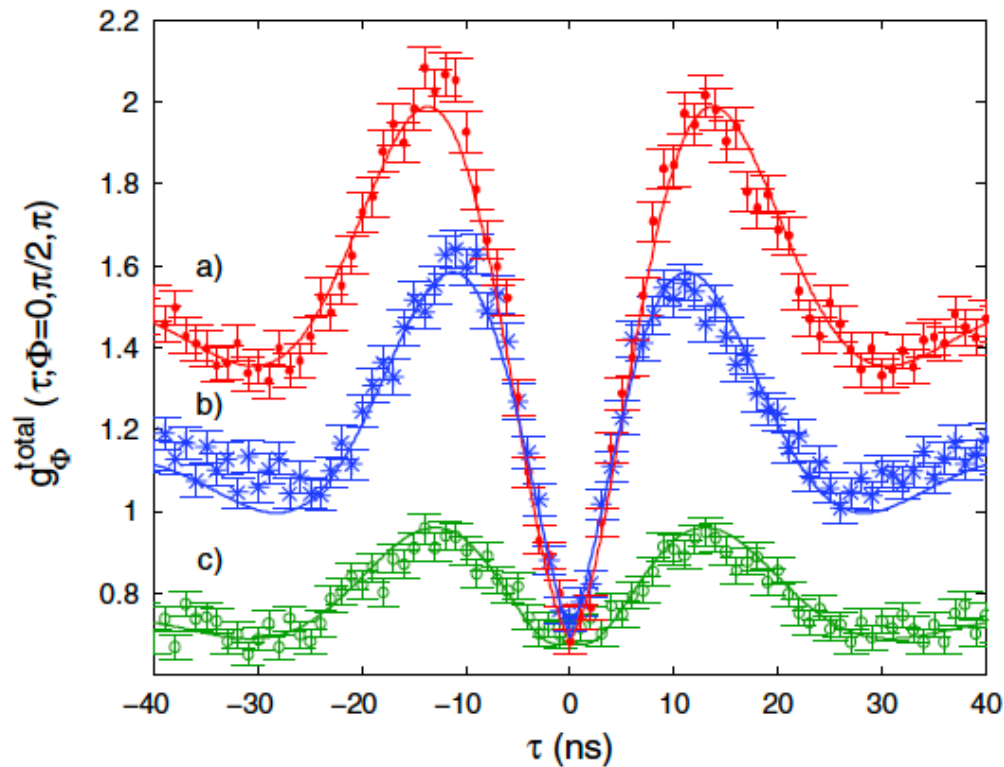
week ending
8 MAY 2009

Intensity-Field Correlation of Single-Atom Resonance Fluorescence

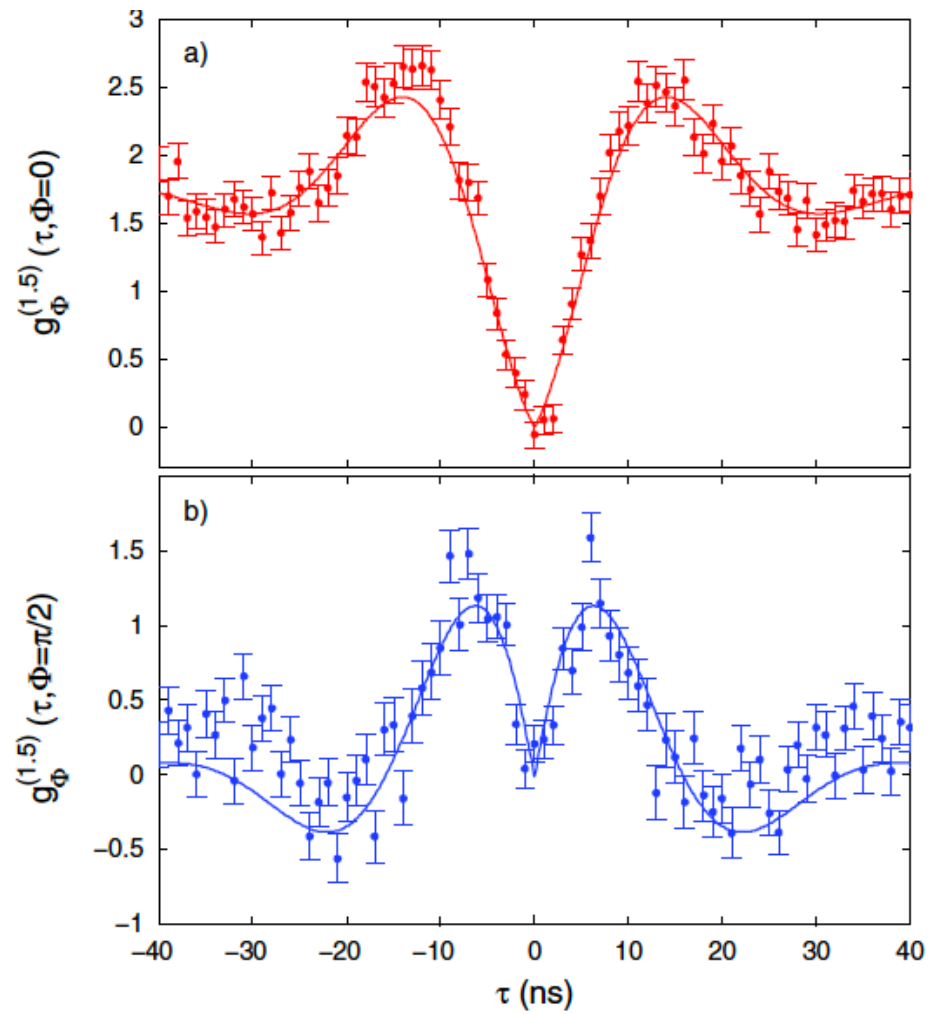
S. Gerber,¹ D. Rotter,¹ L. Slodička,¹ J. Eschner,^{1,4} H. J. Carmichael,³ and R. Blatt^{1,2}







$$g_{\Phi}^{\text{total}}(\tau) = (1 - r) + r g^{(2)}(\tau) + \frac{V}{1 - V} g_{\Phi}^{(1.5)}(\tau).$$



- La correlación onda-partícula $h_{\theta}(\tau)=g^{(3/2)}_{\theta}(\tau)$ mide la dinámica condicional del campo electromagnético. El espectro de squeezing $S_{\theta}(\Omega)$ y $h_{\theta}(\tau)=g^{(3/2)}_{\theta}(\tau)$ son transformadas de Fourier entre sí.
- Muchas aplicaciones en muchos otros problemas de la óptica cuántica y de la óptica en general: microscopía, desmagnetización, mediciones débiles, retroalimentación cuántica.
- Posibilidad de una reconstrucción tomográfica de la evolución dinámica del estado del campo electromagnético.

Bibliografía

H. J. Carmichael, G. T. Foster, L. A. Orozco, J. E. Reiner, and P. R. Rice, “Intensity-Field Correlations of Non-Classical Light”. Progress in Optics, Vol. 46, 355-403, Edited by E. Wolf Elsevier, Amsterdam 2004.

Gracias