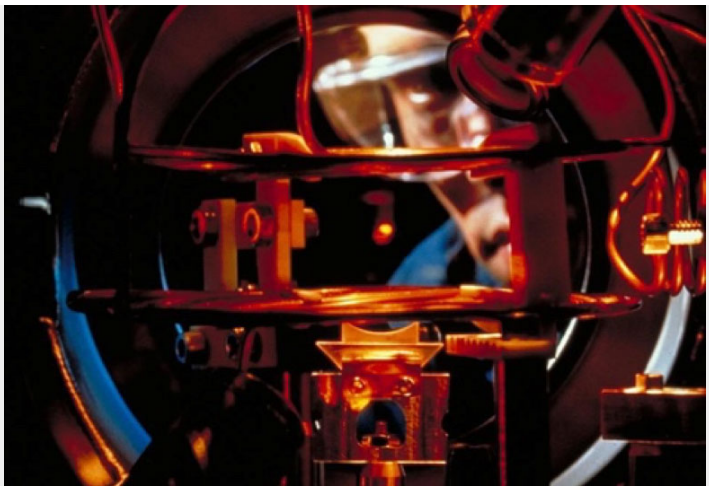
ENFRIAMIENTO CON LÁSER

Posted on 3 noviembre, 2020 by William D. y Luis A. Orozco



Category: Kiosko

La temperatura es una medida de la energía del movimiento aleatorio de los átomos y moléculas que forman una sustancia. Enfriar un gas implica disminuir la velocidad aleatoria de sus átomos o moléculas constituyentes. La refrigeración ordinaria (poner el recipiente de gas en contacto con algún objeto frío) no puede enfriar un gas a temperaturas extremadamente bajas, porque éste se condensará o las moléculas se adherirán a la superficie fría de su recipiente y dejarán de ser un gas.

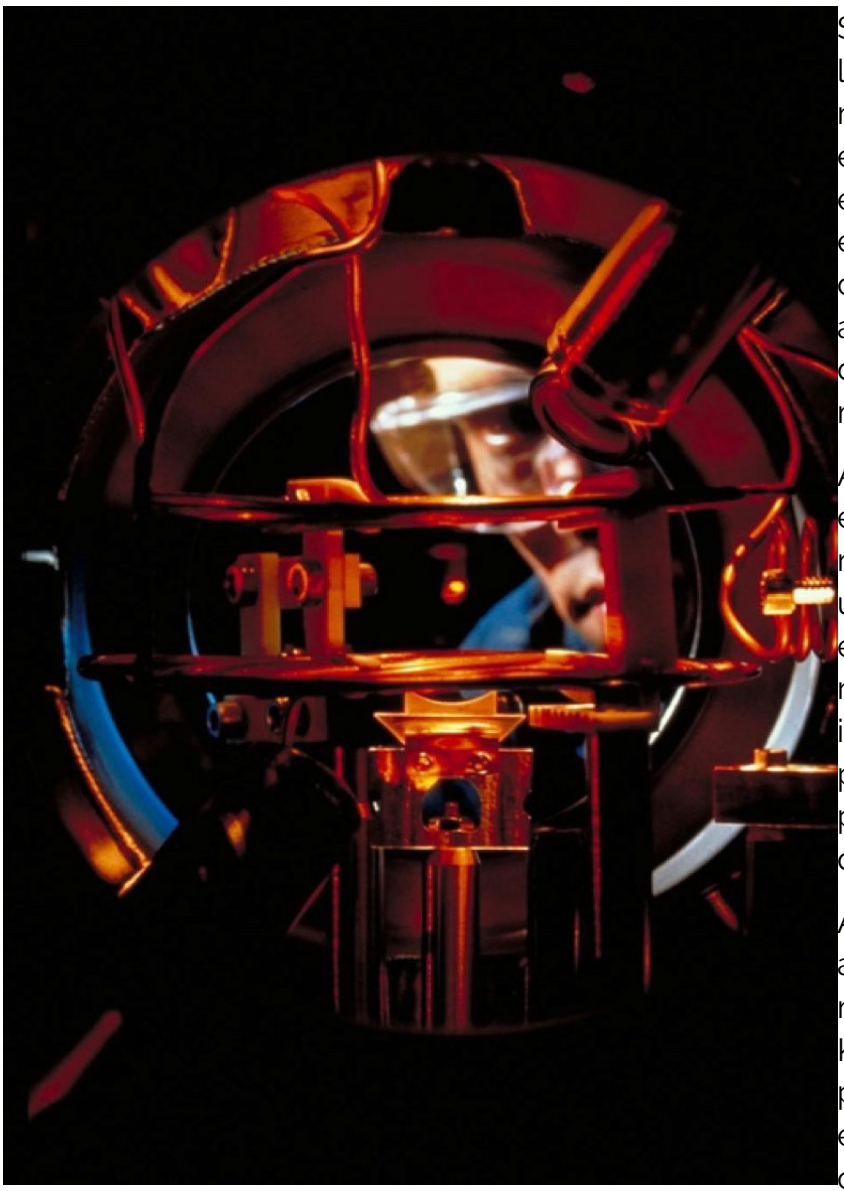
¿Cómo podemos reducir el movimiento atómico o molecular y enfriar un gas sin refrigerarlo? Para detener un objeto en movimiento, tenemos que aplicar una fuerza, tenemos que transferirle impulso. La velocidad media de una molécula de nitrógeno a temperatura ambiente (300 K) es de unos 500 metros por segundo y la distribución de sus velocidades es angosta. Si queremos reducir su velocidad por debajo de una velocidad promedio de 5 centímetros por segundo (3 μK), tenemos

que encontrar una manera de transferir suficiente impulso para reducir su velocidad en un factor de diez mil y por lo tanto reducir la temperatura en un factor de cien millones. ¿Cómo podemos aplicar tal fuerza sin permitir que los átomos o moléculas toquen una superficie fría?

Las observaciones de Kepler sobre la dirección de las colas de los cometas le hicieron pensar que la luz solar alejaba la cola del sol (una suposición que resultó ser cierta, aunque Newton lo negó); aunque fue Maxwell en el siglo XIX, con su descripción matemática de las ondas electromagnéticas, quien mostró explícitamente que la luz podía ejercer una fuerza de un valor calculable.

En 1900, Pyotr Lebedev de Rusia publicó la primera medición de la presión de la luz sobre objetos materiales e inmediatamente después apareció en Estados Unidos un hallazgo similar de Ernest F. Nicols y Gordon F. Hull. A partir de 1905, Einstein, pensando en la naturaleza cuántica de la luz, dijo que las partículas individuales de luz transportan energía e impulso, pero tan pequeñas por partícula que sería imposible observar su influencia directamente. Aproximadamente 30 años después, Otto Frisch midió la desviación de los átomos de sodio por la luz. La desviación era tan pequeña (equivalente a la absorción de aproximadamente un fotón, el cuanto de luz) que se consideró de poco interés hasta la invención del láser en 1960, una fuente de luz muy intensa.

Las sugerencias a mediados de la década de los setenta de Arthur Schawlow y Theodor Haensch, así como de Hans Dehmelt y David Wineland, sobre cómo enfriar átomos con láser se convirtieron en un campo fértil de investigación a principios de los ochenta. La idea básica es que un rayo de luz, una corriente de fotones, transfiere el impulso a un átomo de manera eficiente cuando está a la frecuencia de resonancia del átomo. El átomo absorbe el fotón y recibe un impulso proporcional a la frecuencia. Es una pequeña transferencia de impulso, pero el átomo puede absorber muchos millones de veces por segundo, por lo que la fuerza, igual a la tasa de transferencia de impulso, puede ser significativa. Cuando un átomo emite luz, lo hace en un patrón simétrico en direcciones aleatorias, por lo que, en promedio, el retroceso es en la dirección del rayo láser.



Una nube de átomos de sodio atrapados y enfriados por láser emite fluorescencia en el centro de una cámara de vacío con Kristian Helmerson, investigador del NIST, mirando por la ventana. Foto cortesía de NIST.

Si sintonizamos nuestros rayos láser ligeramente por debajo de la frecuencia de resonancia del átomo e iluminamos con ellos el átomo desde múltiples direcciones, entonces un átomo en movimiento experimentará un efecto Doppler que cambiará la frecuencia aparente vista por el átomo para favorecer la absorción de la luz de esos rayos que se oponen a su movimiento.

Ahora consideremos lo que le sucede a la energía del átomo. Si el átomo en movimiento se excita por resonancia con una frecuencia más baja que su resonancia, el átomo emitirá luz en promedio con su resonancia. La conservación de energía implica que la energía extra en la luz proviene de la energía cinética del átomo, por lo que el átomo se enfría a medida que dispersa la luz.

Aparecieron sorpresas de manera inusual alrededor de 1988 cuando las temperaturas medidas en gases atómicos (sodio 40 micro Kelvin) fueron mucho más bajas que las predichas por los modelos teóricos existentes (sodio 240 micro Kelvin). Ello creó una urgencia por comprender el fenómeno. Ese entendimiento, y los logros relacionados, fueron recompensados con el Premio Nobel de Física de 1997 a Steven Chu, Claude Cohen Tannoudji y William D. Phillips "por el desarrollo de métodos para enfriar y atrapar átomos con luz láser". C^2

Este artículo se publicó originalmente en la Revista Avance y Perspectiva del CINVESTAV, Vol. 6 – Núm 1

Paul D. Lett, Richard N. Watts, Christoph I. Westbrook, William D. Phillips, Phillip L. Gould, Harold J. Metcalf “Observation of Atoms Laser Cooled below the Doppler Limit” Physical Review Letters, 61, 169 (1988).