

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](http://www.jqi.umd.edu)

Universidad de Concepción



# Lección 2

## 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 optica clásica
- La relación entre correlación y la coherencia.
- Funciones de correlación en óptica cuántica.
- Correlaciones y dinámica condicional para control.
- Correlaciones del campo y la intensidad en óptica cuántica.
- Correlaciones en electrodinámica cuántica de cavidades.

Historia

- Auguste Bravais (1811-63), Francés, físico, también trabajó en meteorología.
- Francis Galton (1822-1911), Inglés, estadístico, sociólogo, psicólogo, proto-genetista, eugenista.
- Einstein
- Norbert Wiener (1894-1964), Estados Unidos, matemático interesado en el ruido.

Correlaciones para filtrar



## Un filtro de datos.

- Si se conoce la señal: tome el vector de datos  $x_j$  Con longitud  $m$  calcular el producto interno con el vector señal  $s_i$  de longitud  $n$ , con  $n < m$
- Comience con  $i=j=0$  hasta  $i=n$  y  $j=n$  y obtener  $C_0$
- Mover el vector de señal sobre los datos en una unidad  $i=0$   $j=1$  hasta  $i=n$  y  $j=n+1$  obtención  $C_1$ , Continúa de esta manera hasta llegar  $C_m$
- $C_m$  será máximo cuando la señal y los datos coincidan. El ruido promediará hasta cero.

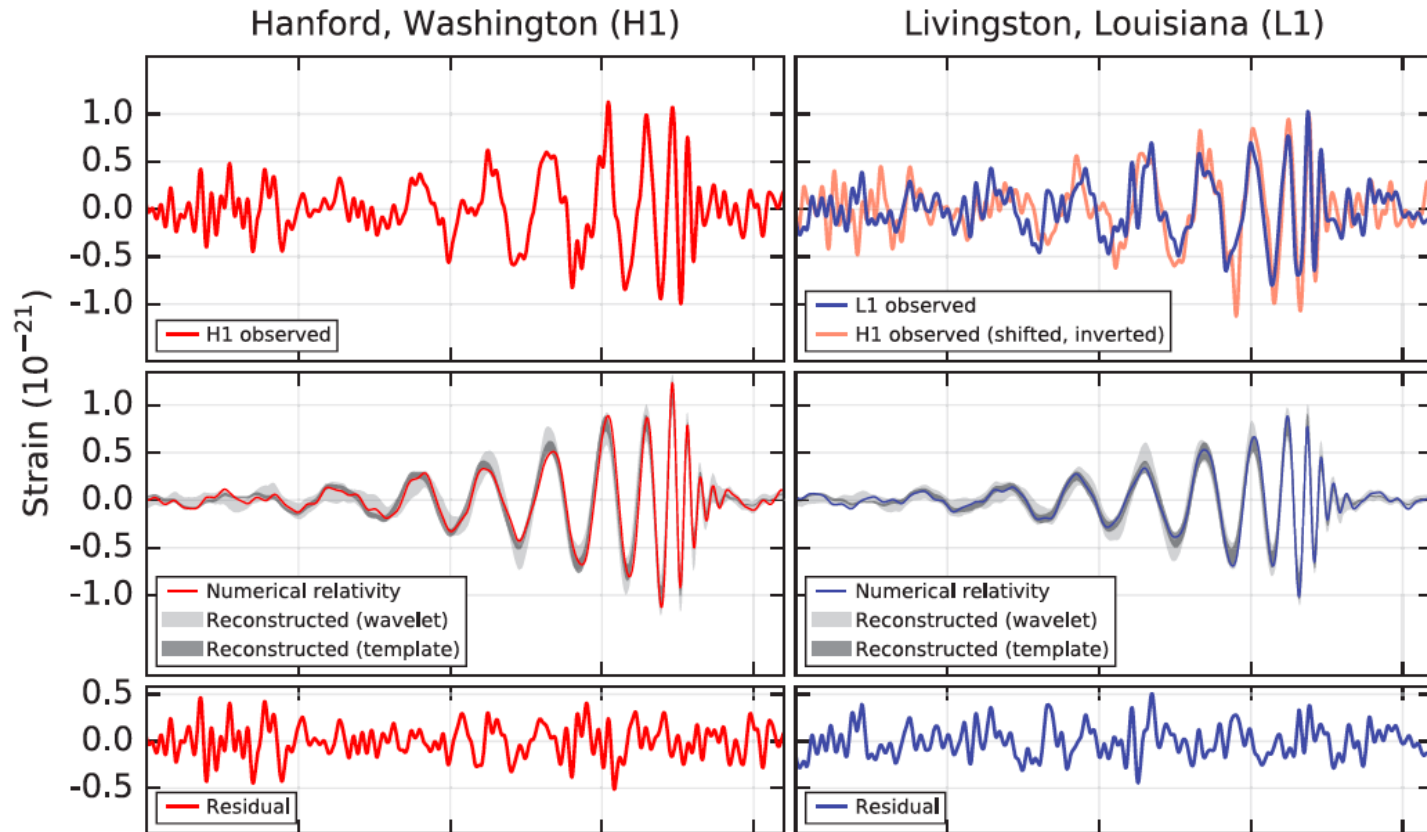
Estos filtros se pueden calcular a partir de principios básicos o basados en mediciones.

## LIGO

El teorema de Wiener-Khinchin-Kolmogorov permite calcular la densidad espectral de potencia a partir de la correlación, luego hacer todo en el espacio de Fourier, para regresar al tiempo.

Ventaja ( $n \ln(n)$ ) en lugar de  $n^2$

# LIGO utilizó filtros para encontrar ondas gravitacionales.



# El experimento original de Hanbury Brown, Jennison y Das Gupta

## APPARENT ANGULAR SIZES OF DISCRETE RADIO SOURCES

### Observations at Jodrell Bank, Manchester

THE existence of discrete sources of extra-terrestrial radio-frequency radiation is now well established<sup>1,2</sup> and the positions of more than one hundred sources have been published<sup>3-5</sup>. Attempts to identify these sources with any particular class of visual object have so far failed, and the origin of the radiation remains unexplained. One of the fundamental requirements in the study of these sources is a knowledge of their apparent angular size, and although attempts to make this measurement have been made by several observers<sup>1-3</sup>, it has proved to be beyond the resolving power of their equipment. The present communication gives a preliminary account of a successful attempt to measure the angular size of the two most intense sources the positions<sup>6</sup> and intensities<sup>4</sup> of which are given in Table 1.

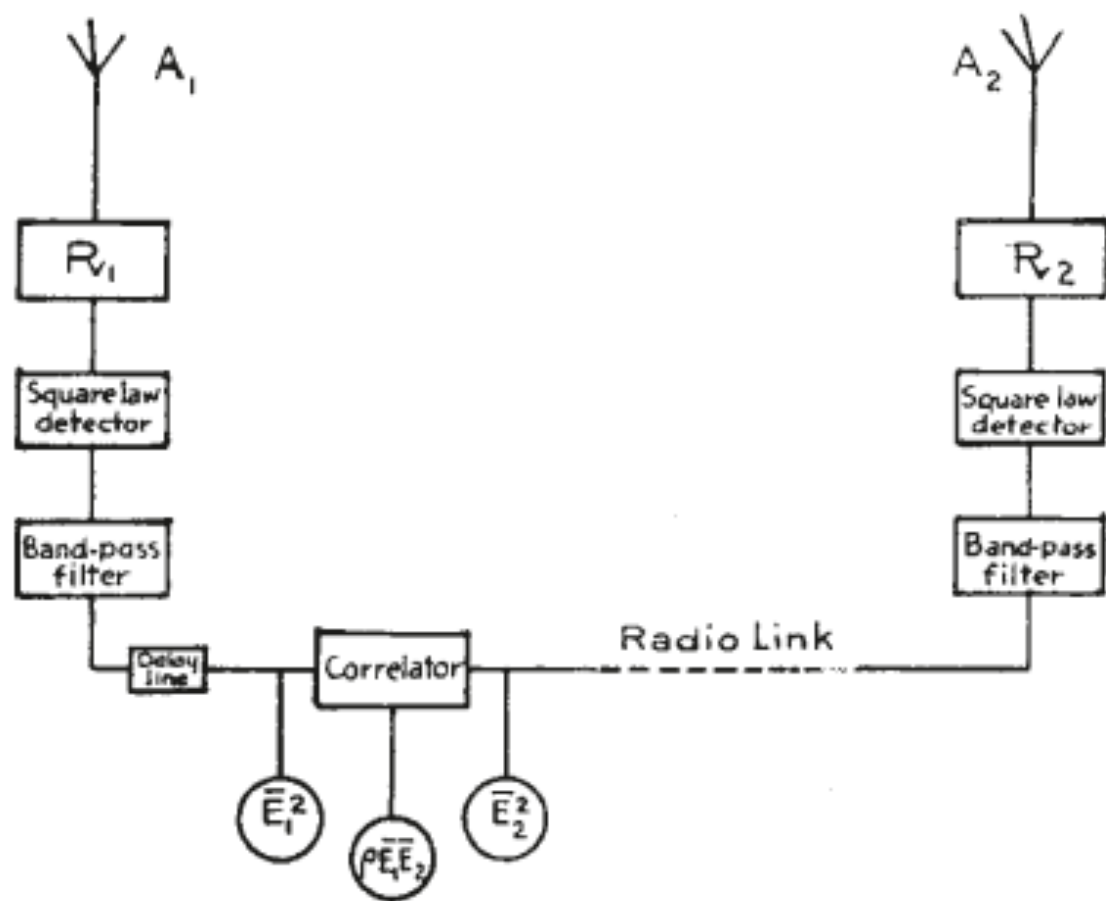


Fig. 1. Schematic diagram of the equipment

Table 2. EXPERIMENTAL RESULTS

Base-line		Cygnus		Cassiopeia	
Length* (km.)	Bearing†	Correlation coefficient	Angular width of equivalent strip	Correlation coefficient	Angular width of equivalent strip
<i>A</i> 0.30	349.5°	0.99 ± 0.10	< 5'	0.96 ± 0.09	3' 40" (< 5' 50")
<i>B</i> 2.16	113.0°	0.30 ± 0.03	2' 10" ± 4"	0.08 ± 0.02	2' 55" ± 10"
<i>C</i> 2.16	235.5°	0.79 ± 0.08	1' 00" ± 7"	< 0.01	✶ 3' 30"
<i>D</i> 3.99	177.0°	0.79 ± 0.07	0' 34" ± 8"	0.07 ± 0.01**	

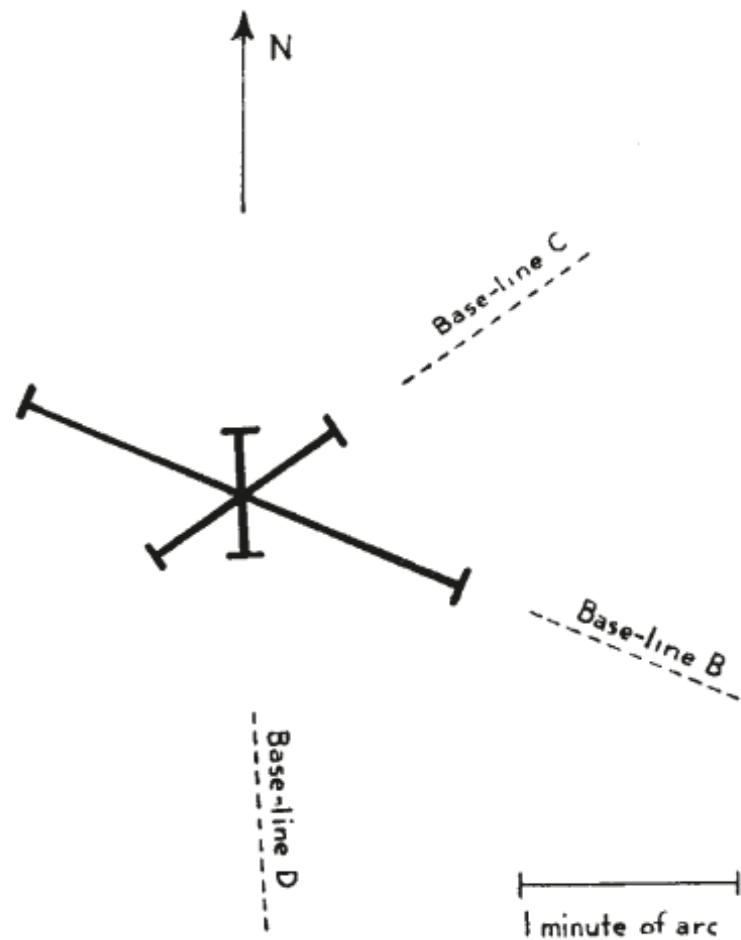


Fig. 2. Equivalent angular width of the source in Cygnus observed from different base-lines. The value shown is the width of an equivalent rectangular strip of constant surface intensity

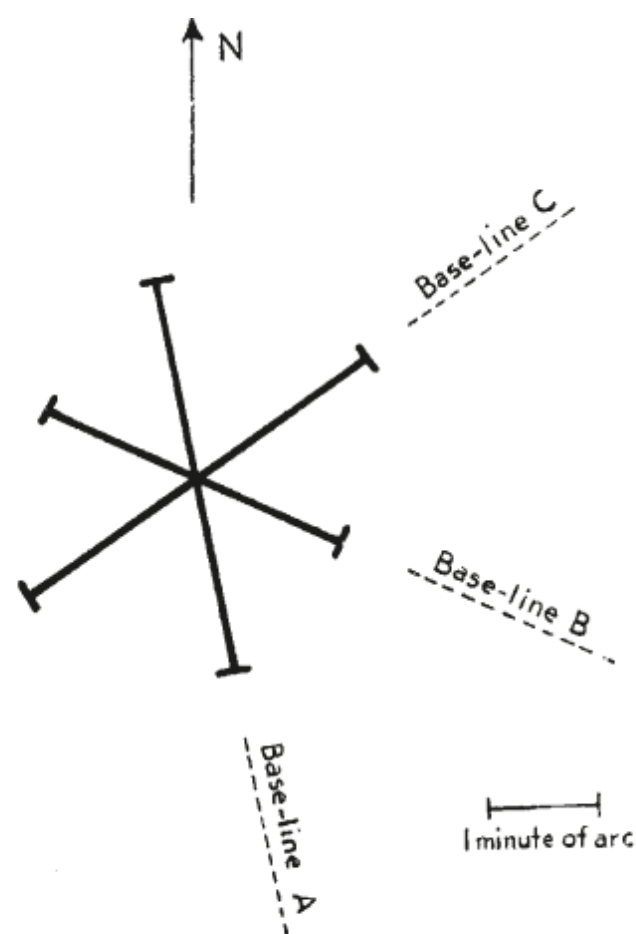


Fig. 3. Equivalent angular width of the source in Cassiopeia observed from different base-lines. The value shown is the width of an equivalent rectangular strip of constant surface intensity



# Correlaciones en física de partículas

**PION-PION CORRELATIONS IN ANTIPROTON ANNIHILATION EVENTS\***

Gerson Goldhaber, William B. Fowler, Sulamith Goldhaber, T. F. Hoang,  
Theodore E. Kalogeropoulos, and Wilson M. Powell

Lawrence Radiation Laboratory and Department of Physics, University of California, Berkeley, California

(Received July 17, 1959)

We have observed angular correlation effects between pions emitted from antiproton annihilation events. This experiment was carried out with a separated antiproton beam<sup>1</sup> of momentum  $p_{\bar{p}}$  = 1.05 Bev/c. A total of 2500 annihilation events were observed in 20 000 pictures taken with the Lawrence Radiation Laboratory 30-in. propane bubble chamber.

$$\cos\theta_{12} = \vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2 / |p_1| |p_2| .$$

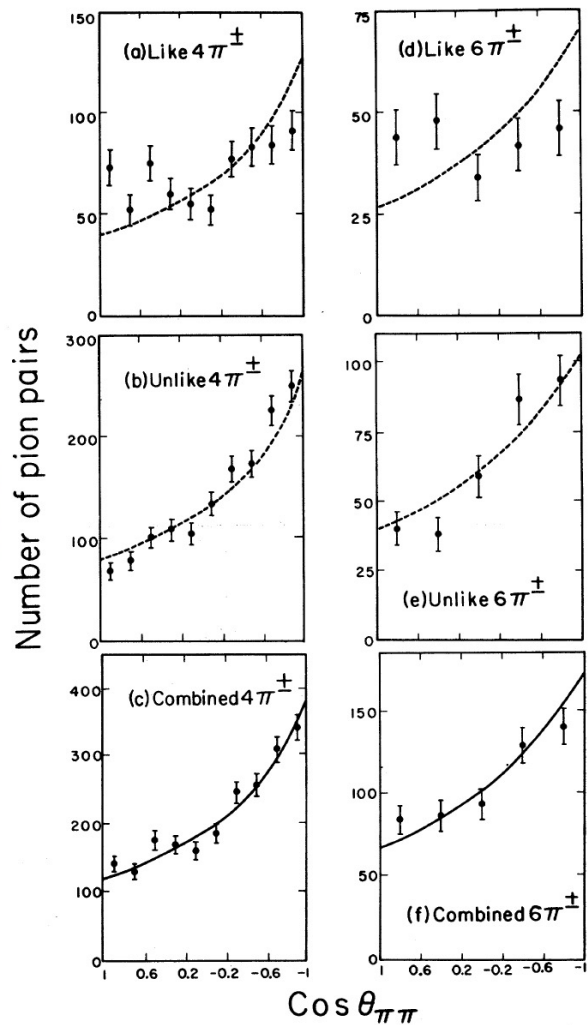


FIG. 1. Distribution of angles between pion pairs as a function of  $\cos\theta_{\pi\pi}$ . The curves correspond to

Esta es la forma en que  
ahora miden el tamaño del  
plasma de quark-gluón.

La física de la interferometría de intensidad de  
Hanbury Brown-Twiss: de las estrellas a las  
colisiones nucleares Gordon Baym, Acta Phys.  
Polon. B29 1839,(1998)

[arXiv:nuc-th/9804026](https://arxiv.org/abs/nuc-th/9804026)

# Una sorpresa en 1956

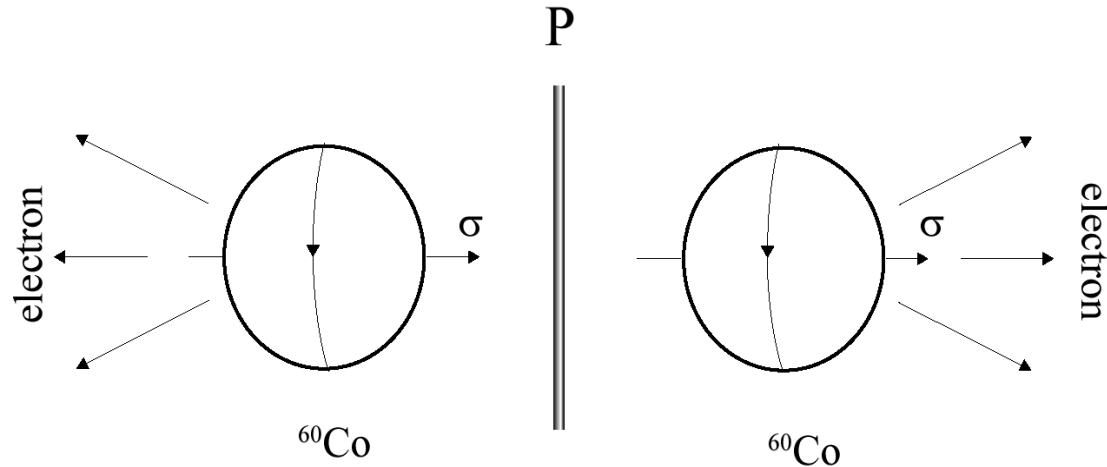
## Física nuclear

La naturaleza no tiene simetría P.

1950 Purcell y Ramsey "debería ser probado".

1956 T. D. Lee y C. N Yang señalan la falta de pruebas experimentales de P en la interacción débil.

1957 Tres expeirments muestran que la interacción débil viola P: Wu, Lederman y Telegdi. El equipo de Columbia-NBS con Wu, Amber, Hayward, Hoppes y Hudson estudiaron decaimiento  $\beta$  en  $^{60}\text{Co}$ .



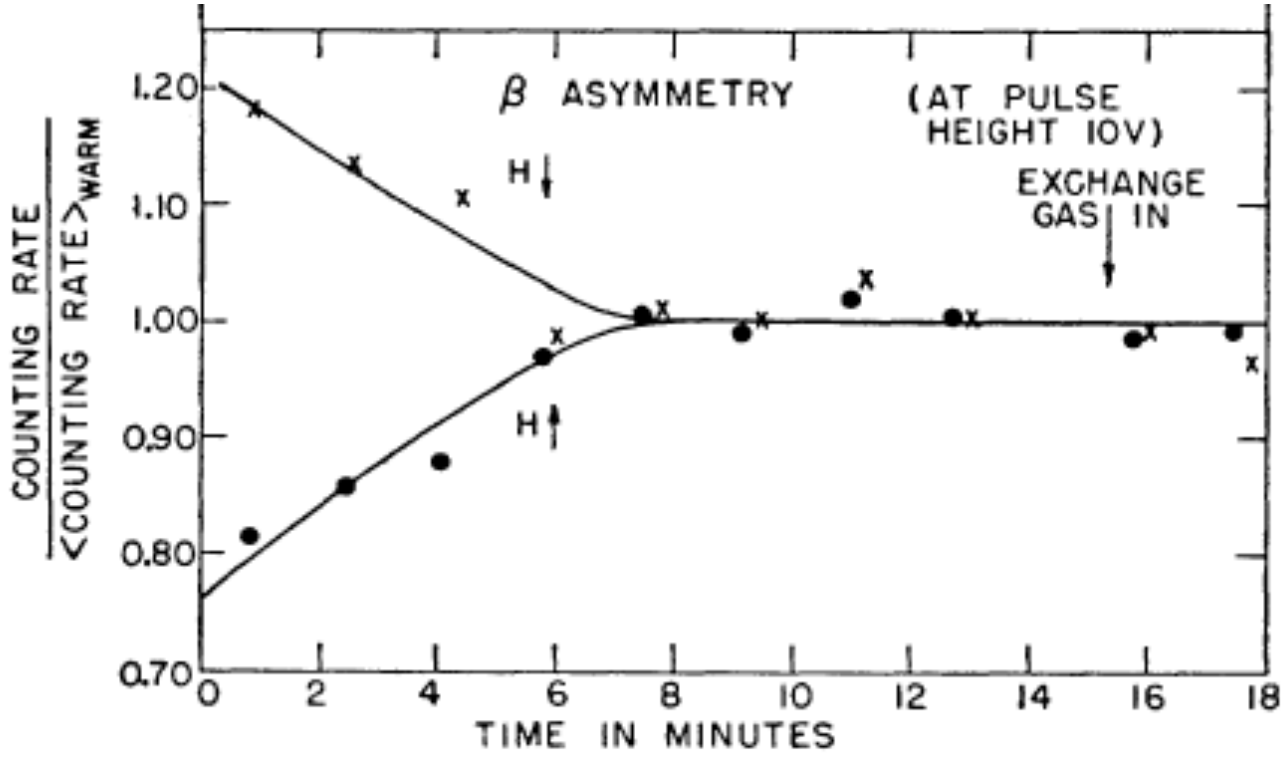
## Decaimiento $\beta$ de $^{60}\text{Co}$

Wu, Ambler, Hayward, Hoppes, y Hudson;  
Columbia, National Bureau of Standards (ahora  
NIST).

Buscar una correlación entre el espín nuclear  $\sigma$  y  
el momento del electrón  $\mathbf{p}$

$$\langle \vec{\sigma} \cdot \vec{p} \rangle \quad \text{Este es un pseudoescalar}$$

Para alinear los espines nucleares en un campo magnético externo y limitar su espacio de fase, tuvieron que enfriar la muestra. Separación de los estados hiperfinos mayor a 50 GHz. Antes del invento del bombeo óptico.



Asimetría de los electrones con respecto a la dirección del espín nuclear. Physical Review, 105, 1413 (1957).



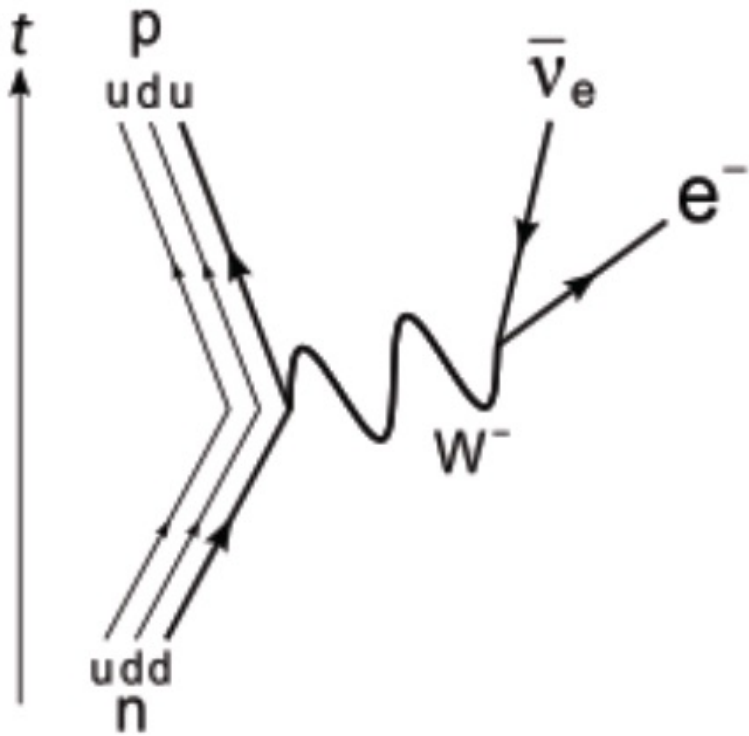
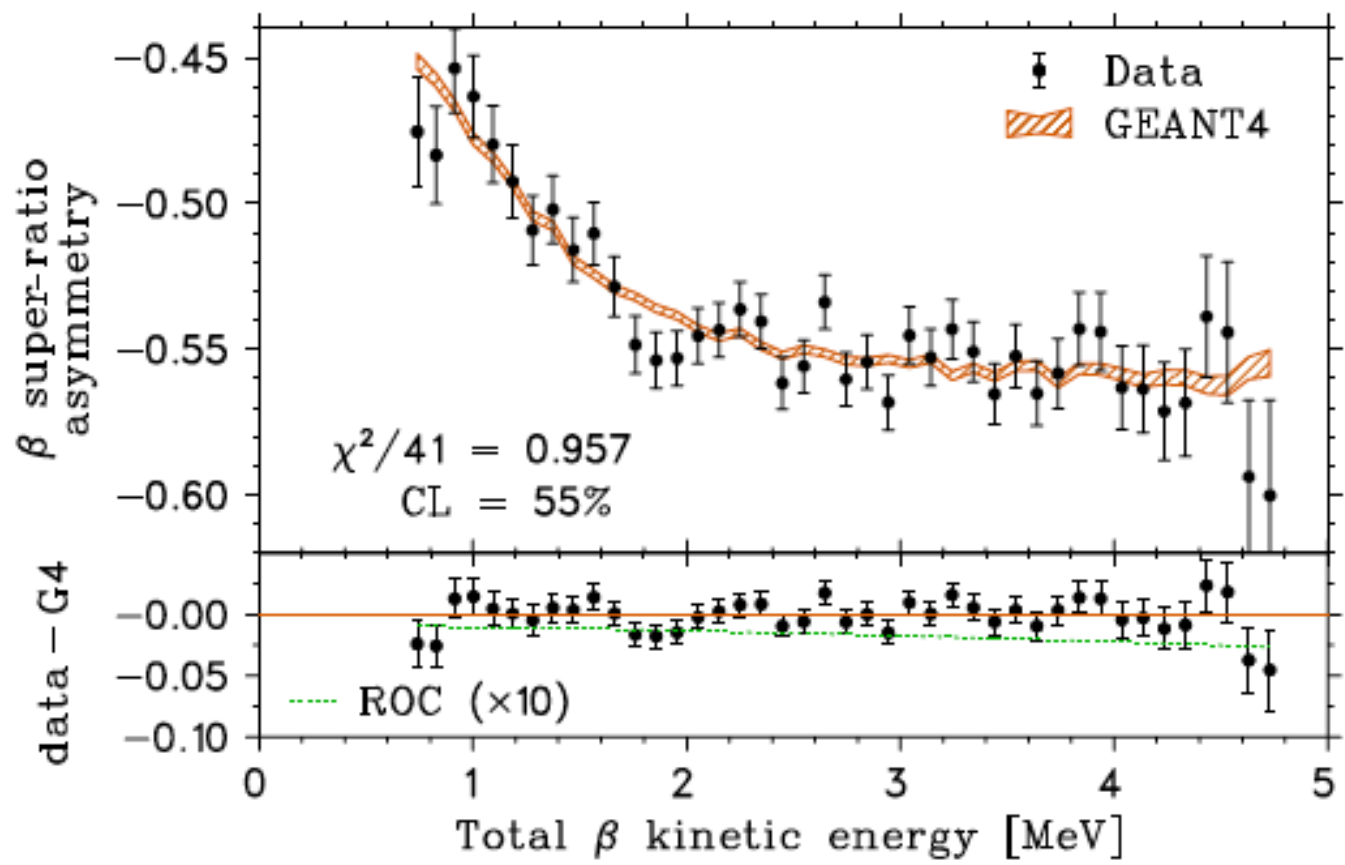


Diagrama de Feynman de la desintegración beta de un neutrón. La interacción es de corto alcance dada la gran masa del  $W^-$  (como un átomo de Rb)

## Precision Measurement of the $\beta$ Asymmetry in Spin-Polarized $^{37}\text{K}$ Decay

B. Fenker,<sup>1,2</sup> A. Gorelov,<sup>3</sup> D. Melconian,<sup>1,2,\*</sup> J. A. Behr,<sup>3</sup> M. Anholm,<sup>3,4</sup> D. Ashery,<sup>5</sup>  
R. S. Behling,<sup>1,6</sup> I. Cohen,<sup>5</sup> I. Craiciu,<sup>3</sup> G. Gwinner,<sup>4</sup> J. McNeil,<sup>7,3</sup> M. Mehlman,<sup>1,2</sup> K. Olchanski,<sup>3</sup>  
P. D. Shidling,<sup>1</sup> S. Smale,<sup>3</sup> and C. L. Warner<sup>3</sup>

Using TRIUMF's neutral atom trap, TRINAT, for nuclear  $\beta$  decay, we have measured the  $\beta$  asymmetry with respect to the initial nuclear spin in  $^{37}\text{K}$  to be  $A_\beta = -0.5707(13)_{\text{syst}}(13)_{\text{stat}}(5)_{\text{pol}}$ , a 0.3% measurement. This is the best relative accuracy of any  $\beta$ -asymmetry measurement in a nucleus or the neutron, and is in agreement with the standard model prediction  $-0.5706(7)$ . We compare constraints on physics beyond the standard model with other  $\beta$ -decay measurements, and improve the value of  $V_{ud}$  measured in this mirror nucleus by a factor of 4.



# Astrofísica

Arno Penzias y Robert Wilson de Bell Labs descubrieron los restos del Big Bang en 1965. Tratando de entender algo de ruido, el fondo cósmico de microondas (FCM) o (CMB en inglés).

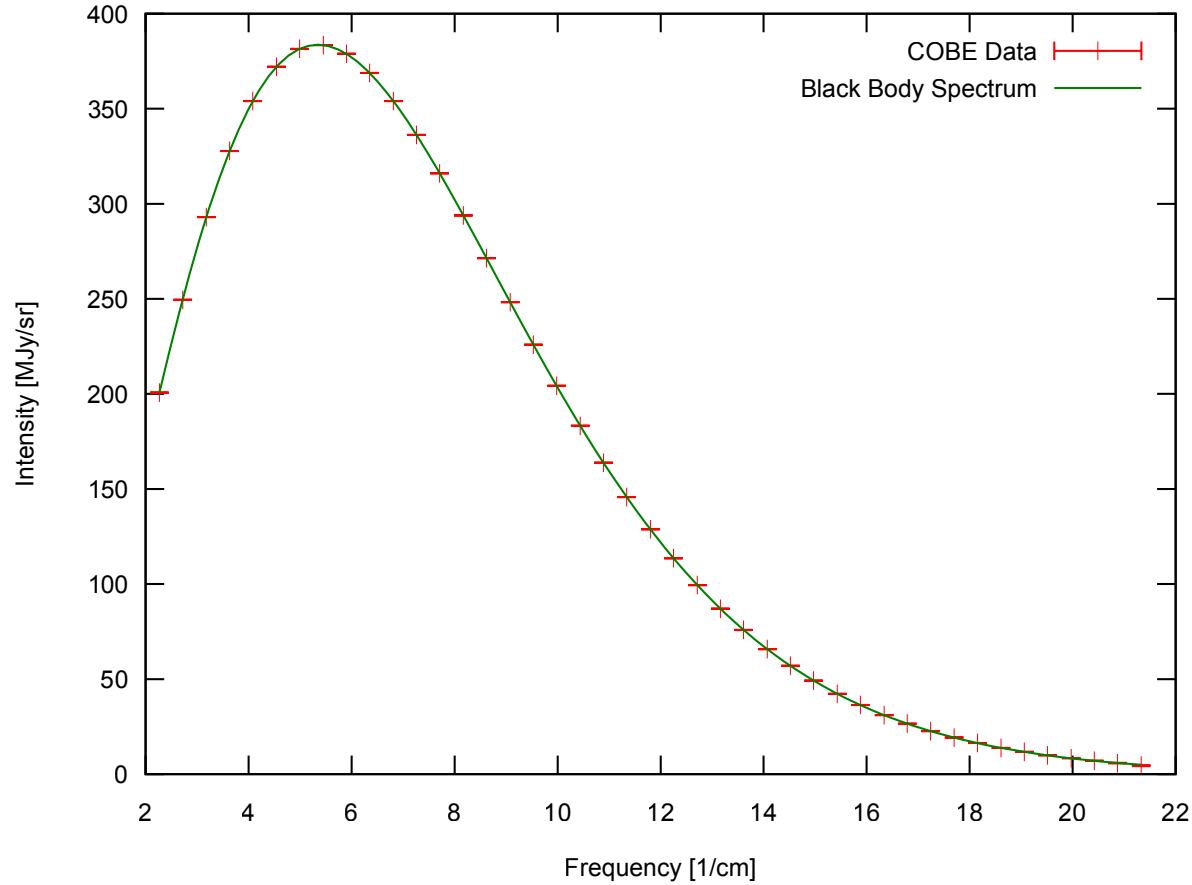


¿Cómo se genera el FCM?

379,000 años después del Big Bang, el universo se ha enfriado lo suficiente como para formar átomos neutros y la mayor parte de la radiación ahora puede escapar..

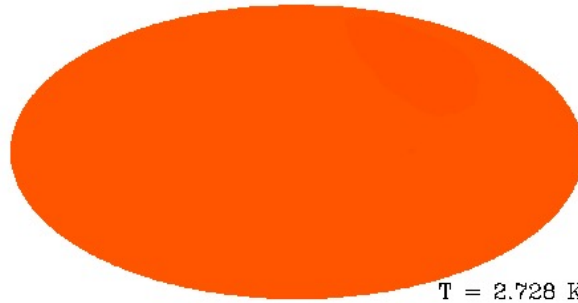
Esta radiación es casi uniforme pero tiene fluctuaciones muy pequeñas. ( $\partial T/T \sim 10^{-6}$ ) que provienen de fluctuaciones cuánticas. La gravedad juega un papel muy importante. Las fluctuaciones son las semillas para la formación de galaxias, etc.

Cosmic Microwave Background Spectrum from COBE

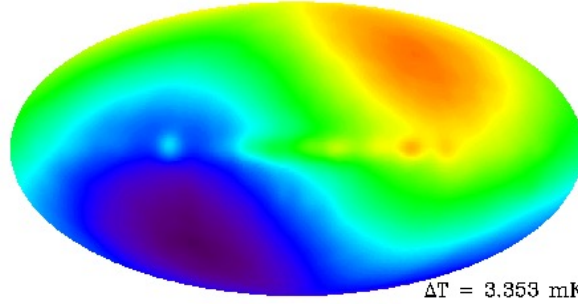


(FCM) John Mather y Gary Hinshaw Directores Científicos

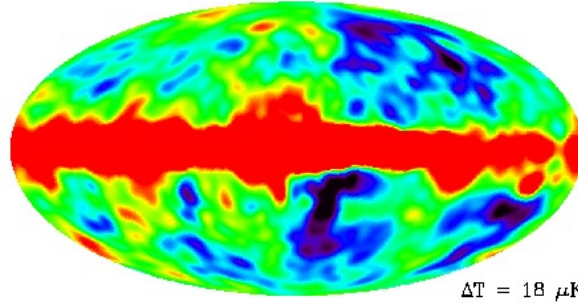
COBE 1992



Medición

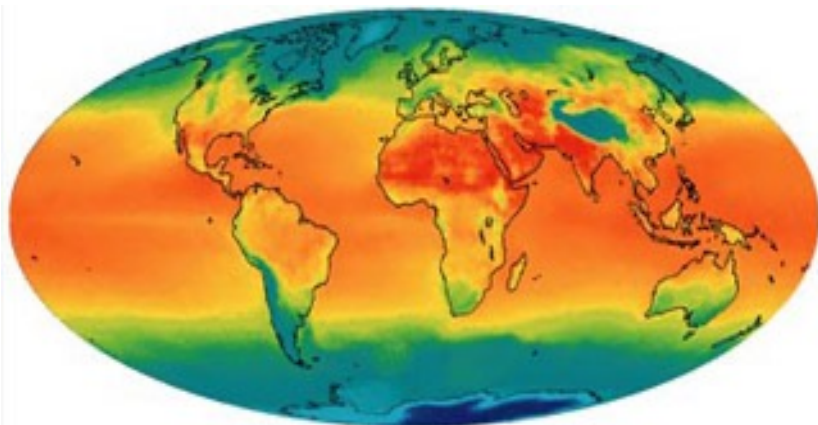


Dipolo, del movimiento

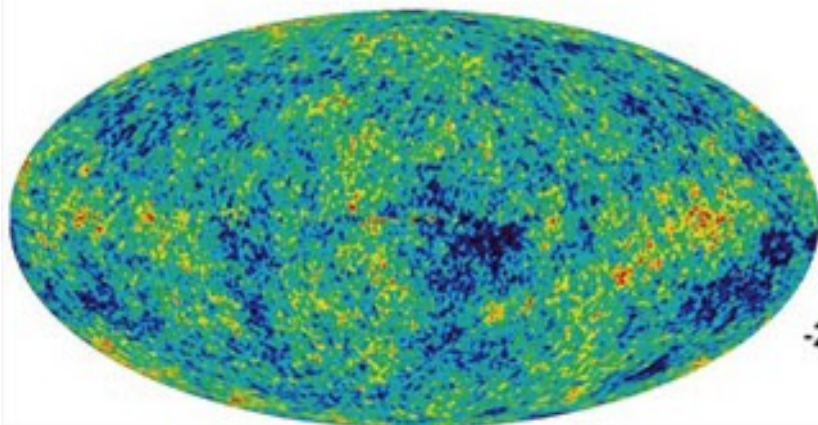


Fluctuaciones remanentes





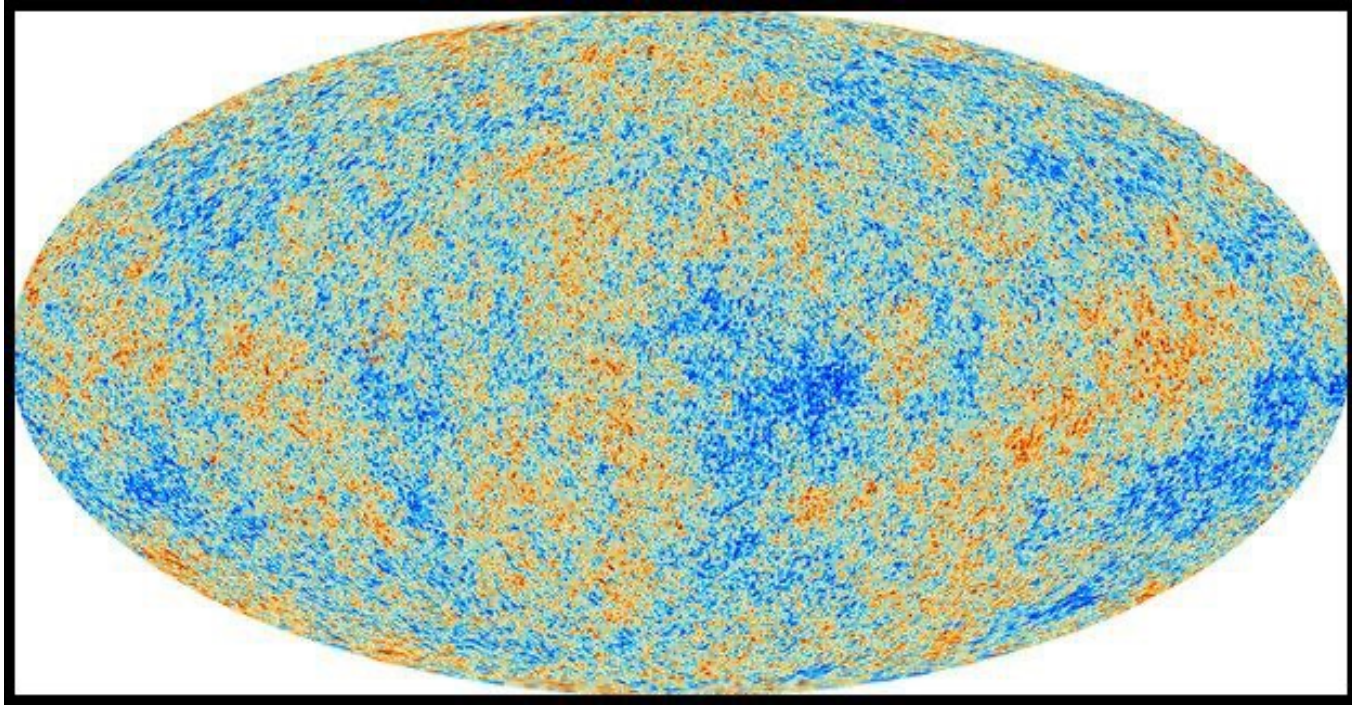
Earth  
Temperatures



Microwave Sky  
Temperatures

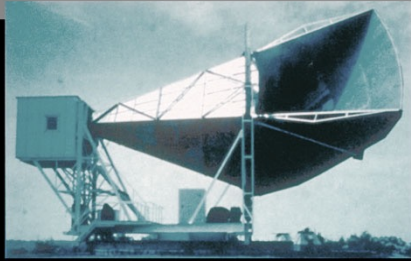


# Resultados de Planck 2013

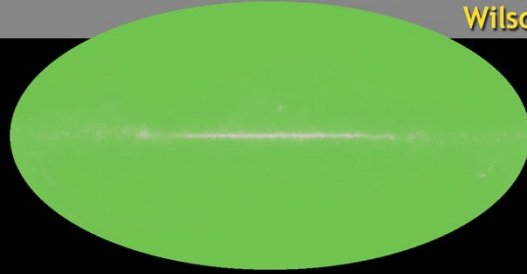


Unos 379.000 años después del Big Bang

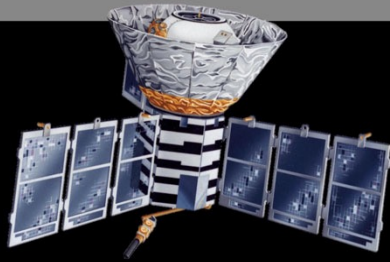
1965



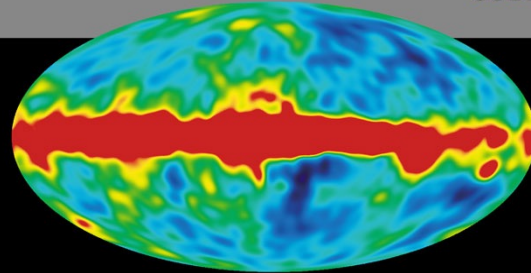
Penzias and  
Wilson



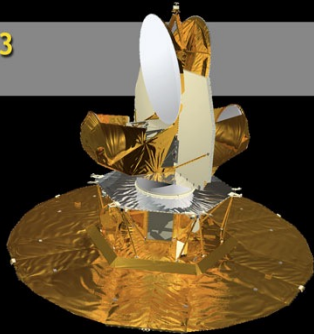
1992



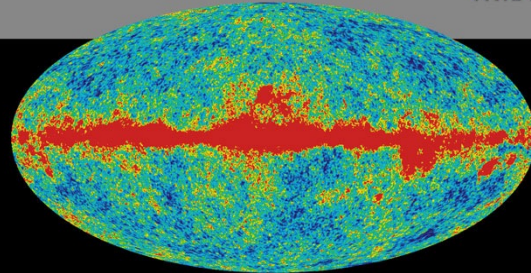
COBE

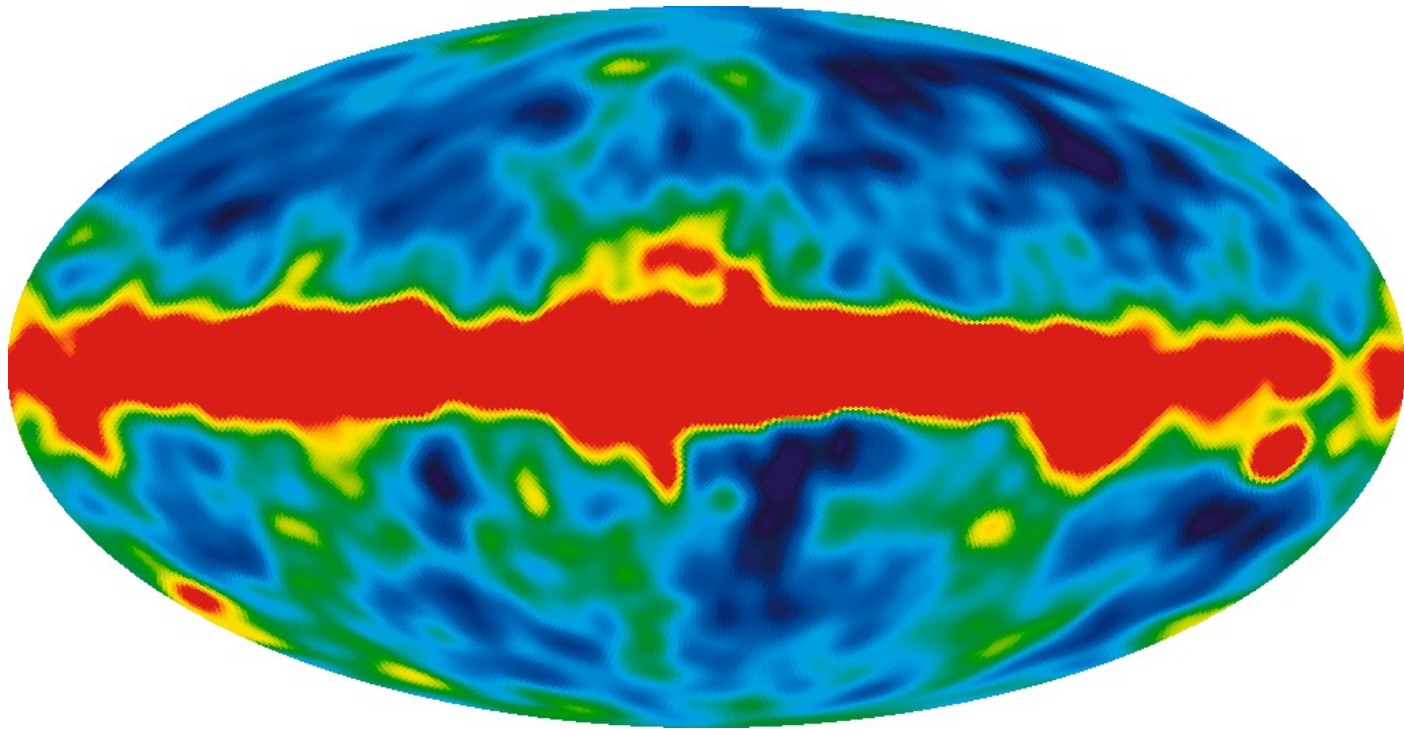


2003

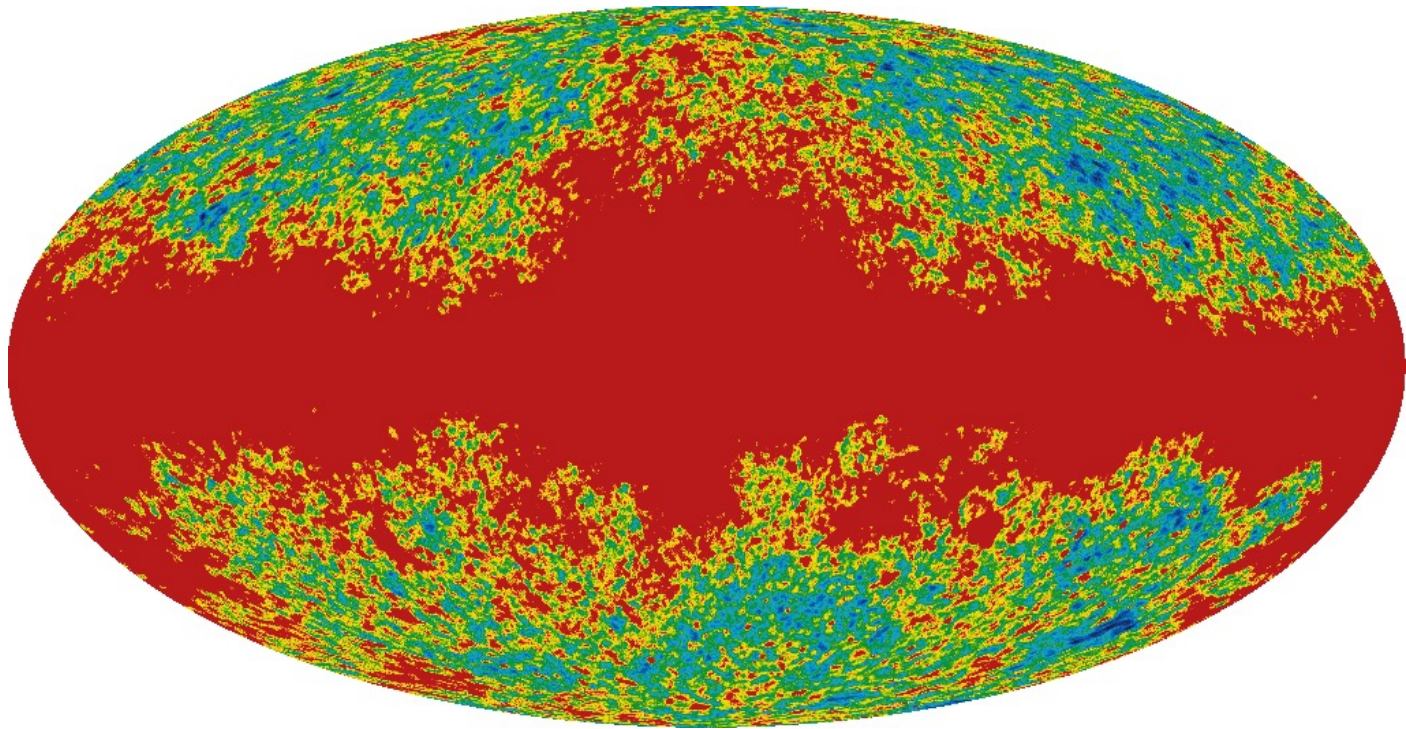


WMAP

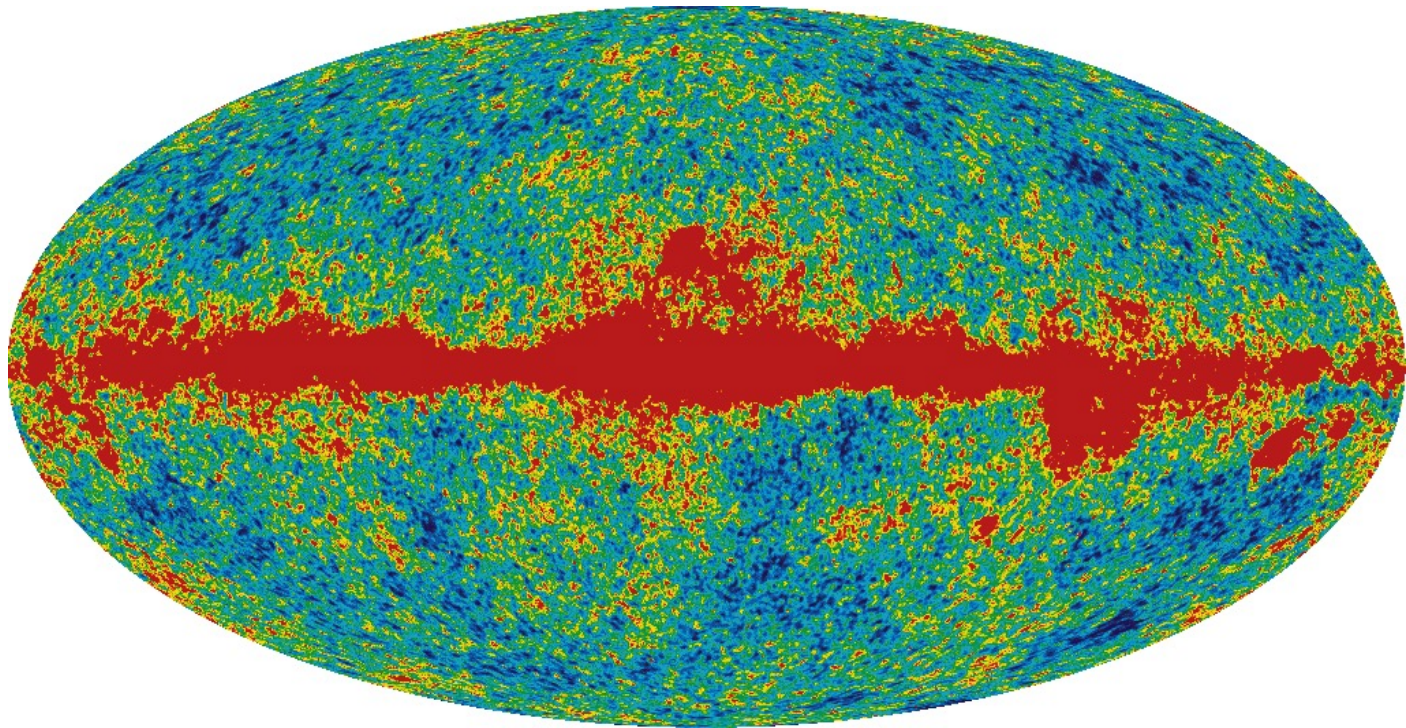




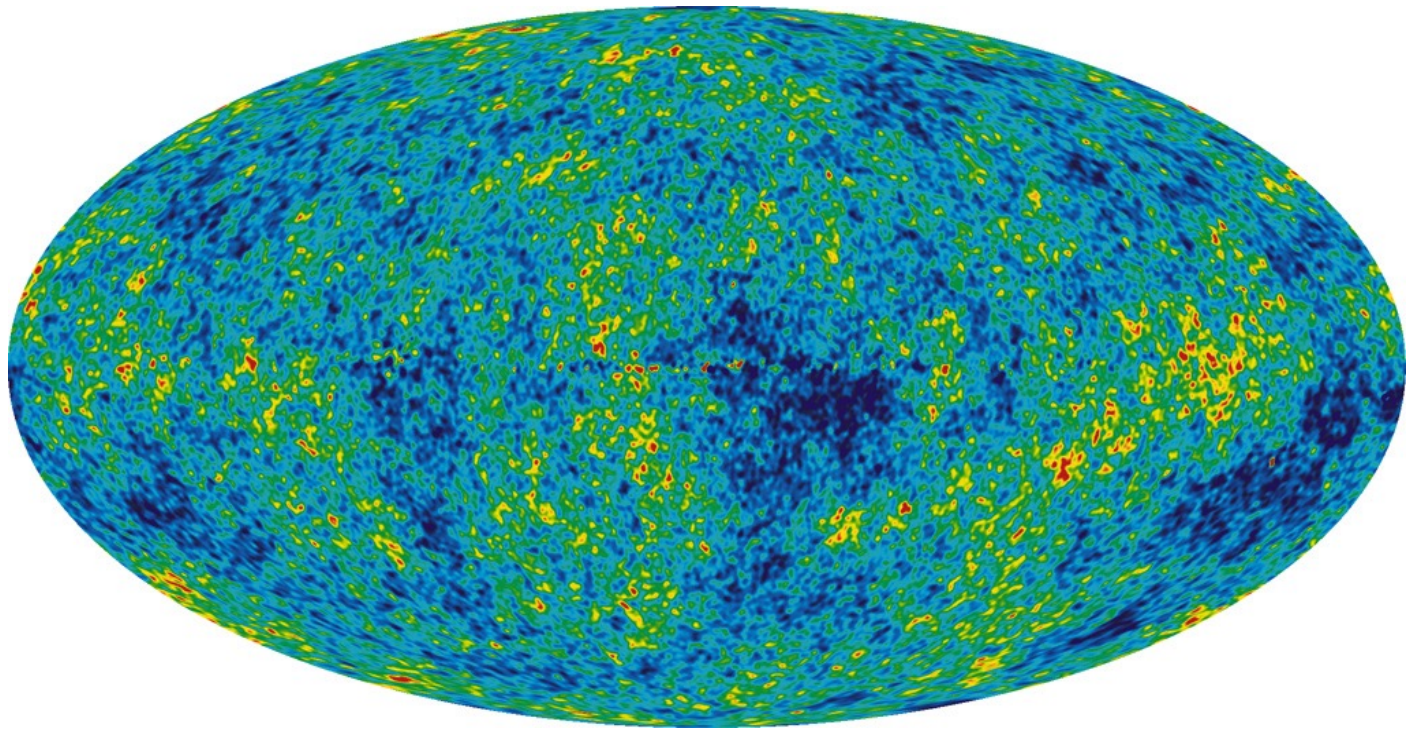
COBE lanzado en 1989 4 años resultado: resolución  
7 grados y 100  $\mu$ -Kelvin.  
Nobel 2006 para George Smoot y John Mather



5 años WMAP en la banda K (20 a 30 GHz)

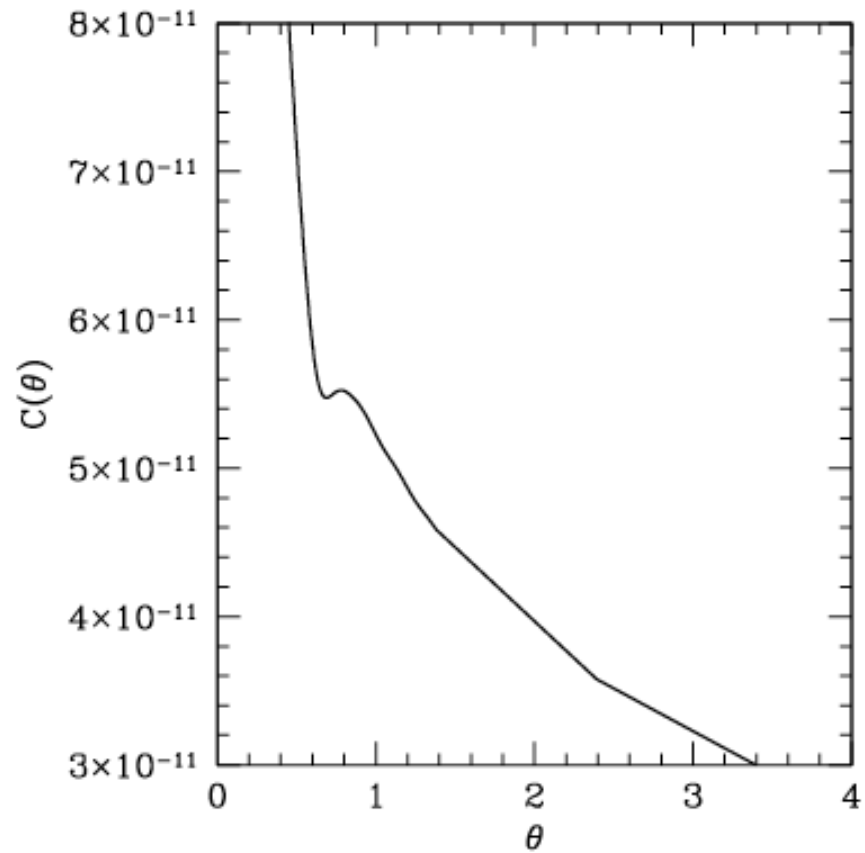


Banda Q de 33 a 50 GHz (6 mm)



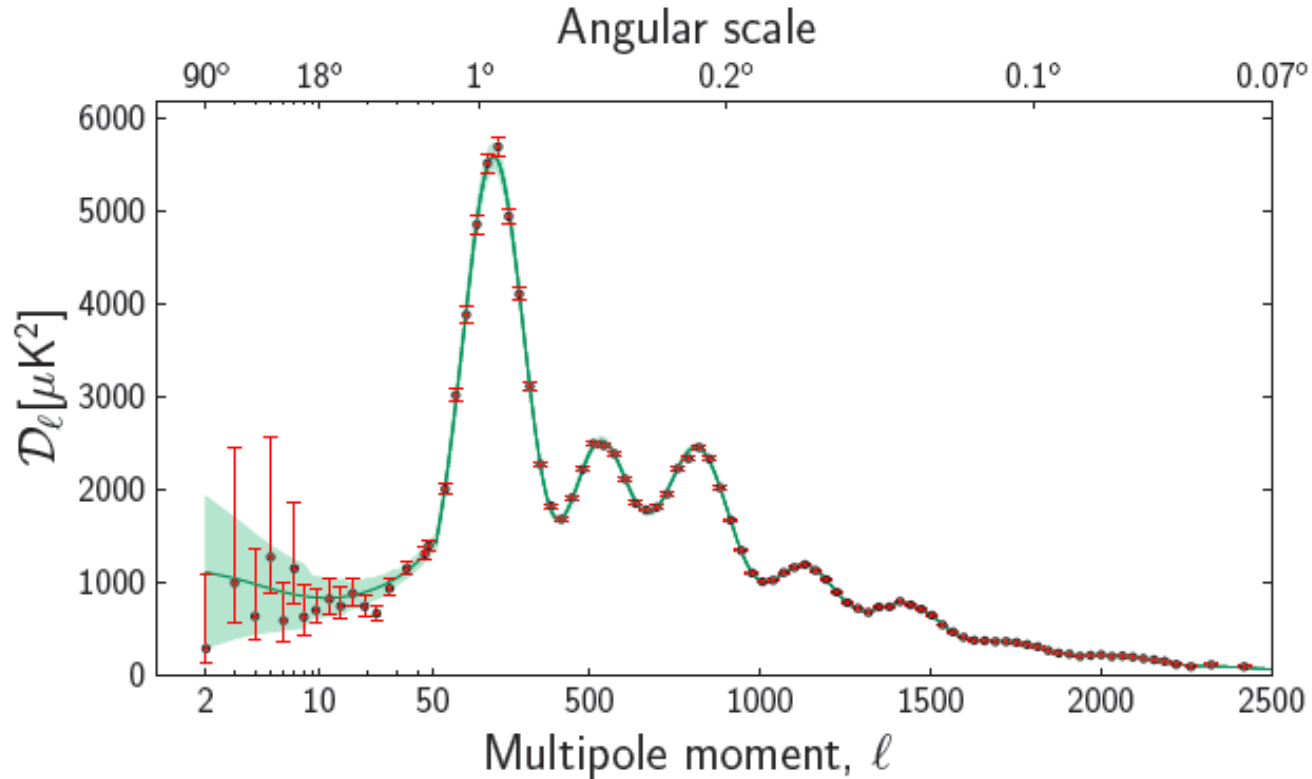
Fluctuaciones en el WMAP

5 años (restando la media, el dipolo y la Vía Láctea) 200  $\mu$ -Kelvin



Función de correlación de las fluctuaciones en el FMC mostrando el horizonte sonoro acústico. ArXive 1506.01907





Espectro de potencia (Planck) de las fluctuaciones en FMC en función del momento multipolar  $l$  y el ángulo.  
ArXiv 1506.01907, James Peebles Premio Nobel 2019

¿Qué nos dicen  
esas fluctuaciones?

- La distribución de la materia era muy uniforme en el universo primitivo, pero tenía que tener fluctuaciones para generar las estructuras que vemos hoy (galaxias, etc.)
- Estas fluctuaciones en la densidad afectaron la temperatura de los fotones emitidos en cada región: en una región densa, los fotones tuvieron que superar un mayor potencial gravitacional, por lo que deberían haber adquirido un mayor desplazamiento al rojo enfriándolos.

Las oscilaciones posteriores (horizonte sonoro acústico) no son posibles con la materia bariónica existente. Están relacionados con la materia oscura no bariónica.

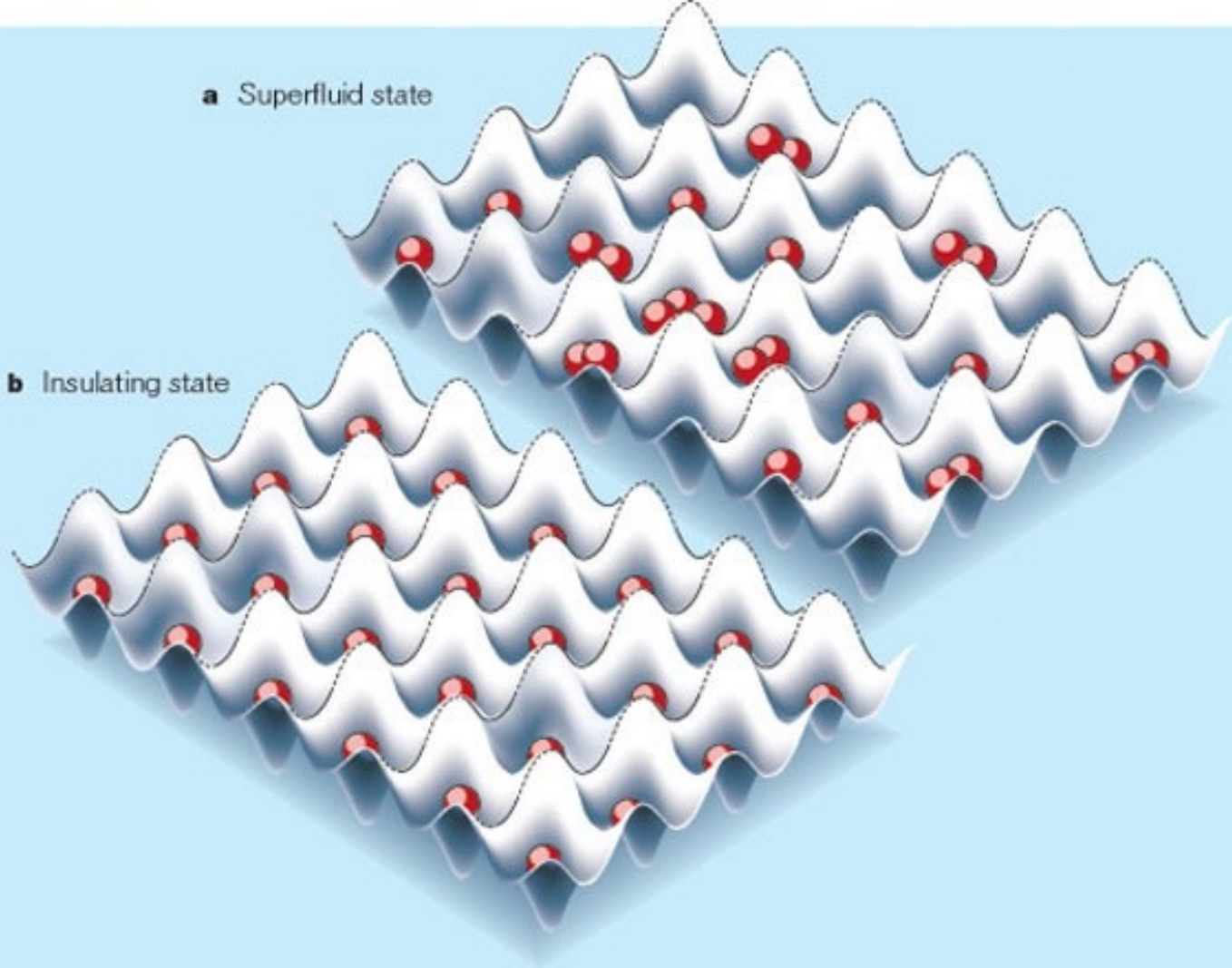
# Transición de Mott en un Condensado de Bose

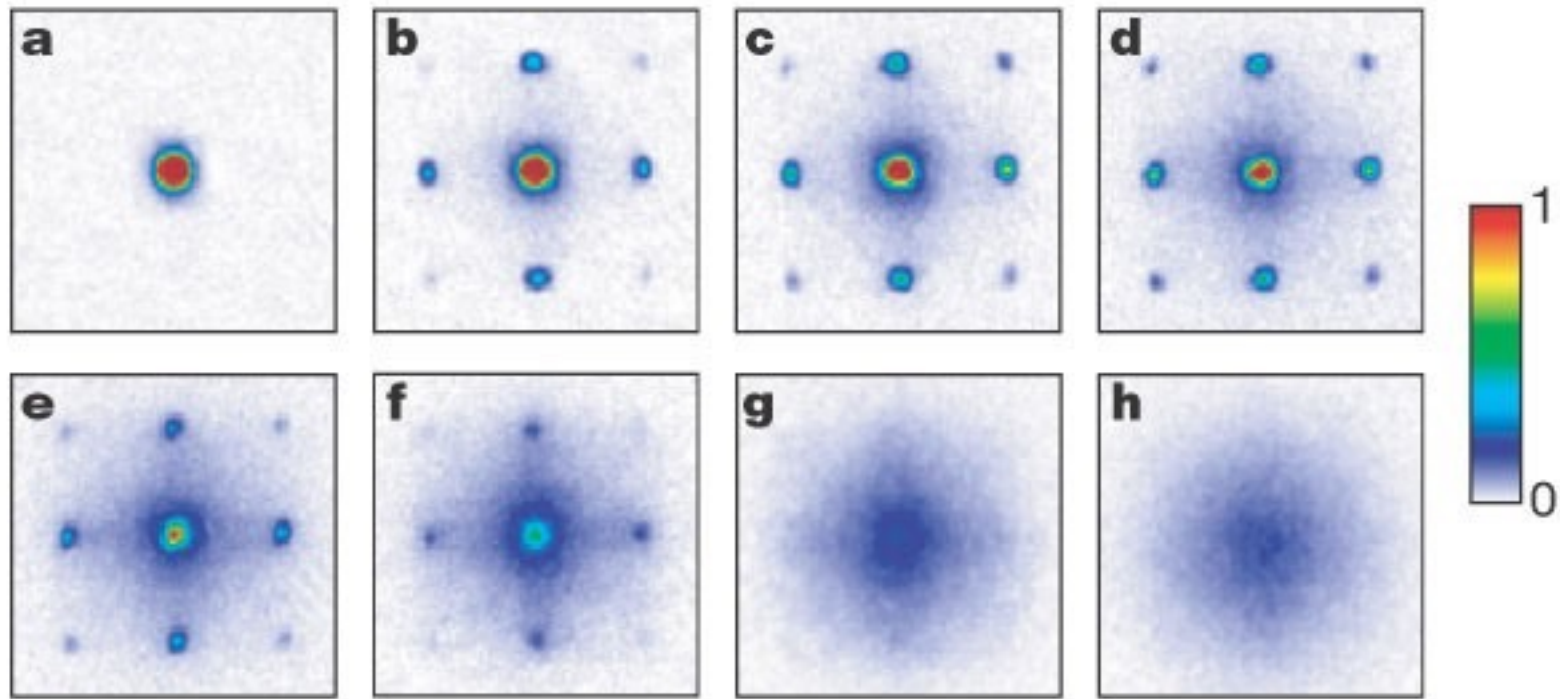
Markus Greiner, Olaf Mandel, Tilman Esslinger, Theodor W. Hänsch and Immanuel Bloch, “Quantum phase transition from a superfluid to a Mott insulator in a gas of ultracold atoms” *Nature* 415, 39 (2002).

Simon Fölling, Fabrice Gerbier, Artur Widera, Olaf Mandel, Tatjana Gericke & Immanuel Bloch “Spatial quantum noise interferometry in expanding ultracold atom clouds” *Nature*, 434, 481 (2005).

**a** Superfluid state

**b** Insulating state

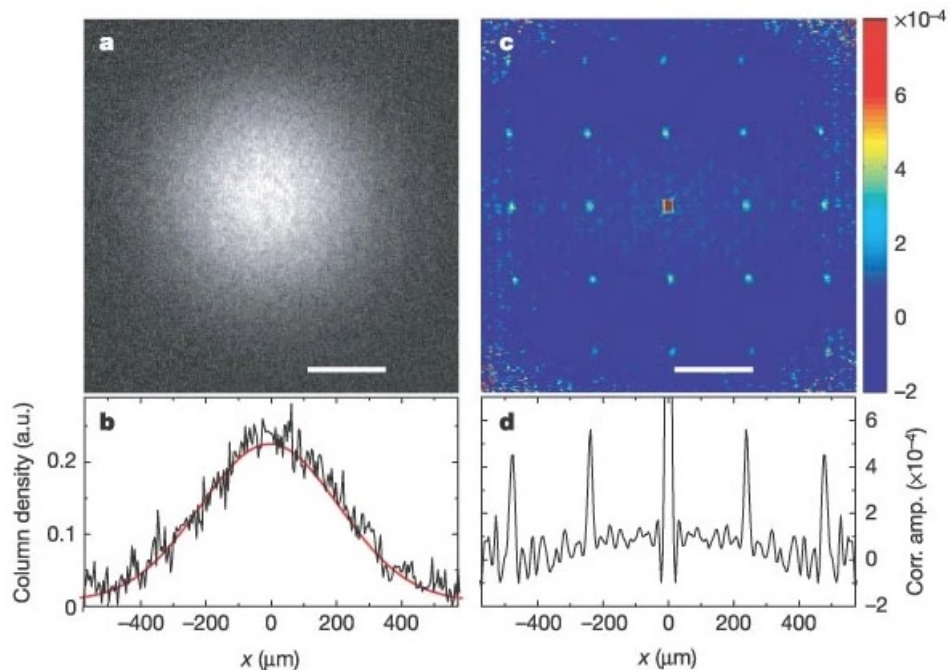




These were obtained after suddenly releasing the atoms from an optical lattice potential with different potential depths  $V_0$  after a time of flight of 15 ms. Values of  $V_0$  were: **a**,  $0 E_r$ ; **b**,  $3 E_r$ ; **c**,  $7 E_r$ ; **d**,  $10 E_r$ ; **e**,  $13 E_r$ ; **f**,  $14 E_r$ ; **g**,  $16 E_r$ ; and **h**,  $20 E_r$ .

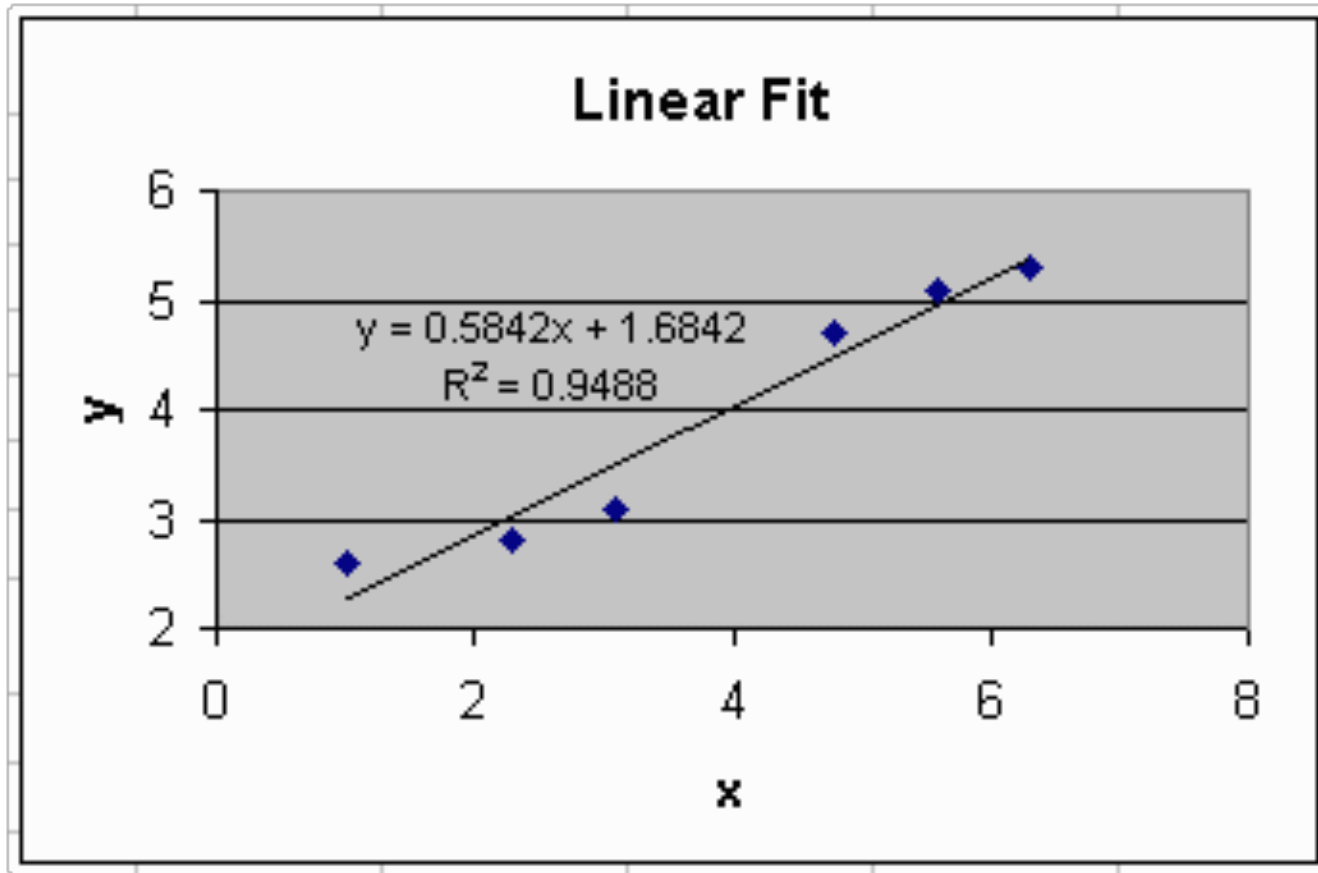
# ¿Qué se puede ver en las fluctuaciones en el aislante de Mott?

**Figure 2: Single shot absorption image including quantum fluctuations and the associated spatial correlation function.**

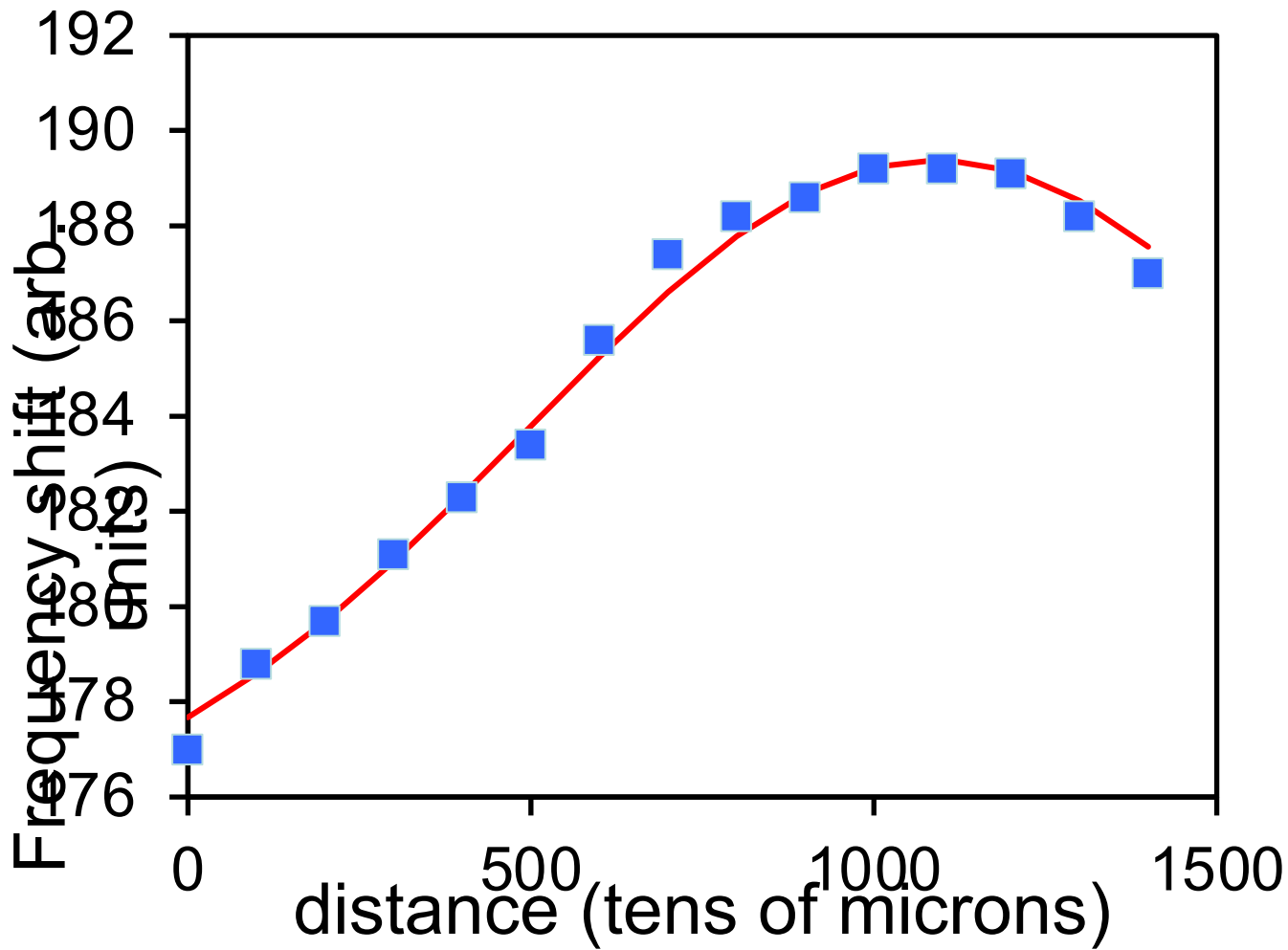




Gracias



Correlation coefficient in this case  $C=R$



# Data Vectors

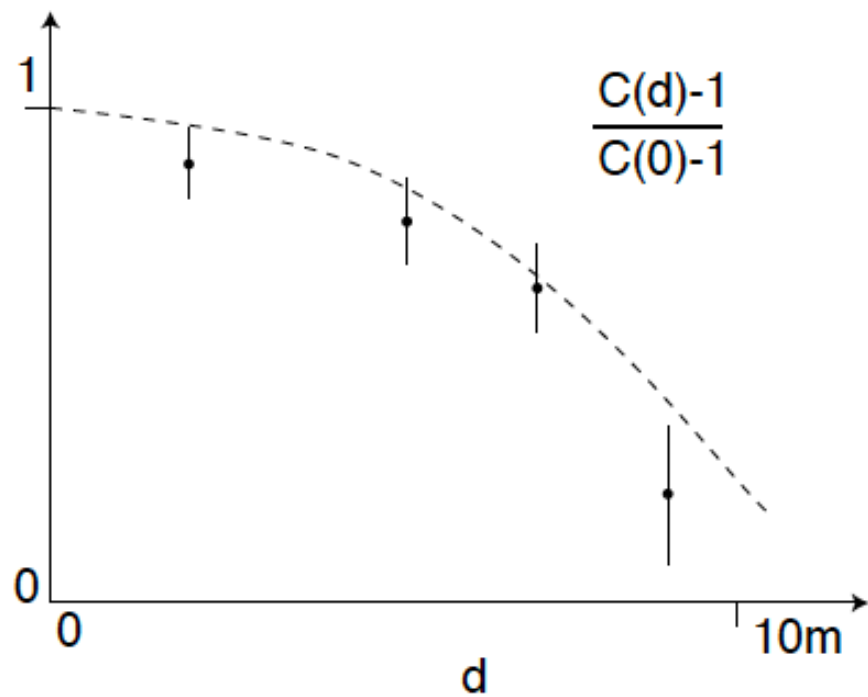
X	Y	Y calc	(Y- Y calc)	XY
0	177	177.67	-0.6736	31448.2
100	178.8	178.59	0.20984	31931.9
200	179.7	179.69	0.01373	32289.6
300	181.1	180.95	0.15392	32769.3
400	182.3	182.33	-0.0337	33239.4
500	183.4	183.79	-0.3924	33707.5
600	185.6	185.25	0.35335	34381.8
700	187.4	186.61	0.79232	34970.3
800	188.2	187.78	0.41799	35340.6
900	188.6	188.68	-0.0818	35585.4
1000	189.2	189.24	-0.0356	35803.4
1100	189.2	189.4	-0.198	35834.1
1200	189.1	189.16	-0.0552	35769.2
1300	188.2	188.53	-0.3275	35480.9
1400	187	187.57	-0.5665	35074.9

Least Squares

$\sum Y^2$  513552 513703 2.08244  $\sum YYc$  513627

Correlation

0.99999798



Measurement of the angular diameter of Sirius [15].