

# *Física Cuántica*

**Juan Pablo Paz**

*Departamento de Física “Juan José Giambiagi”*

*FCEyN, UBA*

*<http://www.df.uba.ar/users/paz/borges/borges2006.html>*

*CENTRO CULTURAL BORGES*

*MAYO 2006*



## **Clase 4**

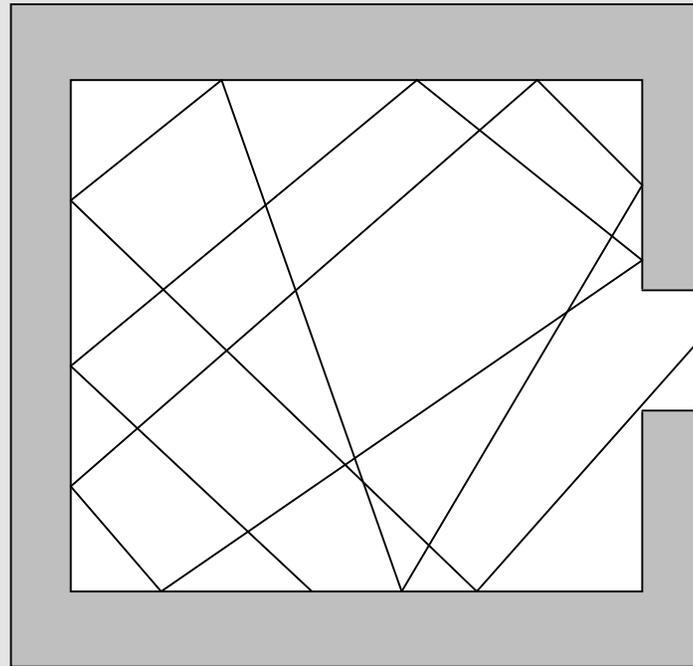
### **Resumen histórico**

#### **La medición y el observador**

**Qué dice (y qué no dice) la mecánica cuántica?**

# **1900: Tres problemas de la física clásica (luz y materia):**

- 1. La “radiación de cuerpo negro”  
(cómo cambian su color los objetos  
calientes?)**
- 2. El efecto fotoeléctrico (cómo es que  
la luz puede inducir la circulación de  
una corriente eléctrica?)**
- 3. La estructura atómica (la estabilidad  
de los átomos, la emisión de la luz)**



RADIACIÓN  
DE "CUERPO NEGRO"

Guía del alfarero:

**Temperatura del horno**

**Color**

**550 C**

**rojo oscuro**

**750 C**

**rojo**

**900 C**

**naranja**

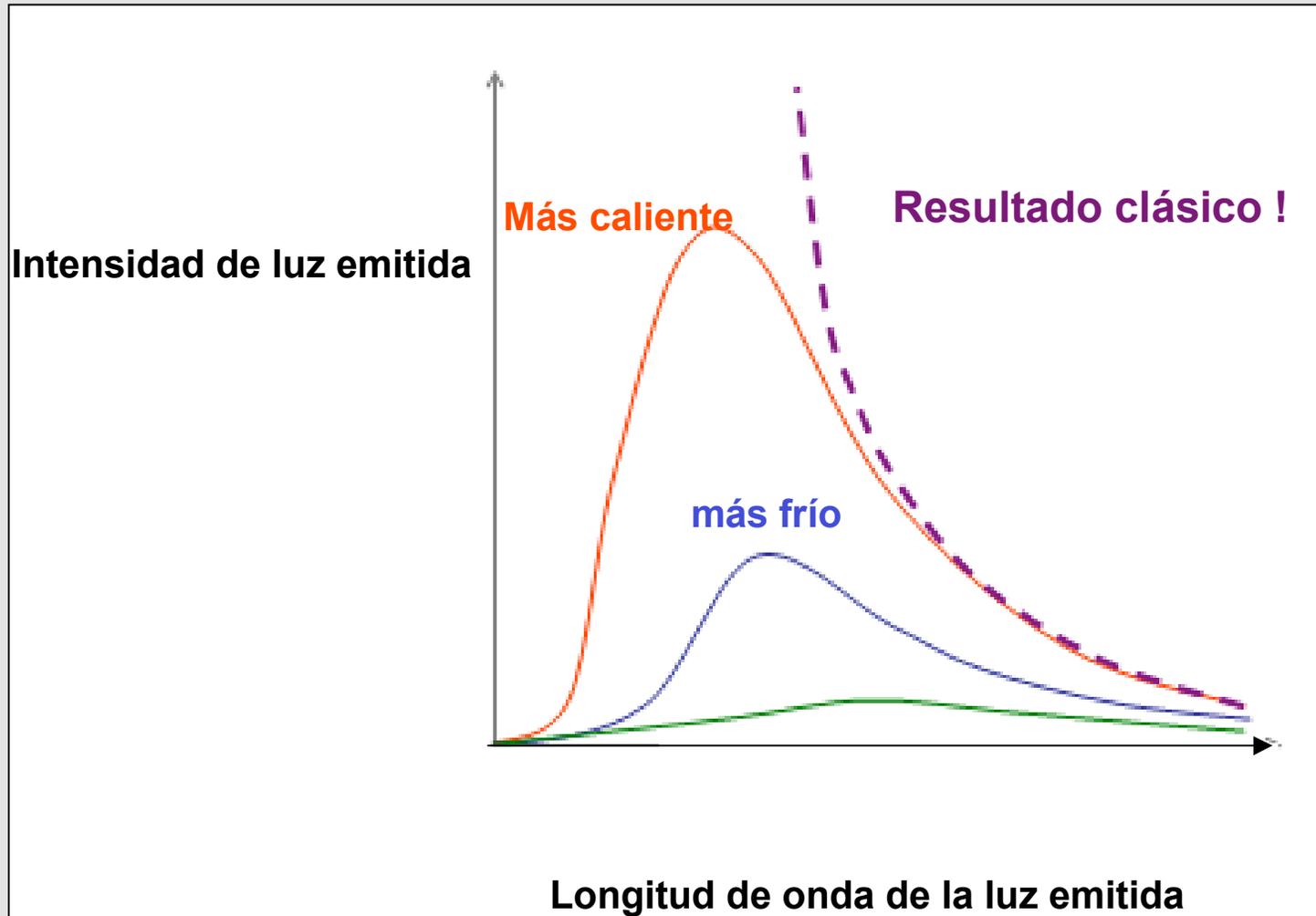
**1000C**

**amarillo**

**1200C**

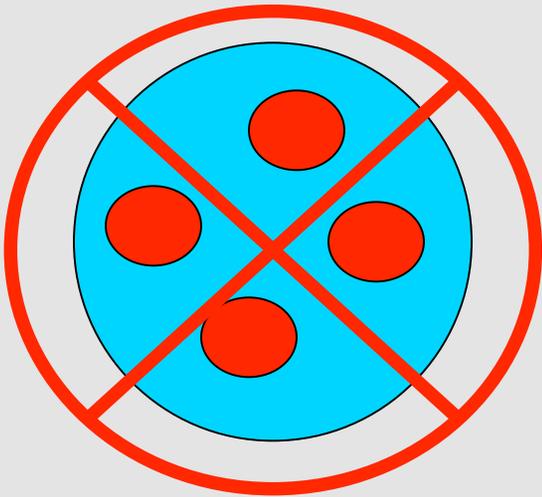
**blanco**

# LA RADIACIÓN DE “CUERPO NEGRO”

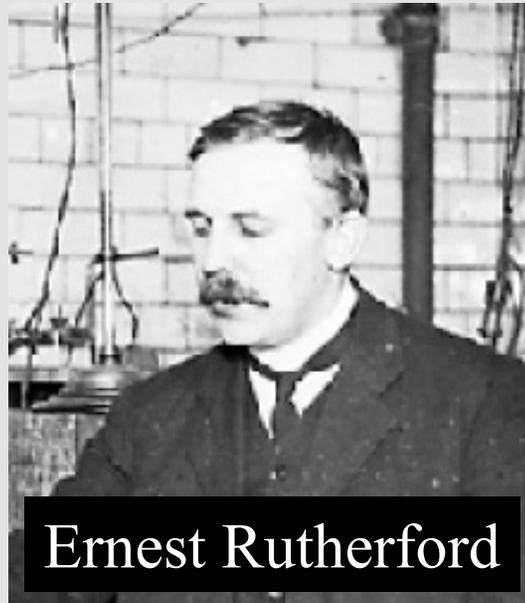




# El átomo tiene electrones. ¿Cómo están distribuidos?

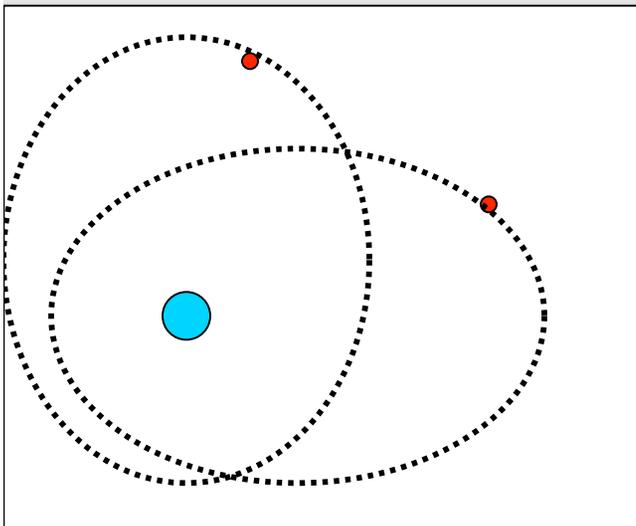


Thompson: El átomo es como un budín inglés



Ernest Rutherford

Nobel 1908

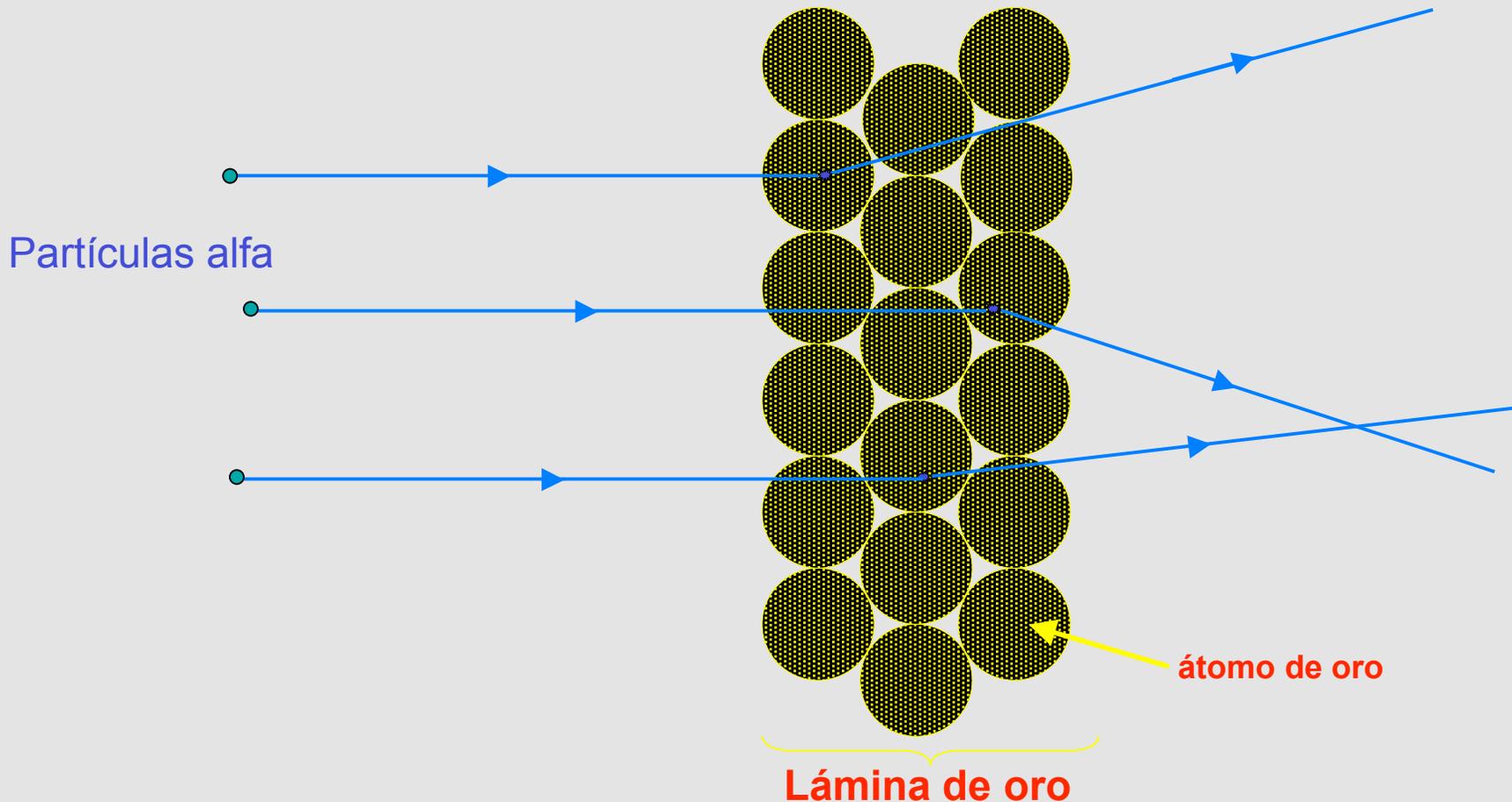


Rutherford (1910): El átomo tiene un núcleo positivo (que concentra casi toda la masa) alrededor del cual giran los electrones.

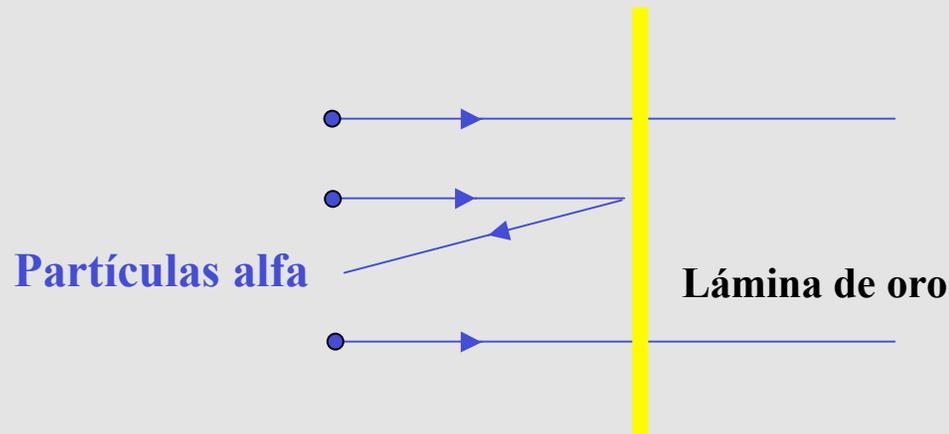
# ¿Cómo podemos mirar dentro del átomo?

**IDEA: Arrojarle objetos más pequeños (p.ej, partículas alfa)**

➔ Si la carga estuviera distribuída uniformemente, entonces todas las partículas alfa deberían desviarse un poco



# Rutherford realizó este experimento en 1910



**Resultado 1: la mayoría de las partículas pasaban derecho!!**

→ **Conclusión 1: Los átomos son casi todo vacío**

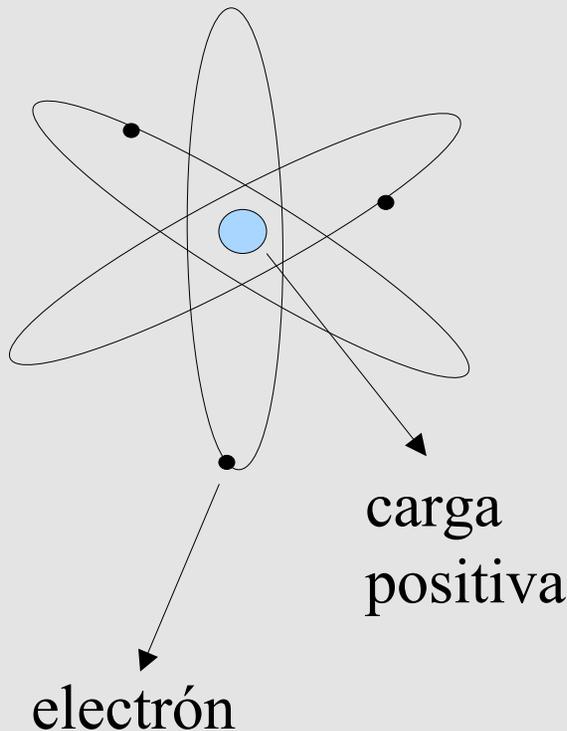
**Resultado 2: Una de cada 20.000 partículas rebotaba!!**

→ **Conclusión 2: Toda la carga positiva está concentrada en un núcleo que es 10.000 veces más pequeño que el átomo**

**Importante: Esta misma estrategia experimental se utilizó para estudiar el interior del núcleo (y de cosas todavía más pequeñas)**

# El átomo (Bohr, 1913)

Nobel  
1922



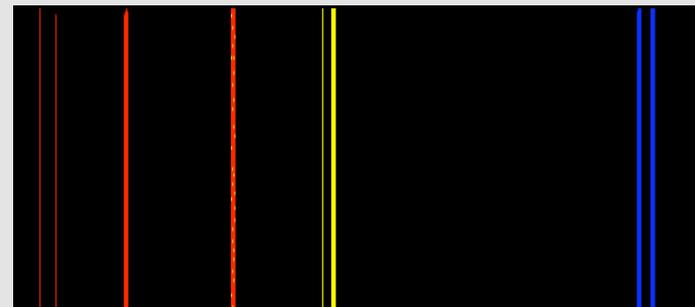
- **Tamaño del átomo:**  
**0.0000000001 m**
- **Tamaño del núcleo:**  
**0.0000000000000001 m**

**(el núcleo es unas diez mil veces mas pequeño que el atomo)**

## PROPIEDADES

**MISTERIOSAS: ESTABILIDAD (!) Y EMISION DE LA LUZ**

- **Los electrones solamente pueden ocupar ciertas órbitas. La energía del electrón está cuantizada**
- **Cuando un átomo emite o absorbe luz los electrones saltan de una órbita a otra.**



$$\Delta\nu = \frac{e^2 m_e}{2\hbar^3} \left( \frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right)$$



Litio



Bario



Mercurio



Neón

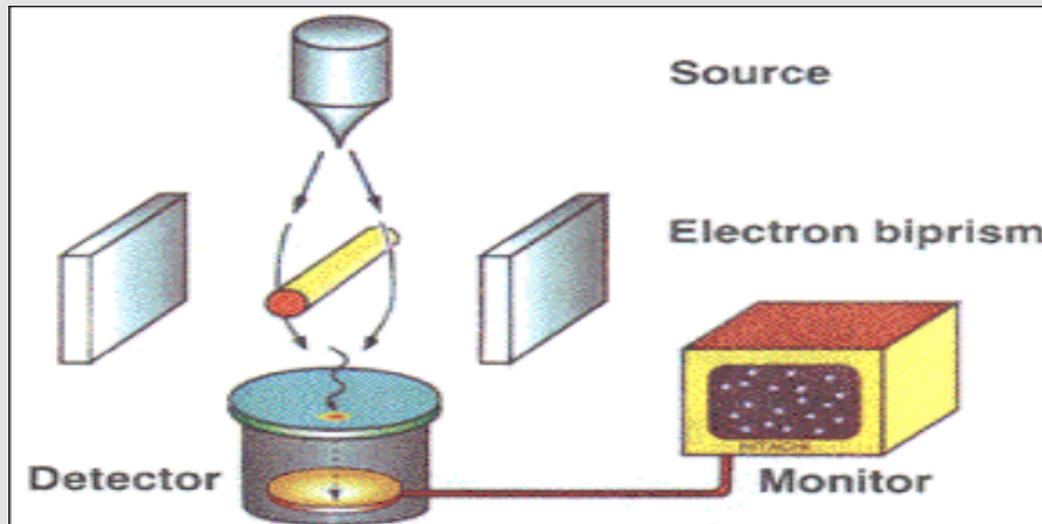




# Ondas de materia! (ondas de probabilidad)

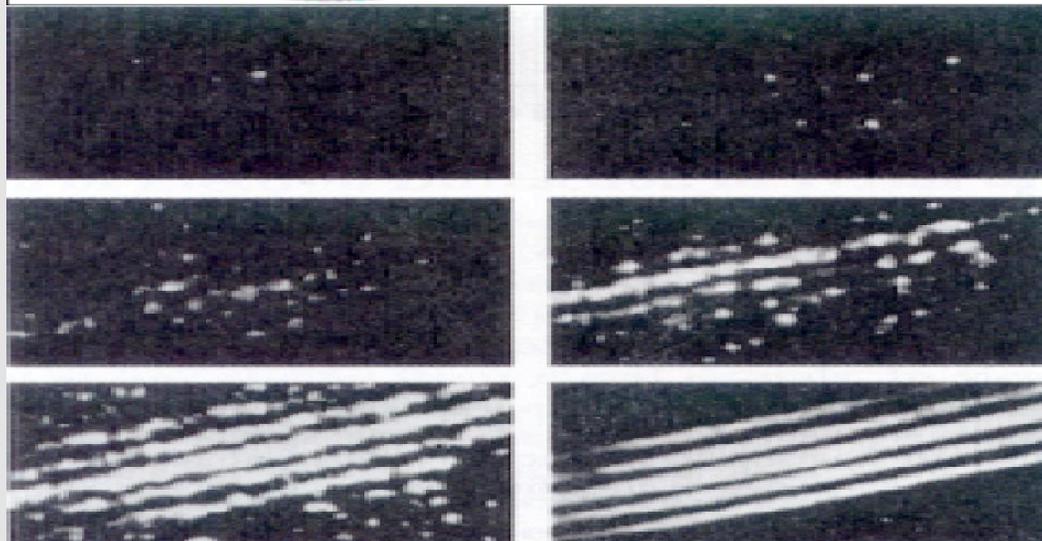
Davisson y G.P. Thompson (1927)

Una fuente,  
dos rendijas  
y una  
pantalla



En la pantalla se observan zonas claras y oscuras: Las ondas INTERFIEREN

$$\lambda_{de\ Broglie} = \frac{h}{mv}$$



# LA MECÁNICA CUÁNTICA

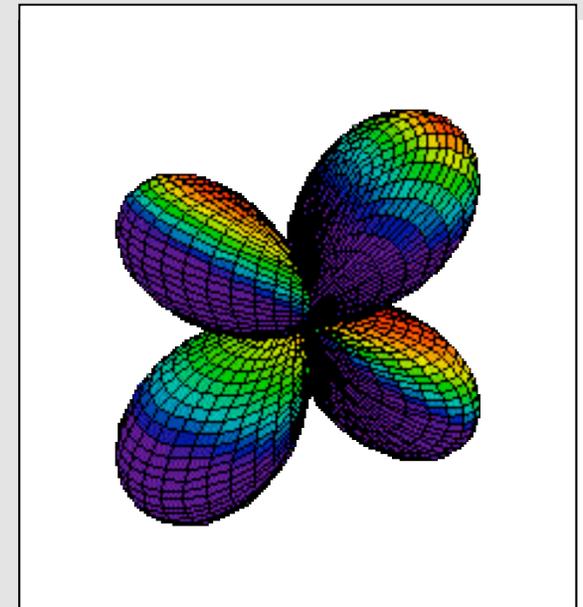
Heisenberg (1925), Bohr (1927), Born (1926),  
Dirac (1928), Scrödinger (1926),

Nobel  
1932



- 1) Teoría basada en magnitudes observables.  
Predice probabilidades de transición.

El electrón **NO** sigue ninguna trayectoria (sigue todas!). Sólo tiene sentido preguntarse cuál es la probabilidad de observar al electrón en un cierto punto.



Átomo de Heisenberg (1925)

# LA MECÁNICA CUÁNTICA

La teoría mejor testada de la historia de la ciencia

2) El azar es intrínseco a la Naturaleza! Teoría no determinista: solamente predice probabilidades. Dios juega a los dados!



NO predice donde cae cada electrón!  
SI predice la ubicación de las franjas,  
su ancho, su brillo, etc.

3) No es posible medir sin perturbar!

Cuanto mas precisamente mido la posición, menos precisament  
puedo predecir el valor de la velocidad y viceversa.

Principio de incertidumbre (Heisenberg, 1927)

$$\Delta x \Delta p > \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta E \Delta t > \frac{\hbar}{2}$$

$$Masa = 1g$$

$$\Delta x = 1mm$$

$$\Delta v \geq 6.67 \cdot 10^{-28} m / seg$$

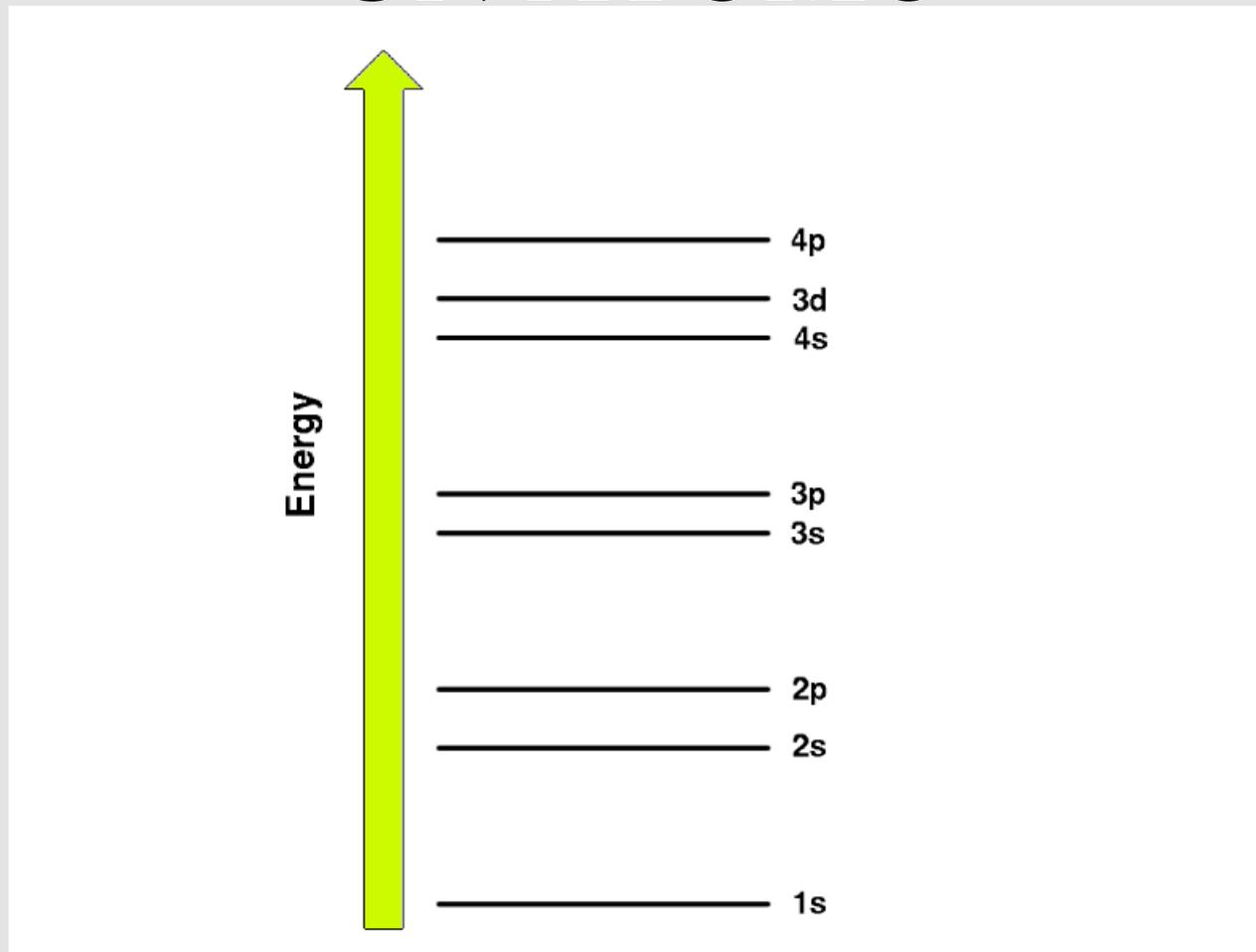
$$Masa = M_{electrón}$$

$$\Delta x = 0.00000001m$$

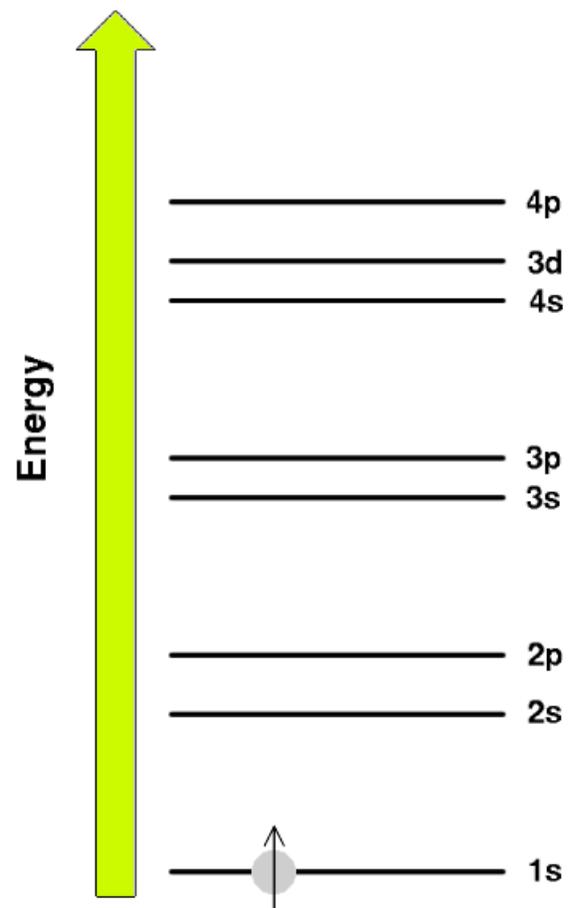
$$\Delta v \geq 60000m / seg$$

W. Heisenberg

# NIVELES DE ENERGIA DE UN ATOMO

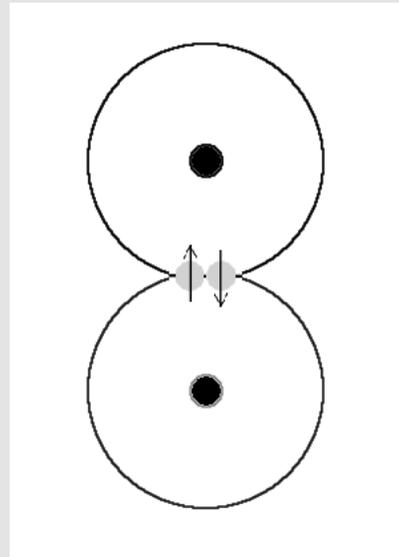


# HIDROGENO



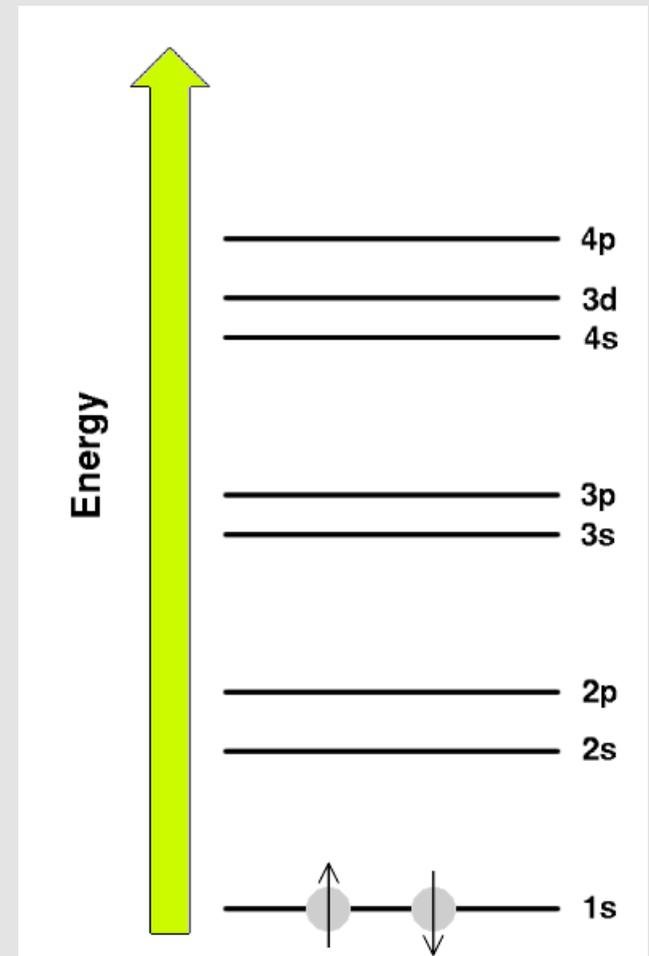
# HIDROGENO

- El electron puede tener spin “arriba” o “abajo”
- Dos atomos de hidrogeno pueden combinarse en la molecula  $H_2$



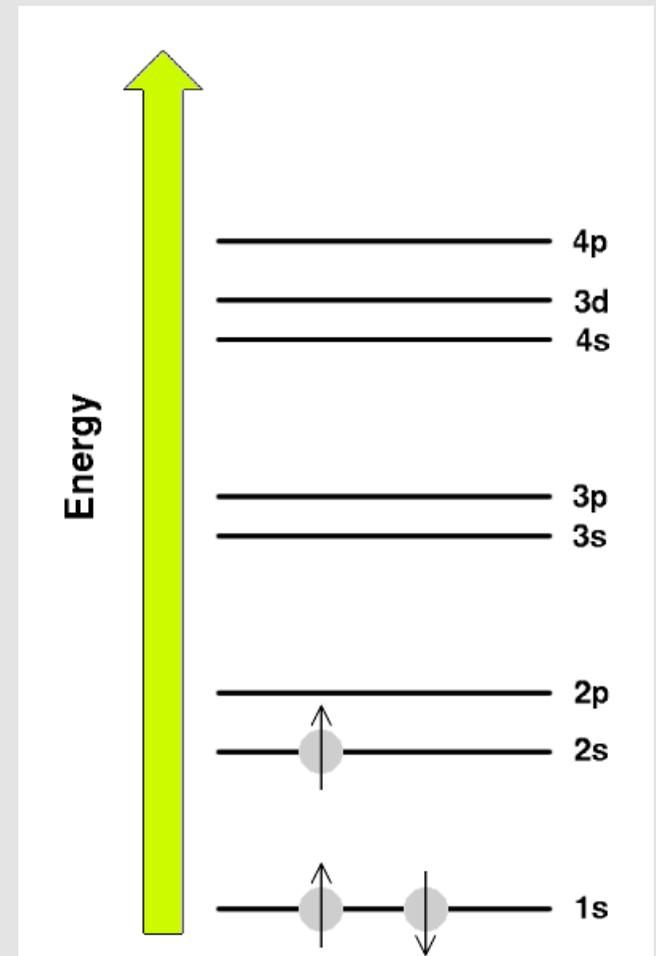
# HELIO

- Dos electrones con spines opuestos en el estado de menor energía
- Ese nivel esta “cerrado”, por lo tanto es químicamente inerte
- Idem otros gases nobles



# LITIO

- Químicamente similar al hidrógeno



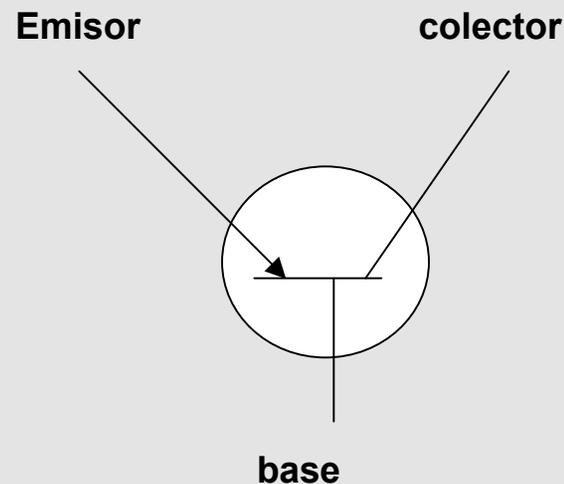
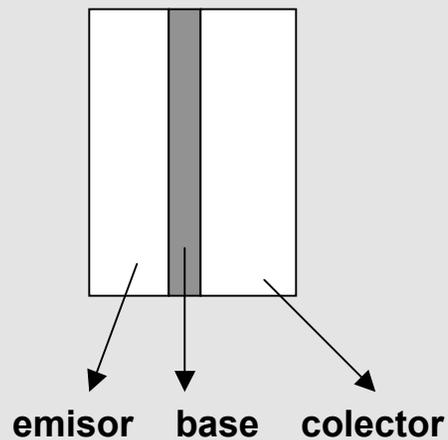


Hemos visto entonces aplicaciones a la física atómica y a la física molecular....

La mecánica cuántica también predice propiedades de los sólidos.

Una aplicación importante: SEMICONDUCTORES

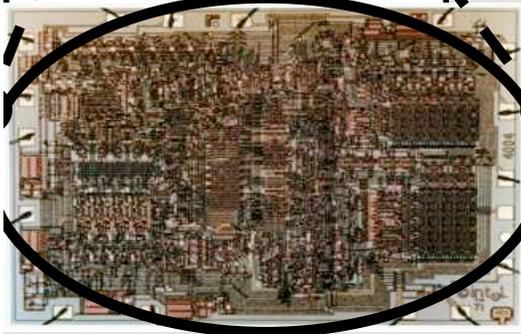
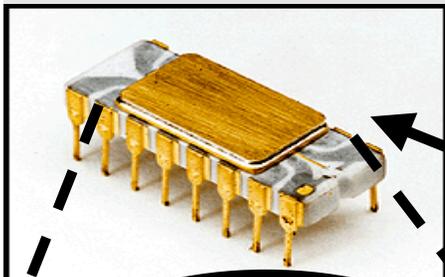
## EL TRANSISTOR



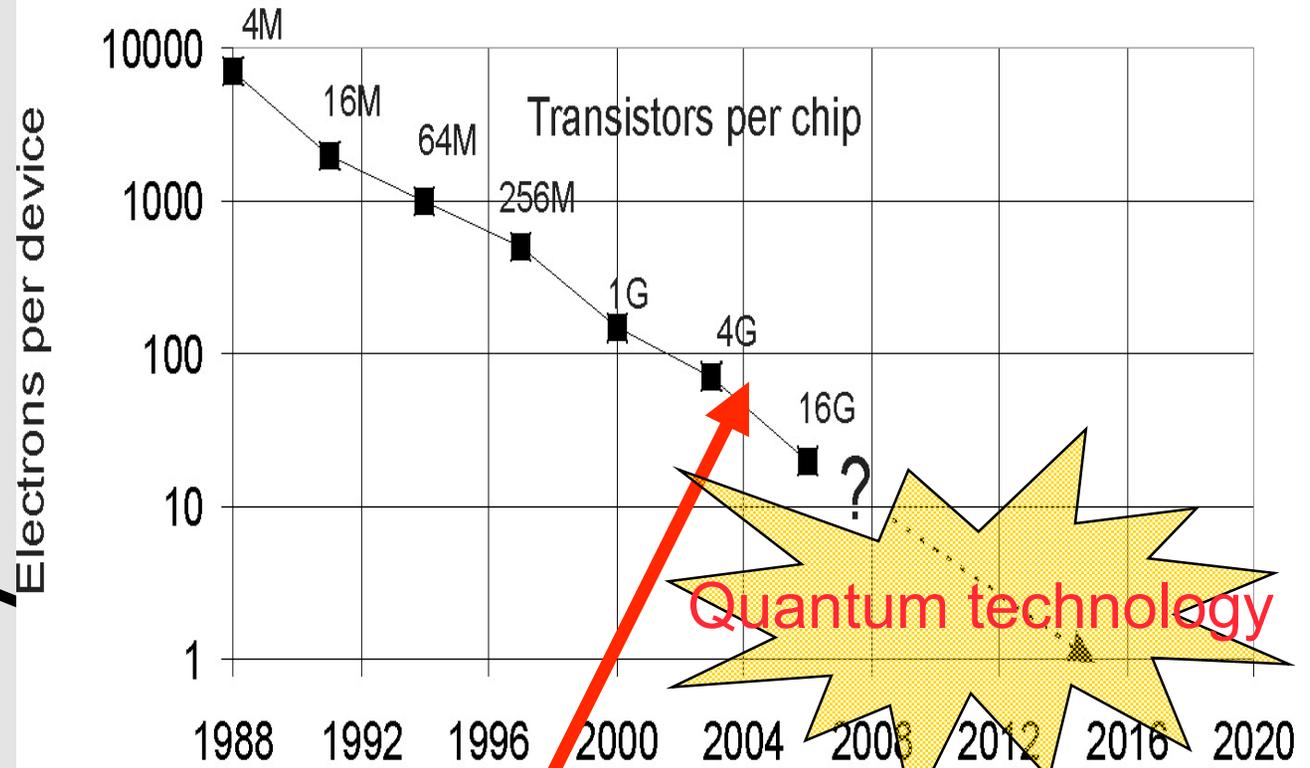
# Microelectrónica: Computadoras son cada vez más pequeñas...

Ley de Moore: Número de transistores por chip se duplica cada 18 meses.

Transistor 1956



Intel 4004: 2500 transistores



**Cuál es el límite? Podríamos almacenar un bit usando un único átomo?** *En los discos duros de hoy: Un bit en 100,000,000,000 átomos*

## Cincuenta años atrás...

*Schrödinger, 1952: “... Nunca realizamos experiencias con un único electrón o con un único átomo. A veces suponemos que eso es posible; pero invariablemente, eso nos lleva a consecuencias “ridículas”... Se puede decir que no realizamos experiencias con partículas únicas, así como tampoco podemos criar Ictiosaurios en el Jardín Zoológico.”*

*(British Journal of the Philosophy of Sciences, vol. 3, 1952)*

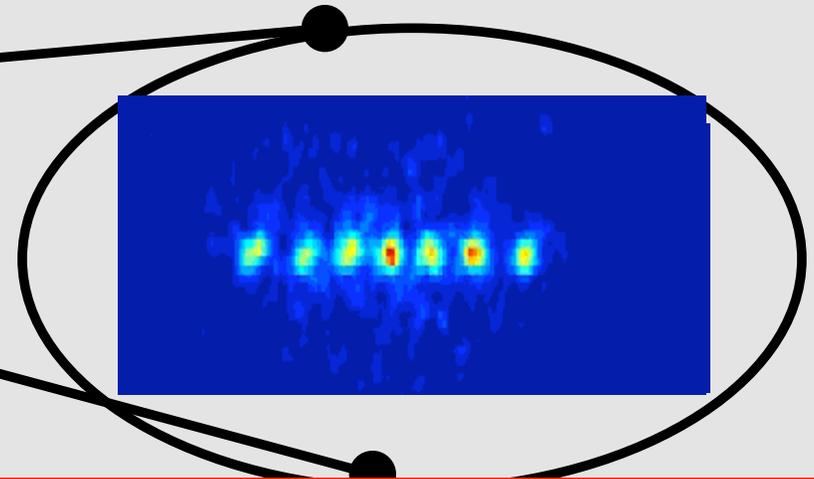
**La Mecánica Cuántica Hoy:  
Ictiosaurios en el Zoológico??!!**

# FINAL DEL SIGLO XX: CIENCIA Y TECNOLOGÍA CUÁNTICA

Átomos en “trampas” controlados y manipulados de a uno!!



52 átomos de Calcio “fotografiados”



Una acordeón de 7 átomos de Calcio

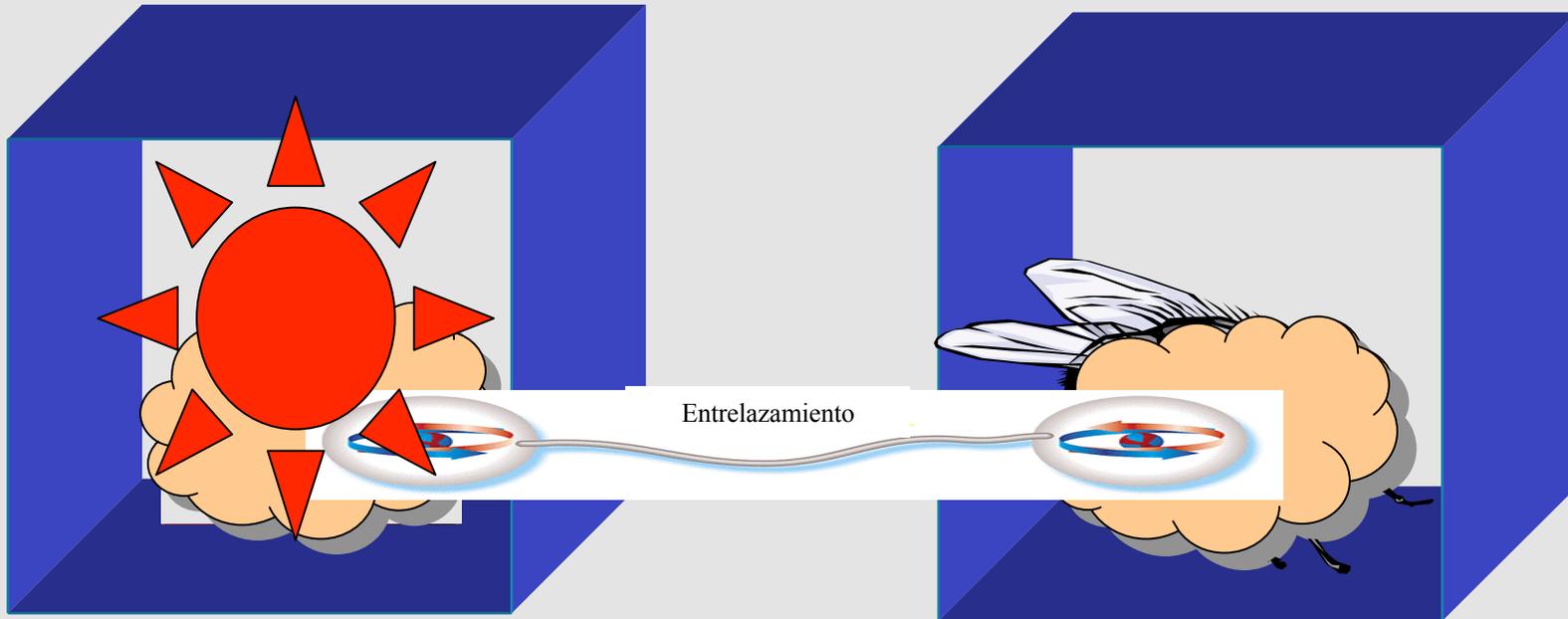
NUEVAS APLICACIONES SIGLO XXI:  
COMPUTADORAS CUANTICAS,  
TELEPORTACION, ...

# CIENCIA Y TECNOLOGÍA CUÁNTICAS EN EL SIGLO XXI: IMPLICANCIAS, GENERACIÓN, MANIPULACIÓN Y CONTROL DEL ENTRELAZAMIENTO

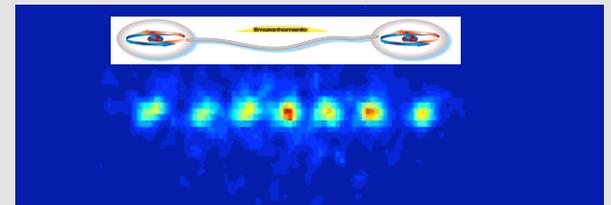
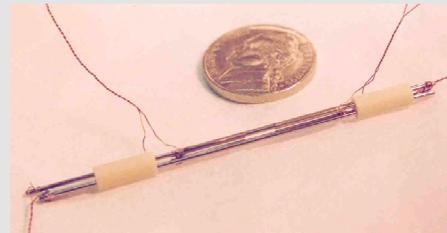


HOY (2005)  
CRIPTOGRAFÍA CUÁNTICA  
COMPUTACIÓN CUÁNTICA  
TELEPORTACIÓN

# TELEPORTACIÓN (Star Trek atómica)?

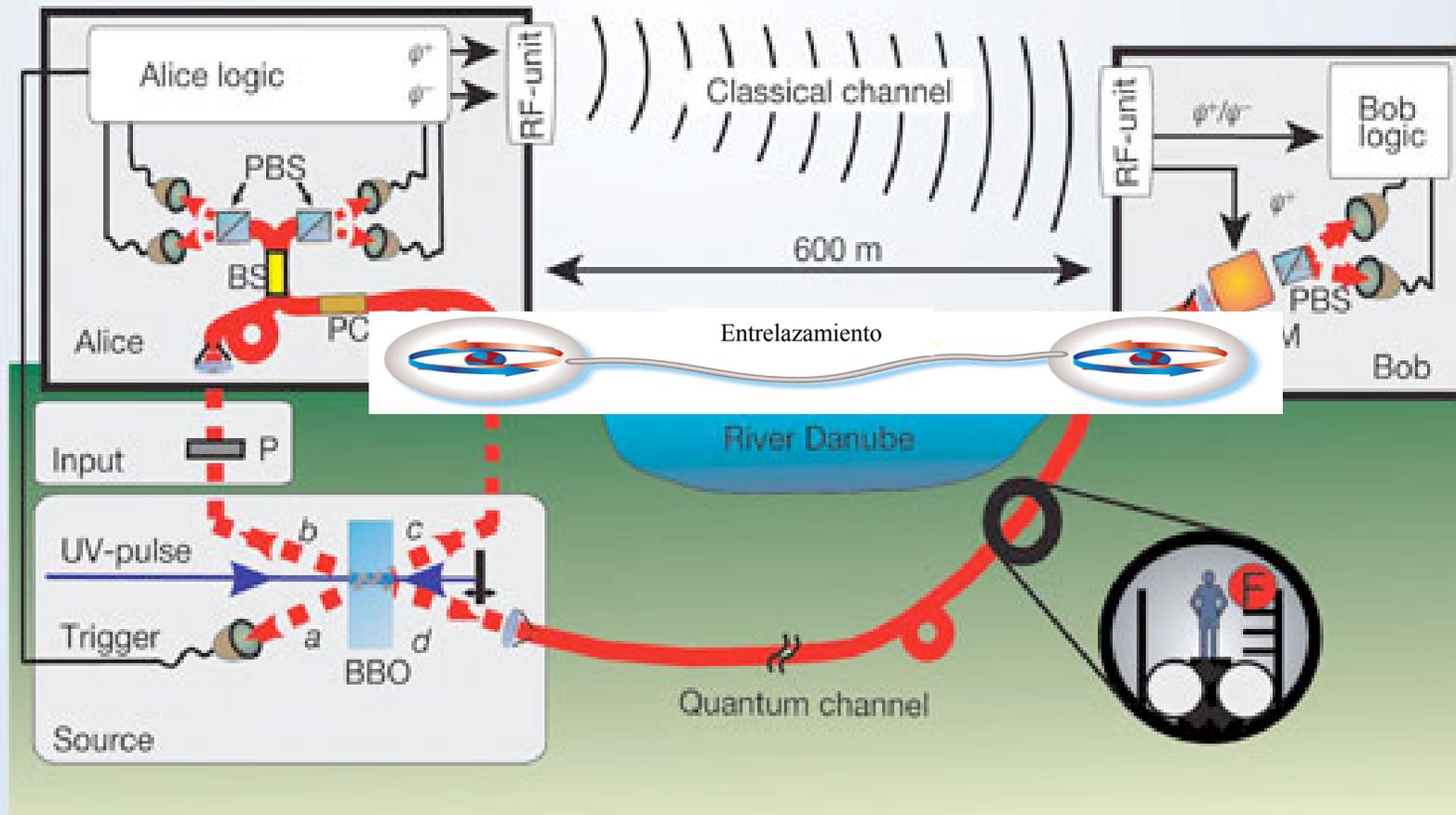


**Teleportación en una trampa de iones: Wineland et al; Blatt et al (Nature, 2004)**



# IMPLEMENTACIÓN ÓPTICA

Zeilinger et al, Nature **430**, 849 (2004)



# CONCLUSIONES

Planck  
(1900)  
Einstein  
(1905)



(2005) La era  
de la  
manipulación  
atómica

- ✓ A 100 AÑOS DE SU NACIMIENTO, LA MECÁNICA CUÁNTICA TODAVÍA NOS SORPRENDE
- ✓ LOS EXPERIMENTOS MAS RECIENTES PONEN EN EVIDENCIA SUS ASPECTOS MAS ANTI-INTUITIVOS (Y MAS INCOMPENSIBLES!!)
- ✓ EL SIGLO XXI SERÁ UN SIGLO CON NUEVAS TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS (COMPUTACIÓN, COMUNICACIONES, NANO-TECNOLOGÍAS, ETC)