

# Motores cuánticos de medición

Física de muchos cuerpos 2022

Guillermo Perna

# Índice

- ▶ Máquinas cuánticas: motivación.

# Índice

- ▶ Máquinas cuánticas: motivación.
- ▶ Motores cuánticos...

# Índice

- ▶ Máquinas cuánticas: motivación.
- ▶ Motores cuánticos...
- ▶ ... de medición

# Índice

- ▶ Máquinas cuánticas: motivación.
- ▶ Motores cuánticos...
- ▶ ... de medición
- ▶ Problema del espín

# Índice

- ▶ Máquinas cuánticas: motivación.
- ▶ Motores cuánticos...
- ▶ ... de medición
- ▶ Problema del espín
- ▶ Nuestro modelo

# Índice

- ▶ Máquinas cuánticas: motivación.
- ▶ Motores cuánticos...
- ▶ ... de medición
- ▶ Problema del espín
- ▶ Nuestro modelo
- ▶ Las cuentitas (acá entran los métodos de la materia)

# Índice

- ▶ Máquinas cuánticas: motivación.
- ▶ Motores cuánticos...
- ▶ ... de medición
- ▶ Problema del espín
- ▶ Nuestro modelo
- ▶ Las cuentitas (acá entran los métodos de la materia)
- ▶ El resultado más crudo

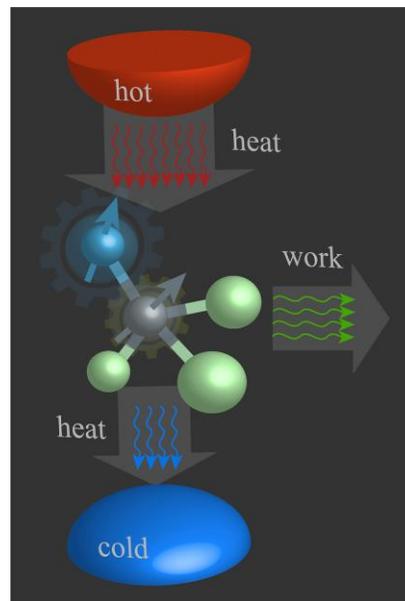
# Índice

- ▶ Máquinas cuánticas: motivación.
- ▶ Motores cuánticos...
- ▶ ... de medición
- ▶ Problema del espín
- ▶ Nuestro modelo
- ▶ Las cuentitas (acá entran los métodos de la materia)
- ▶ El resultado más crudo
- ▶ Mejoras

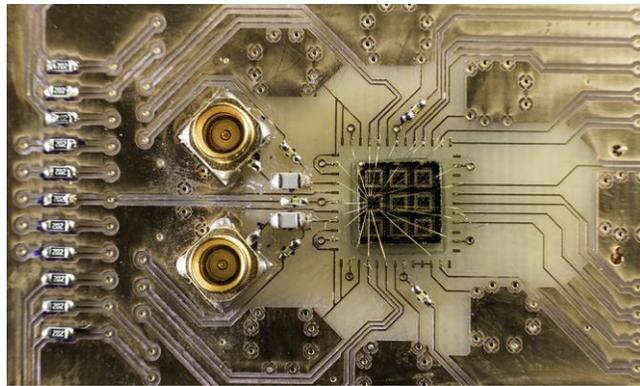
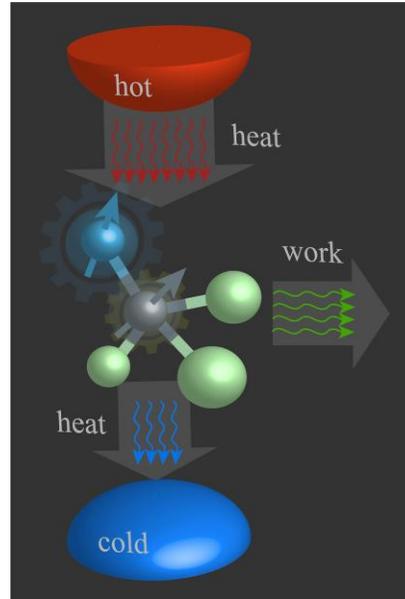
# Máquinas cuánticas



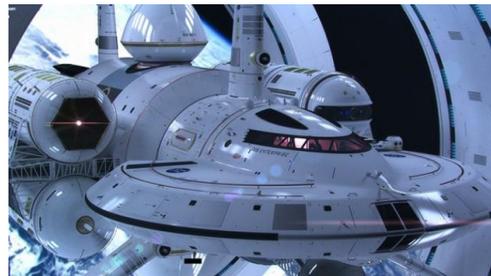
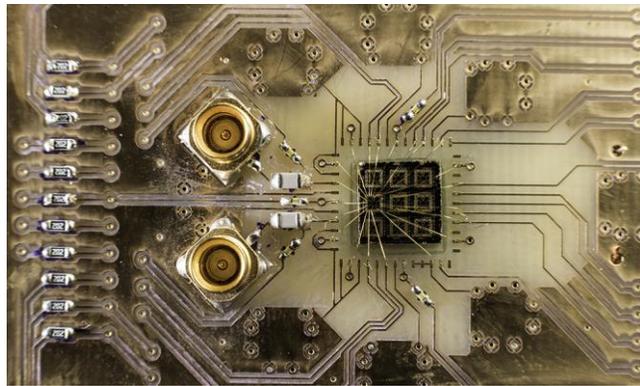
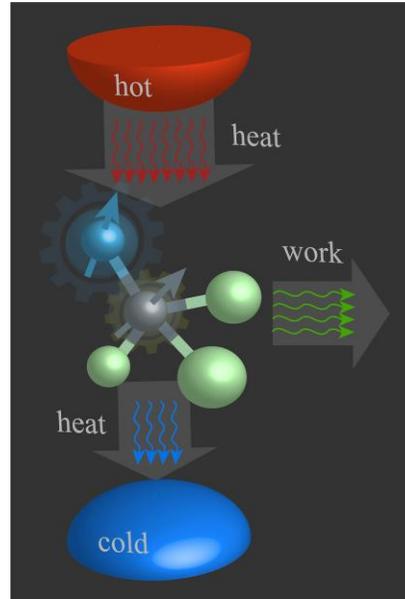
# Máquinas cuánticas



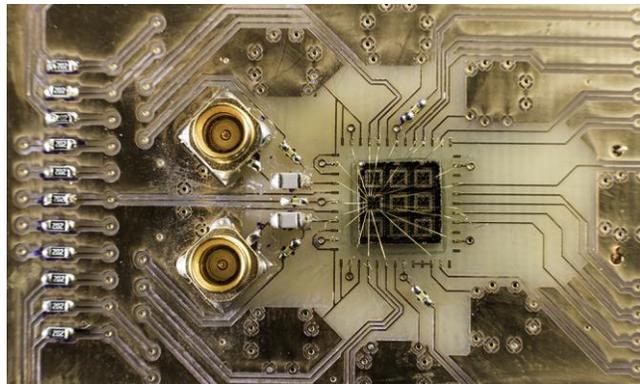
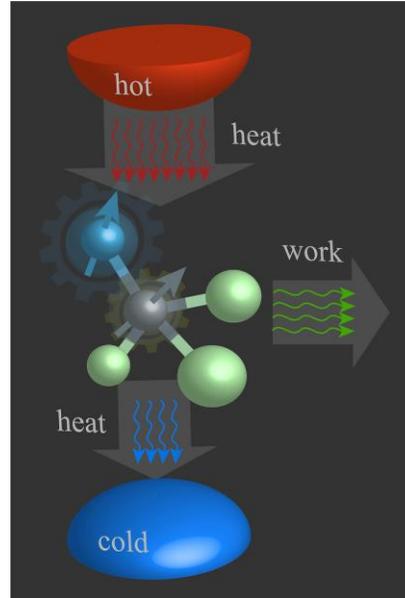
# Máquinas cuánticas



# Máquinas cuánticas



# Máquinas cuánticas



<https://www.rochester.edu/newscenter/quantum-engines-entanglement-as-fuel-457152/> ----> “funding... to research quantum measurement engines—engines that use the principles of quantum mechanics to run with 100 percent efficiency”

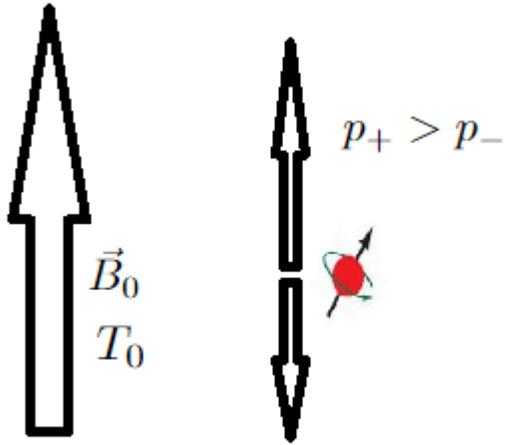


# Motores cuánticos

- ▶ Ciclo Otto cuántico:  $H = -\mu\vec{B} \cdot \vec{S}$

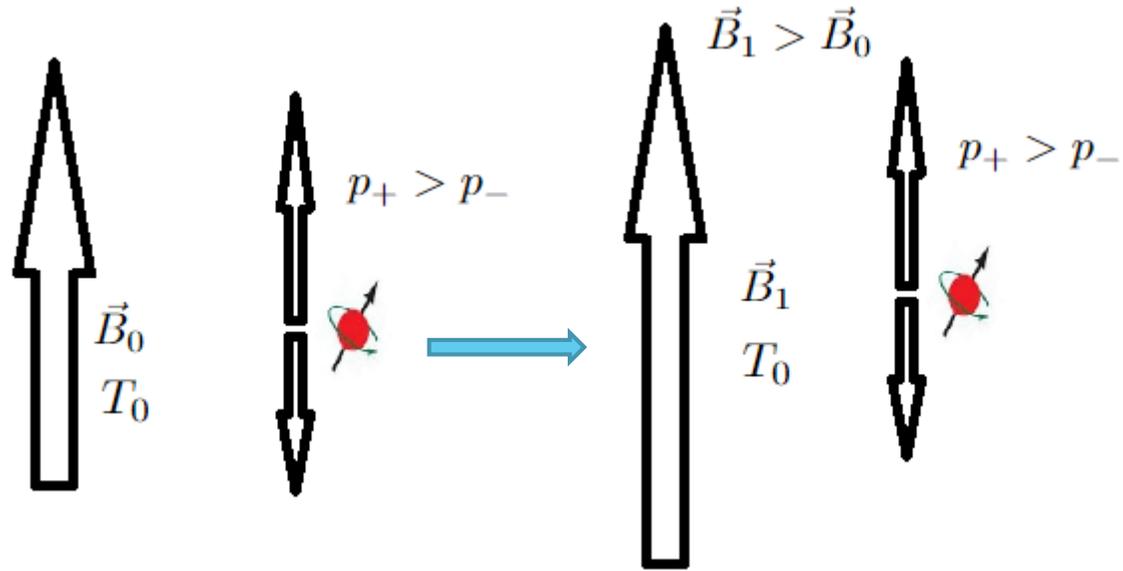
# Motores cuánticos

► Ciclo Otto cuántico:  $H = -\mu\vec{B} \cdot \vec{S}$



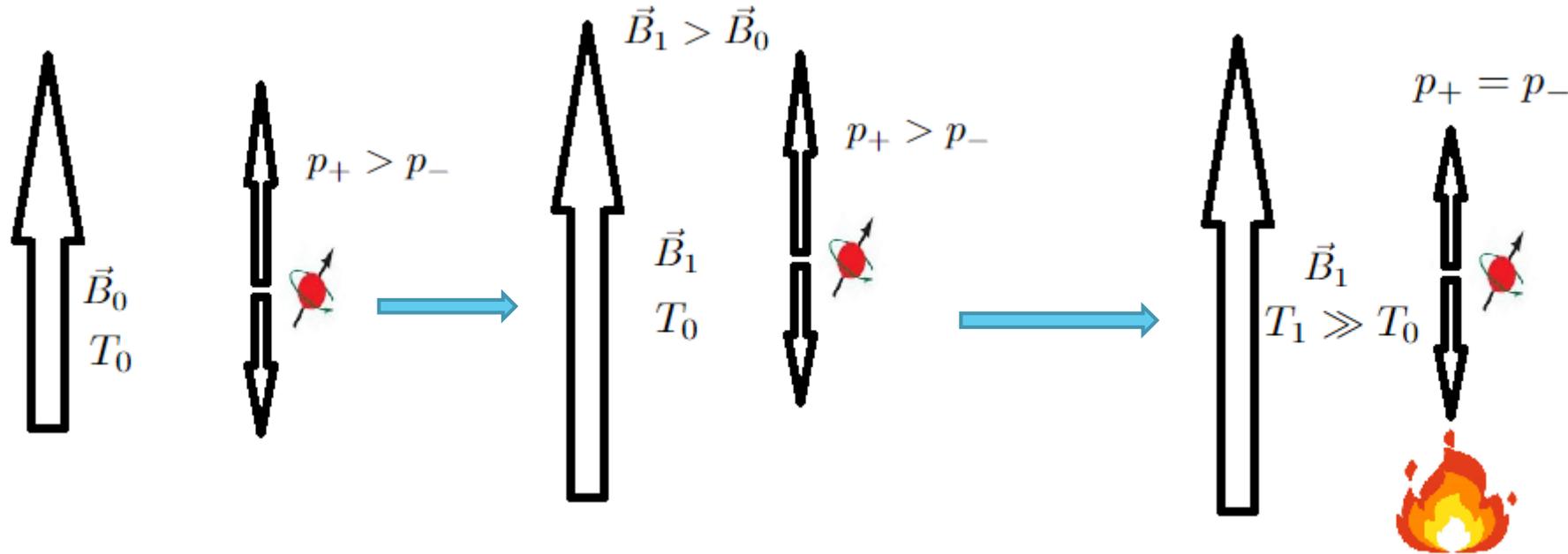
# Motores cuánticos

► Ciclo Otto cuántico:  $H = -\mu \vec{B} \cdot \vec{S}$



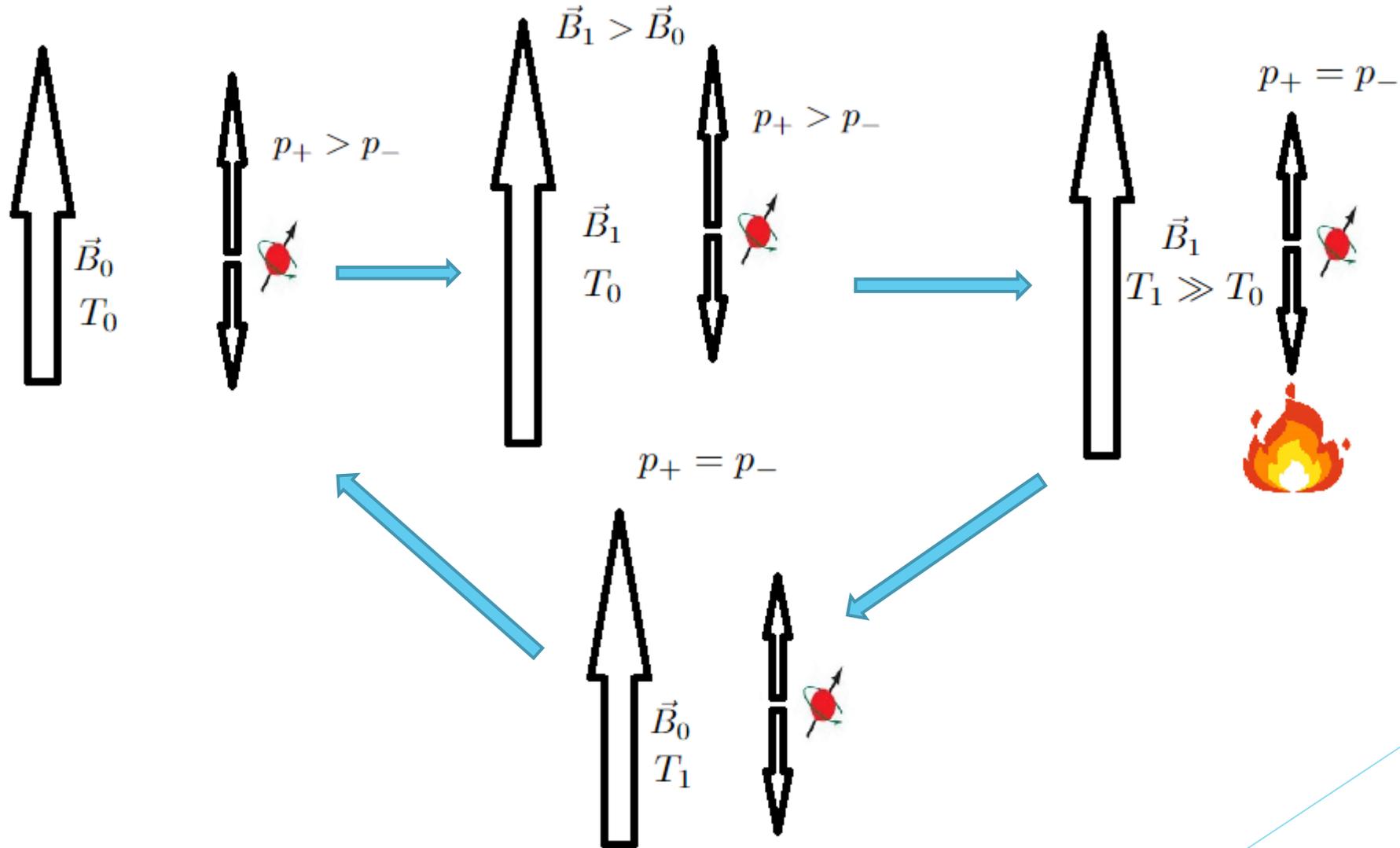
# Motores cuánticos

► Ciclo Otto cuántico:  $H = -\mu\vec{B} \cdot \vec{S}$



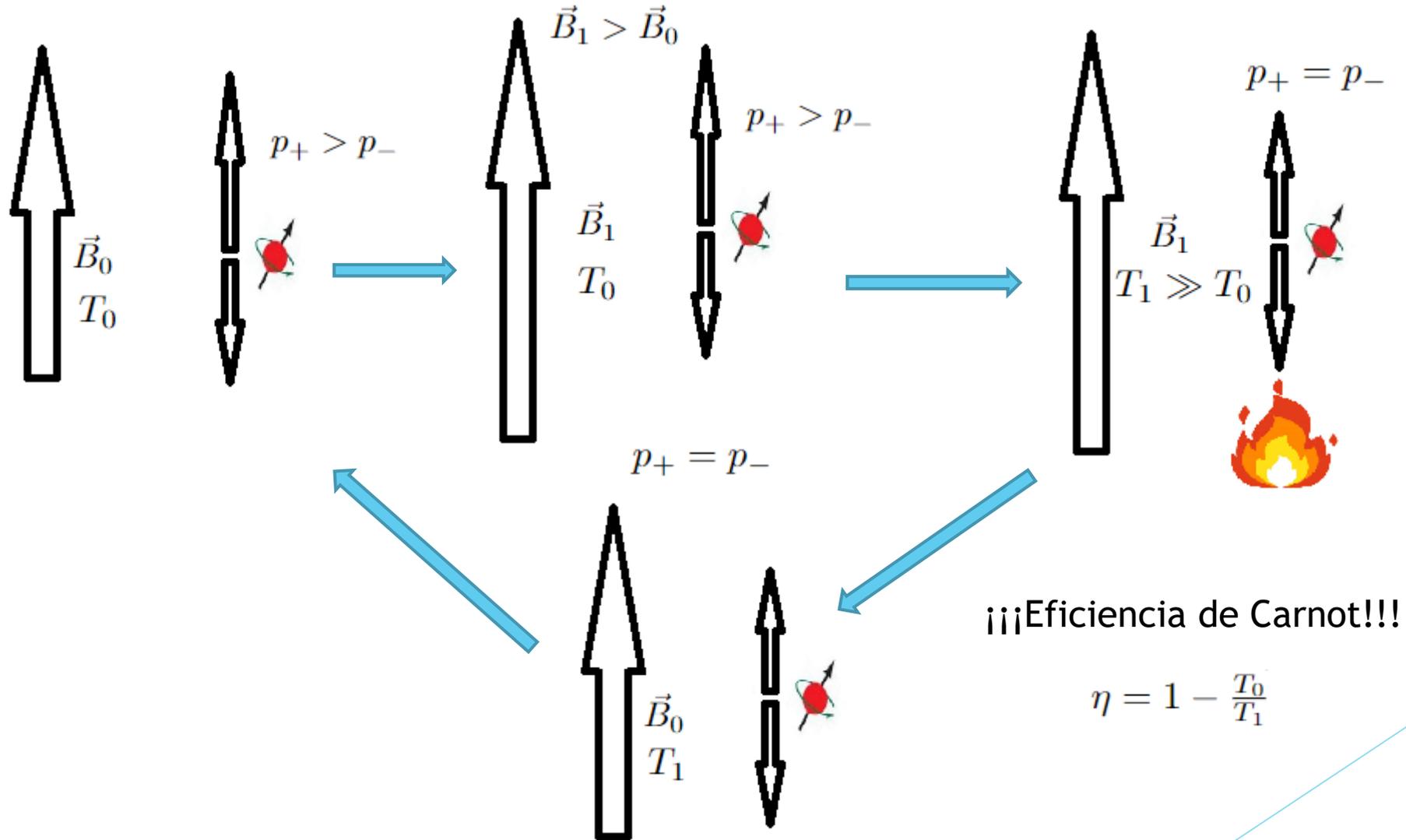
# Motores cuánticos

► Ciclo Otto cuántico:  $H = -\mu\vec{B} \cdot \vec{S}$



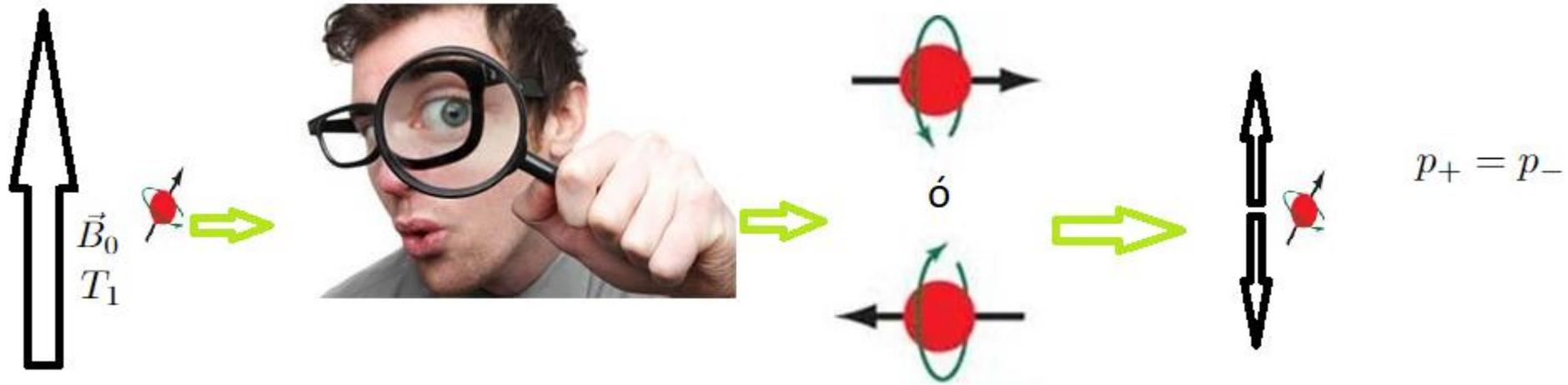
# Motores cuánticos

► Ciclo Otto cuántico:  $H = -\mu\vec{B} \cdot \vec{S}$



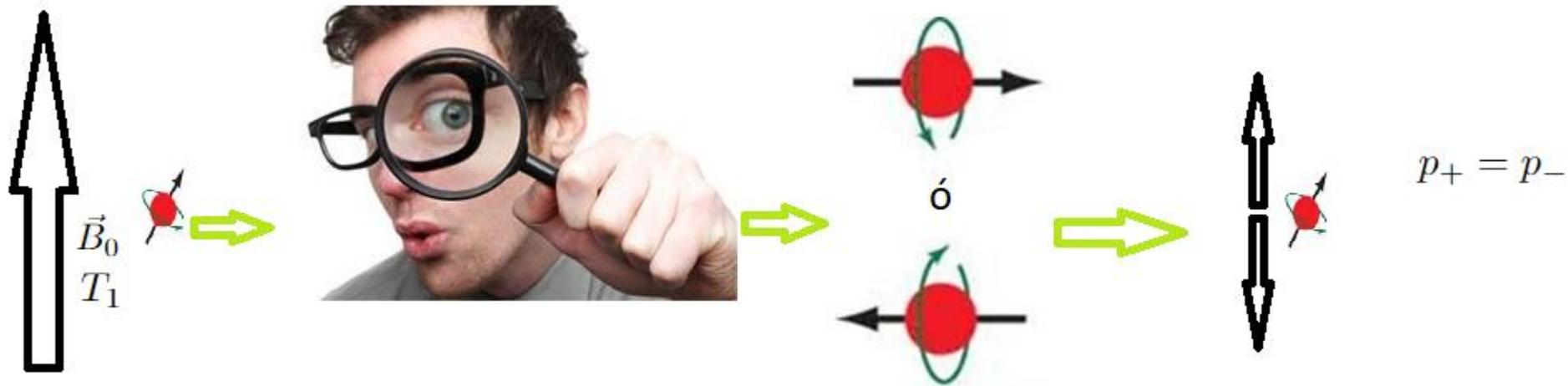
# ... de medición

- ▶ Cambiamos el aumento de temperatura por una medición



# ... de medición

- ▶ Cambiamos el aumento de temperatura por una medición



!!!MAYOR EFICIENCIA QUE LA DE CARNOT!!!  
(hay una sola fuente térmica)

## Problema del espín

- ▶ Sabemos de FT2 que un espín en un campo magnético precede

## Problema del espín

- ▶ Sabemos de FT2 que un espín en un campo magnético precede
- ▶ “Da vueltas”

## Problema del espín

- ▶ Sabemos de FT2 que un espín en un campo magnético precede
- ▶ “Da vueltas”
- ▶ Irradia

## Problema del espín

- ▶ Sabemos de FT2 que un espín en un campo magnético precede
- ▶ “Da vueltas”
- ▶ Irradia
- ▶ Precede en espiral

## Problema del espín

- ▶ Sabemos de FT2 que un espín en un campo magnético precede
- ▶ “Da vueltas”
- ▶ Irradia
- ▶ Precede en espiral
- ▶ Se alinea con el campo

# Nuestro modelo

- ▶ Es tratar el hamiltoniano

$$H = H_0 + H_I$$

$$H_0 = -\Omega S_z + \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3} \sum_{\alpha} \omega_k \left[ a_{\alpha, \mathbf{k}}^{\dagger} a_{\alpha, \mathbf{k}} + \frac{1}{2} \right]$$

$$H_I = \mu \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3} \sum_{\alpha} [(\mathbf{k} \times \boldsymbol{\varepsilon}_{\alpha, \mathbf{k}}) \cdot \mathbf{S}] \frac{1}{\sqrt{2\omega_k}} \left[ a_{\alpha, \mathbf{k}} + a_{\alpha, \mathbf{k}}^{\dagger} \right]$$

para un espín que está originalmente en una dirección distinta a la del campo

# Las cuentitas

$$a_{\alpha, \mathbf{k}}(t) = e^{-i\omega_{\mathbf{k}}t} a_{\alpha, \mathbf{k}}$$

# Las cuentitas

$$a_{\alpha, \mathbf{k}}(t) = e^{-i\omega_{\mathbf{k}}t} a_{\alpha, \mathbf{k}}$$

$$S_x(t) = S_x \cos \Omega t + S_y \sin \Omega t = \frac{1}{2} [S_+ e^{-i\Omega t} + S_- e^{i\Omega t}]$$

$$S_y(t) = S_y \cos \Omega t + S_x \sin \Omega t = \frac{(-i)}{2} [S_+ e^{-i\Omega t} - S_- e^{i\Omega t}]$$

# Las cuentitas

$$a_{\alpha, \mathbf{k}}(t) = e^{-i\omega_{\mathbf{k}}t} a_{\alpha, \mathbf{k}}$$

$$S_x(t) = S_x \cos \Omega t + S_y \sin \Omega t = \frac{1}{2} [S_+ e^{-i\Omega t} + S_- e^{i\Omega t}]$$

$$S_y(t) = S_y \cos \Omega t + S_x \sin \Omega t = \frac{(-i)}{2} [S_+ e^{-i\Omega t} - S_- e^{i\Omega t}]$$

$$H_I = \mu \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3} \sum_{\alpha} [K_0 S_z + K_+ S_+ e^{-i\Omega t} + K_- S_- e^{i\Omega t}] \frac{1}{\sqrt{2\omega_{\mathbf{k}}}} [a_{\alpha, \mathbf{k}} e^{-i\omega_{\mathbf{k}}t} + a_{\alpha, \mathbf{k}}^{\dagger} e^{i\omega_{\mathbf{k}}t}]$$

# Las cuentitas

$$a_{\alpha, \mathbf{k}}(t) = e^{-i\omega_{\mathbf{k}}t} a_{\alpha, \mathbf{k}}$$

$$S_x(t) = S_x \cos \Omega t + S_y \sin \Omega t = \frac{1}{2} [S_+ e^{-i\Omega t} + S_- e^{i\Omega t}]$$

$$S_y(t) = S_y \cos \Omega t + S_x \sin \Omega t = \frac{(-i)}{2} [S_+ e^{-i\Omega t} - S_- e^{i\Omega t}]$$

$$H_I = \mu \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3} \sum_{\alpha} [K_0 S_z + K_+ S_+ e^{-i\Omega t} + K_- S_- e^{i\Omega t}] \frac{1}{\sqrt{2\omega_{\mathbf{k}}}} [a_{\alpha, \mathbf{k}} e^{-i\omega_{\mathbf{k}}t} + a_{\alpha, \mathbf{k}}^{\dagger} e^{i\omega_{\mathbf{k}}t}]$$

Hay que integrar potencias T ordenadas del hamiltoniano de interacción  
Por **SUERTE** son todas exponenciales fáciles de integrar

# Las cuentitas

$$a_{\alpha, \mathbf{k}}(t) = e^{-i\omega_{\mathbf{k}}t} a_{\alpha, \mathbf{k}}$$

$$S_x(t) = S_x \cos \Omega t + S_y \sin \Omega t = \frac{1}{2} [S_+ e^{-i\Omega t} + S_- e^{i\Omega t}]$$

$$S_y(t) = S_y \cos \Omega t + S_x \sin \Omega t = \frac{(-i)}{2} [S_+ e^{-i\Omega t} - S_- e^{i\Omega t}]$$

$$H_I = \mu \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3} \sum_{\alpha} [K_0 S_z + K_+ S_+ e^{-i\Omega t} + K_- S_- e^{i\Omega t}] \frac{1}{\sqrt{2\omega_{\mathbf{k}}}} [a_{\alpha, \mathbf{k}} e^{-i\omega_{\mathbf{k}}t} + a_{\alpha, \mathbf{k}}^{\dagger} e^{i\omega_{\mathbf{k}}t}]$$

Hay que integrar potencias T ordenadas del hamiltoniano de interacción  
Por **SUERTE** son todas exponenciales fáciles de integrar



# El resultado más crudo

- ▶ A orden más bajo y T muy grande:

$$U = \mathbf{1} - i\mu \int \frac{d^3k}{(2\pi)^2} \sum_{\alpha} \left[ K_+ S_+ a_{\alpha, \mathbf{k}}^{\dagger} + K_- S_- a_{\alpha, \mathbf{k}} \right] \delta(\omega_{\mathbf{k}} - \Omega)$$

Nos da un spin-flip y tasa de radiación constante (radiación lineal en T):  
hicimos una aproximación brutal, pero sirve para cuantificar.

# Trabajo futuro y mejoras

- ▶ Entender si esta cota sirve para afinar la eficiencia.

# Trabajo futuro y mejoras

- ▶ Entender si esta cota sirve para afinar la eficiencia.
- ▶ Entender el caso de tiempo finito.

# Trabajo futuro y mejoras

- ▶ Entender si esta cota sirve para afinar la eficiencia.
- ▶ Entender el caso de tiempo finito.
- ▶ Agregar el back-reaction y el cuantificar el “amortiguamiento” de la precesión.

# Trabajo futuro y mejoras

- ▶ Entender si esta cota sirve para afinar la eficiencia.
- ▶ Entender el caso de tiempo finito.
- ▶ Agregar el back-reaction y el cuantificar el “amortiguamiento” de la precesión.
- ▶ Intentar cuantificar el campo clásico para ver emisión estimulada y efectos térmicos → Acá vamos a tener que usar matrices de densidad y quizás, el método más efectivo para calcular la evolución sea usar funciones de Green.

$$\rho(t) = e^{-iHt/\hbar} \rho(0) e^{iHt/\hbar}$$

(ver Wikipedia: “density matrix”)

Gracias

