

ENFRIAMIENTO DE ÁTOMOS POR LÁSER CONDENSADO DE BOSE-EINSTEIN

Carmelo Rosales Guzmán

Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica
INAOE

7 de mayo de 2009



Tabla de contenido

- 1 Antecedentes históricos
- 2 Enfriamiento de átomos por láser
 - Como enfriar átomos con luz
 - Efecto dopler
- 3 Condensado de Bose-Einstein
 - Trampas magnéticas
 - Enfriamiento por evaporación
 - Simulación
 - Resumen



Tabla de contenido

- 1 Antecedentes históricos
- 2 Enfriamiento de átomos por láser
 - Como enfriar átomos con luz
 - Efecto dopler
- 3 Condensado de Bose-Einstein
 - Trampas magnéticas
 - Enfriamiento por evaporación
 - Simulación
 - Resumen



Tabla de contenido

- 1 Antecedentes históricos
- 2 Enfriamiento de átomos por láser
 - Como enfriar átomos con luz
 - Efecto dopler
- 3 Condensado de Bose-Einstein
 - Trampas magnéticas
 - Enfriamiento por evaporación
 - Simulación
 - Resumen



Antecedentes históricos

- 1 1924. Predicción matemática
 - Satyendra Nath Bose y Albert Einstein
- 2 1975. Se propone enfriar átomos por medio de láser
 - Wineland y Dehmelt.
 - Theodore W. Hansh y Arthur Leonard Schawlow
- 3 1976. Dmostracion teórica
 - Letokhov
 - Minogin y Pavlik
- 4 1985. Primeros experimentos de enfriamiento de átomos.
 - Grupo de Steven Chu en los laboratorios Bell
- 5 1995. Observado por primera vez
 - Eric Cornell, Wolfgang Ketterle and Carl Wieman



Antecedentes históricos

- ① 1924. Predicción matemática
 - Satyendra Nath Bose y Albert Einstein
- ② 1975. Se propone enfriar átomos por medio de láser
 - Wineland y Dehmelt.
 - Theodore W. Hansh y Arthur Leonard Schawlow
- ③ 1976. Demostración teórica
 - Letokhov
 - Minogin y Pavlik
- ④ 1985. Primeros experimentos de enfriamiento de átomos.
 - Grupo de Steven Chu en los laboratorios Bell
- ⑤ 1995. Observado por primera vez
 - Eric Cornell, Wolfgang Ketterle and Carl Wieman



Antecedentes históricos

- 1 1924. Predicción matemática
 - Satyendra Nath Bose y Albert Einstein
- 2 1975. Se propone enfriar átomos por medio de láser
 - Wineland y Dehmelt.
 - Theodore W. Hansh y Arthur Leonard Schawlow
- 3 1976. Dmostracion teórica
 - Letokhov
 - Minogin y Pavlik
- 4 1985. Primeros experimentos de enfriamiento de átomos.
 - Grupo de Steven Chu en los laboratorios Bell
- 5 1995. Observado por primera vez
 - Eric Cornell, Wolfgang Ketterle and Carl Wieman



Antecedentes históricos

- ① 1924. Predicción matemática
 - Satyendra Nath Bose y Albert Einstein
- ② 1975. Se propone enfriar átomos por medio de láser
 - Wineland y Dehmelt.
 - Theodore W. Hansh y Arthur Leonard Schawlow
- ③ 1976. Demostración teórica
 - Letokhov
 - Minogin y Pavlik
- ④ 1985. Primeros experimentos de enfriamiento de átomos.
 - Grupo de Steven Chu en los laboratorios Bell
- ⑤ 1995. Observado por primera vez
 - Eric Cornell, Wolfgang Ketterle and Carl Wieman



Antecedentes históricos

- ① 1924. Predicción matemática
 - Satyendra Nath Bose y Albert Einstein
- ② 1975. Se propone enfriar átomos por medio de láser
 - Wineland y Dehmelt.
 - Theodore W. Hansh y Arthur Leonard Schawlow
- ③ 1976. Dmostracion teórica
 - Letokhov
 - Minogin y Pavlik
- ④ 1985. Primeros experimentos de enfriamiento de átomos.
 - Grupo de Steven Chu en los laboratorios Bell
- ⑤ 1995. Observado por primera vez
 - Eric Cornell, Wolfgang Ketterle and Carl Wieman



Antecedentes históricos

- ① 1924. Predicción matemática
 - Satyendra Nath Bose y Albert Einstein
- ② 1975. Se propone enfriar átomos por medio de láser
 - Wineland y Dehmelt.
 - Theodore W. Hansh y Arthur Leonard Schawlow
- ③ 1976. Dmostracion teórica
 - Letokhov
 - Minogin y Pavlik
- ④ 1985. Primeros experimentos de enfriamiento de átomos.
 - Grupo de Steven Chu en los laboratorios Bell
- ⑤ 1995. Observado por primera vez
 - Eric Cornell, Wolfgang Ketterle and Carl Wieman



Antecedentes históricos

- ① 1924. Predicción matemática
 - Satyendra Nath Bose y Albert Einstein
- ② 1975. Se propone enfriar átomos por medio de láser
 - Wineland y Dehmelt.
 - Theodore W. Hansh y Arthur Leonard Schawlow
- ③ 1976. Dmostracion teórica
 - Letokhov
 - Minogin y Pavlik
- ④ 1985. Primeros experimentos de enfriamiento de átomos.
 - Grupo de Steven Chu en los laboratorios Bell
- ⑤ 1995. Observado por primera vez
 - Eric Cornell, Wolfgang Ketterle and Carl Wieman



Antecedentes históricos

- ① 1924. Predicción matemática
 - Satyendra Nath Bose y Albert Einstein
- ② 1975. Se propone enfriar átomos por medio de láser
 - Wineland y Dehmelt.
 - Theodore W. Hansh y Arthur Leonard Schawlow
- ③ 1976. Dmostracion teórica
 - Letokhov
 - Minogin y Pavlik
- ④ 1985. Primeros experimentos de enfriamiento de átomos.
 - Grupo de Steven Chu en los laboratorios Bell
- ⑤ 1995. Observado por primera vez
 - Eric Cornell, Wolfgang Ketterle and Carl Wieman

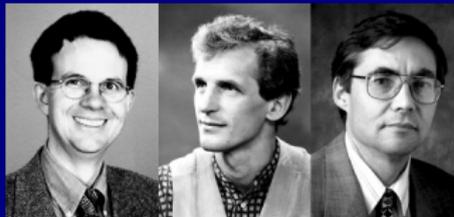


Premios Nobel otorgados

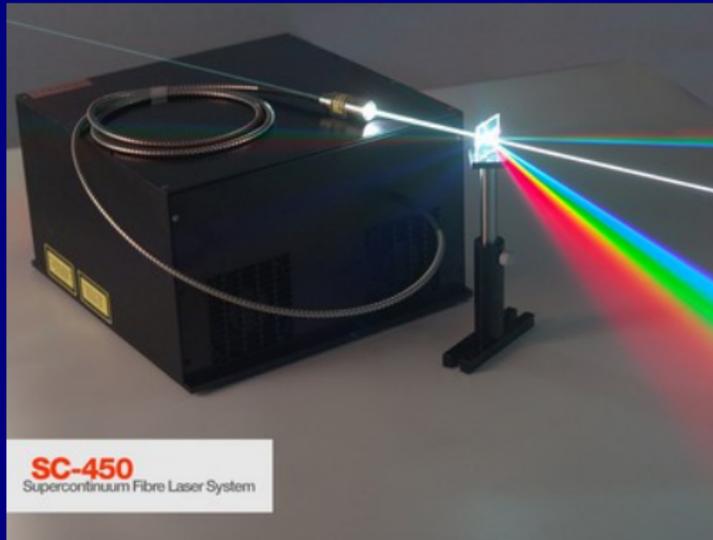
- 1 1997. Steven Chu, Clau Cohen-Tannoudji, William D. Phillips.
Desarrollo de métodos para enfriar y atrapar átomos con láser



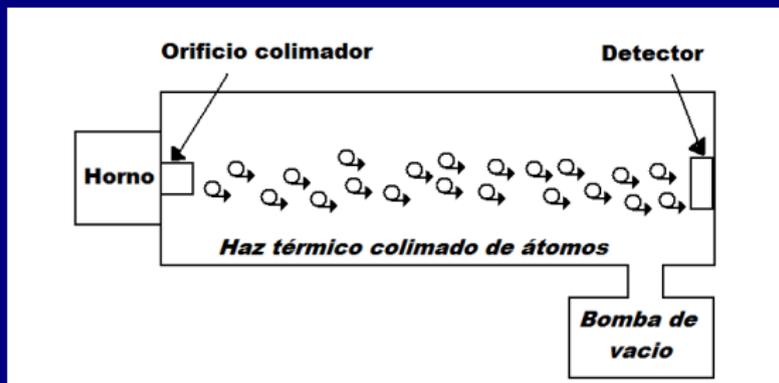
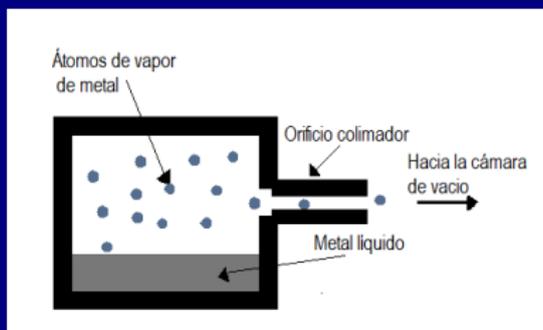
- 2 2001. Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle, Carl E. Wieman.
CBE en gases diluidos, estudios preliminares



Enfriamiento de átomos por láser



Haces atómicos



Relación entre velocidad y temperatura

1

$$E = \frac{3kT}{2}$$

$$V = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

2

$$E_c = \frac{mv^2}{2}$$

Ejemplo con Rubidio

$$T = 150^{\circ}C = 423,15K$$

$$m = 1,4 \times 10^{-25} \text{ Kg}$$

$$k = 1,381 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{molK}}$$

$$V = 351 \text{ m/s}$$



Relación entre velocidad y temperatura

1

$$E = \frac{3kT}{2}$$

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

2

$$E_c = \frac{mv^2}{2}$$

Ejemplo con Rubidio

$$T = 150^\circ C = 423,15K$$

$$m = 1,4 \times 10^{-25} \text{ Kg}$$

$$k = 1,381 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{molK}}$$

$$v = 351 \text{ m/s}$$



Relación entre velocidad y temperatura

1

$$E = \frac{3kT}{2}$$

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

2

$$E_c = \frac{mv^2}{2}$$

Ejemplo con Rubidio

$$T = 150^\circ C = 423,15K$$

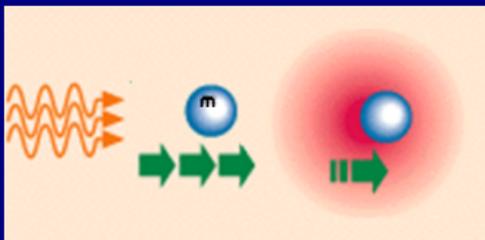
$$m = 1,4 \times 10^{-25} \text{ Kg}$$

$$k = 1,381 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{molK}}$$

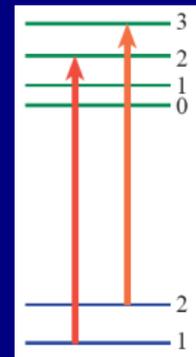
$$v = 351 \text{ m/s}$$



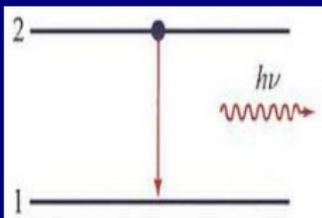
Interacción átomo-láser



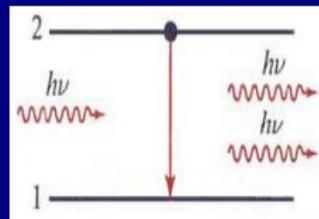
- 1 No absorción.
- 2 Absorción.



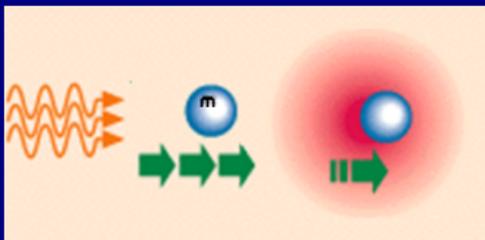
- Emisión espontánea



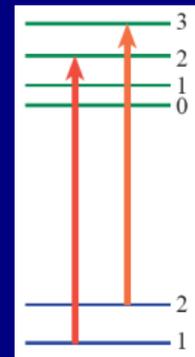
- Emisión estimulada



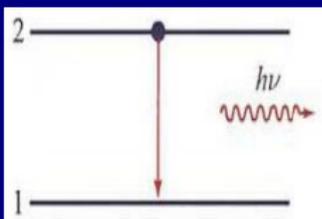
Interacción átomo-láser



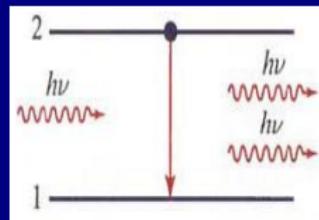
- 1 No absorción.
- 2 Absorción.



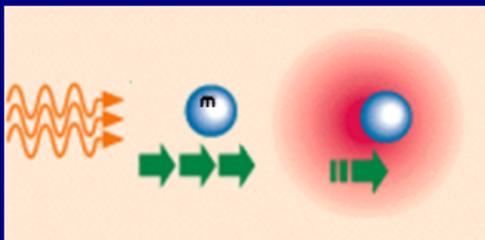
- Emisión espontánea



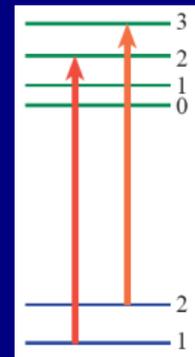
- Emisión estimulada



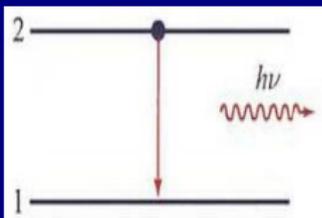
Interacción átomo-láser



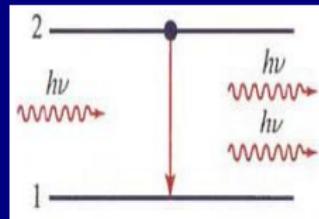
- 1 No absorción.
- 2 Absorción.



- Emisión espontánea



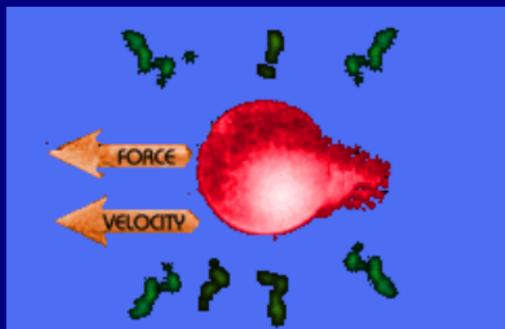
- Emisión estimulada



Transferencia de momento lineal h/λ



Absorción de un fotón

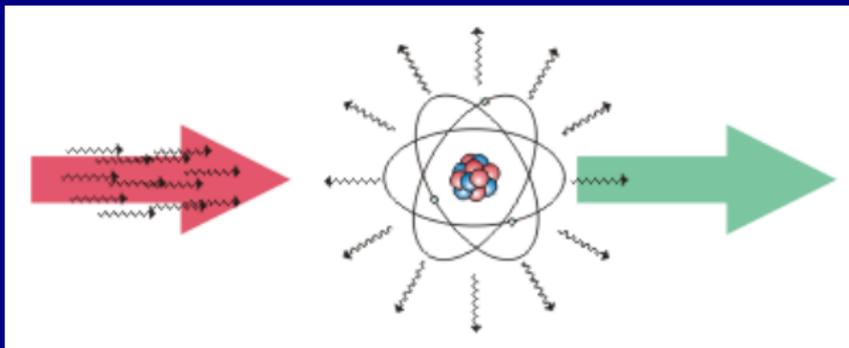


Emisión de un fotón



La emisión es aleatoria

La fuerza resultante tiene la dirección del haz.

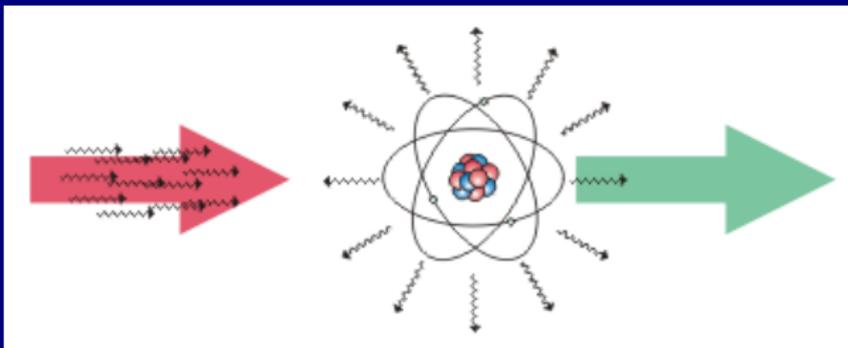


La velocidad del átomo tendrá la dirección del haz



La emisión es aleatoria

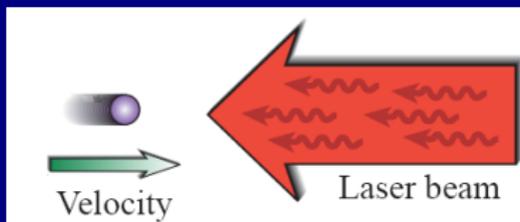
La fuerza resultante tiene la dirección del haz.



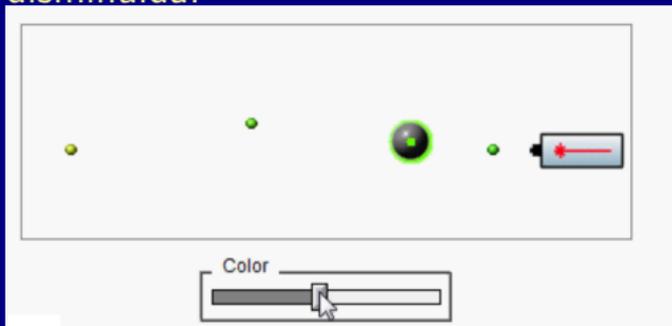
La velocidad del átomo tendrá la dirección del haz



Átomo moviéndose en dirección opuesta al láser

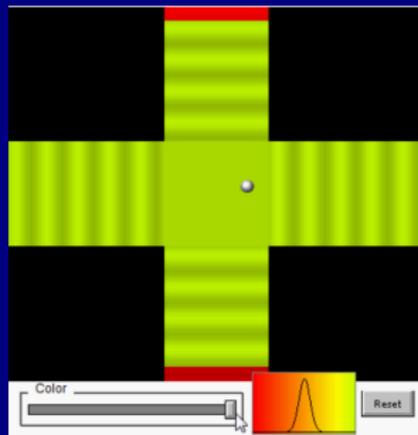
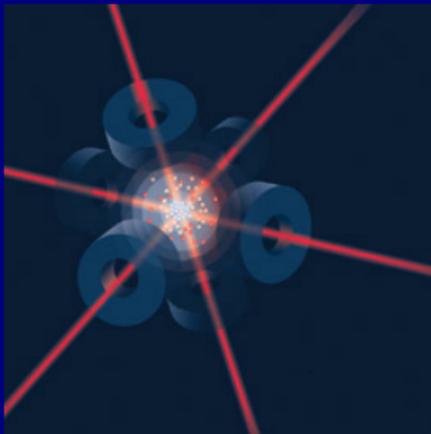


Con cada fotón que el átomo absorbe su velocidad se ve disminuida.



Configuración final

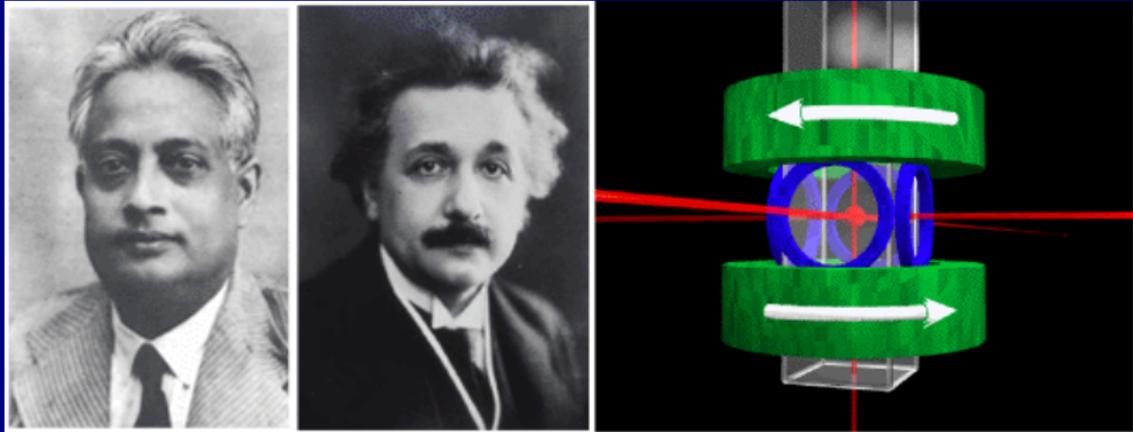
En 3 dimensiones se utiliza un arreglo de seis láseres.



- 1 Con láseres solo se pueden alcanzar temperaturas del orden de μK y velocidades del orden de cm/s .
- 2 Aun cuando los átomos están relativamente fríos, se necesita algo más para confinarlos.
- 3 Este es el paso previo para el condensado de Bose-Einstein.



Hacia el condensado de Bose-Einstein



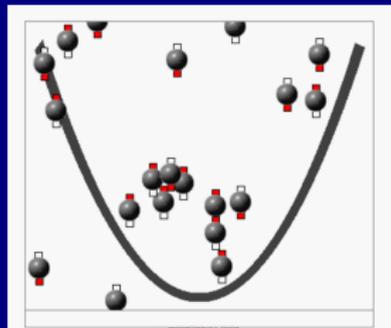
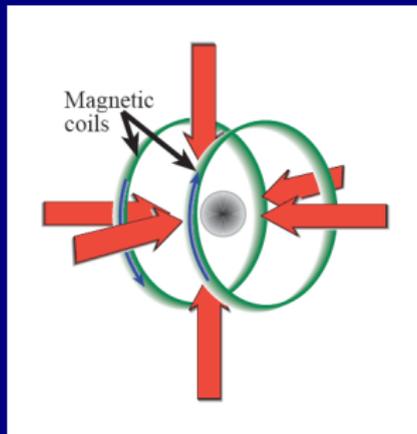
Condiciones iniciales

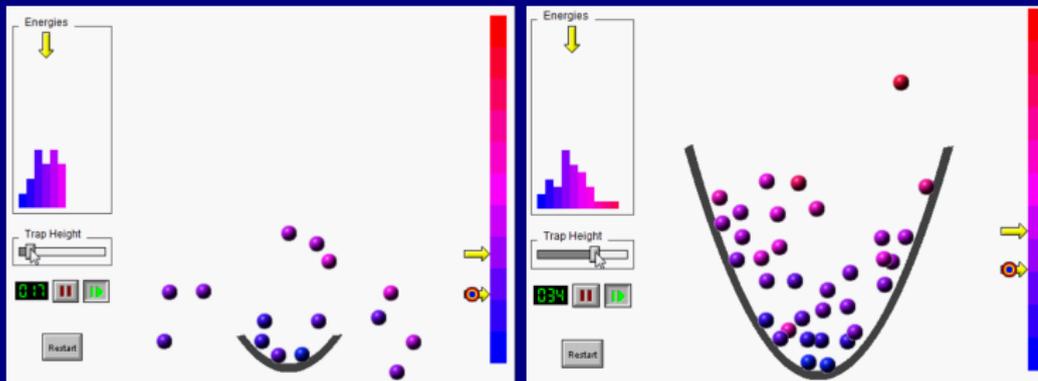
- Para poder obtener el CBE se debe evitar la condensación ordinaria
- Se inicia con un gas extremadamente frío
- Una forma de lograr un gas con tales condiciones es a través de láseres



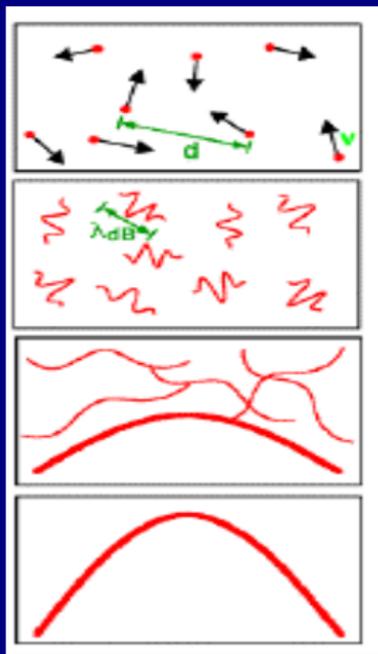
Confinamiento Manético

Con el láser apagado los átomos son confinados utilizando campos magnéticos debiles



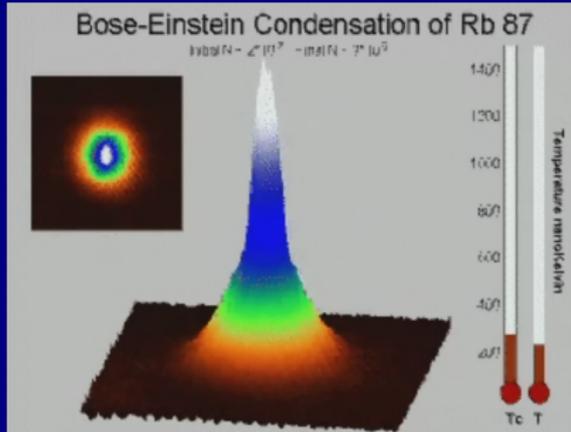


Algunas características



- Es una nueva forma de materia
- La mayoría de las partículas se encuentran en un mismo estado
- Este estado está caracterizado por una función de onda común
- Los átomos son idénticos

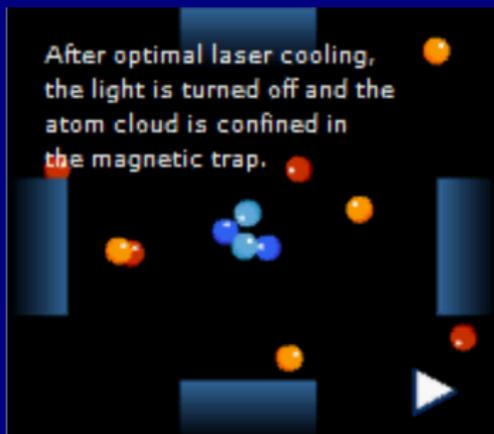




Se alcanzan temperaturas del orden de nK
Con concentraciones de algunos miles de átomos



Resumen



- 1 Enfriamiento de átomos con láser
- 2 confinamiento de átomos por medio de trampas magnéticas
- 3 enfriamiento por evaporación



Referencias



La ciencia desde México

Enfriamiento de átomos por láser

Vicente Aboites, José Vega

Fondo de Cultura Económica



Laser Cooling

Laser Cooling and Trapping

Harold J. Metcalf Peter van der, Straten

Springer



Colorado University

Physics 2000

[http://www.colorado.edu/UCB/AcademicAffairs/ArtsSciences/
physics/PhysicsInitiative/Physics2000/bec](http://www.colorado.edu/UCB/AcademicAffairs/ArtsSciences/physics/PhysicsInitiative/Physics2000/bec)



The Nobel Prize in Physics

The Nobel Prize in Physics 2001

