

# De los experimentos imaginarios a la información cuántica.

Luis A. Orozco

Simposio: Ciencia Creatividad e Innovación Yucatán, Una travesía de miles de millones de años. Campus de Ciencias Exactas e Ingeniería de la UADY. SIIES, El Colegio Nacional, Parque Científico y Tecnológico

de Yucatán, UNAM.

Marzo 2019.

www.jqi.umd.edu



### Agradecimiento:

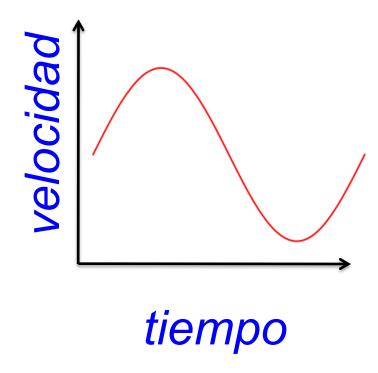
Por la invitación a: Jaime Urrutia Fucugauchi

Por las discusiones sobre mecánica cuántica a:
Pablo Barberis Blostein
Howard J. Carmichael
William D. Phillips
Pablo A. Solano

Apoyo económico: National Science Foundation, Estados Unidos

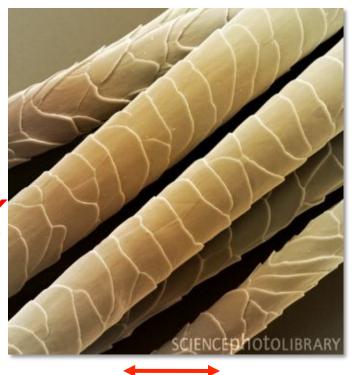
### Mundo Clásico





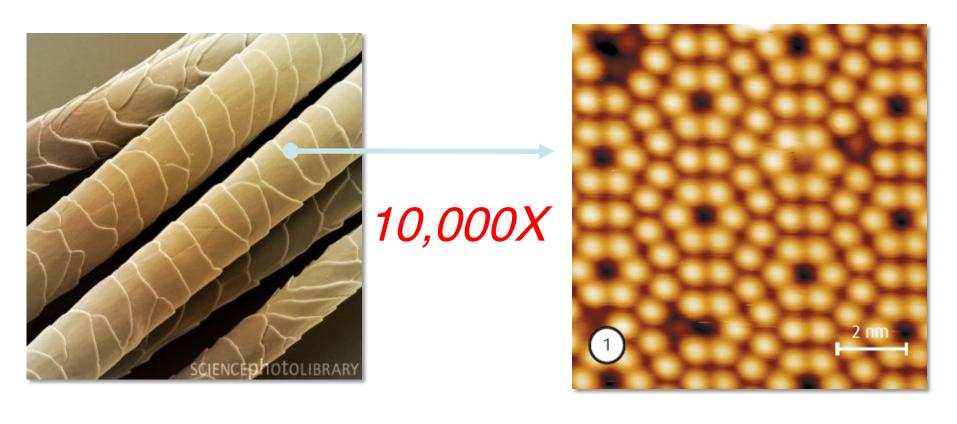


10,000X



50 micrómetros

### Mundo Cuántico

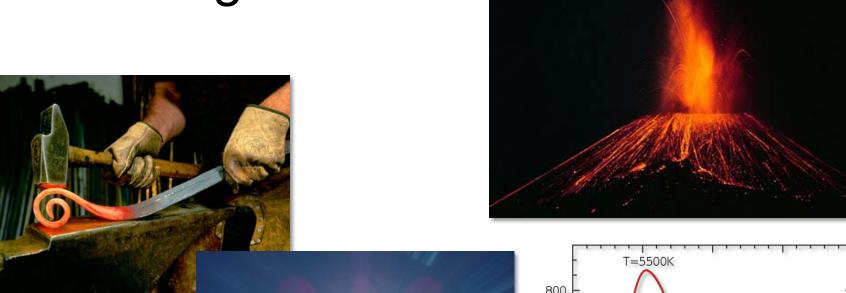


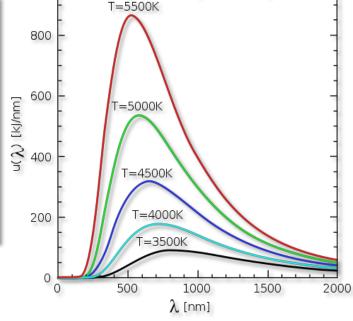
El mundo se vuelve discreto ... viene en paquetes, cuanta

### Todo esta hecho de partes

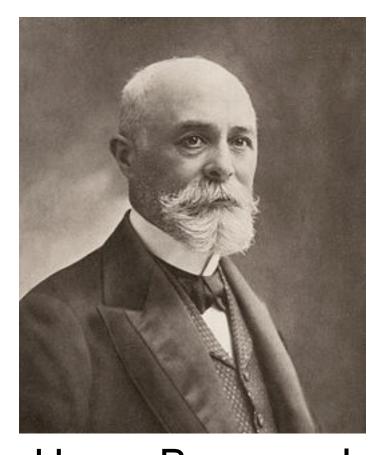
No hay cargas mas pequeñas que un electrón

# Todo empezó en el siglo 19



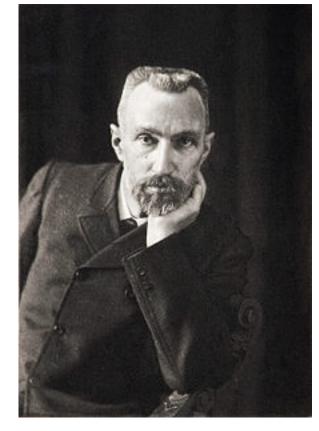


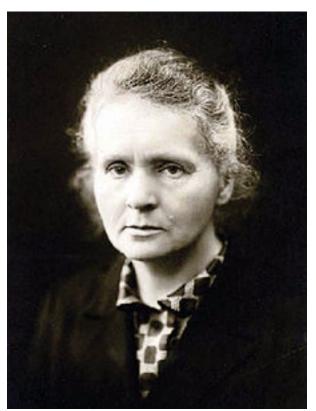
### Radioactividad: ¡Algo probabilistico en la naturaleza!



Henry Becquerel 27 de Febrero del 1896

Pierre Curie

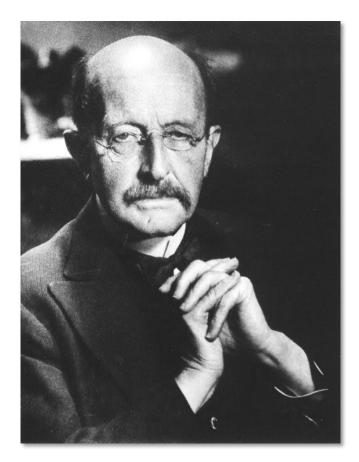




Marie Curie

# El nacimiento de la mecánica cuántica "fue un acto de desesperación ..."

#### 7 Octubre del 1900

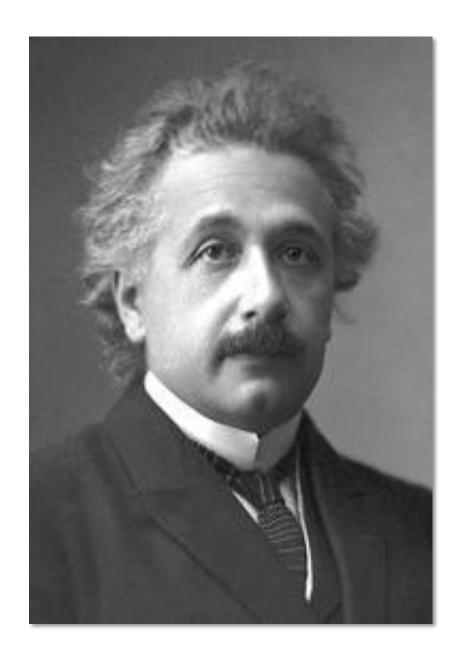


$$\rho(v,T) = \frac{8\pi h v^3}{c^3} \frac{1}{e^{hv/kT} - 1}$$

Café y Pastel con los Rubens

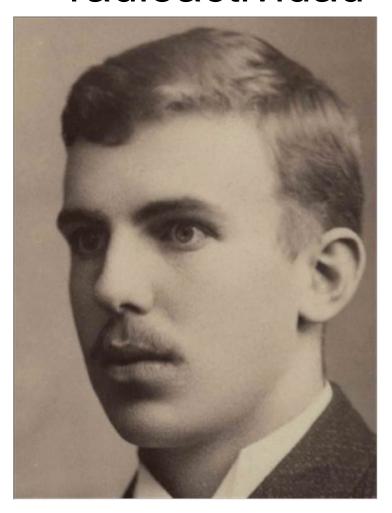
La energía también está hecha de partes y hay una, la más pequeña, el cuánto de energía

## 1905 el "fotón", es el cuanto de luz



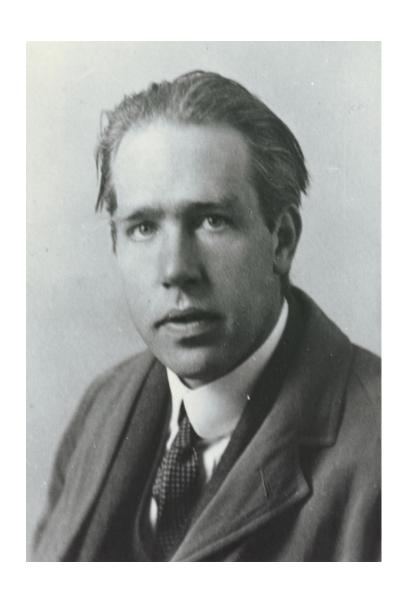
Albert Einstein

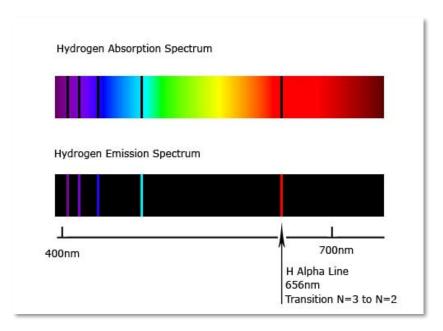
# Rutherford descubre el núcleo átomo en 1911 como parte de sus investigaciones en radioactividad

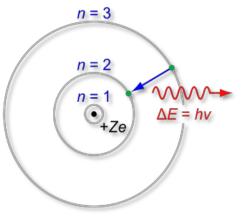


**Ernest Rutherford** 

### 1913 Bohr visita a Rutherford



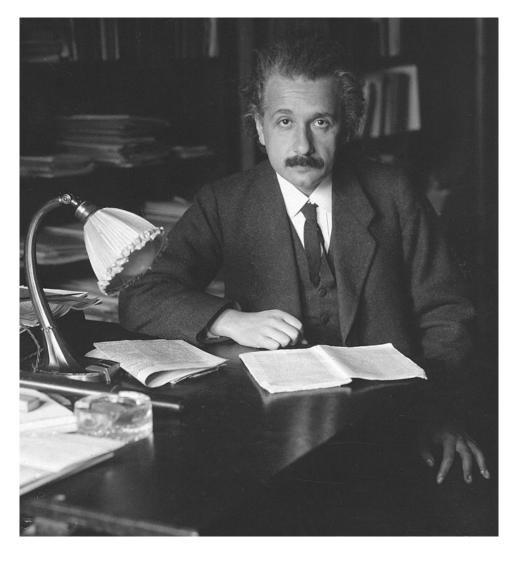




Publica su teoría del espectro del Hidrógeno

Niels Bohr

1916-18 emisión espontánea de luz por un átomo, como radioactividad (probabilistica) para obtener el mismo resultado de Planck.

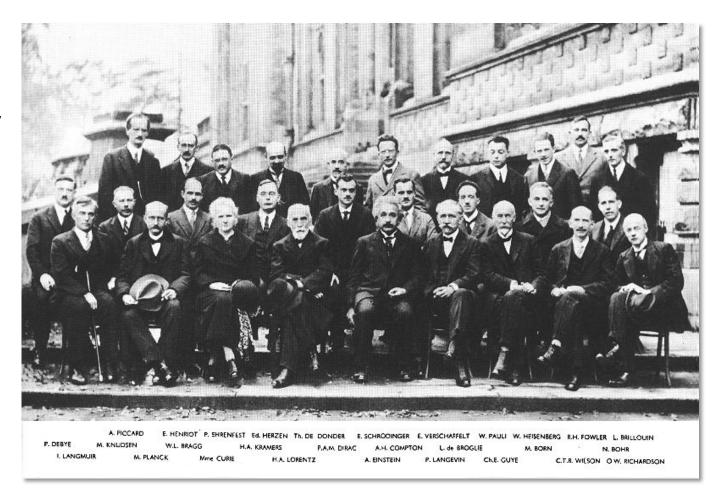


Albert Einstein

## 1920-1933 – Desarrollo de la Mecánica

Cuántica.

- Heisenberg
- Schrodinger
- Dirac
- De Broglie
- Pauli
- Born
- Fermi



# Teoría del decaimiento beta de la radioactividad, como si fuese emisión espontanea del decaimiento de un átomo excitado.

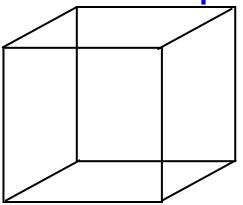


Enrico Fermi

# Pero algo no cuadraba

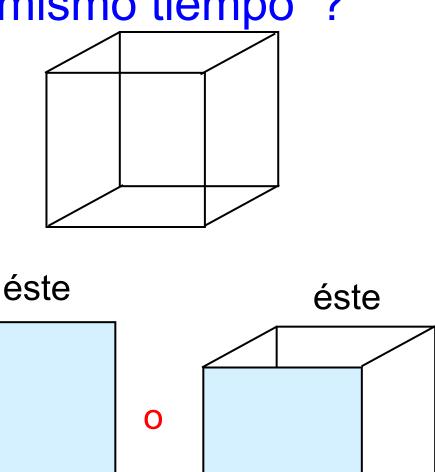


# ¿Cómo puede algo estar "en dos lugares al mismo tiempo"?

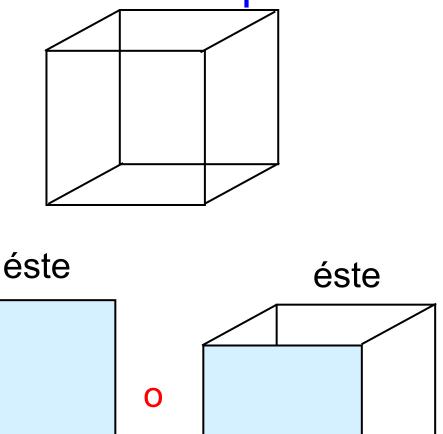


Este "cubo" podría ser

¿Cómo puede algo estar "en dos lugares al mismo tiempo"?

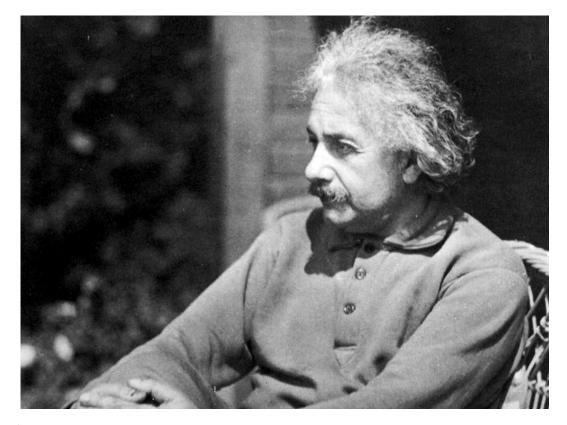


# ¿Cómo puede algo estar "en dos lugares al mismo tiempo"?



Pero no existe una analogía clásica de la superposición.

Fred Alan Wolf, "Taking the Quantum Leap" (Harper & Row, San Francisco, 1981)



Einstein no estaba de acuerdo con las consecuancias de la mecánica cuántica.

MAY 15, 1935

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 4.7

#### Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?

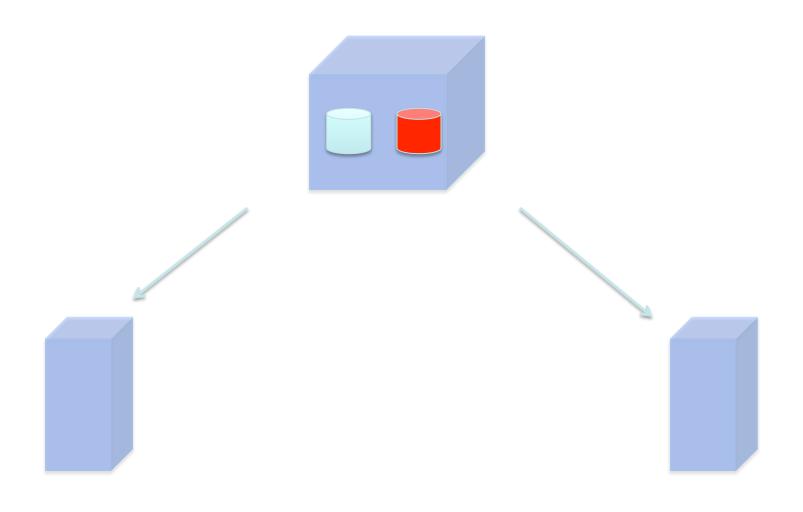
A. EINSTEIN, B. PODOLSKY AND N. ROSEN, Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey (Received March 25, 1935)

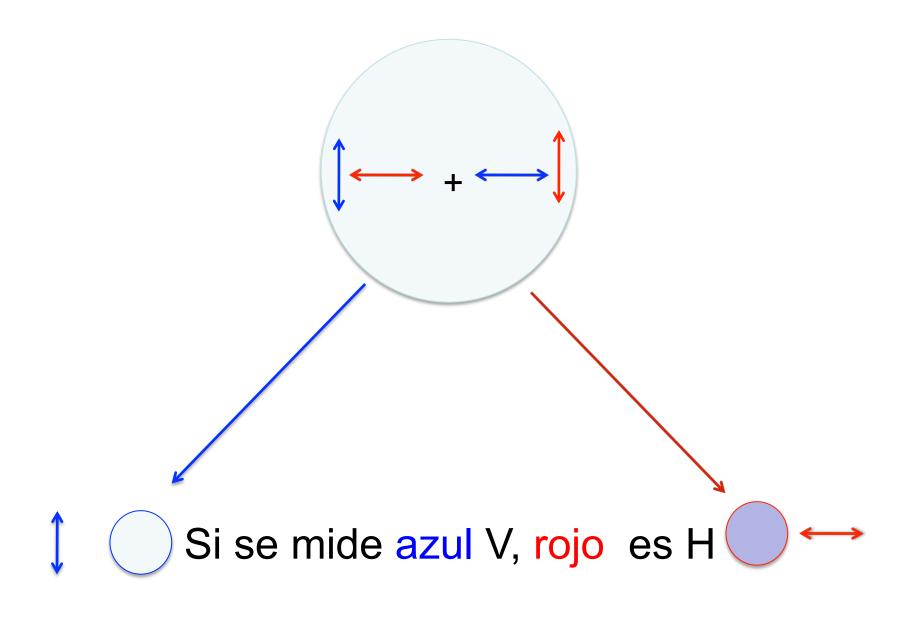


Schroedinger reaccionó a las preguntas de Einstein con el término enredamiento o entrelazamiento (entanglement en inglés).

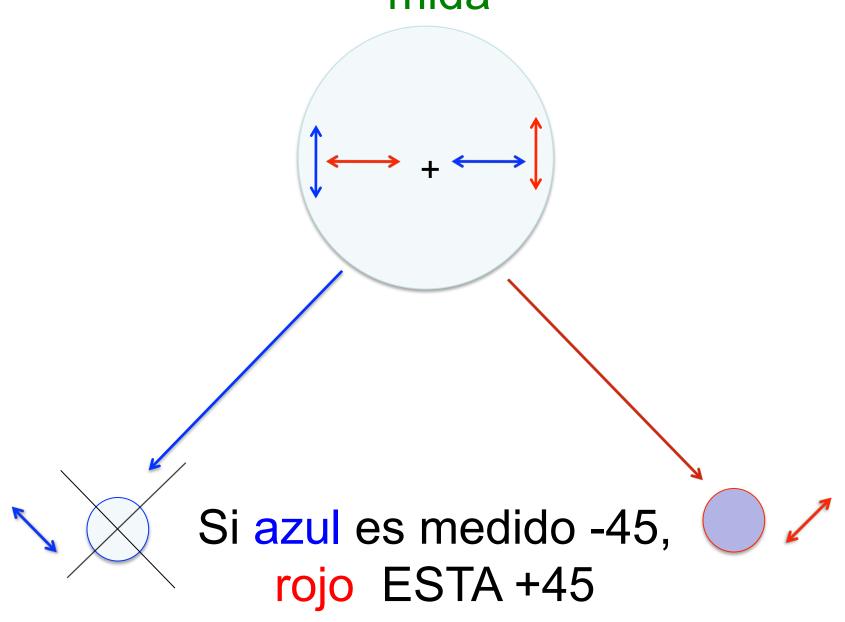
Aquí es donde la mecánica cuántica se pone rara.

### Correlaciones





### ¡Resultados aleatorios siempre correlacionados! Independientemente de la dirección donde se mida



### Mecánica Cuántica

Es el lenguaje de la naturaleza microscópica.

Predicciones comprobadas a más de doce dígitos.

No está equivocada ni incompleta (salvo no sabemos como escribir la teoría general de la relatividad con mecánica cuántica)

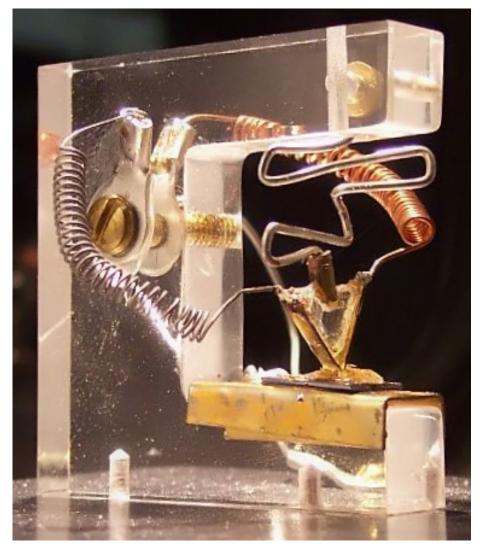
### Resumen de la mecánica cuántica:

- Descrita por una función de onda
- Describe probabilidades.
- Pricipio de incertidumbre dos propiedades (la posición and velocidad) no se pueden conocer simultaneamente con precisión arbitraria, siempre hay ruido intrínseco.

### Resumen de la mecánica cuántica:

- Superposición los sistémas pueden estar en dos (o más) estados al mismo tiempo.
- Dualidad onda-partícula
- El resultado de una medición cambia el conocimiento del estado de un sistéma (función de onda).
- La naturaleza responde a las preguntas que le hacemos.

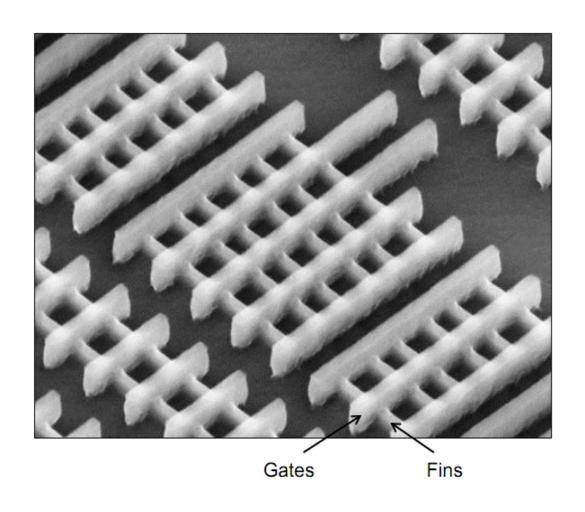
### La primera revolución cuántica



El primer transistor

# Nos ha dado un entendimiento cuantitativo extraordinario de la química y la ciencia de materiales

22 nm Tri-Gate Transistor



### Inicio de la era de la información



### La Mecánica Cuántica hizo posible

- El transistor (1948)
- La microelectrónica
- El láser (1960)
- Las memorias

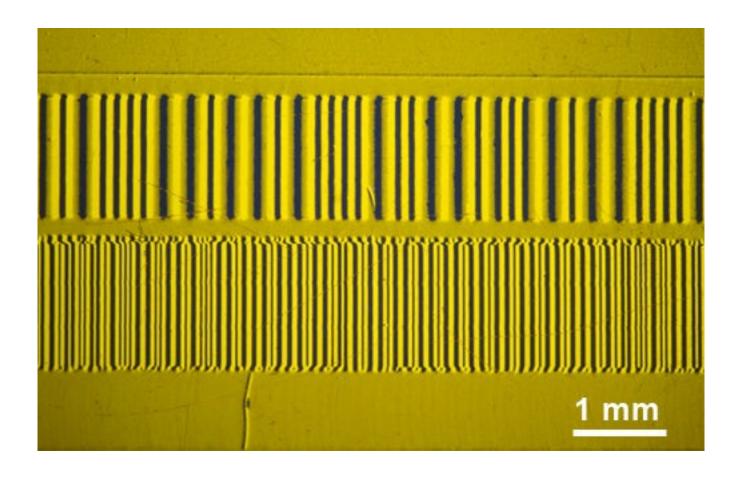






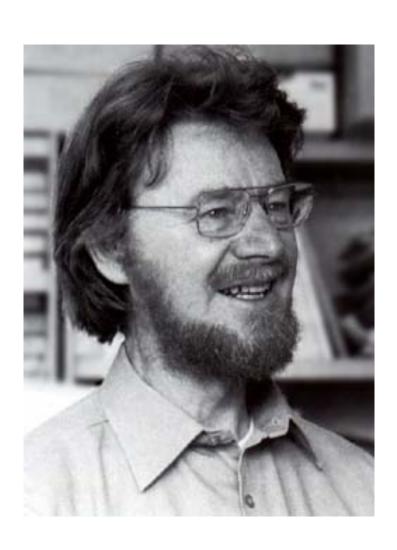
# Todo está hecho de partes, aún la información

## Información en 0 y 1



Señales telegráfica

¿Es el enredamiento un recurso?



#### 1964 John Bell:

- ¿Es medible el enredamiento?
- -Si
- Sus desigualdades han sido probadas numerosas veces.

El teorema de Bell de 1964 implica que tenemos que renunciar a algo:

La realidad objetiva

O

–La localidad (causalidad)

La mecánica cuántica es una lenguaje para describir nuestro conocimiento (incompleto) de la naturaleza, no de la naturaleza en si misma.

Es la mejor herramienta (lenguaje) que tenemos para explicar (predecir) las detecciones en el laboratorio Pongamos la rareza de la mecánica cuántica a trabajar... ...

Una segunda revolución cuántica...

### Schrödinger (1952):

Nunca experimentamos con un solo electrón o átomo o molécula. En experimentos imaginarios a veces se asume que lo que hacemos, lo que invariablemente implica consecuencias ridículas..."

### ¡Hoy en día hemos entrado a ese mundo!

#### Necesitamos:

- Control preciso y aislamiento del medio ambiente.
- Sistémas microscópicos simples por ejemplo una o un grupo pequeño de partículas.

La naturaleza responde a las preguntas que le hacemos al medirla. En el laboratorio solo hay secuencias de detecciones (clicks), la mecánica cuantica los explica.

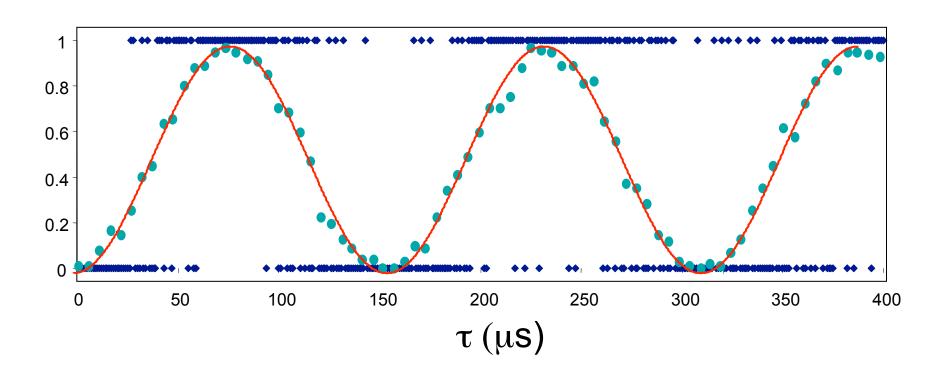


Ión atrapado de Yb (JQI C. Monroe)

### Superposición (Clicks) (ion Ytterbio laboratorio de C. Monroe JQI) :

$$\mathsf{Prob}(\uparrow|\downarrow)$$

$$|\Psi\rangle = a_0 |\uparrow\rangle + a_1 |\downarrow\rangle$$



$$\frac{|\uparrow\rangle = |1,0\rangle}{\downarrow \downarrow \rangle = |0,0\rangle}$$







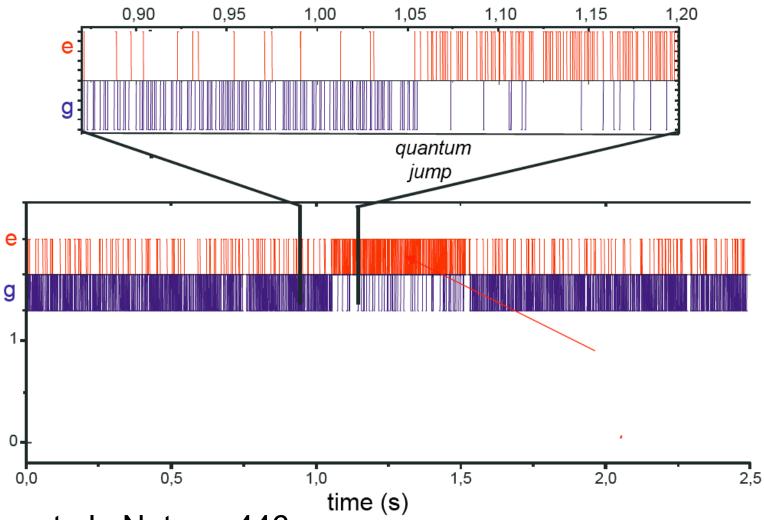
Jean Dalibard



**Howard Carmichael** 

Formulación de la mecánica cuántica en base a saltos cuánticos (Zoller, Dalibard, Carmichael).

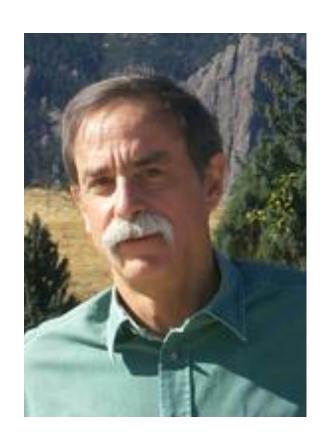
### Nacimiento, vida y muerte de un fotón



S. Gleyzes et al., Nature, 446, 297 (2007)

Serge Haroche, Nobel lecture

### Premio nobel de Control con fotones (Haroche) Control con iones (Wineland)



**David Wineland** 



Serge Haroche

#### Información Cuántica



Bennett (1982)



Landauer (1961)



Benioff (1982)



Simulaciones cuánticas

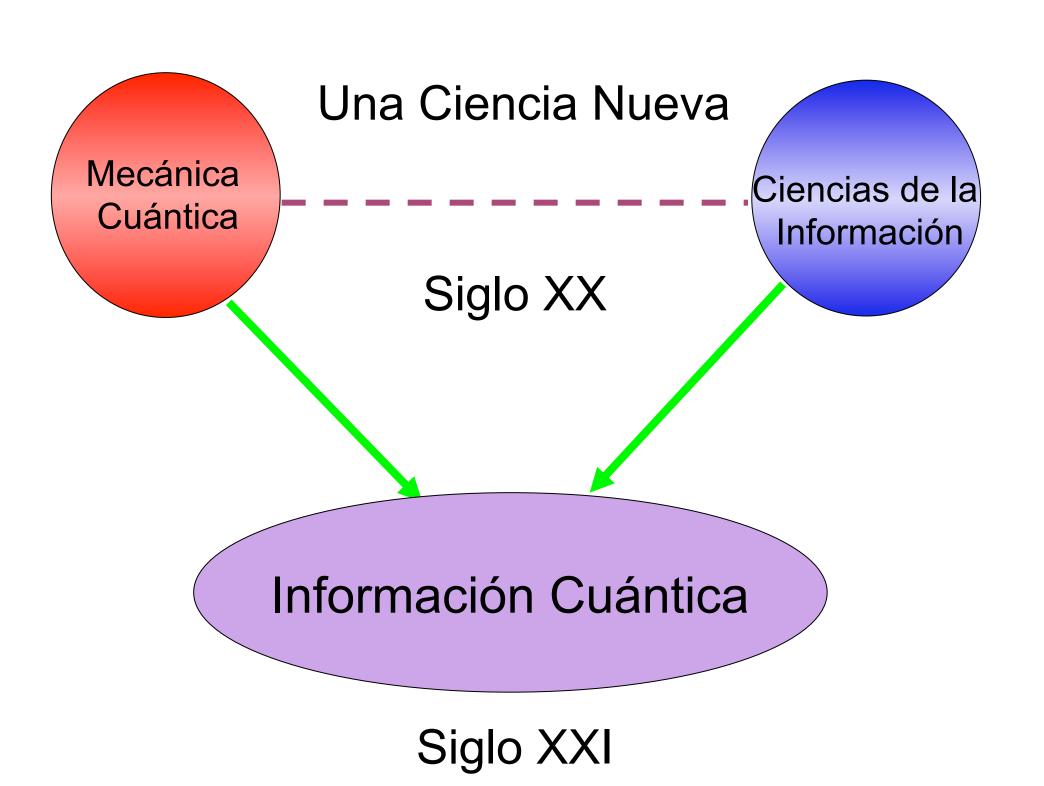


Feynman (1982)

Modelo de un circuito cuántico

Deutsch (1985)



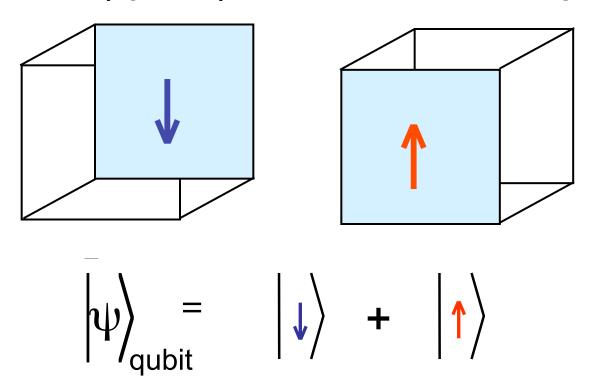


#### Información cuántica

#### Bits clásicos vs Bits cuánticos

Bit clásico : 0 o 1; ↓ o ↑

Bit cuántico (qubit) está en una superposición:



## Clásico: un registro de 3-bit puede guardar un número del 0 al 7

1 0 1

Cuántico: un registro de 3 qubits enlazados puede guardar números en superposición:

```
a|000\rangle + b|001\rangle + c|010\rangle + d|011\rangle + e|100\rangle + f|101\rangle + g|110\rangle + h|111\rangle 2^{N} \text{ (todos los numeros posibles con ) N-bits}
```

#### Es fácil multiplicar $389 \times 431 = 167 659$

Pero

Es dificil factorizar 167 659 = ?

#### CRIPTOGRAFIA

Prácticamente todos los sistemas criptográficos de clave pública confían en la dificultad de factorizar números grandes ...

#### Factorizar es difícil

 2 años 1000 computadoras

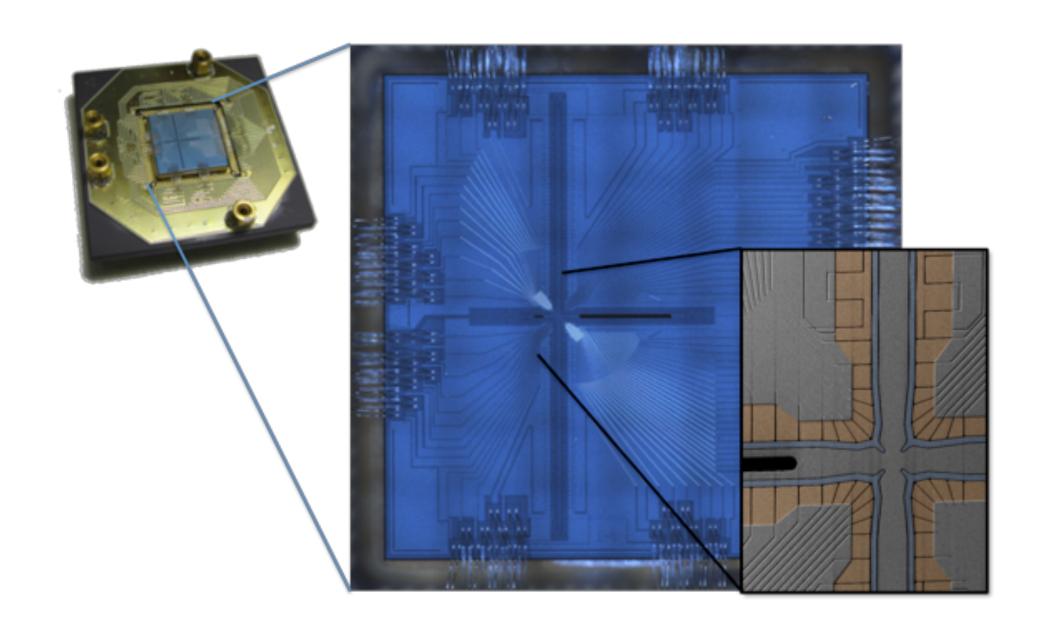
4 años 1,000,000,000,000 computadoras

Crecimiento exponencial de recursos

Peter Shor encontró un algoritmo para factorizar números en una computadora cuántica (1994) con crecimiento polinomial, no exponencial en el número de dígitos



#### Hacia la información cuántica

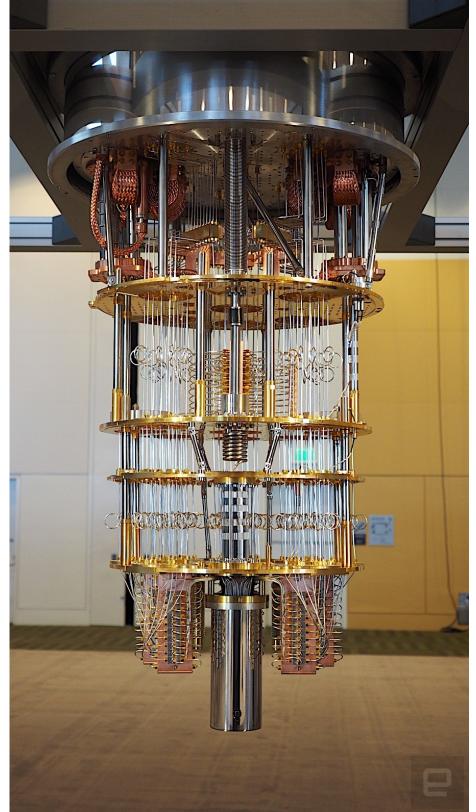


Georgia Tech Research Institute (GTRI)

## IBM Quantum Experience (QX)

01 2018

50 Qubit

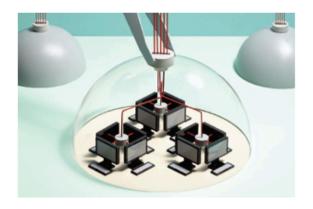


Gadget



#### Resources

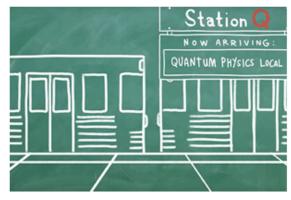
#### Quantum Computing



Quantum Connections and the Modular Quantum Computer

Scientific American

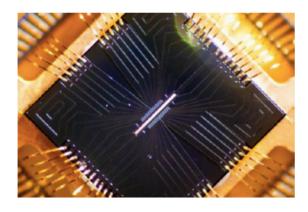
May 16, 2016



**Quantum Computing 101** 

Microsoft

Jul 24, 2014



Realizing the Potential of Quantum Information Science and Advancing High-Performance Computing

Interagency Working Group

Jul 19, 2017

ION Q: ...Nuestro exclusivo enfoque de iones atrapados (se) combina ...para crear una computadora cuántica que sea tan escalable como potente y que admita una amplia gama de aplicaciones en una variedad de industrias.

# La segunda revolución cuántica está llegando







#### **MUCHAS GRACIAS**