



Forças Radiativas no Modelo de Lorentz para a realização de Armadilhas Dipolares Ópticas

Humberto Ribeiro de Souza

Universidade de São Paulo
Instituto de Física de São Carlos

São Carlos, 2018

Introdução

Modelo de
Lorentz

Armadilhas
Dipolares
Ópticas

Detuning
Vermelho

Detuning Azul

Conclusões

Referências

Referências

Sumário

Introdução

Modelo de Lorentz

Armadilhas Dipolares Ópticas

Detuning Vermelho

Detuning Azul

Conclusões

Forças
Radiativas no
Modelo de
Lorentz para a
realização de
Armadilhas
Dipolares
Ópticas

**Humberto
Ribeiro de Souza**

Introdução

Modelo de
Lorentz

Armadilhas
Dipolares
Ópticas

Detuning
Vermelho

Detuning Azul

Conclusões

Referências

Referências

Introdução

Armadilhas Dipolares Ópticas

- ▶ Potencial de interação dipolar[2]:

$$U_{dip} = -\frac{\Re[\alpha]}{2\epsilon_0 c} I \quad (1)$$

- ▶ Taxa de espalhamento dos átomos[2]:

$$\Gamma_{sc} = \omega \frac{\Im[\alpha]}{\epsilon_0 c} I \quad (2)$$

- ▶ α - Polarizabilidade complexa do átomo

$$p(t) = \alpha E(t) \quad (3)$$

Introdução

Força radiativa e Modelo de Lorentz

- ▶ Força radiativa de Abraham-Lorentz[1]:

$$F_{rad} = m\tau\dot{a} \quad (4)$$
$$\tau = \frac{\mu_0 q^2}{6\pi m c}$$

Introdução

Força radiativa e Modelo de Lorentz

- ▶ Força radiativa de Abraham-Lorentz[1]:

$$F_{rad} = m\tau\dot{a} \tag{4}$$
$$\tau = \frac{\mu_0 q^2}{6\pi m c}$$

- ▶ Modelo de Lorentz para um Oscilador Clássico:

$$m\tau\ddot{x}$$

Introdução

Força radiativa e Modelo de Lorentz

Forças Radiativas no Modelo de Lorentz para a realização de Armadilhas Dipolares Ópticas

Humberto Ribeiro de Souza

- ▶ Força radiativa de Abraham-Lorentz[1]:

$$F_{rad} = m\tau\dot{a} \tag{4}$$
$$\tau = \frac{\mu_0 q^2}{6\pi m c}$$

- ▶ Modelo de Lorentz para um Oscilador Clássico:

$$m\tau\ddot{\dot{x}} - m\ddot{x}$$

Introdução

Modelo de Lorentz

Armadilhas Dipolares Ópticas

Detuning Vermelho

Detuning Azul

Conclusões

Referências

Referências

Introdução

Força radiativa e Modelo de Lorentz

Forças Radiativas no Modelo de Lorentz para a realização de Armadilhas Dipolares Ópticas

Humberto Ribeiro de Souza

- ▶ Força radiativa de Abraham-Lorentz[1]:

$$F_{rad} = m\tau\dot{a} \quad (4)$$
$$\tau = \frac{\mu_0 q^2}{6\pi m c}$$

- ▶ Modelo de Lorentz para um Oscilador Clássico:

$$m\tau\ddot{\dot{x}} - m\ddot{x} - m\omega_0^2 x$$

Introdução

Modelo de Lorentz

Armadilhas Dipolares Ópticas

Detuning Vermelho

Detuning Azul

Conclusões

Referências

Referências

Introdução

Força radiativa e Modelo de Lorentz

Forças Radiativas no Modelo de Lorentz para a realização de Armadilhas Dipolares Ópticas

Humberto Ribeiro de Souza

- ▶ Força radiativa de Abraham-Lorentz[1]:

$$F_{rad} = m\tau\dot{a} \quad (4)$$
$$\tau = \frac{\mu_0 q^2}{6\pi m c}$$

- ▶ Modelo de Lorentz para um Oscilador Clássico:

$$m\tau\ddot{\dot{x}} - m\ddot{x} - m\omega_0^2 x = -eE_0 \cos(\omega t) \quad (5)$$

Introdução

Modelo de Lorentz

Armadilhas Dipolares Ópticas

Detuning Vermelho

Detuning Azul

Conclusões

Referências

Referências

Modelo de Lorentz para um Oscilador Clássico

Forças
Radiativas no
Modelo de
Lorentz para a
realização de
Armadilhas
Dipolares
Ópticas

Humberto
Ribeiro de Souza

- Solução Estacionária:

$$x(t) = x_0 \cos(\omega t) \quad (6)$$
$$x_0 = \frac{eE_0/m}{(\omega^2 - \omega_0^2) - i\tau\omega^3}$$

Introdução

Modelo de
Lorentz

Armadilhas
Dipolares
Ópticas

Detuning
Vermelho

Detuning Azul

Conclusões

Referências

Referências

Modelo de Lorentz para um Oscilador Clássico

- ▶ Solução Estacionária:

$$x(t) = x_0 \cos(\omega t) \quad (6)$$
$$x_0 = \frac{eE_0/m}{(\omega^2 - \omega_0^2) - i\tau\omega^3}$$

- ▶ Polarizabilidade Complexa:

$$\alpha = \frac{e^2/m}{(\omega^2 - \omega_0^2) - i\tau\omega^3} \quad (7)$$

Armadilhas Dipolares Ópticas

- ▶ Encontrando a polarizabilidade complexa e fazendo as devidas aproximações, obtemos:

$$U_{dip} = 3\pi c^2 \frac{\tau}{\Delta} I \quad (8)$$

$$\Gamma_{sc} = 6\pi c^2 \frac{\omega^3}{\hbar} \frac{\tau^2}{\Delta^2} I$$

- ▶ Termo de detuning: $\Delta = \omega_0 - \omega$

Armadilhas Dipolares Ópticas

Análise das características

- ▶ Sinal do detuning: Influência no sinal do potencial dipolar
 - ▶ $\Delta < 0$ - Detuning Vermelho
 - ▶ $\Delta > 0$ - Detuning Azul
- ▶ Razão I/Δ : Dependência simples no potencial e quadrática na taxa de espalhamento

Detuning Vermelho

- ▶ Frequência do laser menor que a de ressonância
- ▶ Mínimo do potencial ocorre quando a intensidade for máxima
- ▶ Armadilhas abordadas: feixe simples, feixe vertical e feixes cruzados

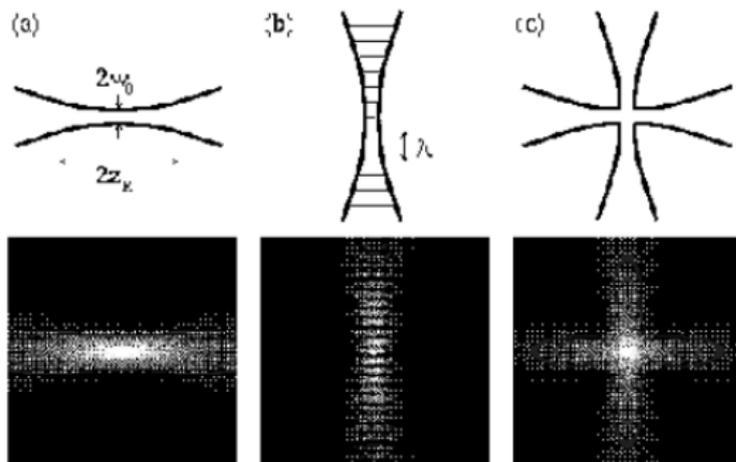
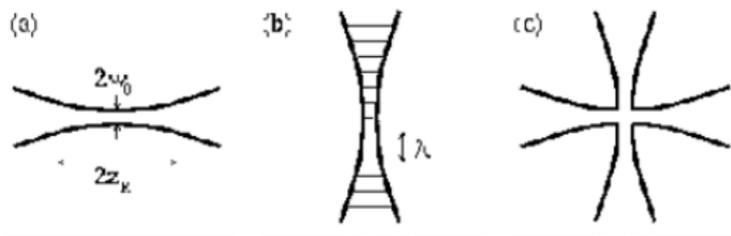


Figura: (a) Feixe simples, (b) Feixe Vertical e (c) Feixes Cruzados[1]

Detuning Vermelho

Feixe Simples



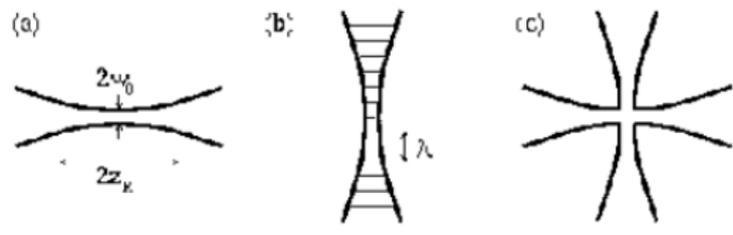
- ▶ Feixe Simples (*Focused-beam*): Armadilha realizada com a utilização de apenas um feixe
 - ▶ Potencial óptico da Armadilha:

$$U_{FB}(r, z) = -\hat{U} \left[1 - 2 \left(\frac{r}{w_0} \right)^2 - \left(\frac{z}{z_R} \right)^2 \right]$$

- ▶ Frequências de oscilação: $\omega_r^2 = 4\hat{U}/mw_0^2$ (Radial) e $\omega_z^2 = 2\hat{U}/mz_R^2$ (Axial)

Detuning Vermelho

Feixe Cruzado



- ▶ Feixe Cruzado (*Crossed-beam*): Armadilha realizada com a utilização de múltiplos feixes perpendiculares
 - ▶ Potencial óptico da Armadilha:

$$U_{CB}(x, y, z) = -\hat{U} \left(1 - \frac{x^2 + y^2 + 2z^2}{w_0^2} \right)$$

- ▶ Frequências de oscilação: $\omega_x^2 = \omega_y^2 = \hat{2}U/mw_0^2$ e $\omega_z^2 = 4\hat{U}/mw_0^2$ (Axial)

Detuning Azul

Forças
Radiativas no
Modelo de
Lorentz para a
realização de
Armadilhas
Dipolares
Ópticas

Humberto
Ribeiro de Souza

Introdução

Modelo de
Lorentz

Armadilhas
Dipolares
Ópticas

Detuning
Vermelho

Detuning Azul

Conclusões

Referências

Referências

- ▶ Frequências superiores à frequência de ressonância
- ▶ Mínimo do potencial ocorre quando a intensidade for mínima
- ▶ Armadilha estudada: Armadilha de feixe "oco"

Conclusões

- ▶ Força de Abraham-Lorentz: Proporciona uma força com caráter dissipativo no Modelo de Lorentz
- ▶ Modelo de Lorentz: Necessário para determinar a polarizabilidade complexa
- ▶ Características relevantes abordadas:
 - ▶ Sinal do detuning
 - ▶ Razão I/Δ
- ▶ Detuning Vermelho: Intensidade máxima para potencial mínimo
- ▶ Detuning Azul: Intensidade mínima para potencial mínimo

Referências

 David J Griffiths. *Introduction to electrodynamics*.
Prentice Hall, 1962.

 Rudolf Grimm, Matthias Weidemüller e
Yurii B Ovchinnikov. “Optical dipole traps for neutral
atoms”. Em: *Advances in atomic, molecular, and optical
physics*. Vol. 42. Elsevier, 2000, pp. 95–170.

Forças
Radiativas no
Modelo de
Lorentz para a
realização de
Armadilhas
Dipolares
Ópticas

Humberto
Ribeiro de Souza

Introdução

Modelo de
Lorentz

Armadilhas
Dipolares
Ópticas

Detuning
Vermelho

Detuning Azul

Conclusões

Referências

Referências

