

Top

TEST

Left side

Right side

Bottom

Datos 1

Luis A. Orozco

lorozco@umd.edu

www.jqi.umd.edu

Lección 6, Departamento de Física
Universidad de Concepción
Marzo 2024





<https://www.physics.umd.edu/rgroups/amo/orozco/results/2024/Results24.htm>

Plan:

Ruido térmico y retroalimentación

Incertidumbre en las mediciones

Distribución de probabilidades

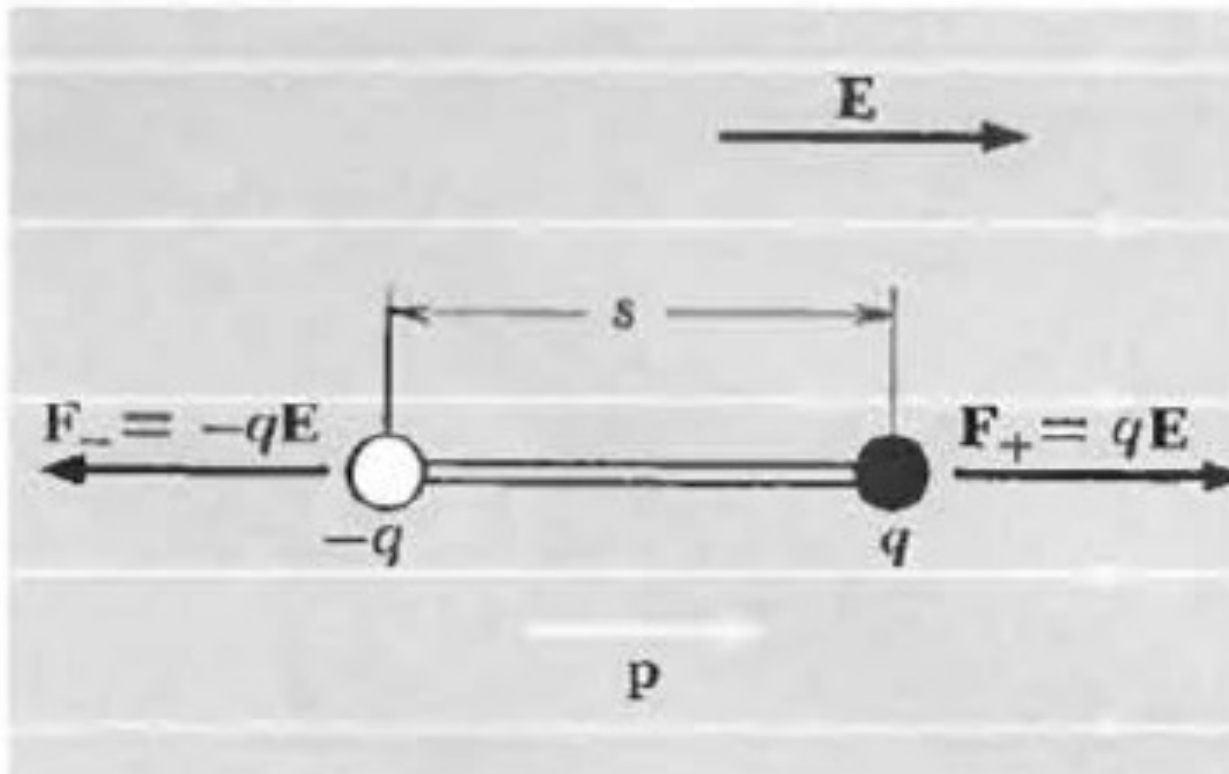
Estimación de errores

Un ejemplo de ruido térmico

Fuerzas y torques en dipolos

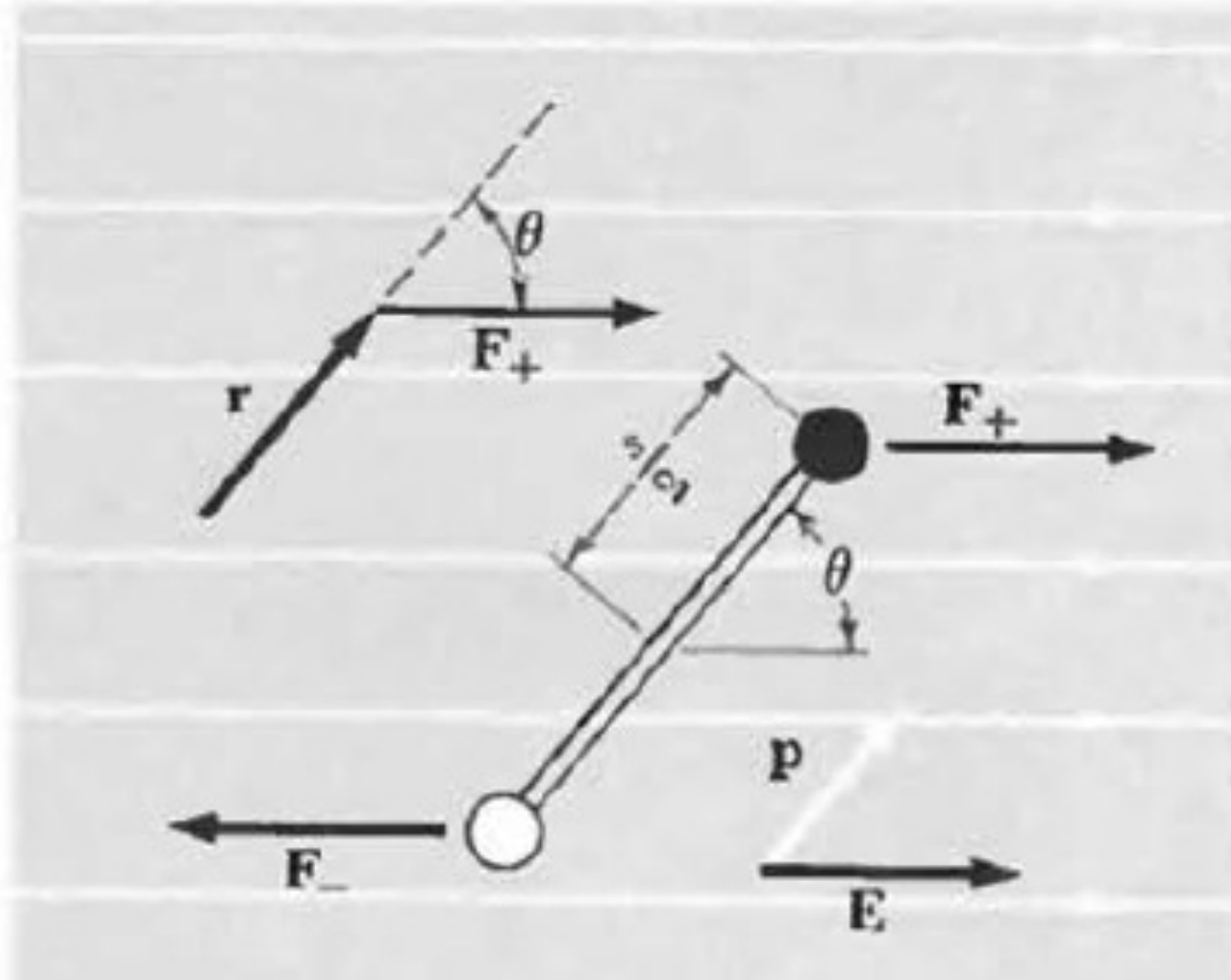
Temperatura

Fuerza y Energía en un dipolo eléctrico



$$U = -\vec{p} \cdot \vec{E}$$

Torque en un dipolo eléctrico



$$\vec{N} = \vec{p} \times \vec{E}$$

Si hay birrefringencia (dipolos) en la nanofibra, habrá un par, un torque.

Puede cambiar de signo dependiendo del ángulo entre la polarización de la luz y el eje de birrefringencia.

Temperatura:

Promedio de la energía cinética:

$$kT = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle$$

el promedio de la velocidad puede ser cero $\langle v \rangle = 0$,
pero no su varianza : $\langle v^2 \rangle - \langle v \rangle^2$.

Hablaremos de temperatura torsional y mediremos
la serie temporal de las fluctuaciones.

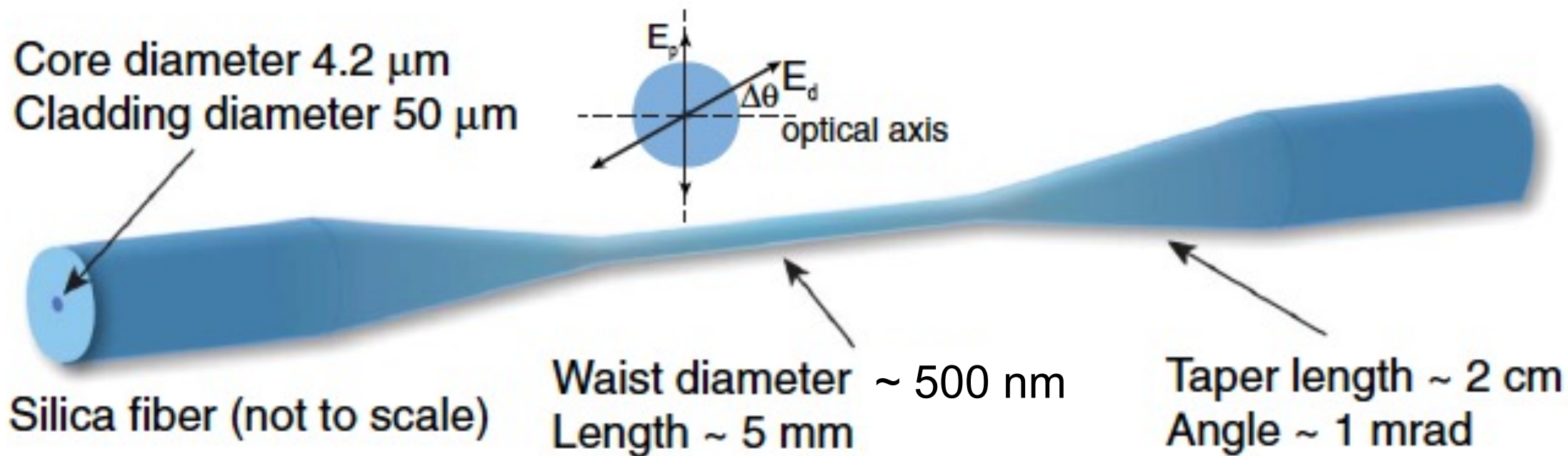
Enfriamiento:

Reducción de la energía cinética de las fluctuaciones aleatorias.

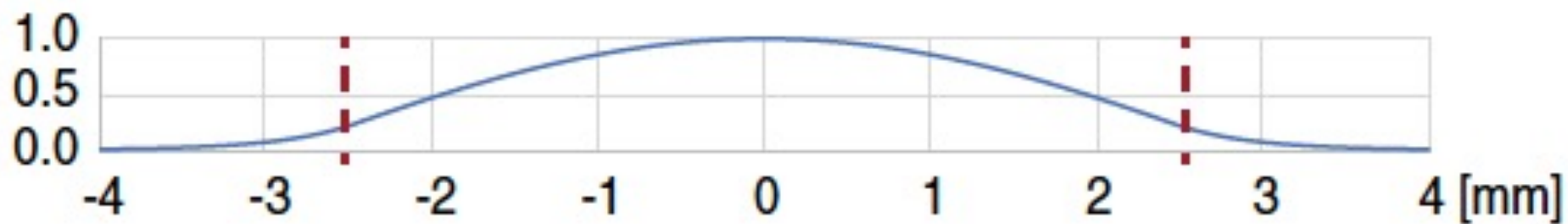
Medir las fluctuaciones ver si el histograma cambia.

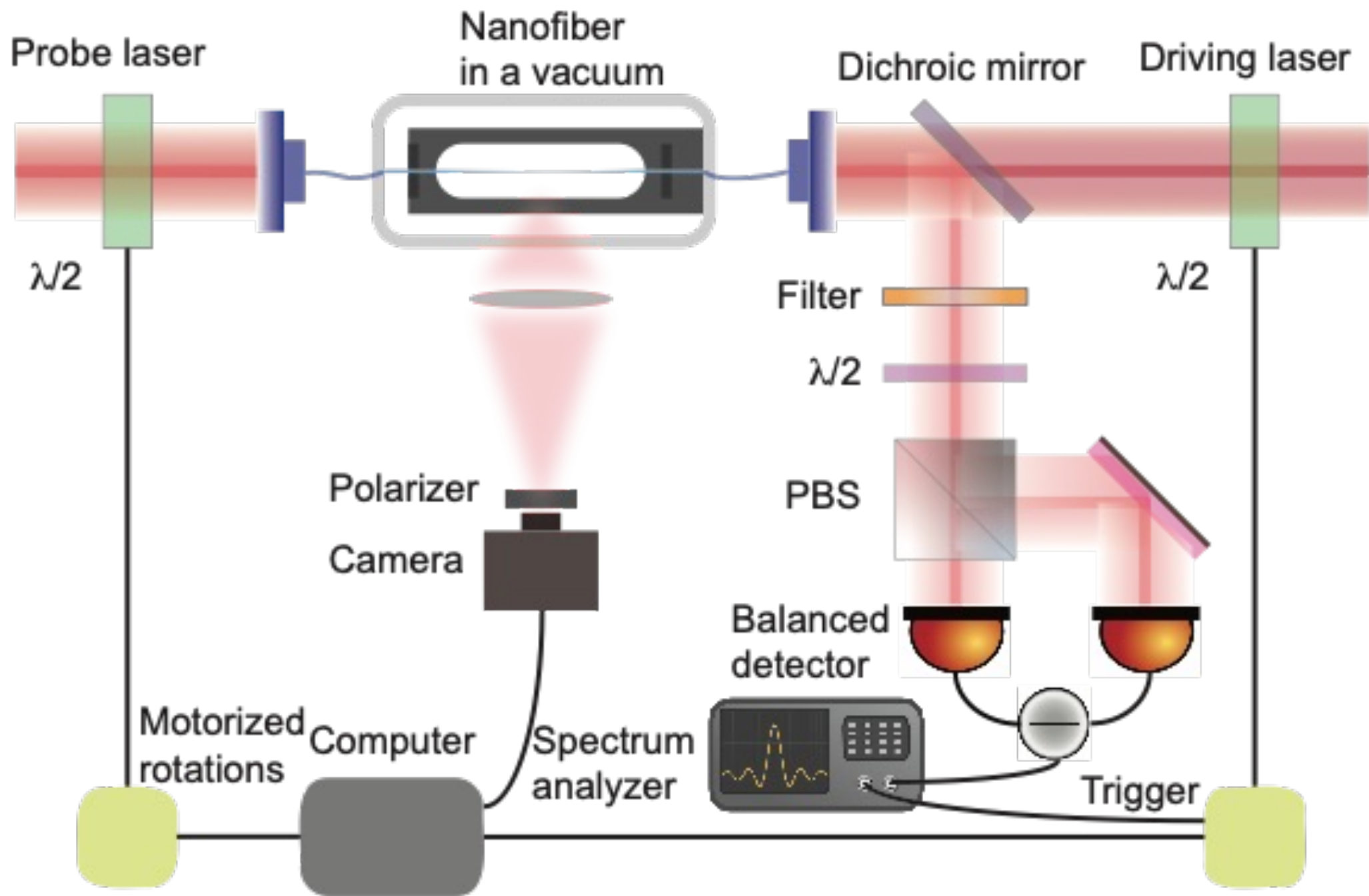
La densidad espectral de potencia, (transformada de Fourier de la autocorrelación de las fluctuaciones). La amplitud debe disminuir y el ancho aumentar, mientras que la integral disminuye. La integral es la potencia total en las fluctuaciones.

Requiere tener un retraso; una dependencia de la velocidad.

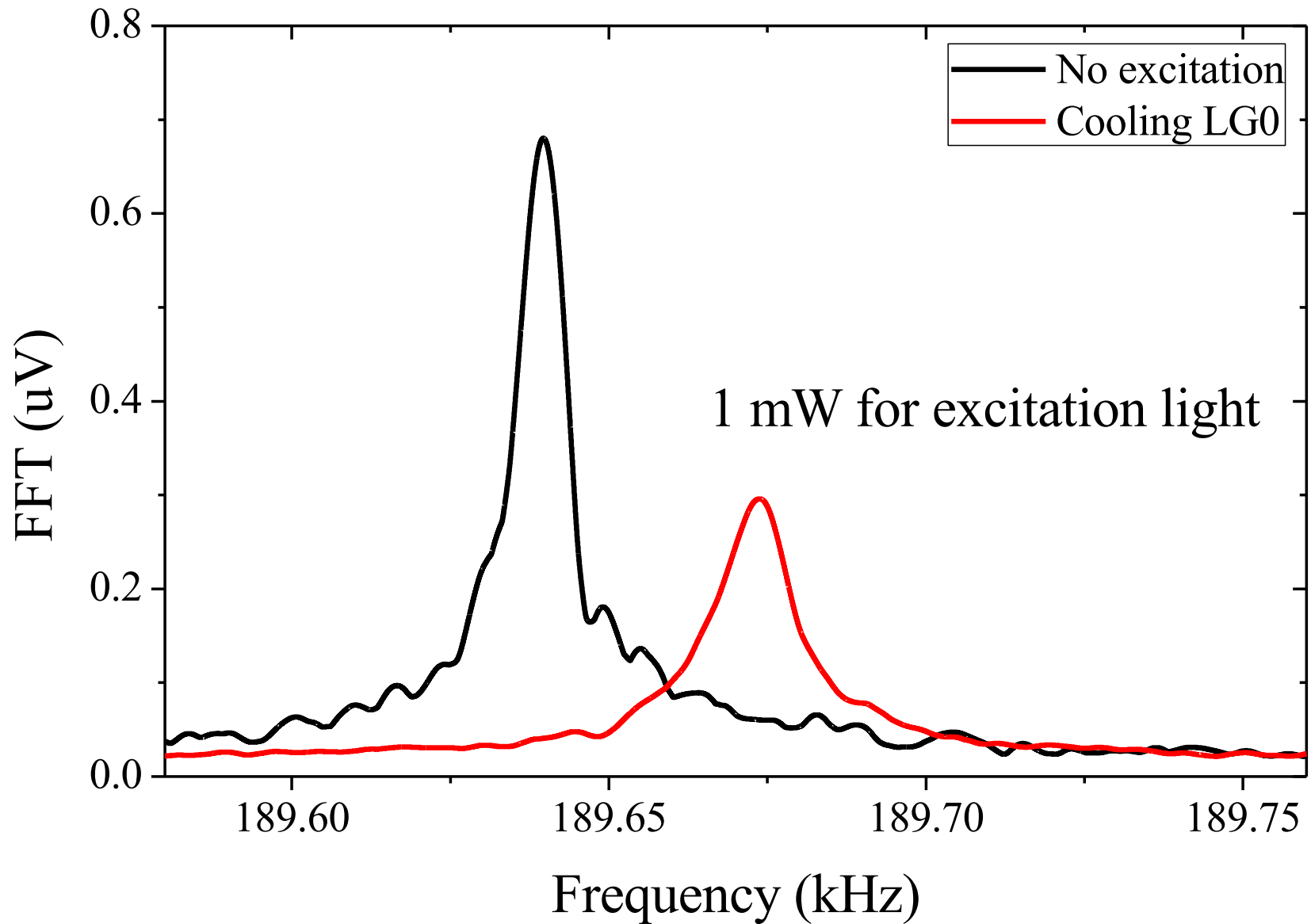


Relative Amplitude of First Torsional Mode





La sorpresa



Amplitud
decrece

ancho de
banda
crece

El Torque ($\mathbf{E} \times \mathbf{P}$)

$$\tau(t) = \frac{c\epsilon}{2\omega_1} |E|^2 \pi r_0^2 \sin \Gamma \sin (2\Delta\theta(t)) \quad \Gamma = kd(n_o - n_e)$$

Torsión de un disco (modelo del 1er modo)

torque térmico o forzado

$$I\ddot{\theta}_F(t) + \gamma\dot{\theta}_F(t) + \kappa\theta_F(t) - \tau_0 \sin (2\Delta\theta(t)) = \tau_{th}$$

Oscilador armónico

potencial modificado

$$\tau_0 = \frac{c\epsilon}{2\omega_1} |E|^2 \pi r_0^2 \sin \Gamma$$

$$\Delta\theta = \theta_F - \theta_L$$

Cálculo de la densidad espectral de la rotación

Perturbación alrededor del estado estable

$$I\delta\ddot{\theta}_F(t) + \gamma\delta\dot{\theta}_F(t) + \delta\theta_F(t) (\kappa - \kappa_L) = \tau_{th}$$

$$\kappa_L = 2\tau_0 \cos(2\Delta\theta^{(ss)})$$

Densidad espectral

$$S_{\delta\theta_F}(\omega) = \frac{4k_B T \gamma}{((\kappa - \kappa_L) - I\omega^2)^2 + \gamma^2 \omega^2}$$

Densidad spectral

$$S_{\tau_{\text{th}}} = 4k_B T \gamma \quad \Gamma = \gamma / I$$

$$S_{\delta\theta_{\text{F}}}(\omega) = \frac{4k_B T \Gamma \omega_0^2 / \kappa}{((\omega_0^2 - \kappa_{\text{L}} / I) - \omega^2)^2 + (\Gamma + \Gamma_{\text{L}})^2 \omega^2}$$

$$T_{\text{eff}} = T \frac{\Gamma}{\Gamma + \Gamma_{\text{L}}}$$

$$\langle \delta\theta_F^2 \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\delta\theta_F}(\omega) d\omega$$

$$\langle \delta\theta_F^2 \rangle = \frac{k_B T}{\kappa - \kappa_L}$$

$$= \frac{k_B T}{I\omega_m^2}$$

$$\frac{1}{2} I \omega_m^2 \langle \delta\theta_F^2 \rangle = \frac{1}{2} k_B T$$

La varianza es proporcional a la temperatura.

Cálculo de la densidad espectral de la rotación

Perturbación alrededor del estado estable

$$I\delta\ddot{\theta}_F(t) + \gamma\delta\dot{\theta}_F(t) + \delta\theta_F(t) (\kappa - \kappa_L) = \tau_{th}$$

$$\kappa_L = 2\tau_0 \cos(2\Delta\theta^{(ss)})$$

Densidad espectral

$$S_{\delta\theta_F}(\omega) = \frac{4k_B T \gamma}{((\kappa - \kappa_L) - I\omega^2)^2 + \gamma^2 \omega^2}$$

$$\langle \delta\theta_F^2 \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{\delta\theta_F}(\omega) d\omega$$

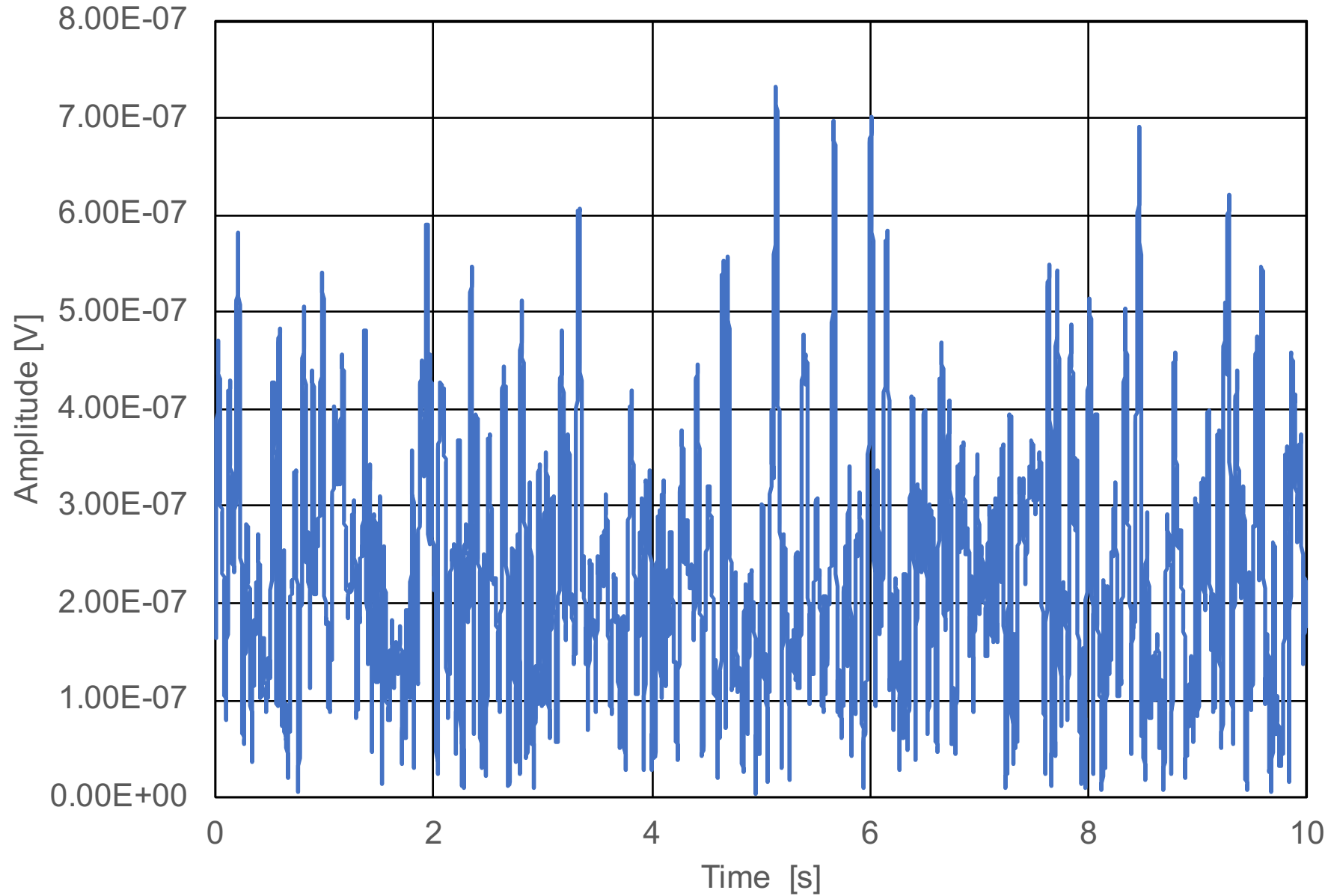
$$\langle \delta\theta_F^2 \rangle = \frac{k_B T}{\kappa - \kappa_L}$$

$$= \frac{k_B T}{I\omega_m^2}$$

$$\frac{1}{2} I \omega_m^2 \langle \delta\theta_F^2 \rangle = \frac{1}{2} k_B T$$

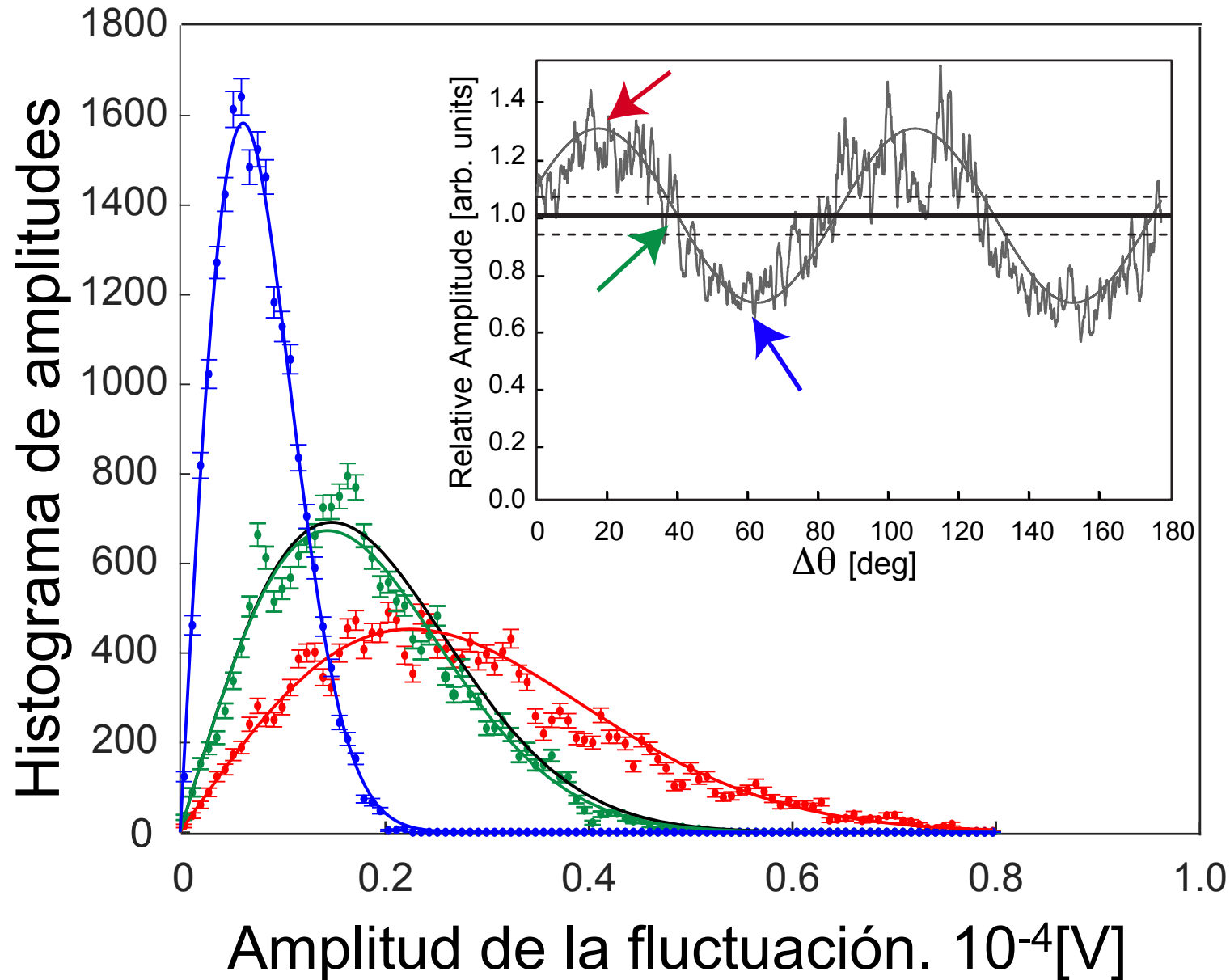
La varianza es proporcional a la temperatura.

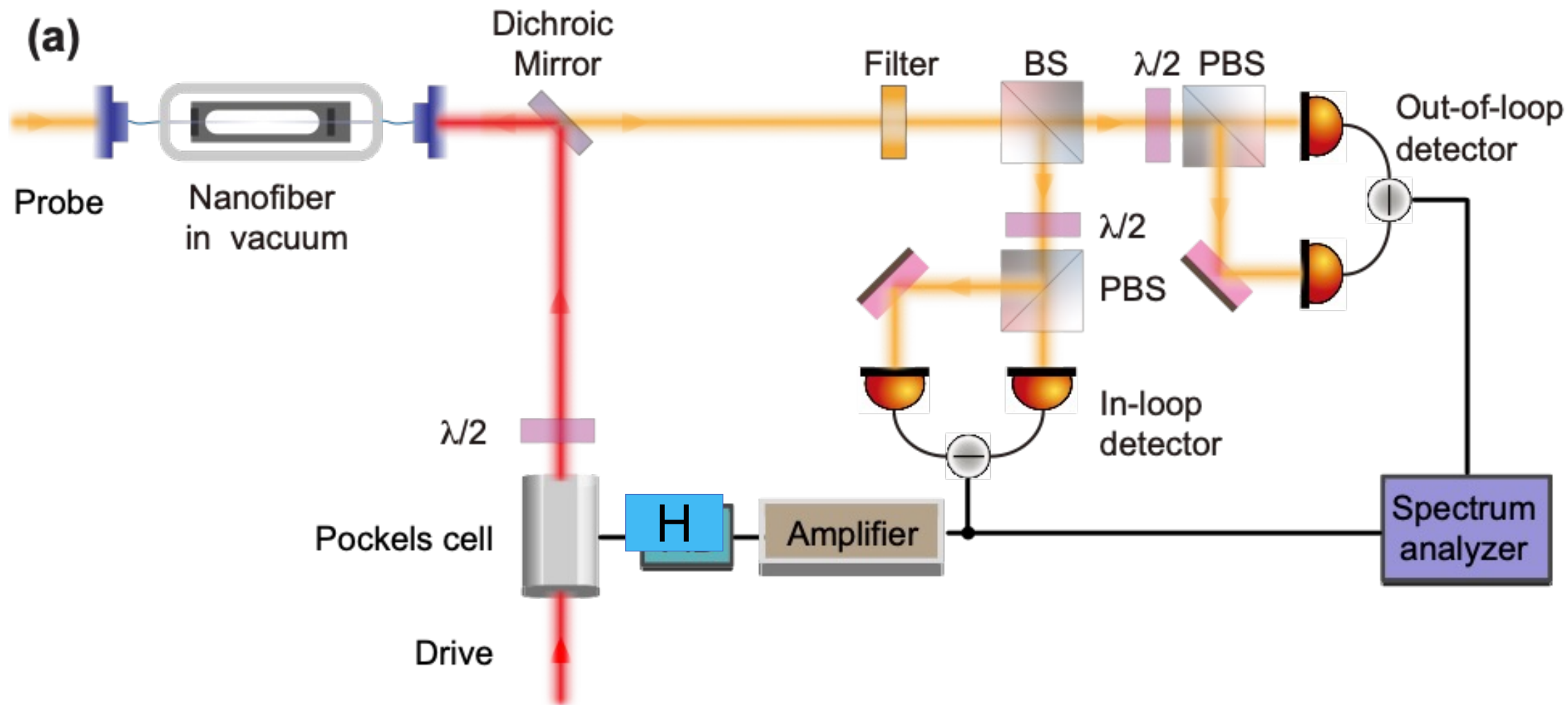
Time series 1mW low RBW 20Hz VBW 2.8 MHz at 191975 Hz



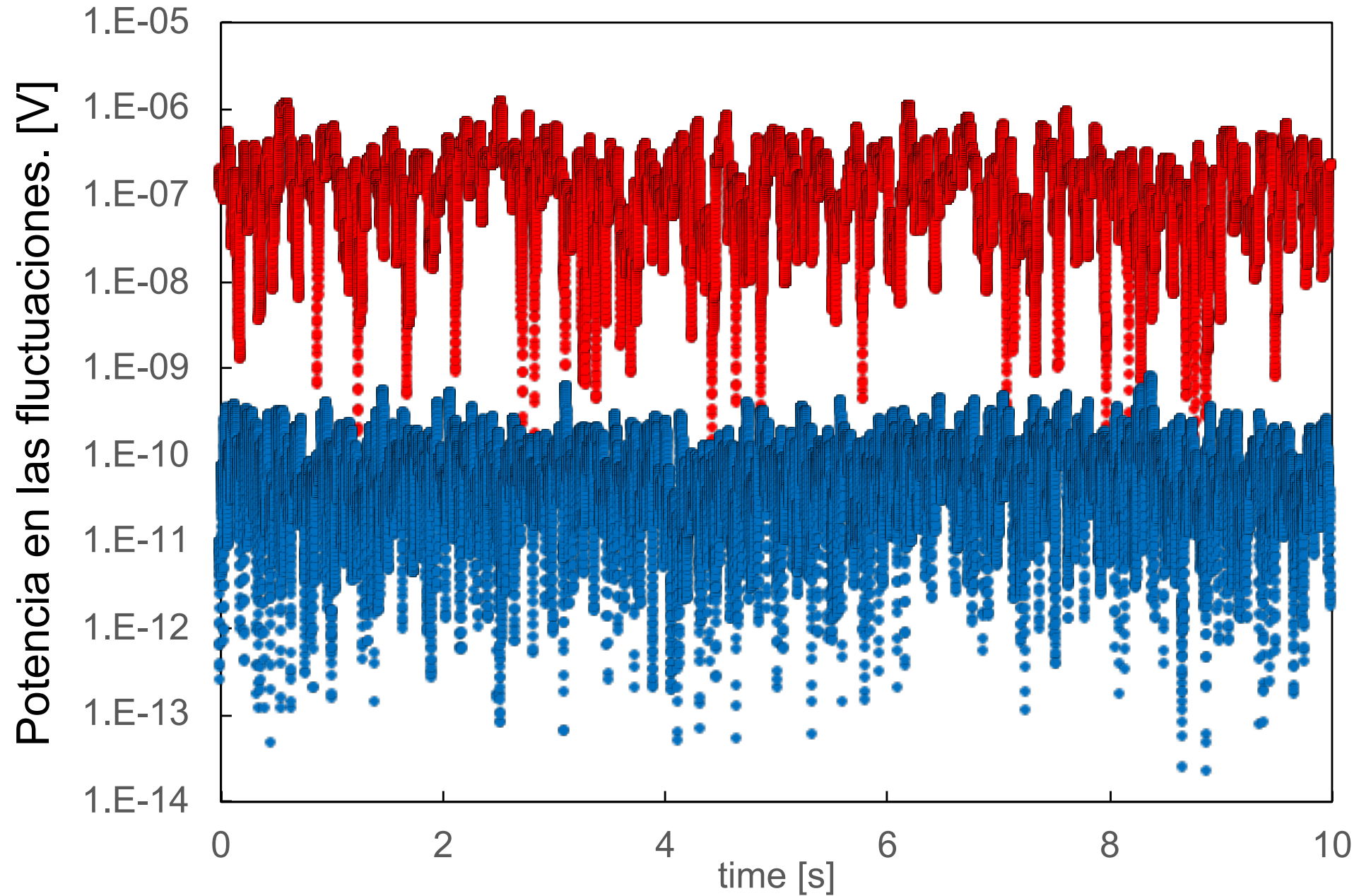
500 μ s por punto

Distribución de Maxwell Boltzmann con 0.5 mW de forzamiento, con el forzamiento a tres diferentes ángulos.





Serie de tiempo, sin control [rojo] con control [azul]

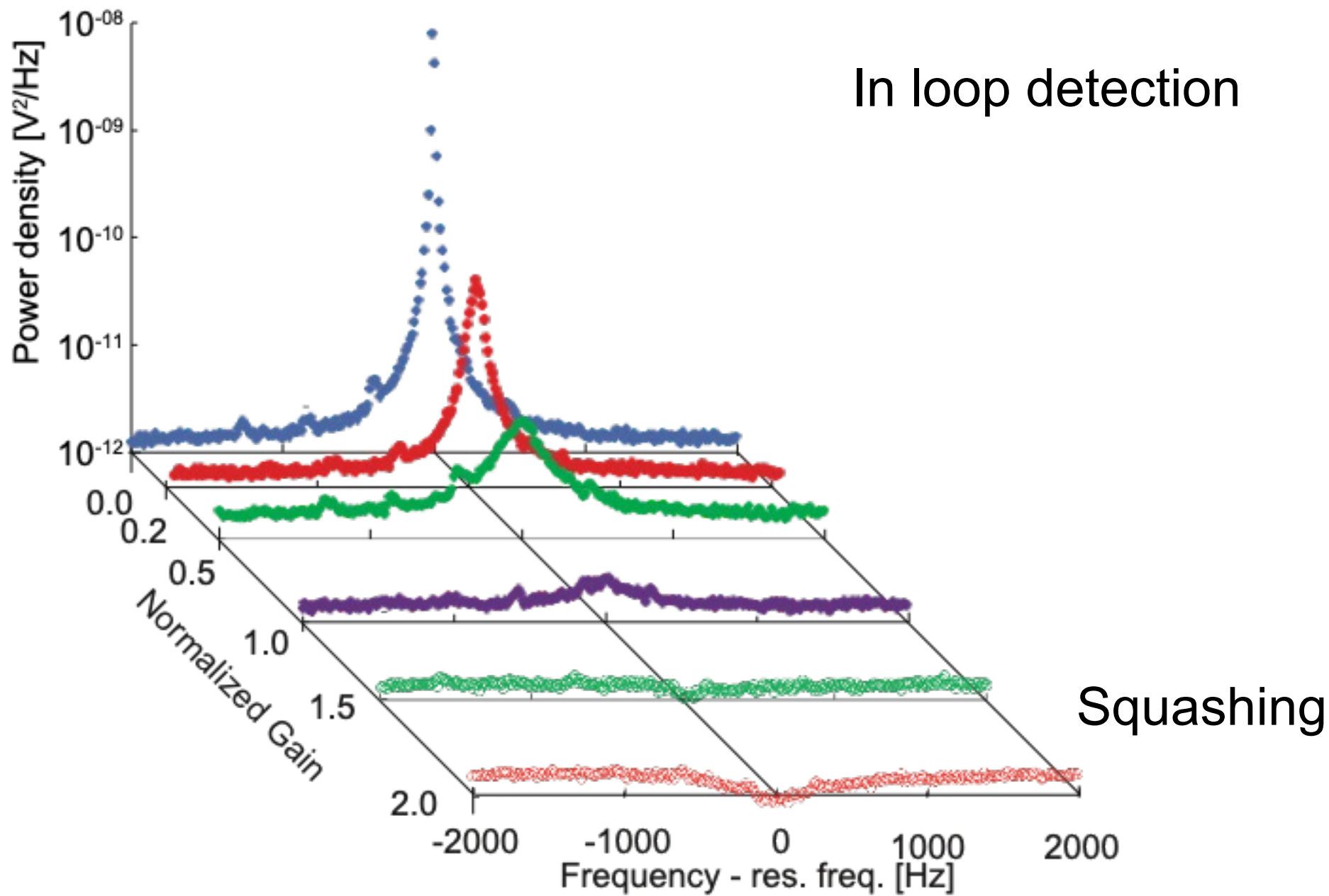


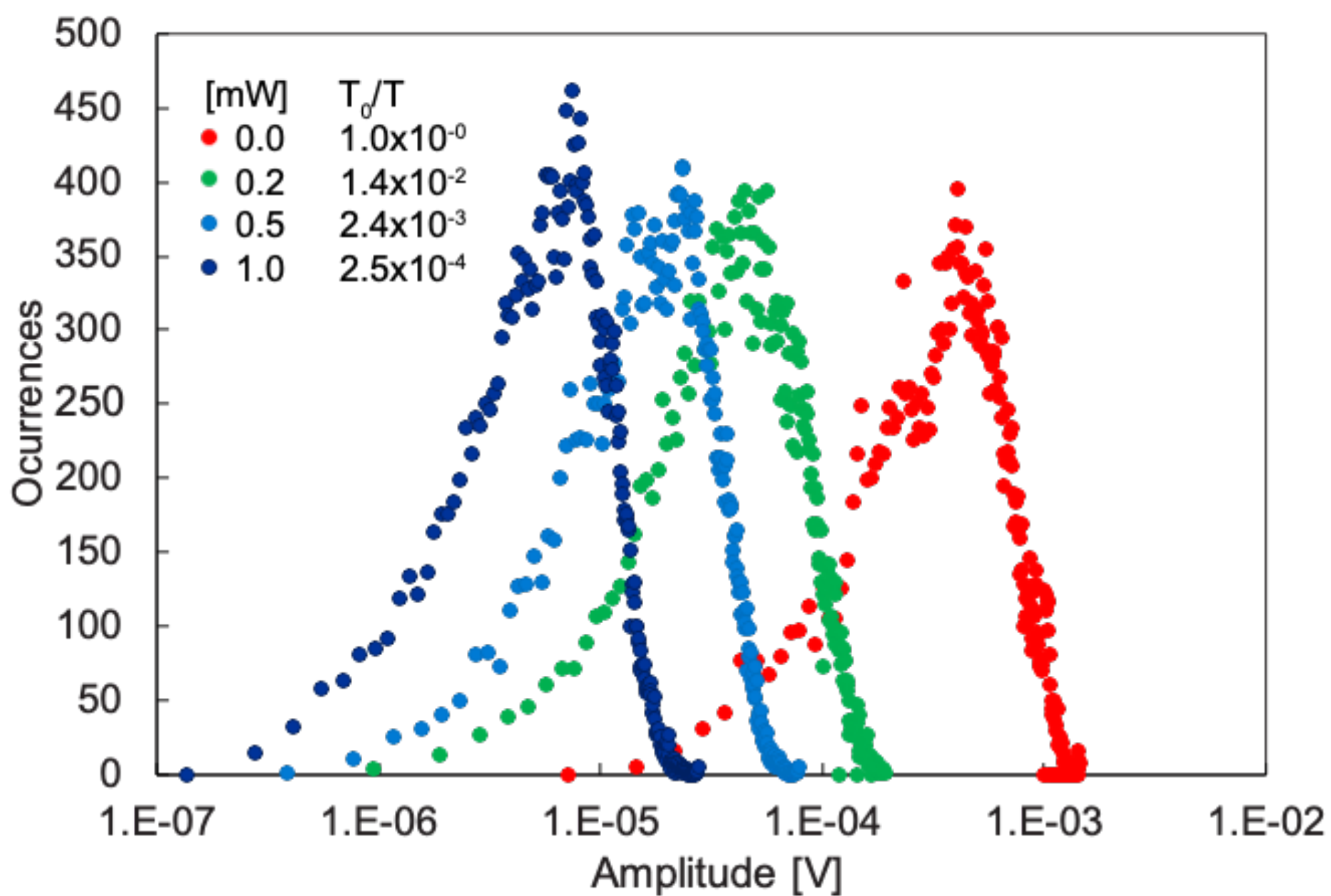
¿cuán frío se puede llegar? (depende del ruido S_n y la señal S_s).

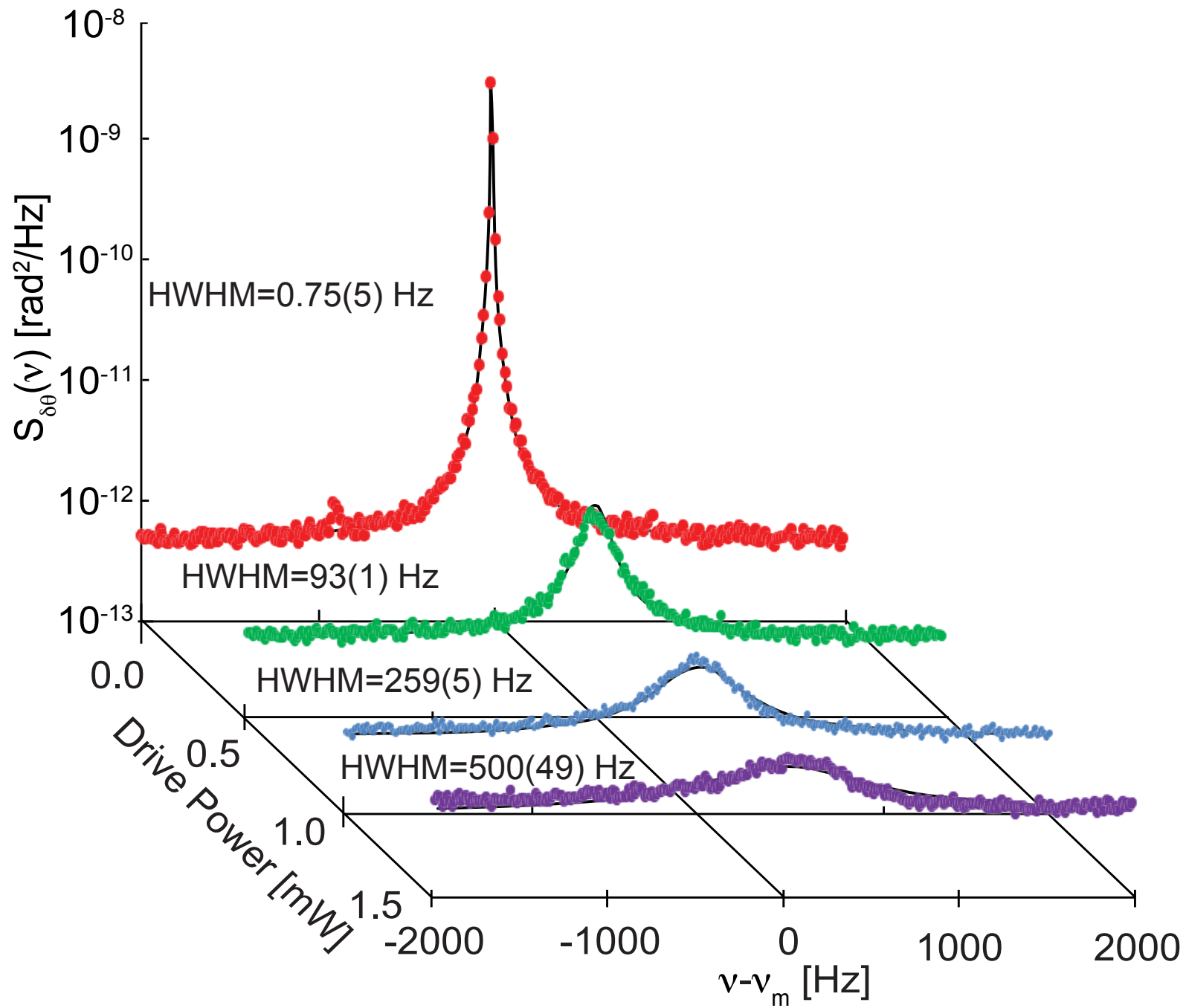
$$\begin{aligned}\frac{T_{mode}}{T} &= \left(\frac{1}{1+g} \right) + \left(\frac{g^2}{1+g} \right) \left(\frac{S_n}{2k_b T / \kappa \Gamma} \right), \\ &= \left(\frac{1}{1+g} \right) + \left(\frac{g^2}{1+g} \right) \left(\frac{S_n}{S_s} \right),\end{aligned}$$

g es la ganancia adimensional que depende de la retroalimentación PID, del retraso y la potencia

máxima reducción $\frac{T_{mode}}{T} \rightarrow \frac{2}{\sqrt{S_s/S_{\theta_n}}}$







Diferencia entre precisión y exactitud:

La exactitud de un experimento es una medida de qué tan cerca está el resultado del experimento de el valor verdadero; la precisión es una medida de qué tan bien se ha determinado el resultado, sin referencia a su concordancia con el valor real.

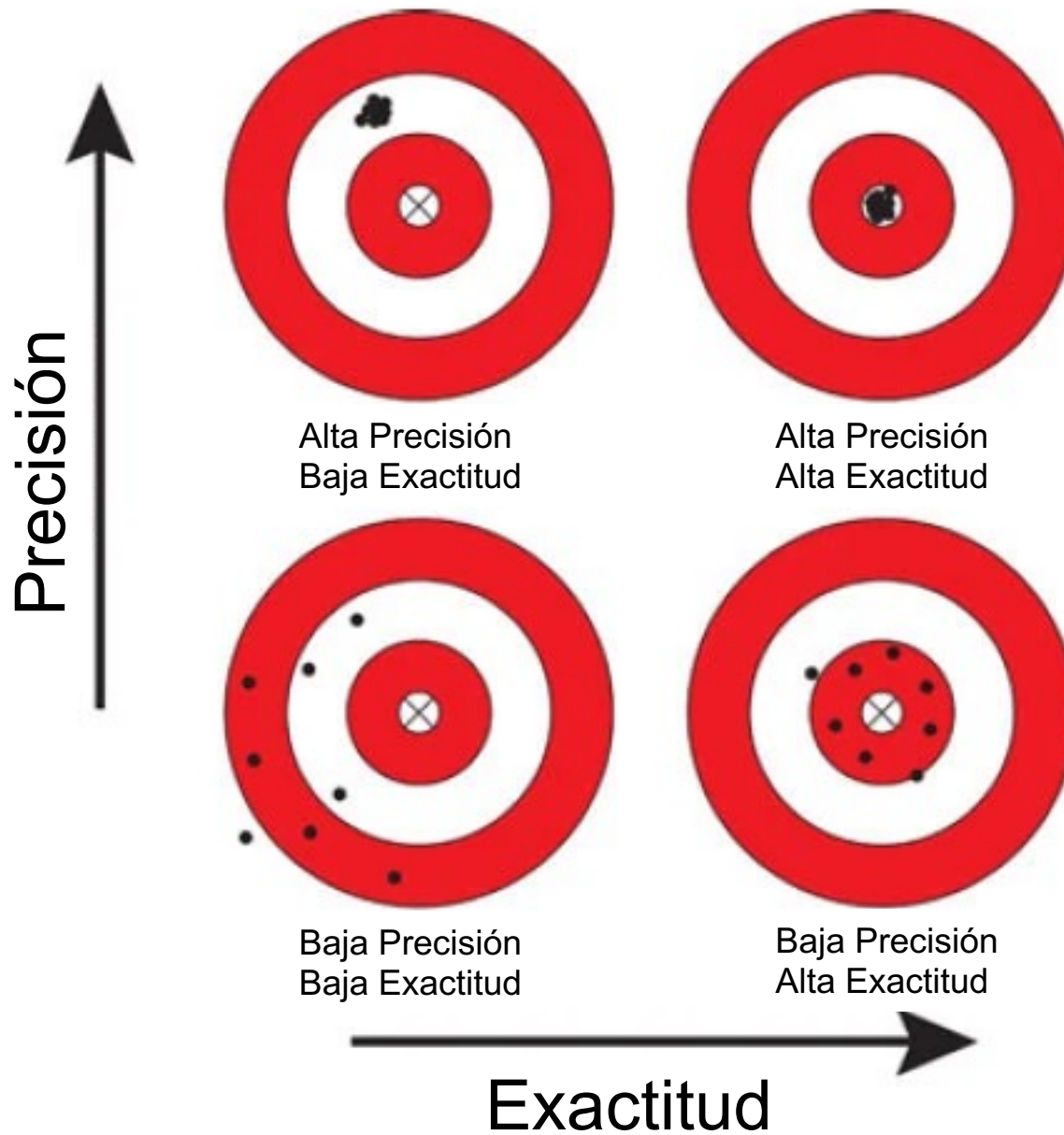
Al final la incertidumbre en una medición combinación ambos, y otras cosas.

Incertidumbre en las mediciones

Para el caso de
estos datos

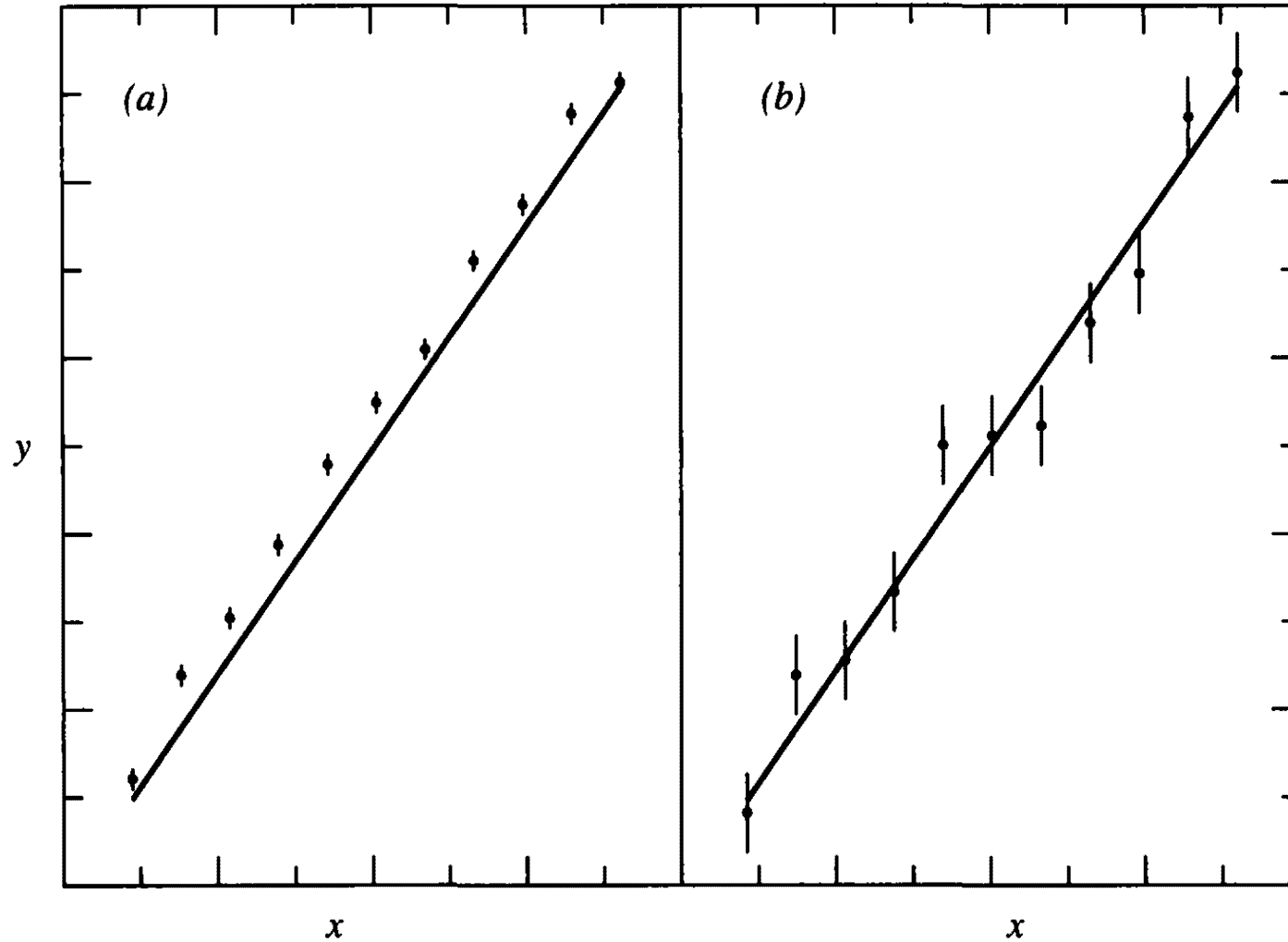
la dispersión da
una idea de la
exactitud

dar en un punto
implica precisión



Preciso pero inexacto,

exacto pero impreciso



Una Buena medición debe ser precisa y exacta

Una manera en que la física avanza, por ser una ciencia empírica, es haciendo mediciones cada vez más precisas.

Para mejorar significativamente es necesario utilizar nuevas tecnologías para hacer la medición.

Ejemplo medición de la masa del antiprotón.

Método anterior: Medir los niveles de energía en un átomo donde uno de los electrones ha sido sustituido por un antiprotón y ajustar la fórmula de Rydberg que depende de la masa del electrón (antiprotón).

Método nuevo: Cambiar la medición a una medición de frecuencia, lo que mejor medimos los humanos: una partícula cargada ejecuta movimiento circular en un campo magnético uniforme y su frecuencia es proporcional a su razón de carga a masa y al campo magnético.

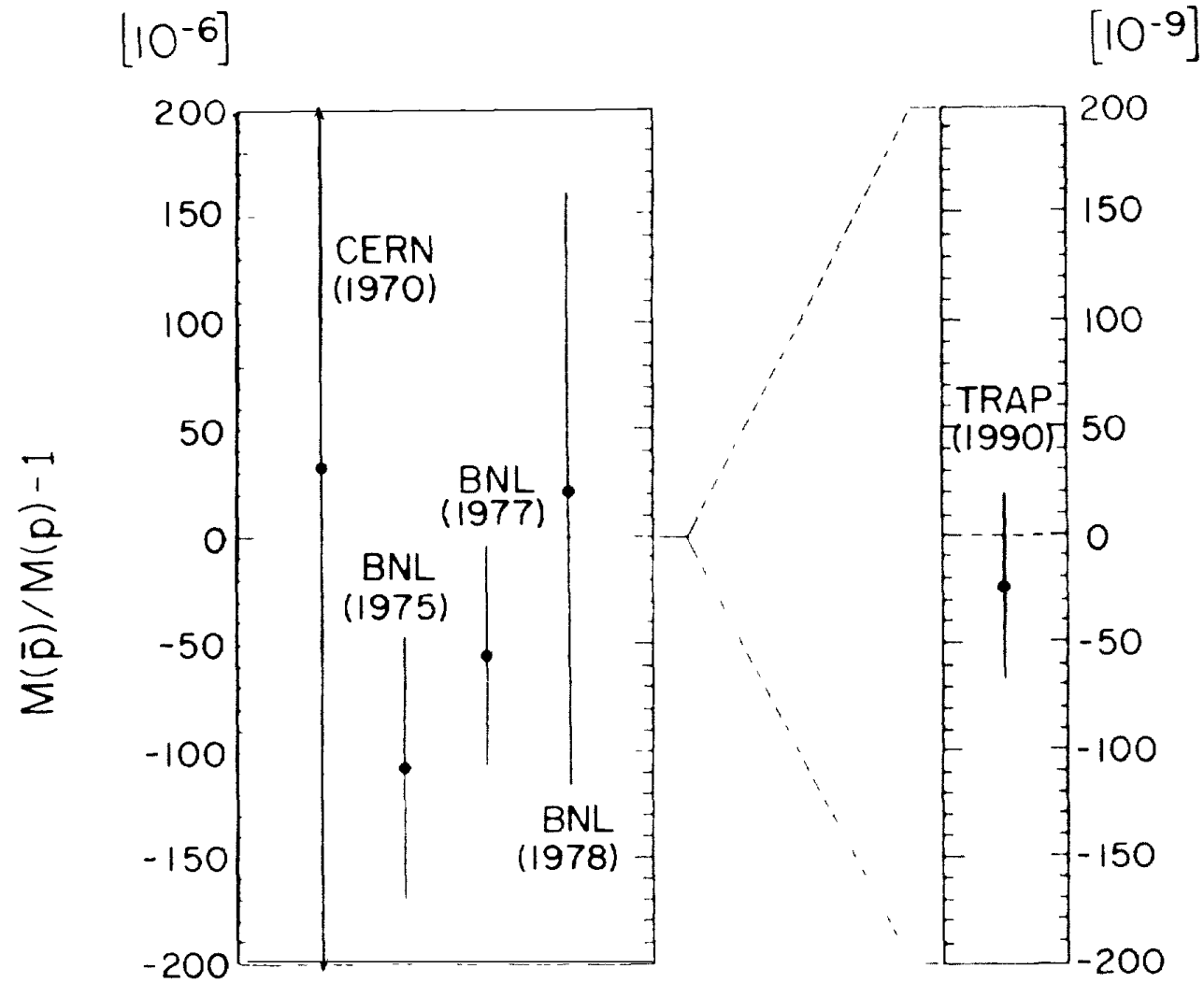


FIG. 1. Measurements of the ratio of antiproton to proton masses (Refs. 1-4). The new measurement on the right-hand side is on a scale expanded by 1000.

Referencias:

1. Philip R. Bevington, and D. Keith Robinson, Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences. 3rd edition, McGraw Hill.
2. Dianqiang Su, Pablo Solano, Jeffrey D. Wack, Luis A. Orozco, and Yanting Zhao, "Torsional optomechanical cooling of a nanofiber," Photonics Research Journal **10** 601, (2022).
<https://doi.org/10.1364/PRJ.440991>
3. Dianqiang Su, Yuan Jiang, Pablo Solano, Luis A. Orozco, John Lawall and Yanting Zhao, "Optomechanical feedback cooling of a 5 mm long torsional mode," Photonics Research Journal **11** 2179, (2023). <https://doi.org/10.1364/PRJ.487035> pdf
4. G. Gabrielse, X. Fei, L.A. Orozco, R.L. Tjoelker, J. Haas, H. Kalinowsky, T.A. Trainor, W. Kells, "Thousandfold improvement in the measured antiproton mass," Phys. Rev. Lett. **65**, 1317 (1990). <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.65.1317>

Gracias

