

Cien años de Mecánica Cuántica: de los átomos a los ordenadores cuánticos pasando por los transistores y algunos gatos

J. J. Ruiz-Lorenzo

Departamento de Física
Facultad de Ciencias

Instituto de Computación Científica Avanzada (ICCAEx)
Universidad de Extremadura

ruiz@unex.es, <https://fisteor.cms.unex.es/investigadores/juan-j-ruiz-lorenzo/>

Badajoz, 5 de noviembre de 2025

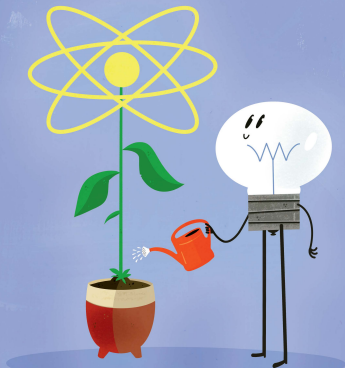


IX SEMANA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN EXTREMADURA

Del 3 al 17 de noviembre de 2025

Año Internacional de la Ciencia y las Tecnologías Cuánticas

- #SCTExtremadura2025
- <https://www.semanacienciaextremadura.es/>



Pequeñas partículas, grandes revoluciones. ¡Bienvenidos al futuro!

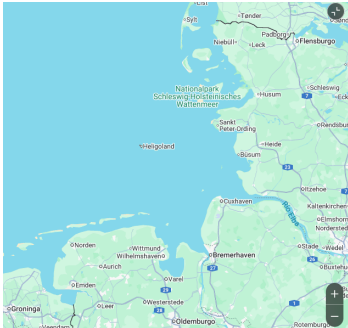
Organiza



Colabora



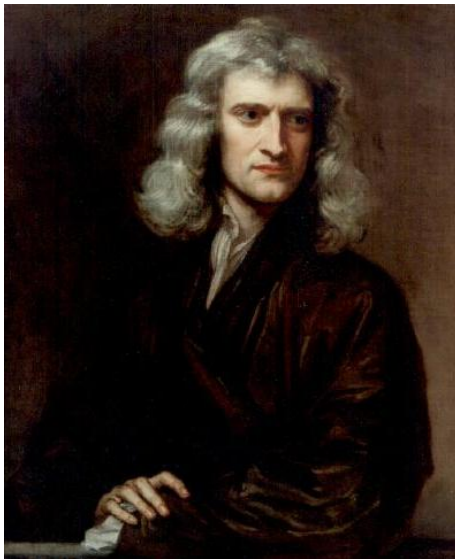
Heligoland



Forja de una espada



Física Clásica: Isaac Newton (1643-1727)



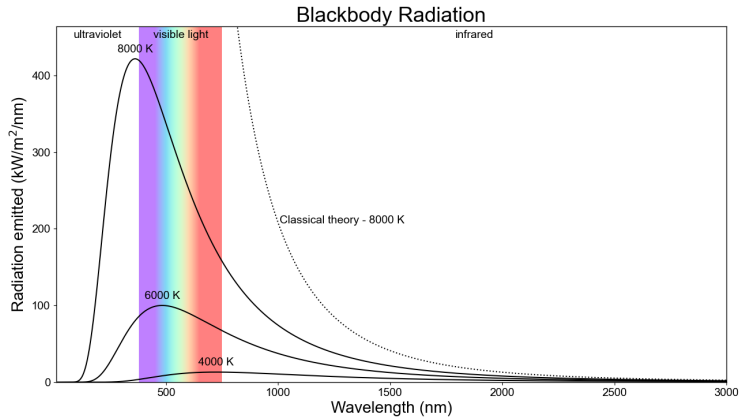
Física Clásica: Michael Faraday (1791-1876)/James C. Maxwell (1831-1879)



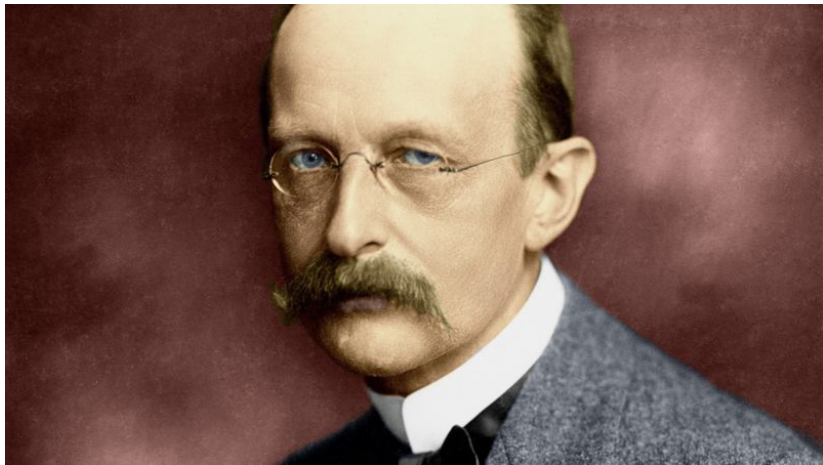
Forja de una espada



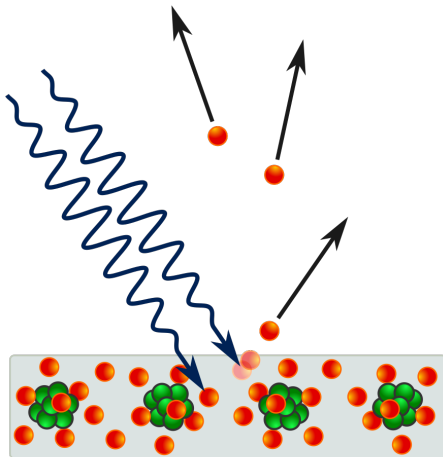
Catástrofe ultravioleta



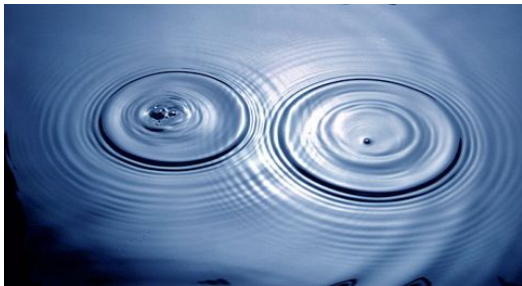
Max Planck (1858-1947)



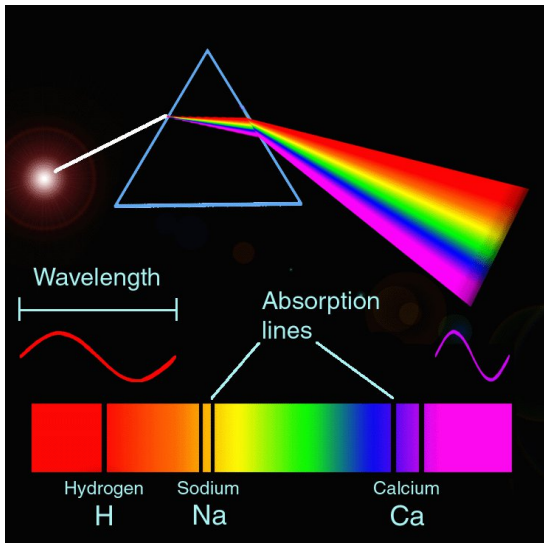
Albert Einstein (1879-1955)



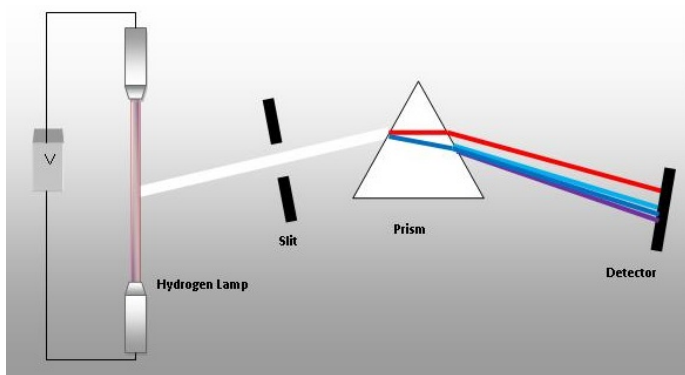
Dualidad Onda-partícula



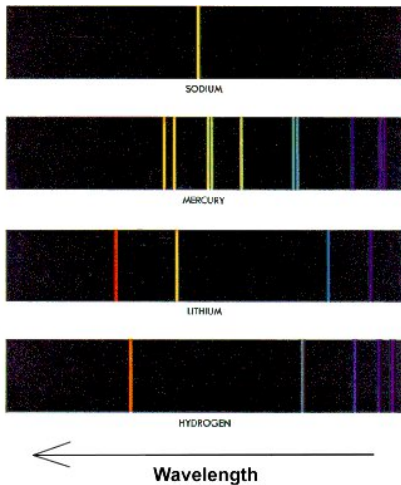
Prismas y colores



Espectros atómicos



Espectros atómicos



Niels Bohr (1885-1962)



Niels Bohr (1885-1962)

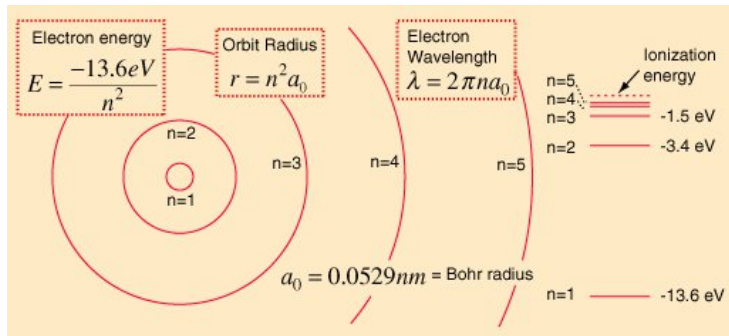


Instituto Niels Bohr





Niveles cuánticos atómicos: El átomo de Bohr



Nacimiento de la Mecánica Cuántica: Heisenberg



Nacimiento de la Mecánica Cuántica (1925): Werner Heisenberg (1901-1976)



Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen.

Von **W. Heisenberg** in Göttingen.

(Eingegangen am 29. Juli 1925.)

In der Arbeit soll versucht werden, Grundlagen zu gewinnen für eine quantentheoretische Mechanik, die ausschließlich auf Beziehungen zwischen prinzipiell beobachtbaren Größen basiert ist.

Fragen wir weiter nach dem Repräsentant der Größe $x(t)^2$, so finden wir ohne Schwierigkeit:

Klassisch:

$$\mathfrak{E}(n, \gamma) = \sum_{-\infty}^{+\infty} \sum_{-\infty}^{+\infty} \alpha, \beta \mathfrak{A}_{\alpha}(n) \mathfrak{A}_{\beta}(n) \mathfrak{A}_{\gamma-\alpha-\beta}(n). \quad (9)$$

Quantentheoretisch:

$$\mathfrak{E}(n, n-\gamma) = \sum_{-\infty}^{+\infty} \sum_{-\infty}^{+\infty} \alpha, \beta \mathfrak{A}(n, n-\alpha) \mathfrak{A}(n-\alpha, n-\alpha-\beta) \mathfrak{A}(n-\alpha-\beta, n-\gamma) \quad (10)$$

bzw. die entsprechenden Integrale.

En este trabajo se intentará establecer los fundamentos de una mecánica cuántica que se base exclusivamente en relaciones entre magnitudes que, en principio, son observables.

Werner Heisenberg (1901-1976)



Nacimiento de la Mecánica Cuántica (1926): Erwin Schrödinger (1887-1961)



La ecuación de Schrödinger (1926)



$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\mathbf{r}, t) = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi(\mathbf{r}, t) + V(\mathbf{r}, t) \Psi(\mathbf{r}, t) ; \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

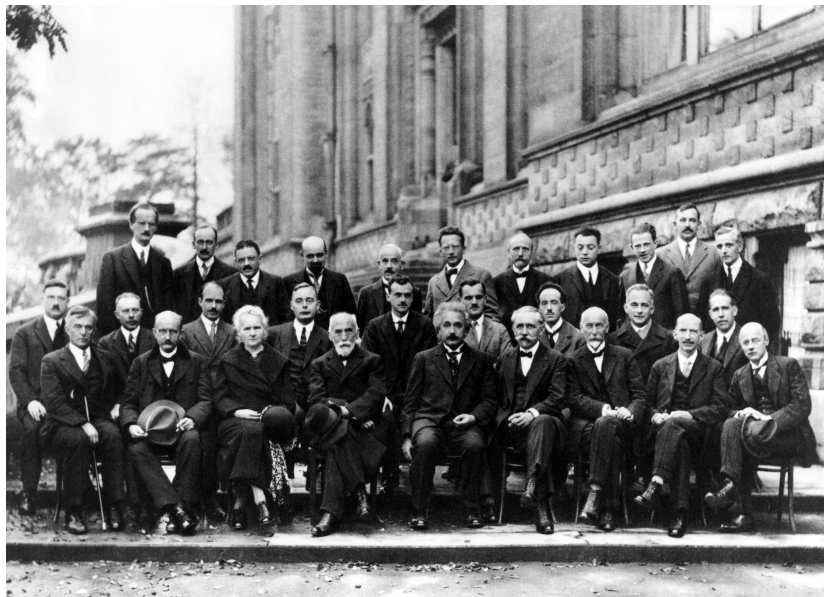
$|\Psi(\mathbf{r}, t)|^2 \rightarrow \text{Probabilidad (Born, 1926)}$

Premio Nobel (1932)



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

Congreso Solvay (1927)



Congreso Solvay (1930)



Congreso Solvay (1933)

INSTITUT INTERNATIONAL DE PHYSIQUE SOLVAY

SEPTIÈME CONSEIL DE PHYSIQUE -- BRUXELLES. 22-29 OCTOBRE 1933



Photo Benjamin Couperie

29, avenue Louise, Bruxelles

H. A. KRAMERS		H. F. MOTT		G. SAWOW		P. BLACKETT		M. CODYNE		Aug. PICCARD	
E. STAHEL		P. A. M. DIRAC		J. ERBERA		G. N. ELLIS		E. G. LAWRENCE		L. ROSENFIELD	
F. JOLYOT		W. HEISENBERG		E. T. S. WALTON		P. DIBYE		B. GARRERA		W. RUTHE	
P. PERRIN		E. FERMI		M. S. ROSENBLUM		W. PAULI		E. HERZEN		R. FEIERLS	
E. SCHRÖDINGER		M ^{me} I. JOLYOT		H. BOHR		A. JOFFÉ		M ^{me} CURIE		O. W. RICHARDSON	
										Lord RUTHERFORD	
										M. DE BROGLIE	
										M ^{me} L. WEINER	
										J. CHADWICK	

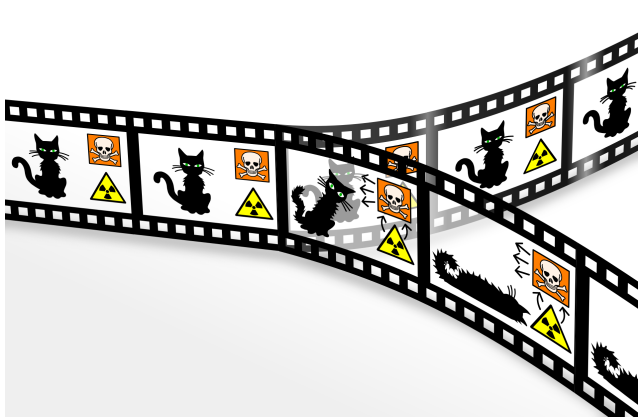
Absents : A. EINSTEIN et Ch. EUG. GUYE

El gato!: Superposición de estados/Interpretación de Copenhague

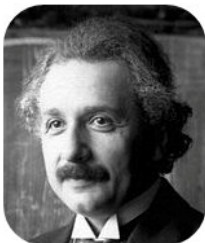


$$\frac{1}{\sqrt{2}}|\text{cat sitting}\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|\text{cat dead}\rangle$$

The Cat: Interpretación de Everett de los universos paralelos



Einstein-Poldosky-Rosen (1935)



A. Einstein



B. Podolsky



N. Rosen

MAY 15, 1935

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 47

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

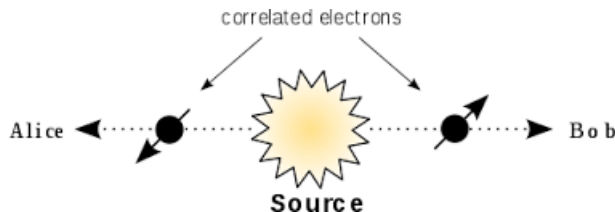
A. EINSTEIN, B. PODOLSKY AND N. ROSEN, *Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey*

(Received March 25, 1935)

In a complete theory there is an element corresponding to each element of reality. A sufficient condition for the reality of a physical quantity is the possibility of predicting it with certainty, without disturbing the system. In quantum mechanics in the case of two physical quantities described by non-commuting operators, the knowledge of one precludes the knowledge of the other. Then either (1) the description of reality given by the wave function in

quantum mechanics is not complete or (2) these two quantities cannot have simultaneous reality. Consideration of the problem of making predictions concerning a system on the basis of measurements made on another system that had previously interacted with it leads to the result that if (1) is false then (2) is also false. One is thus led to conclude that the description of reality as given by a wave function is not complete.

Einstein-Poldosky-Rosen (1935)

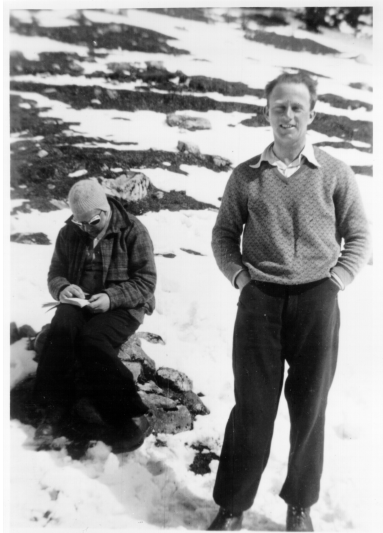


Podemos tener 4 posibilidades: $|1\rangle_A|1\rangle_B$, $|1\rangle_A|0\rangle_B$, $|0\rangle_A|1\rangle_B$ y $|0\rangle_A|0\rangle_B$, o bien, las podemos **enredar**:

$$|\psi_{AB}^{(\pm)}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|1\rangle_A|0\rangle_B \pm |0\rangle_A|1\rangle_B \right)$$

$$|\phi_{AB}^{(\pm)}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|1\rangle_A|1\rangle_B \pm |0\rangle_B|0\rangle_A \right)$$

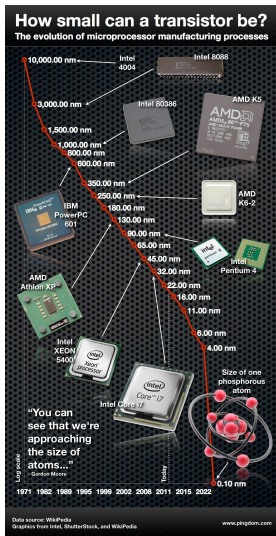
Heisenberg y Bohr



Transistores y Bits (Bardeen, Shockley y Brattain)



Transistores

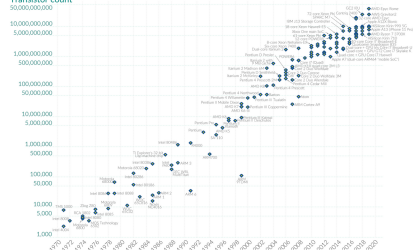


Moore's Law: The number of transistors on microchips doubles every two years

Moore's law describes the empirical regularity that the number of transistors on integrated circuits doubles approximately every two years.

This advancement is important for other aspects of technological progress in computing – such as processing speed or the price of computers.

Transistor count



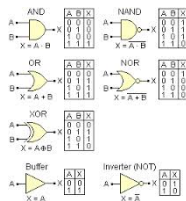
Data source: Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Transistor_count)

OurWorldInData - Research and data to make progress against the world's largest problems.

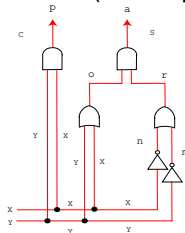
License: under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser.

Puertas Lógicas

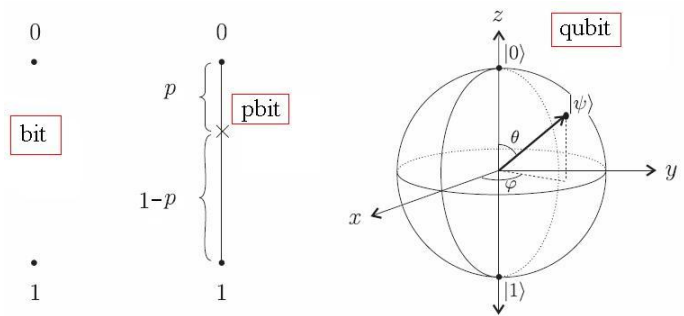
Puertas lógicas:



Circuito clásico que suma dos bits (x and y).



Información Cuántica: El qubit



$$|\psi\rangle = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) |0\rangle + e^{i\varphi} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) |1\rangle.$$

Billetes Cuánticos a prueba de falsificación

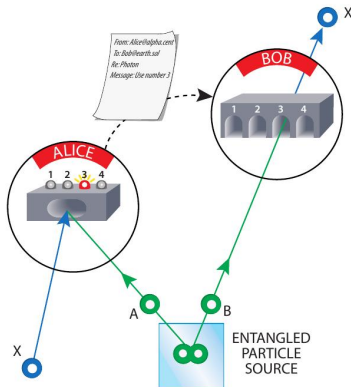


Teleportación Cuántica



Teleportación Cuántica

- La teleportación cuántica transfiere **información y no materia** usando un canal cuántico. Como hemos visto, la información puede ser transferida pero nunca duplicada o clonada.
- Pero necesitamos un canal clásico para mandar la información.



- Puertas lógicas con uno y dos qubits.
- Trampas de iones.
- Cavidades de EDC.

Hardware Cuántico: Especificaciones

- 1 Almacenamiento.
- 2 Aislamiento. para evitar el problema de la decoherencia.
- 3 Lectura/Escritura.
- 4 Puertas lógicas.
- 5 Precisión.

Criptografía: Claves RSA

- Son muy usadas actualmente.
- Son claves públicas.
- Por Internet circula sin codificar un número muy grande.
- Quién consiga factorizar este número, será capaz de leer el mensaje.

Factorizando números primos: El algoritmo de Shor

- El tiempo necesario para factorizar un número de n cifras decimales es

$$\text{tiempo} \sim \exp \left(c(\log n)^{1/3} (\log \log n)^{2/3} \right)$$

con $c \simeq 1.9$

- Sin embargo, el algoritmo cuántico (Shor) va como

$$\text{tiempo} \sim (\log n)^3$$

- Record de factorización (2020): Un número de 250 cifras decimales (RSA-250). Compuesto por dos primos de 125 dígitos cada uno. 300 años de core-CPU (unos meses en un gran cluster paralelo).
Se recomienda el RSA-2048 (seguridad aceptable hasta 2030).

Paralelismo Cuántico

- Queremos calcular los valores de una función f actuando sobre N bits (hay 2^N posibles argumentos).
- Para $N = 1$, habría que calcular $f(0)$ y $f(1)$.
- Para $N = 2$, habría que calcular $f(00)$, $f(01)$, $f(10)$ y $f(11)$.
- Clásicamente tendríamos que ir calculando la función en el primer argumento, luego el segundo, etc.
- **Cuánticamente los podemos calcular todos de una sola vez!!**

Procesadores cuánticos basados en circuitos



D-Wave



Los ordenadores cuánticos D-Wave han sido comprados por Google, USC-Lockheed-Martin y NASA.

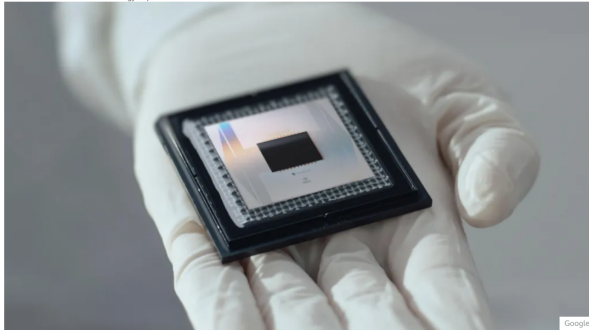


Google unveils 'mind-boggling' quantum computing chip

7 days ago

Share Save

Chris Vallance
Senior Technology Reporter



The new Willow chip

Google has unveiled a new chip which it claims takes five minutes to solve a problem that would currently take the world's fastest super computers ten septillion – or 10,000,000,000,000,000,000,000,000 years – to complete.

Otros ejemplos:

- Láseres
- Superconductividad.
- Superfluidez.
- Astrofísica (por ejemplo, estabilidad estelar).
- Relojes atómicos (aplicación en el GPS). Precisión (Sr, 1 parte en 10^{18} : se atrasaría o adelantaría menos de 1 segundo cada 30 mil millones de años.
- Química Cuántica y el diseño de nuevos materiales (Pauling, ...).
- Condensados de Bose Einstein ($T = 5 \times 10^{-10}$ K).
- Aplicaciones en Biomedicina: Medicina Nuclear, PET, RMN, TAC, etc.
- Partículas elementales
- ...

Futuro

Se han conseguido cuantizar las siguientes fuerzas (modelo Estandar):

- 1 Fuerzas eléctricas y magnéticas (Electrodinámica Cuántica)
- 2 Fuerza débil (Modelo electro-débil)
- 3 Fuerza Fuerte (Cromodinámica Cuántica)

Pero aún no sabemos como cuantizar la Gravedad.

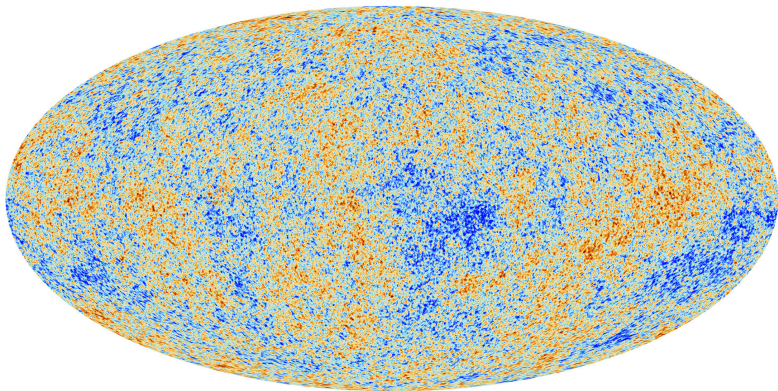
Sin embargo sabemos que los agujeros negros se evaporan siguiendo la ley del cuerpo negro con una temperature que depende de su masa M (Hawking):

$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi G M k_B}$$

Nota $R = N_A k_B$.

Forja de una espada





$$T_0 = 2.7255 \pm 0.0006 \text{ K.}$$

MUCHAS GRACIAS!