

De los experimentos imaginarios a la información cuántica.

Departamento de Física,
CUCEI
Universidad de Guadalajara
Luis A. Orozco
Febrero 2020.
www.jqi.umd.edu



Esta presentación está en:



<http://www.physics.umd.edu/rgroups/amo/orozco/results/2019/Results19.htm>

Agradecimiento:

Por las discusiones sobre mecánica cuántica a:

Jorge A. Ayala

Pablo Barberis Blostein

Howard J. Carmichael

William D. Phillips

Pablo A. Solano

Por la invitación a:

Alonso Barba

Federico A. Velázquez Muñoz

Apoyo económico:

National Science Foundation, Estados Unidos

Todo está hecho de partes



50 centímetros



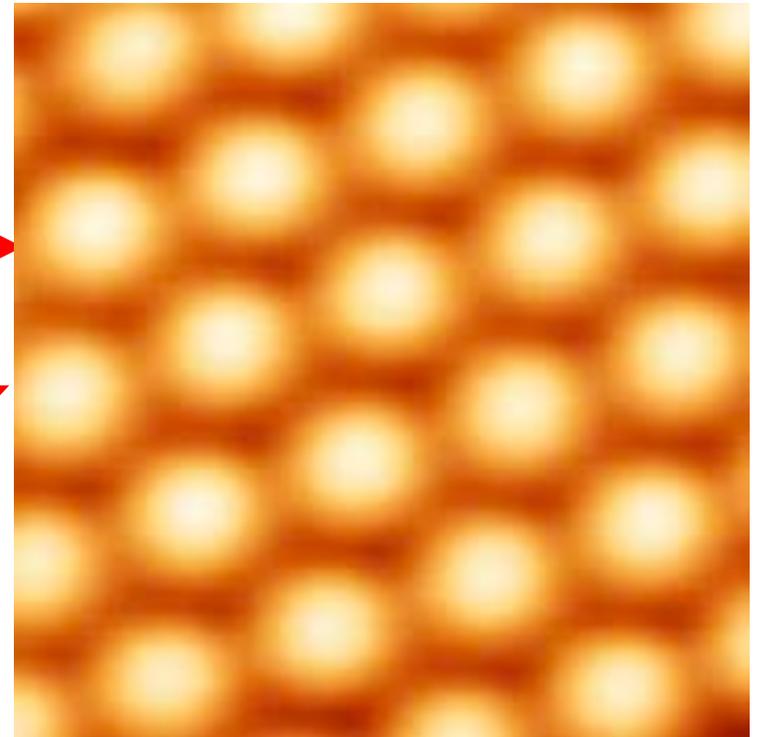
10,000X



50 micrómetros



50,000X



50 micrómetros



1 nanómetros

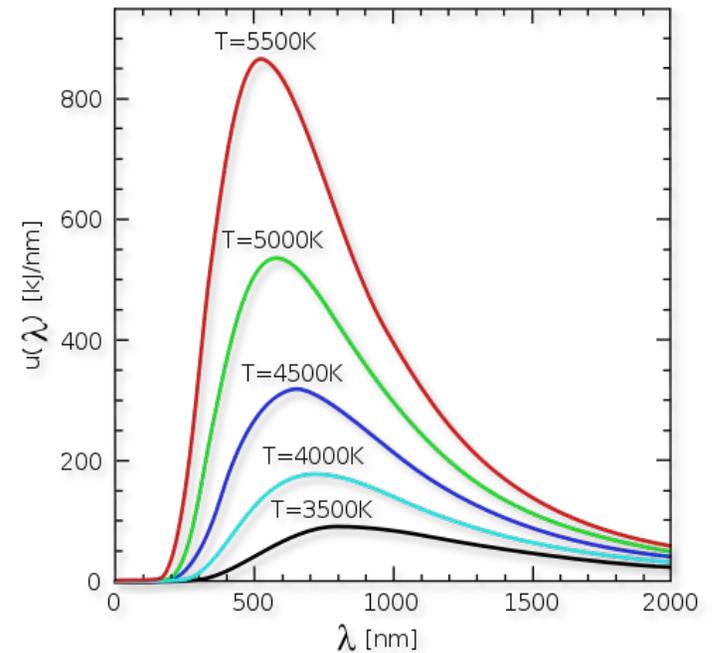
La naturaleza está discretizada

Todo esta hecho de partes

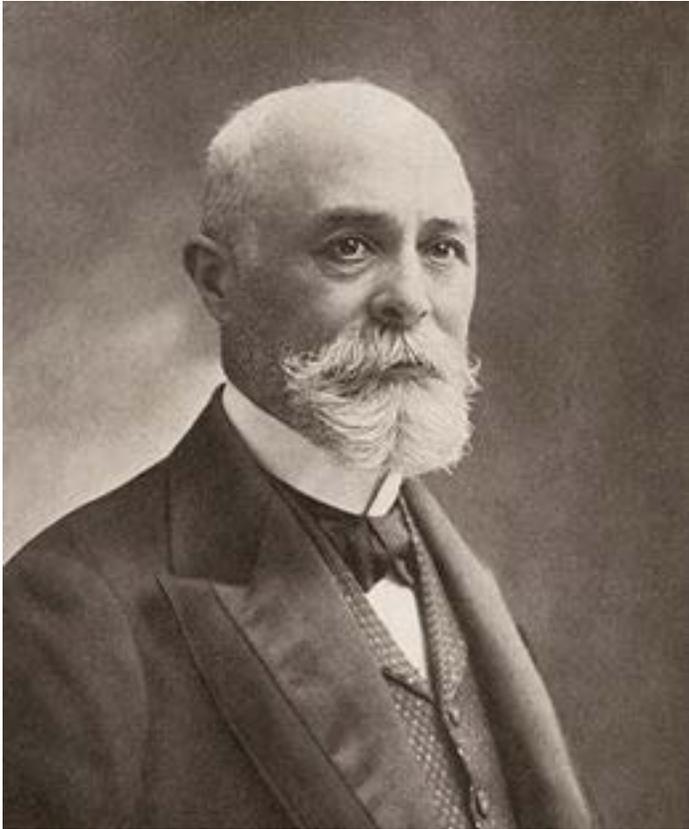
*No hay cargas mas pequeñas que un
electrón*

Todo empezó en el siglo 19

Radiación de cuerpo negro



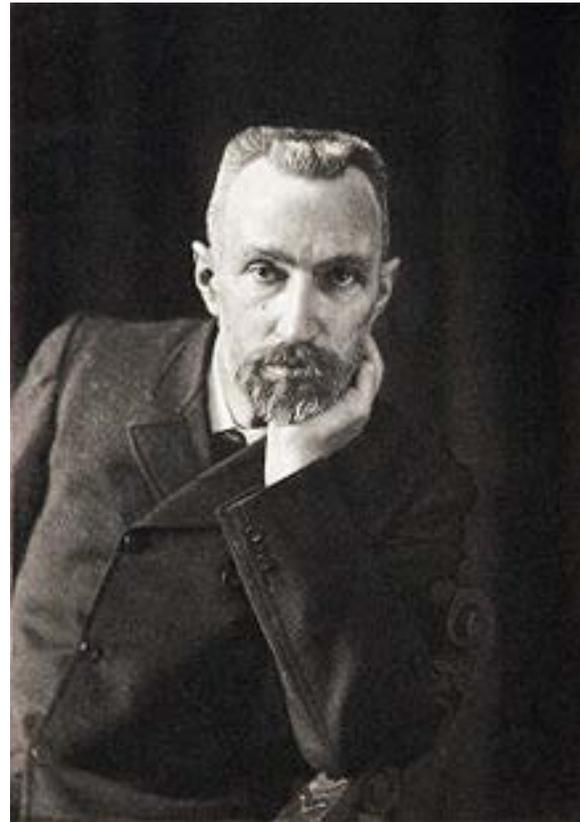
Radioactividad: ¡Algo probabilístico en la naturaleza!



Henry Becquerel

27 de Febrero del 1896

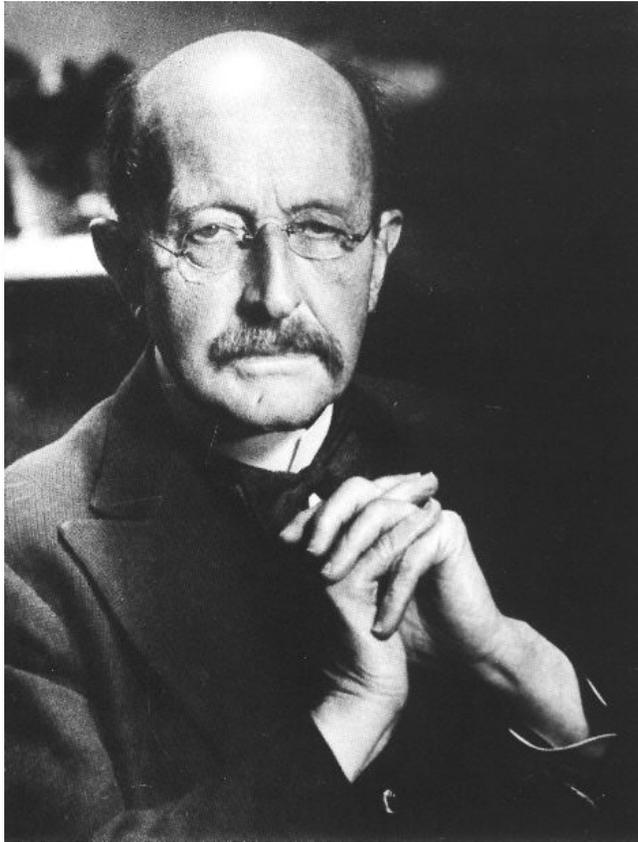
Pierre Curie



Marie Curie

El nacimiento de la mecánica cuántica

7 Octubre del 1900



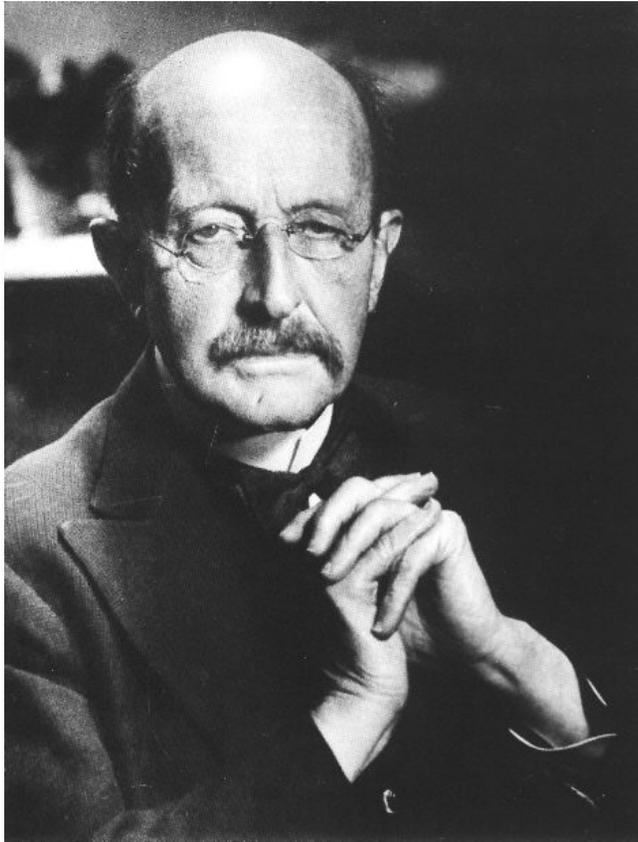
Café y Pastel con los Rubens

Max Planck

El nacimiento de la mecánica cuántica

“fue un acto de desesperación ...”

7 Octubre del 1900



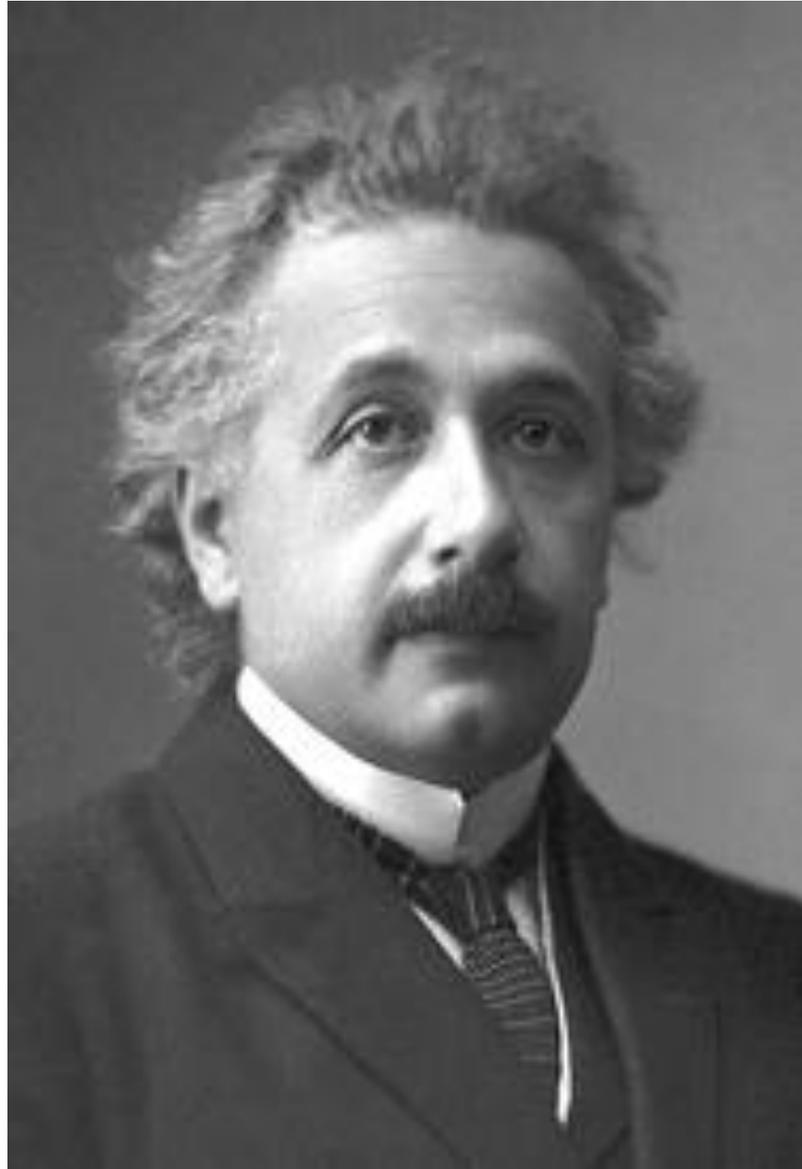
Max Planck

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

Café y Pastel con los Rubens

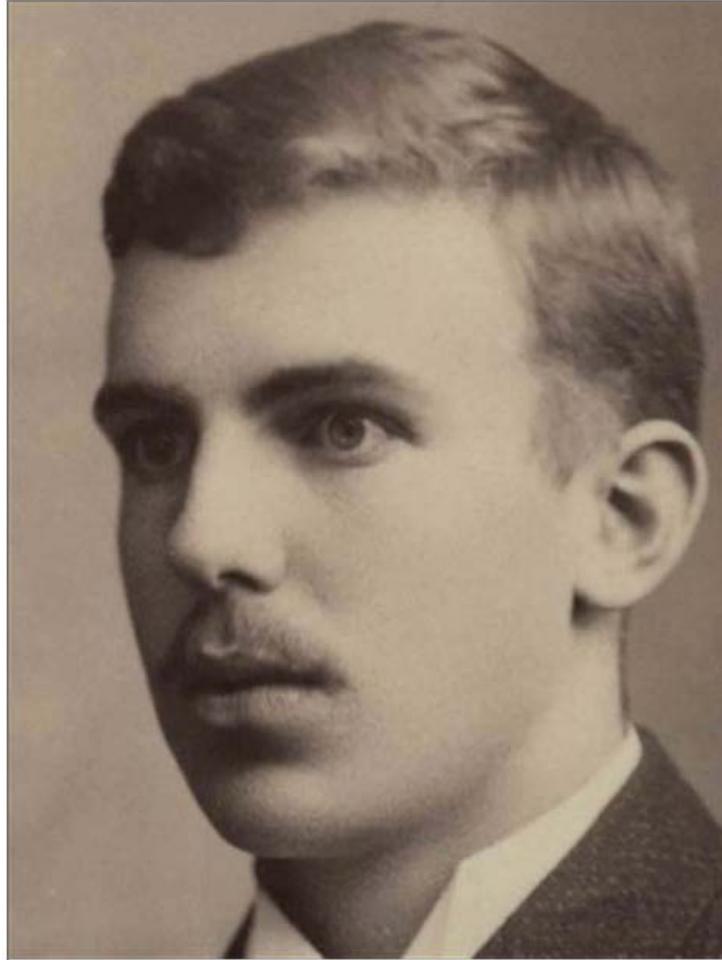
La energía también está hecha de partes y hay una, la más pequeña, el cuanto de energía

1905 el “fotón”, es el cuanto de luz



Albert Einstein

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

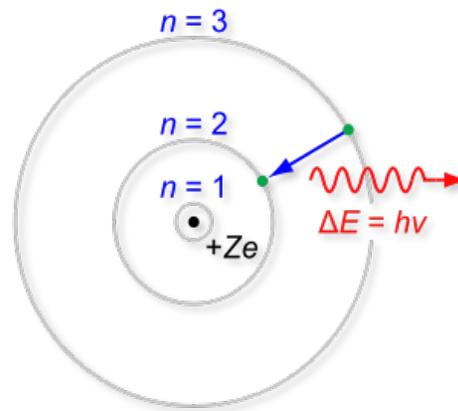
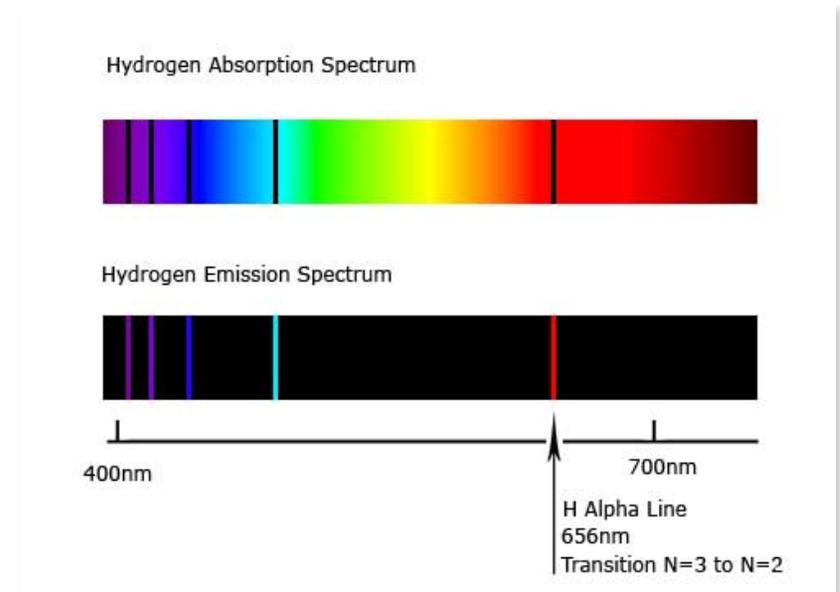


Ernest Rutherford

1913 Bohr visita a Rutherford

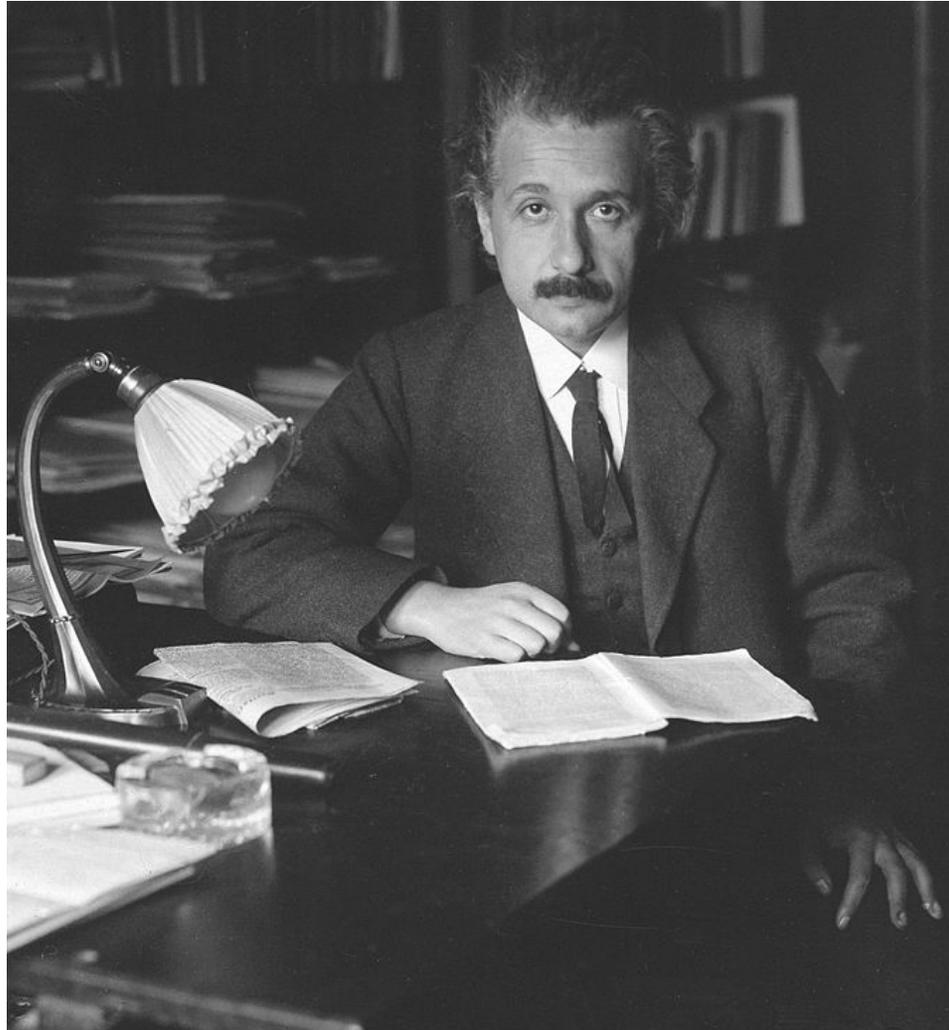


Niels Bohr



Publica su teoría
del espectro del
Hidrógeno

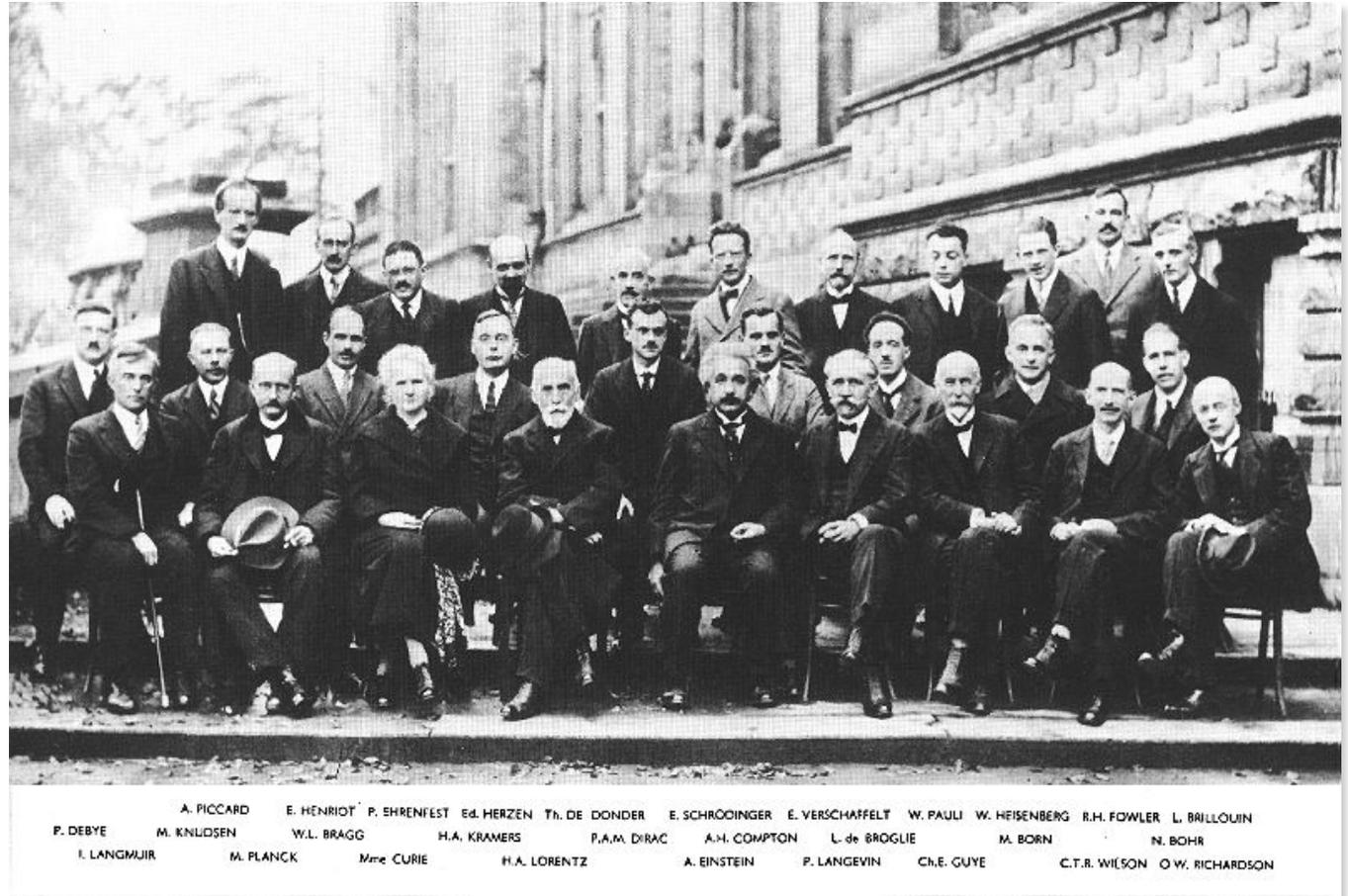
1916-18 emisión espontánea de luz por un átomo, como radioactividad (probabilística) para obtener el mismo resultado de Planck.



Albert Einstein

1920-1933 – Desarrollo de la Mecánica Cuántica.

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



Teoría del decaimiento beta de la radioactividad,
lo explica como si fuese emisión espontánea del
decaimiento de un átomo excitado.



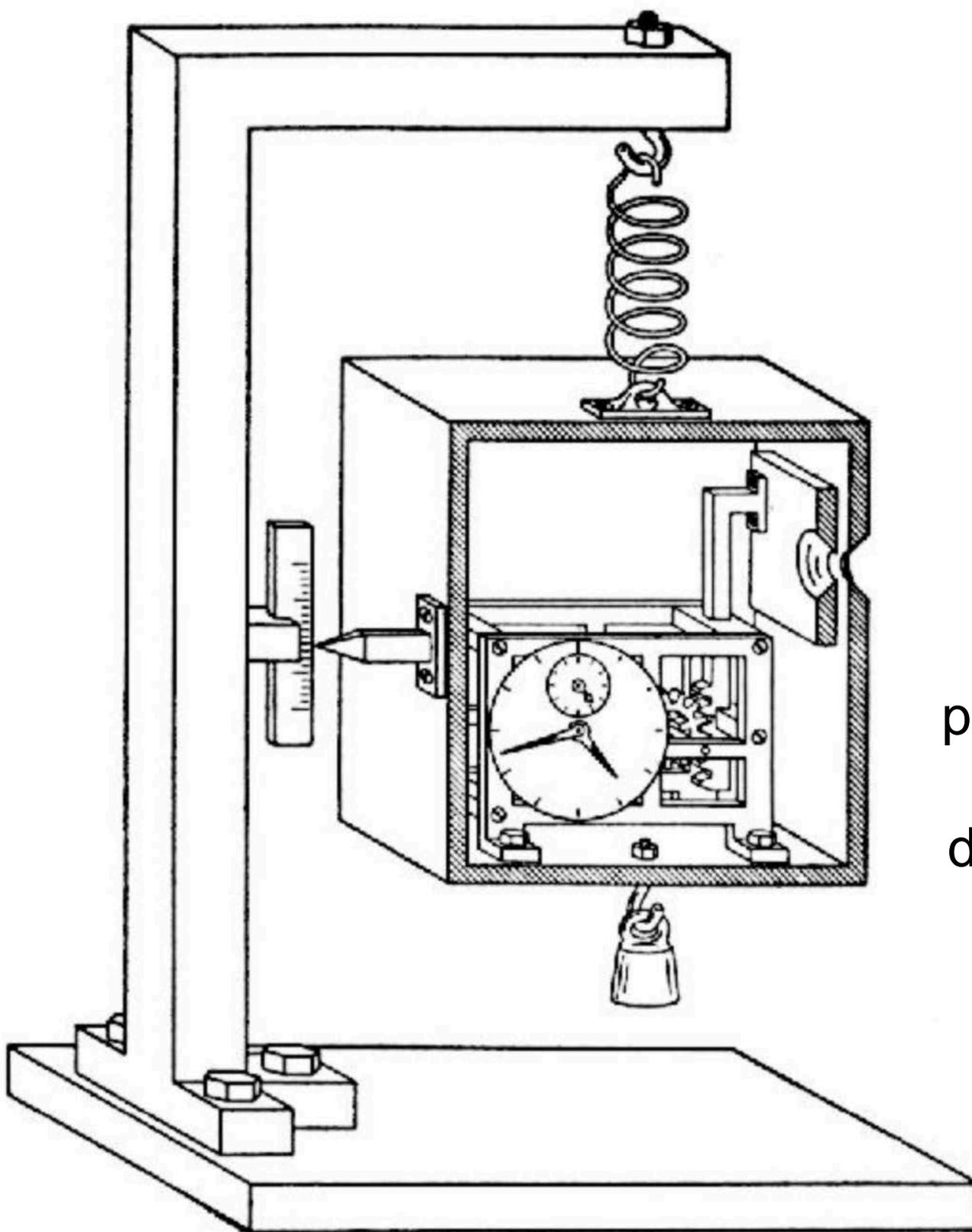
Enrico Fermi

Pero algo no cuadraba



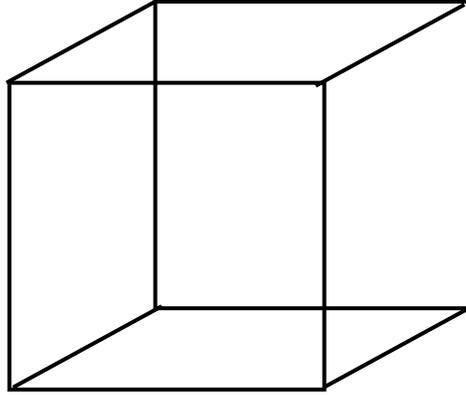
Algo huele mal

En los experimentos
imaginarios todo
funciona bien



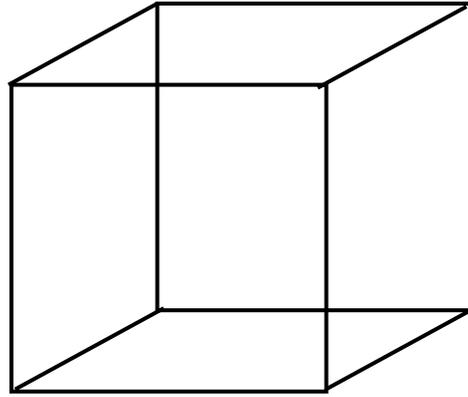
Dibujo de un experimento imaginario que requirere medir posición y tiempo de Niels Bohr para discutir con Einstein

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

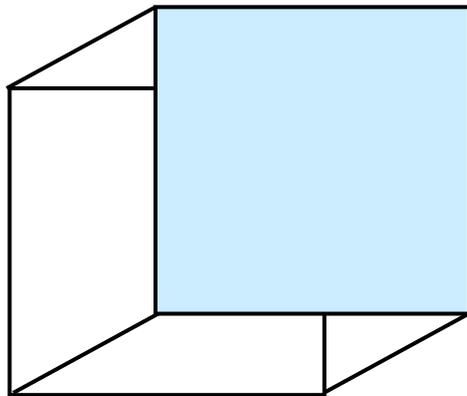


Este “cubo” podría ser

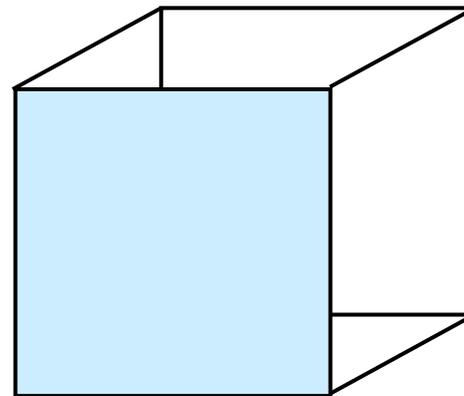
¿Cómo puede algo estar “en dos lugares al mismo tiempo”?



éste

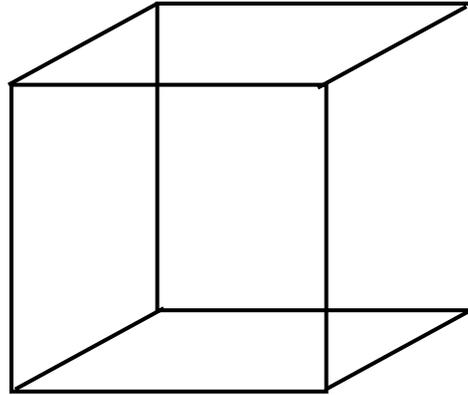


éste

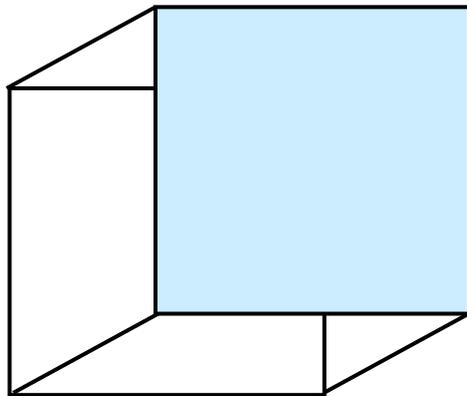


o

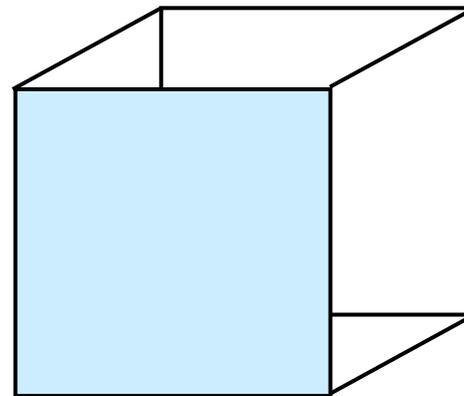
¿Cómo puede algo estar “en dos lugares al mismo tiempo”?



éste

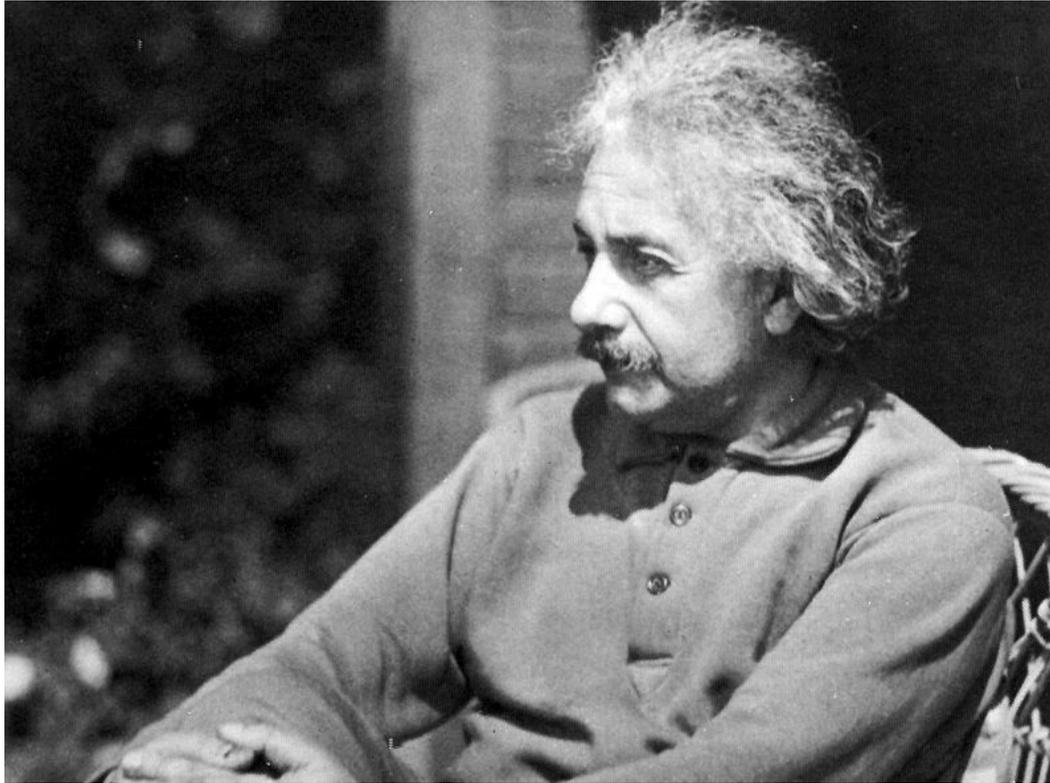


éste



y

Pero no existe una analogía clásica de la superposición.



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

MAY 15, 1935

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 47

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

A. EINSTEIN, B. PODOLSKY AND N. ROSEN, *Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey*

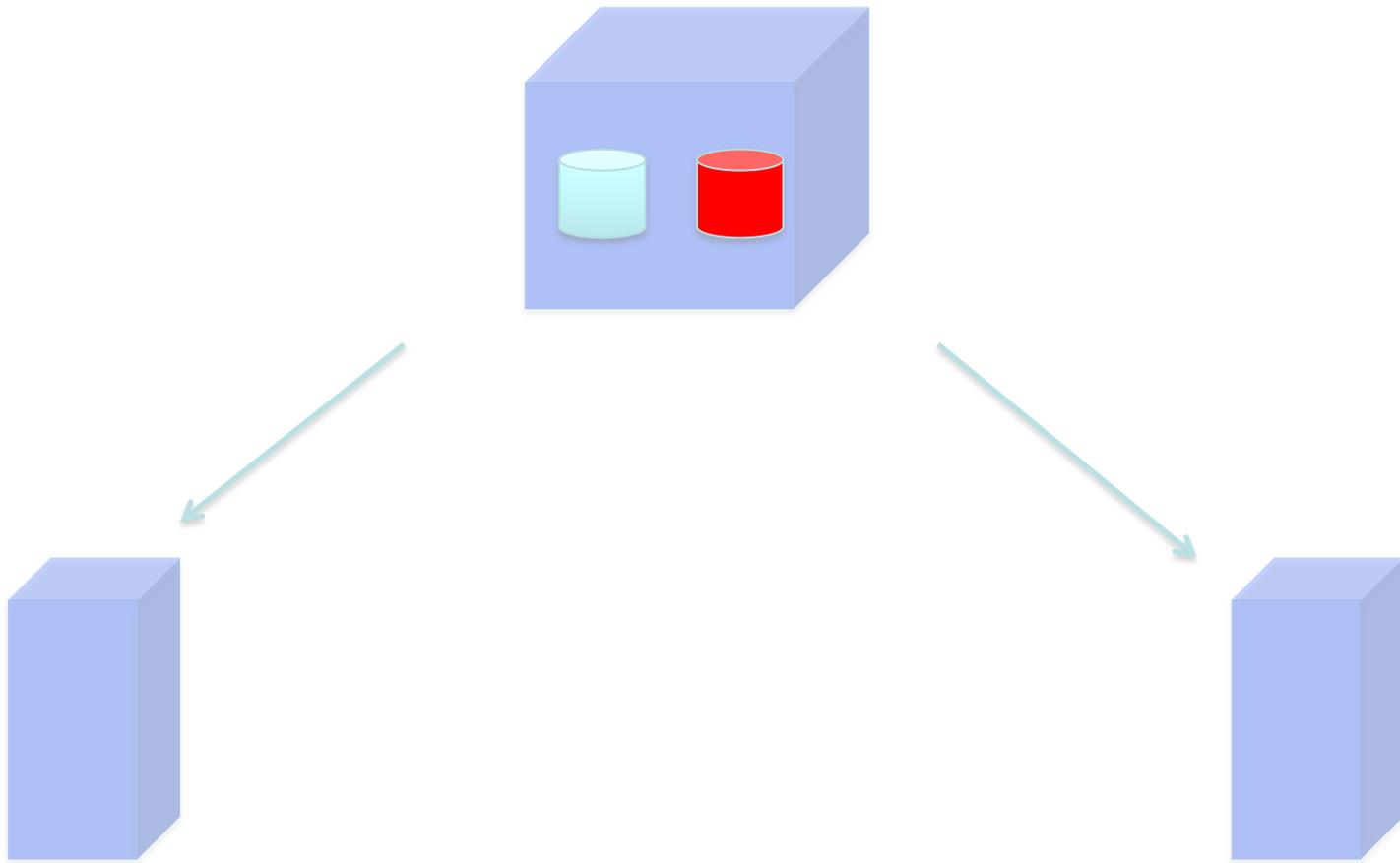
(Received March 25, 1935)



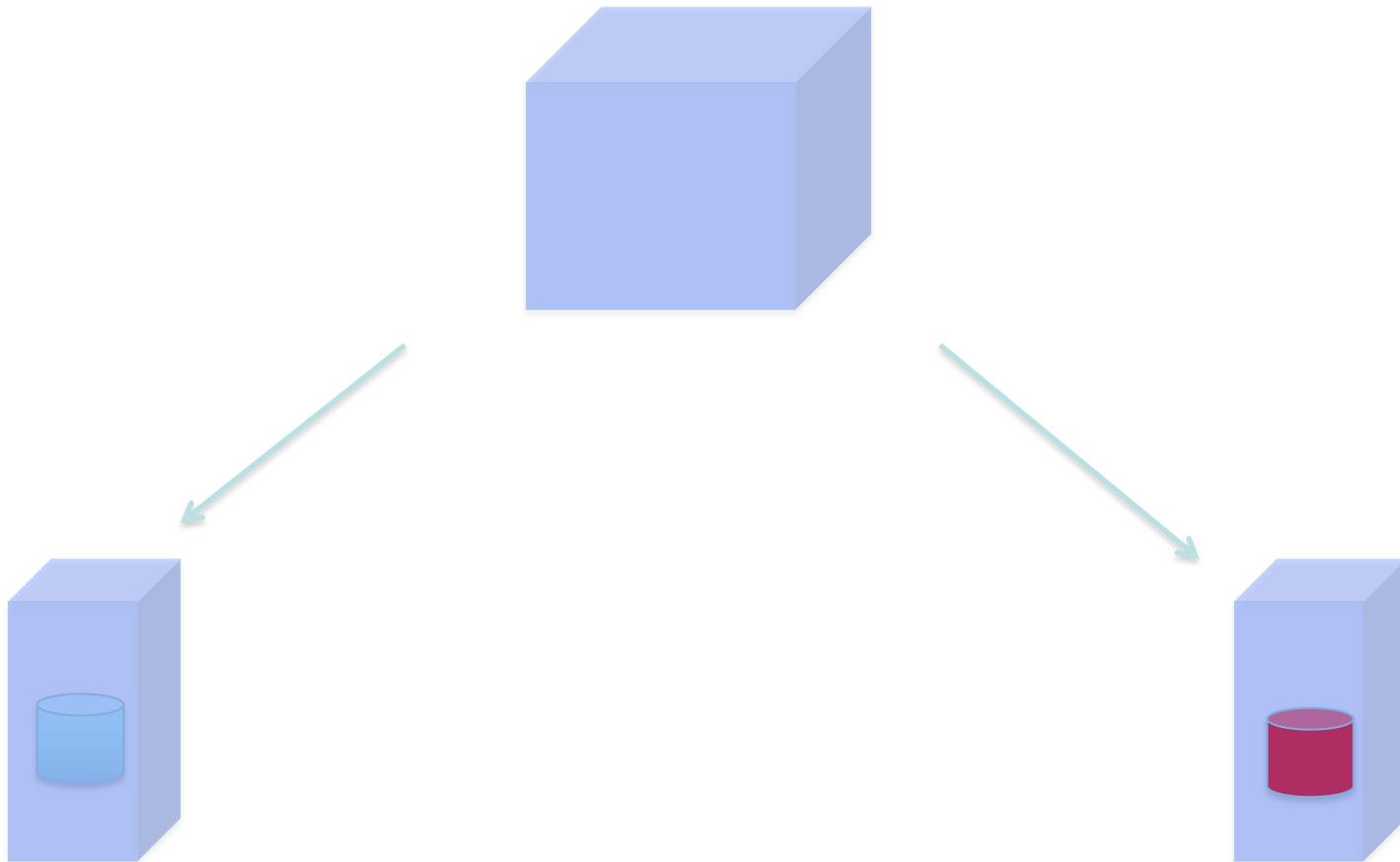
Schroedinger reaccionó a las preguntas de Einstein con el término enredamiento o entrelazamiento (entanglement en inglés).

Aquí es donde la mecánica cuántica se pone rara.

Correlaciones

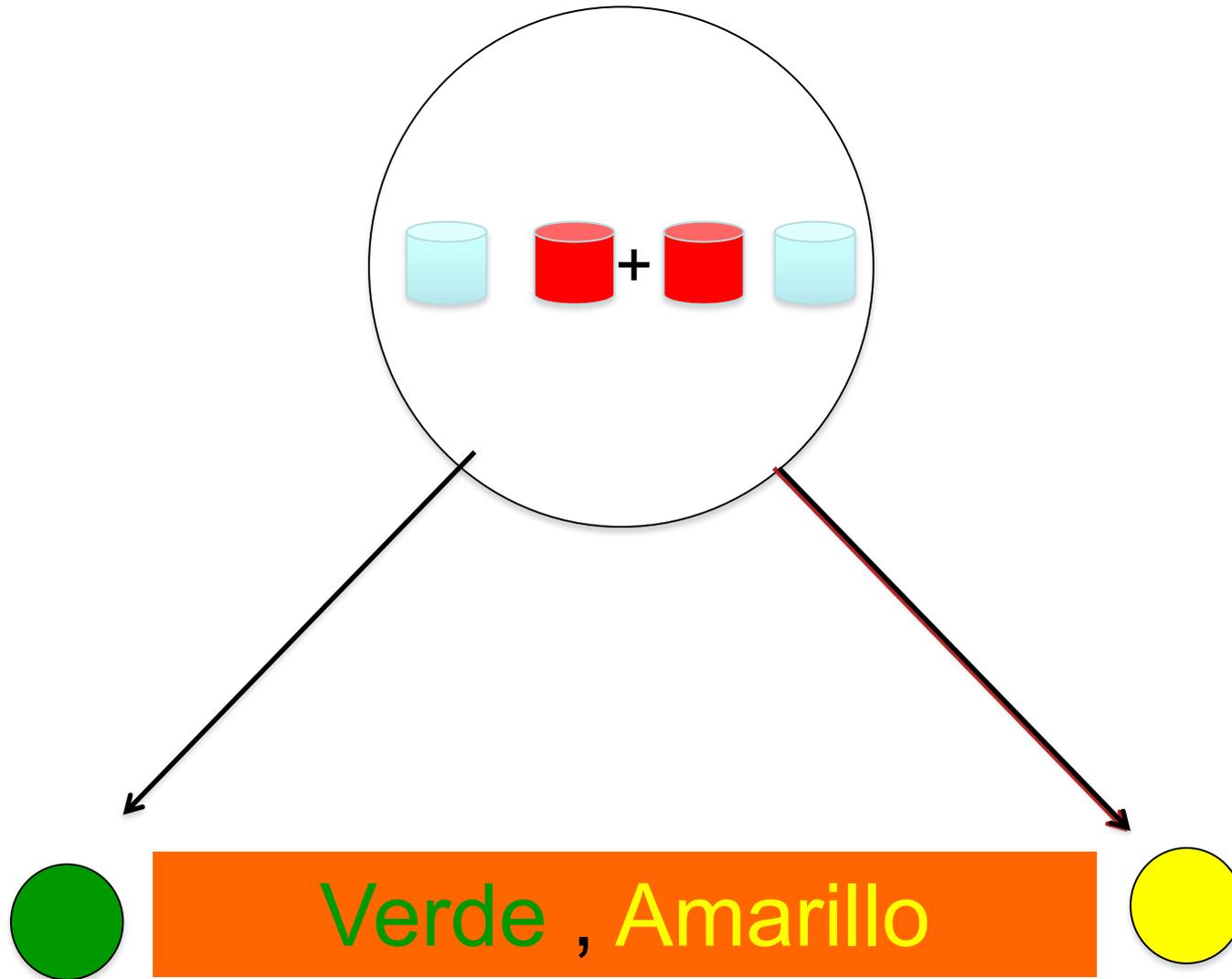


Correlaciones

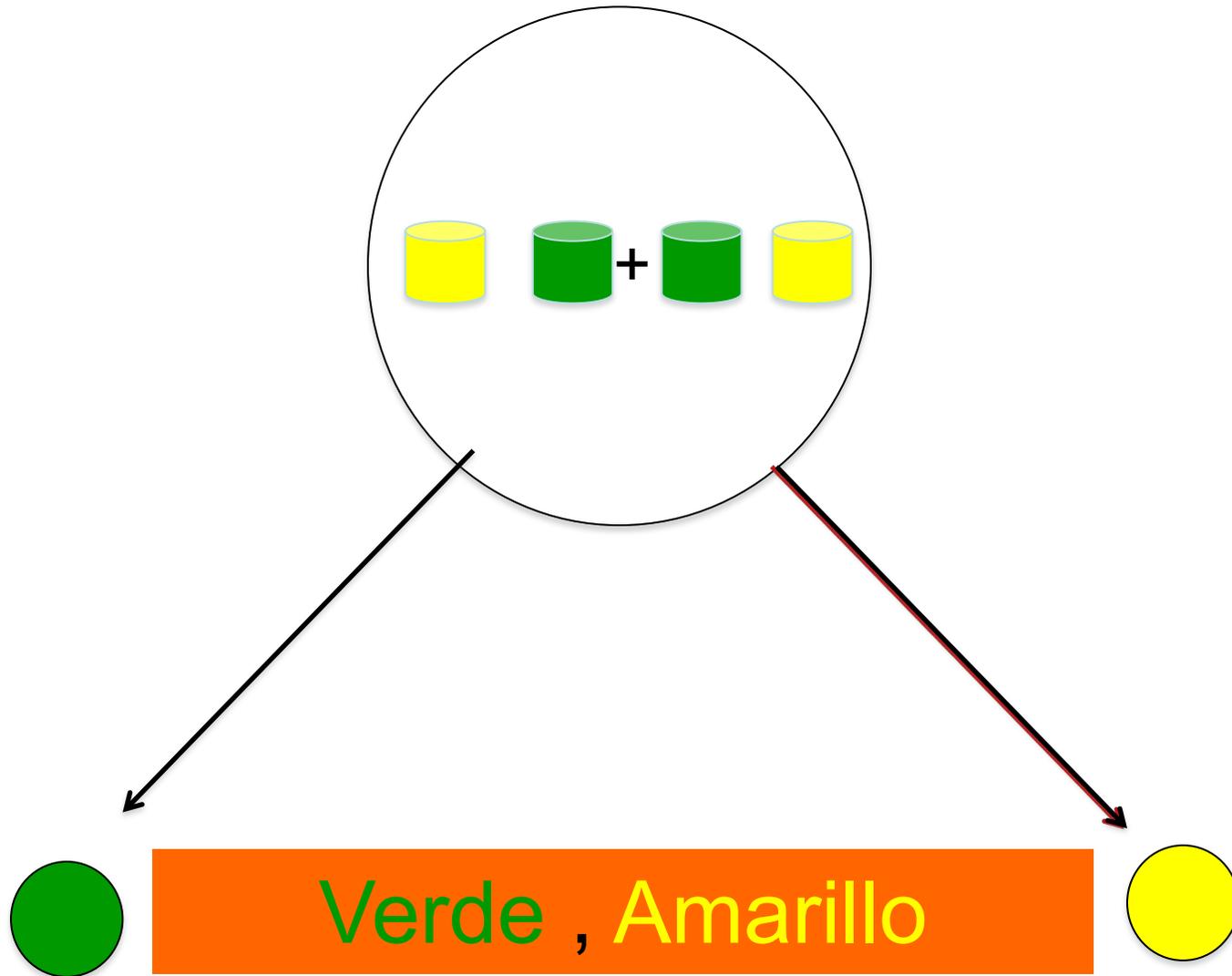


Si obtengo rojo la otra persona obtiene azul
Correlación perfecta, puedo predecir el otro resultado
conociendo el mío

¡Resultados aleatorios siempre correlacionados!
Independientemente de los lentes (base) con
que se mida



¡Resultados aleatorios siempre correlacionados!
Independientemente de los lentes (base) con
que se mida



Mecánica Cuántica

Es el lenguaje de la naturaleza microscópica. Espacio de Hilbert. Algebra Lineal.

Predicciones comprobadas a más de doce dígitos.

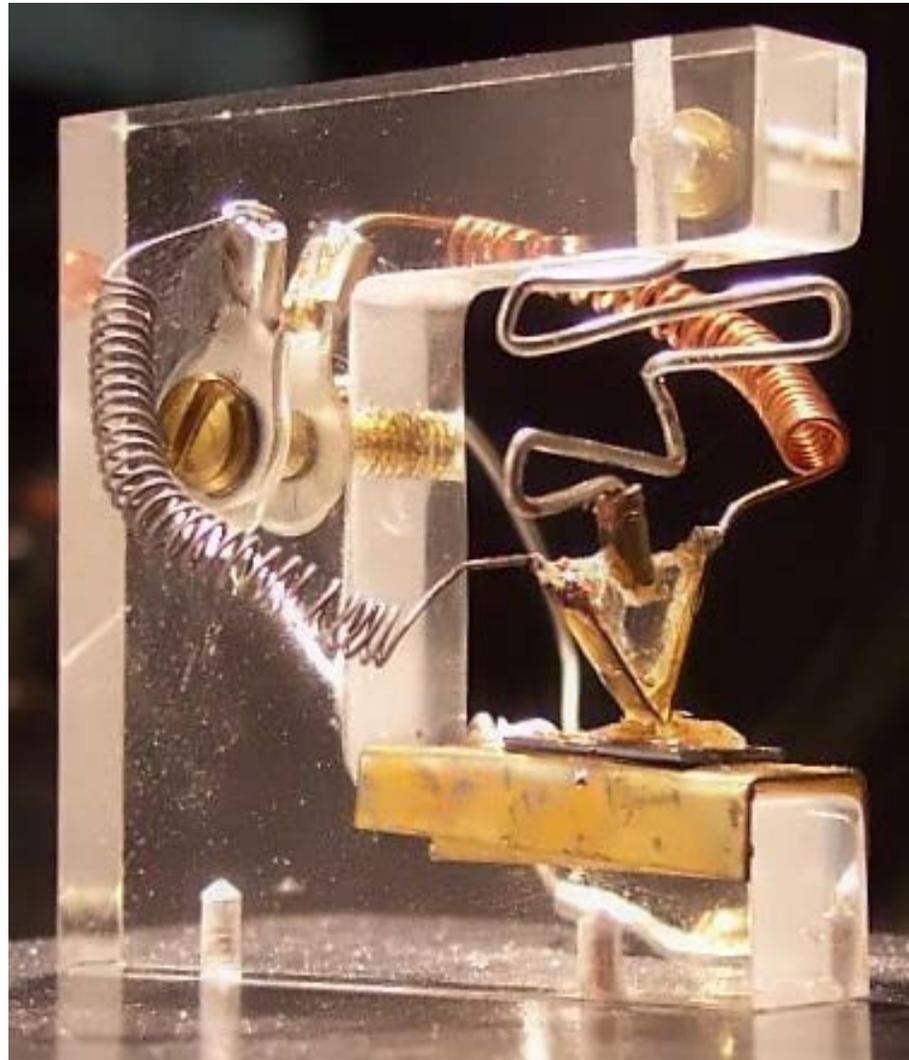
No está equivocada ni incompleta (pero no sabemos como escribir la teoría general de la relatividad con mecánica cuántica).

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

- Superposición – los sistemas pueden estar en dos (o más) estados al mismo tiempo.
- Hay correlaciones fuertes entre dos entidades (enredamiento)
- Dualidad onda-partícula

- El resultado de una medición cambia el conocimiento del estado de un sistema (función de onda).
- La naturaleza responde a las preguntas que le hacemos.
- Ningun lenguaje es perfecto.

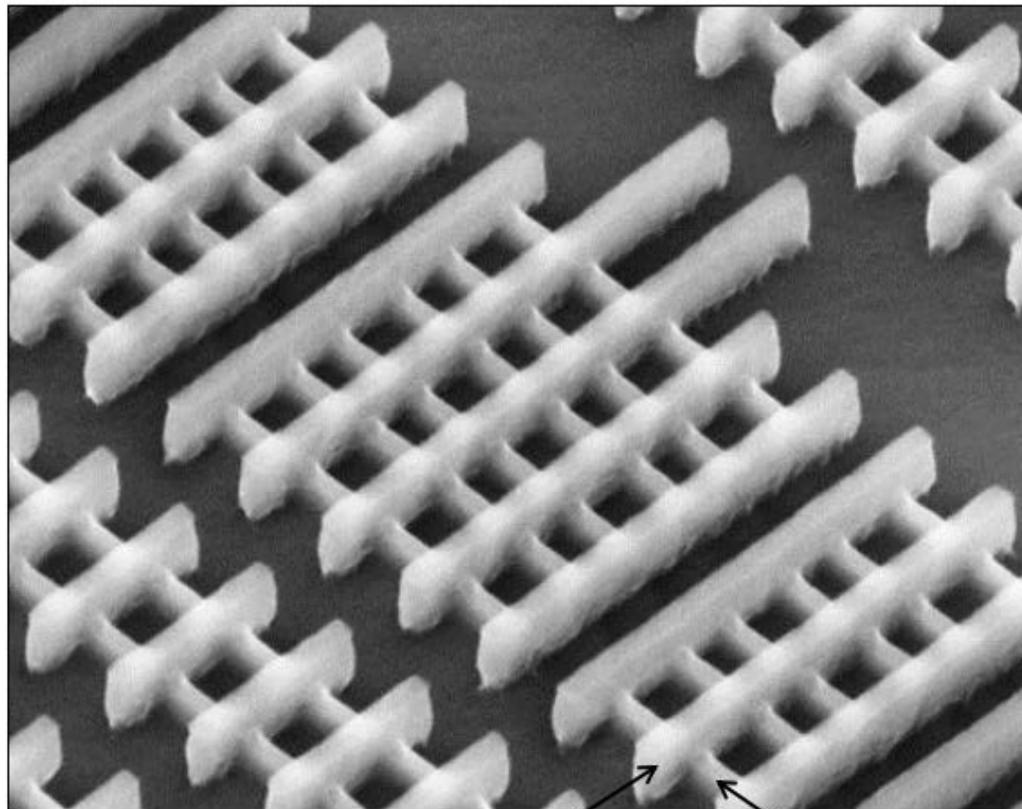
La primera revolución cuántica



El primer transistor

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

22 nm Tri-Gate Transistor



Gates

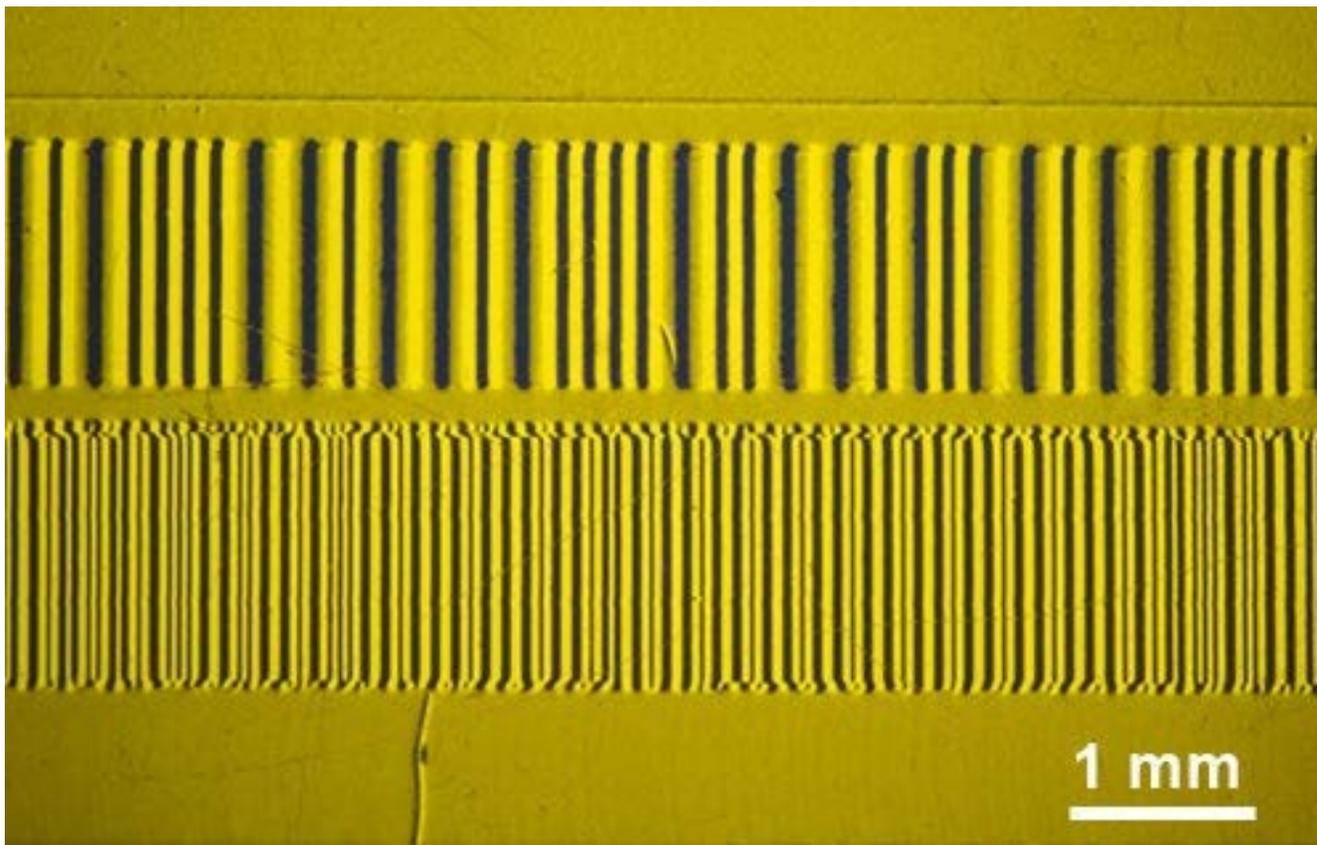
Fins

Inicio de la era de la información



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 (las pelotas son rojas o azules desde el principio)

O

–La localidad (causalidad)

La mecánica cuántica es un lenguaje para describir nuestro conocimiento (incompleto) de la naturaleza, no de la naturaleza en sí 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...”

La naturaleza responde a las preguntas
que le hacemos al medirla.

En el laboratorio solo hay secuencias
de detecciones (clicks), la mecánica
cuántica los explica.



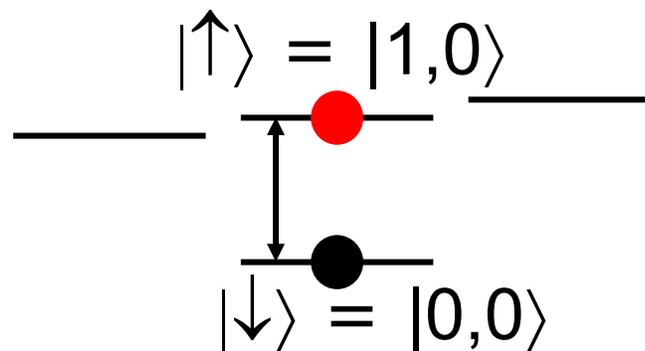
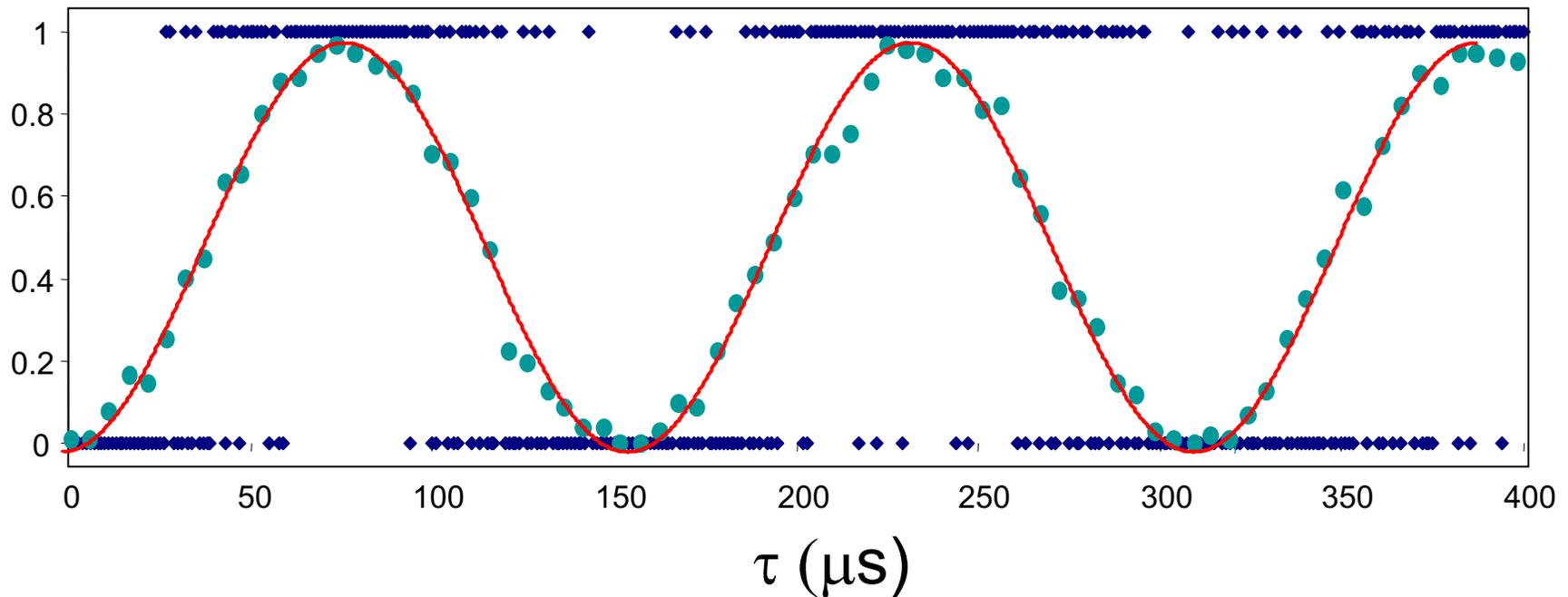
lón atrapado de Yb (JQI C. Monroe)

Superposición (Clicks)

(ion Ytterbio laboratorio de C. Monroe JQI) :

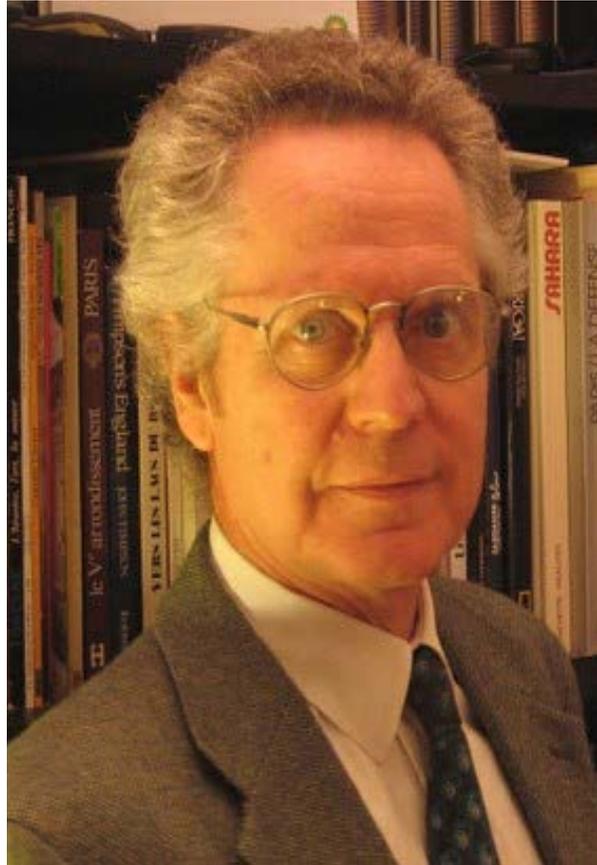
Prob($\uparrow|\downarrow$)

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





Peter Zoller



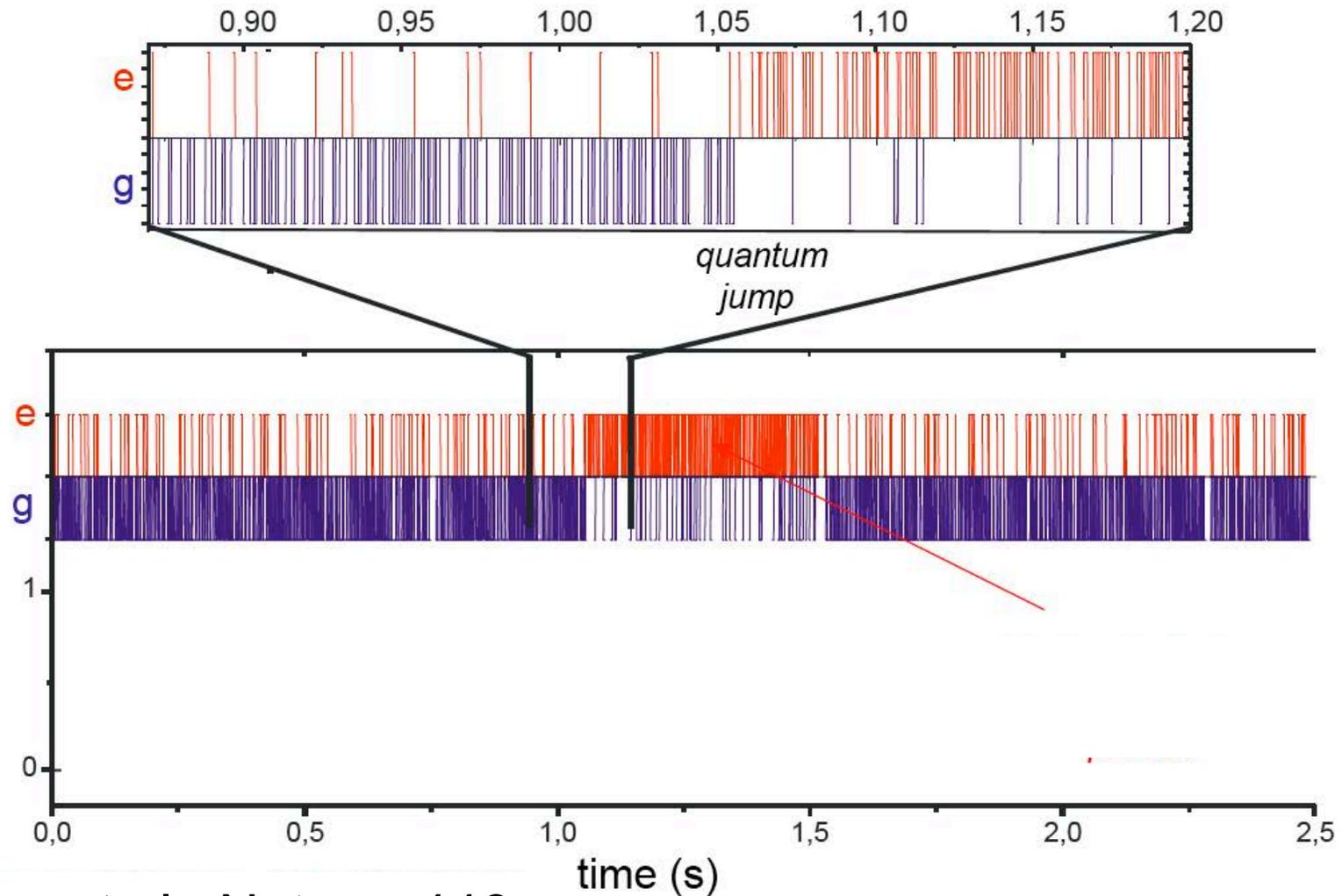
Jean Dalibard



Howard Carmichael

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

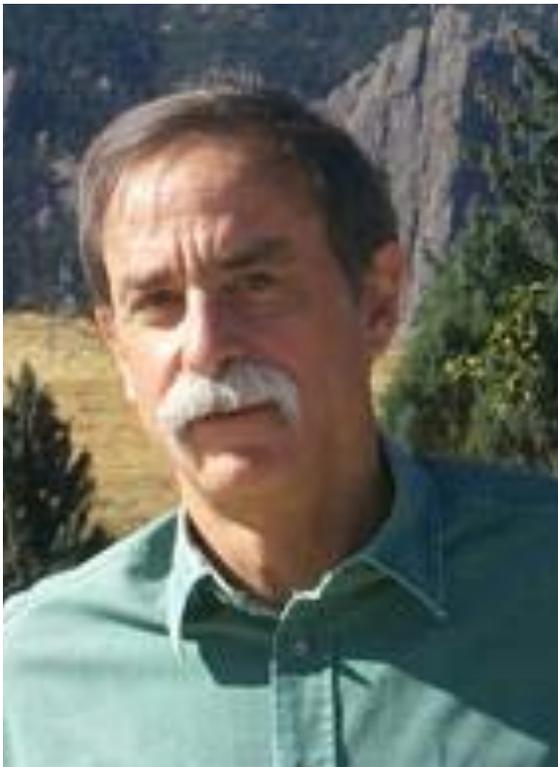
Nacimiento, vida y muerte de un fotón



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)

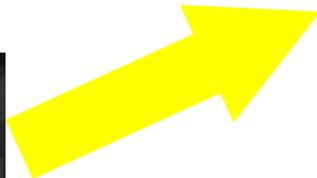


Computación reversible (termodinámica)

Información Cuántica

Simulaciones cuánticas

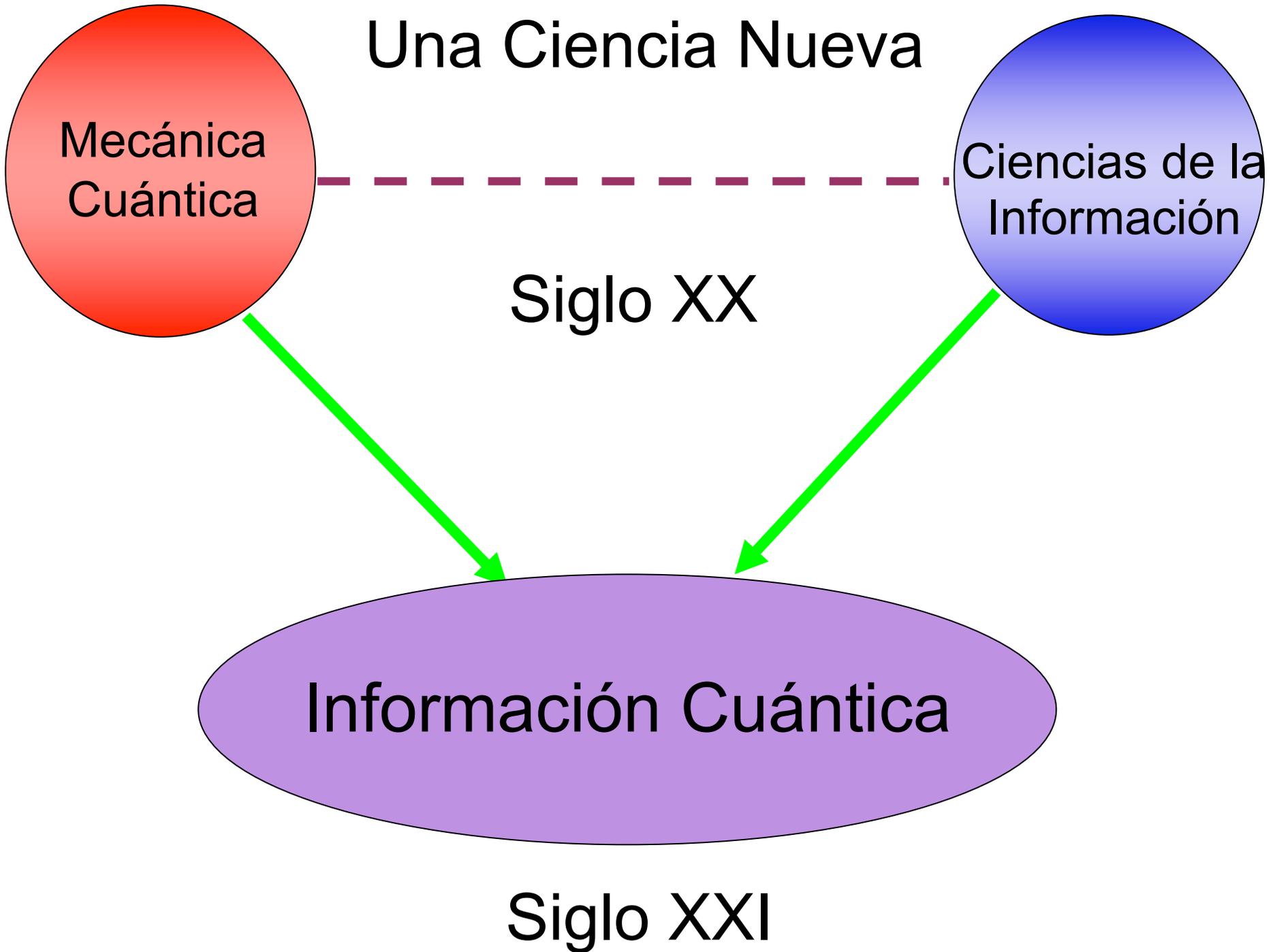
Modelo de un circuito cuántico



Feynman
(1982)



Deutsch
(1985)

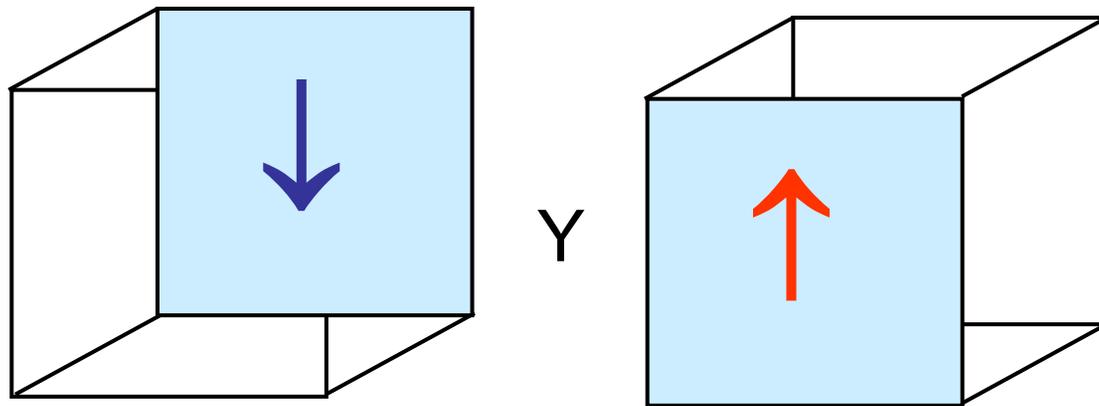


Información cuántica

Bits clásicos vs Bits cuánticos

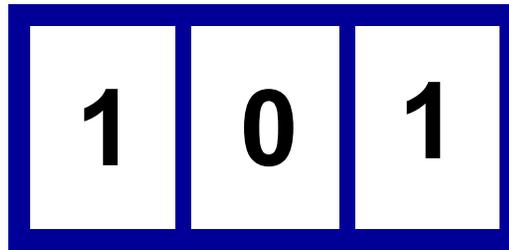
Bit clásico : 0 o 1; ↓ o ↑

Bit cuántico (qubit) está en una superposición:



$$|\psi\rangle_{\text{qubit}} = |\downarrow\rangle + |\uparrow\rangle$$

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



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 (todos los números posibles con) N-bits

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

Pero

Es difícil factorizar $167\,659 = ?$

CRIPTOGRAFIA

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

Factorizar es difícil

Un número con 232 dígitos

123018668453011775513049495838496272077285356959
533479219732245215172640050726365751874520219978
646938995647494277406384592519255732630345373154
826850791702612214291346167042921431160222124047
9274737794080665351419597459856902143413

2 años 1000 computadoras

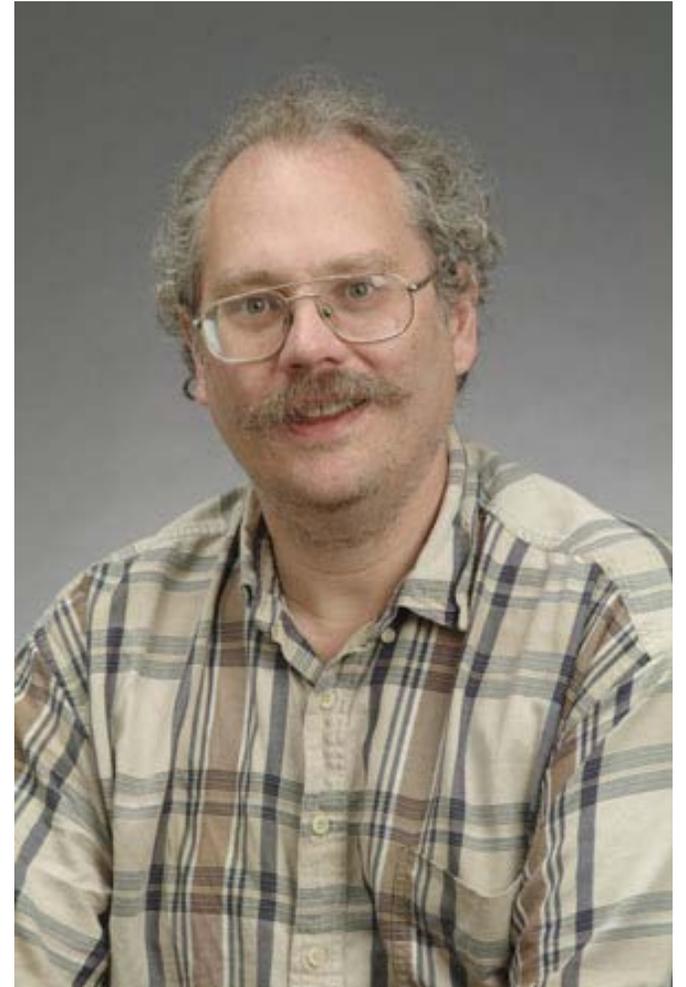
Un número con 464 dígitos, el doble

1230186684530117755130494958384962720772853569595334792197
322452151726400507263657518745202199786469389956474942774
063845925192557326303453731548268507917026122142913461670
4292143116022212404792747377940806653514195974598569021434
1312301866845301177551304949583849627207728535695953347921
973224521517264005072636575187452021997864693899564749427
740638459251925573263034537315482685079170261221429134616
7042921431160222124047927473779408066535141959745985690214
3413

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

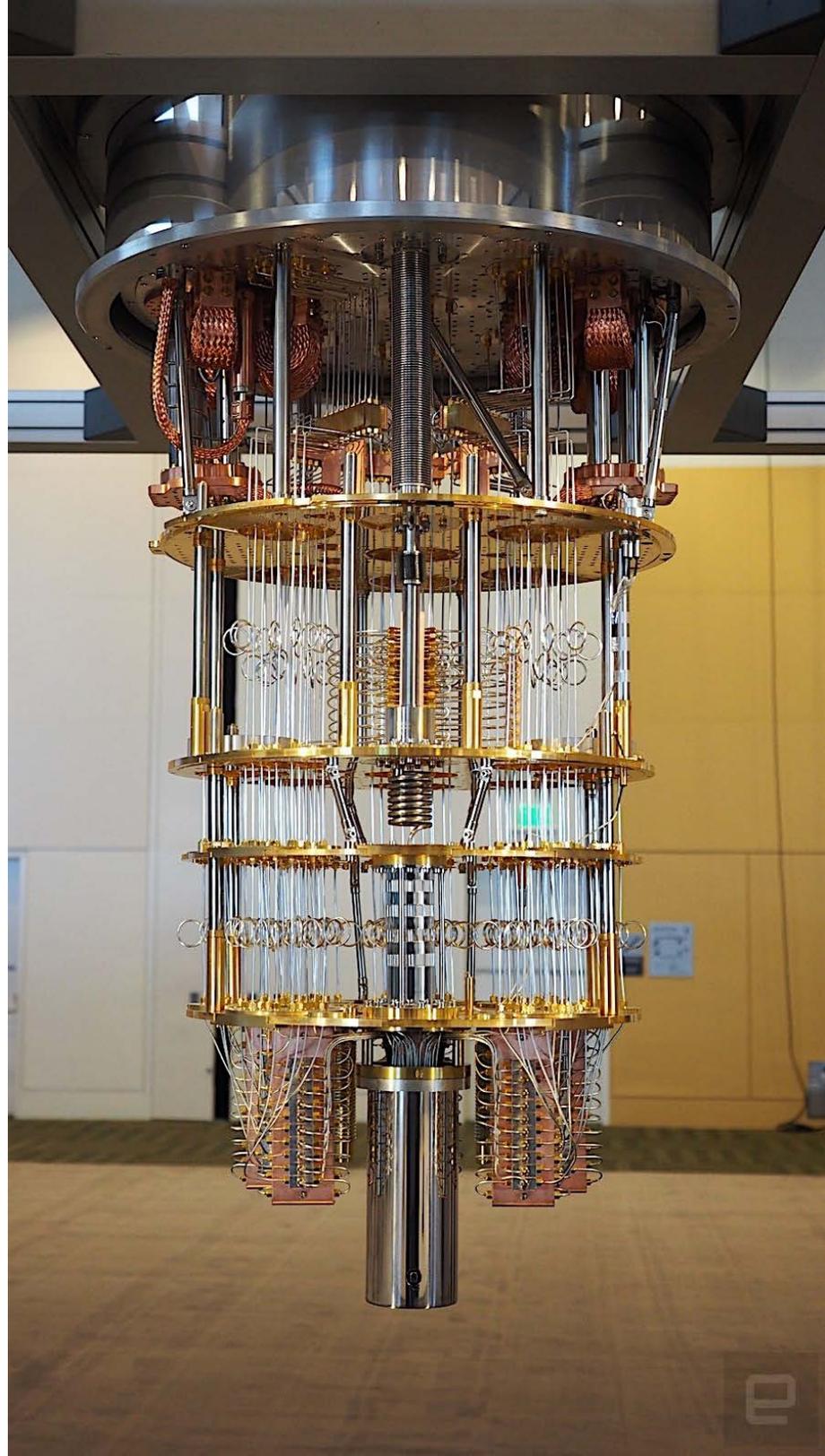


Hacia la información cuántica

IBM Quantum Experience (QX)

01 2018

50 Qubit

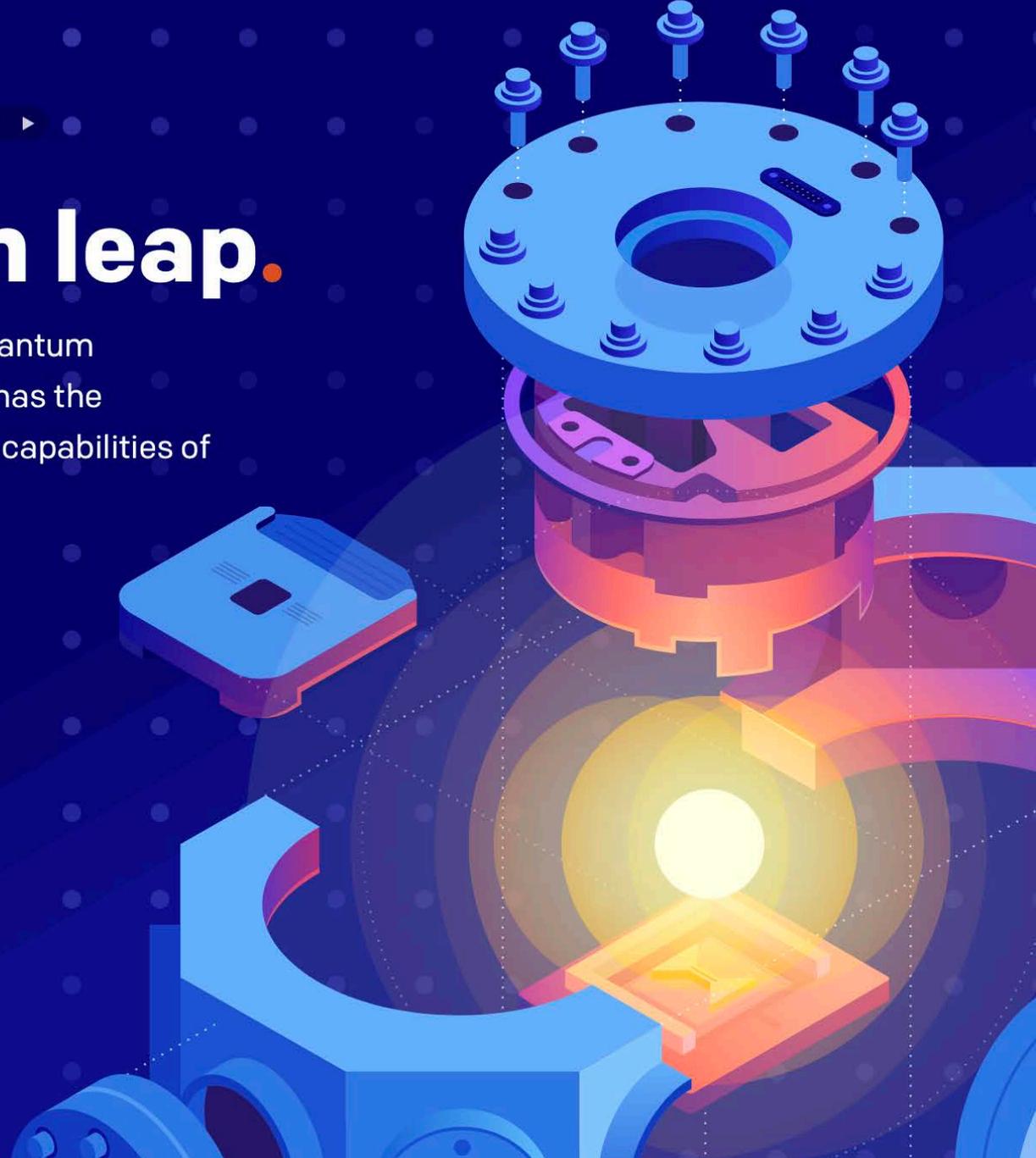


NEW IonQ publishes new benchmarks for quantum computation ▶

A true quantum leap.

Introducing the first commercial trapped ion quantum computer. By manipulating individual atoms, it has the potential to one day solve problems beyond the capabilities of even the largest supercomputers.

[Request Access](#)



La segunda revolución cuántica está
llegando



MUCHAS GRACIAS