


# Absorção e Emissão de fótons

## (parte 2)

 Emissão estimulada, Coeficientes de Einstein e equações de taxa

Excitações coerentes e emissão espontânea via matriz densidade  
Equações ópticas de Bloch e Equação mestra (dinâmica do operador densidade)

*Outras  
formulações*

→ Veremos  $\oplus$  no futuro (mas, tem relação com o já discutimos!)

# Teoria de Perturbação dependente do tempo

## Potencial harmônico

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{V}(t) \quad \hat{V}(t) = V(\mathbf{r}) \cos(\omega t)$$

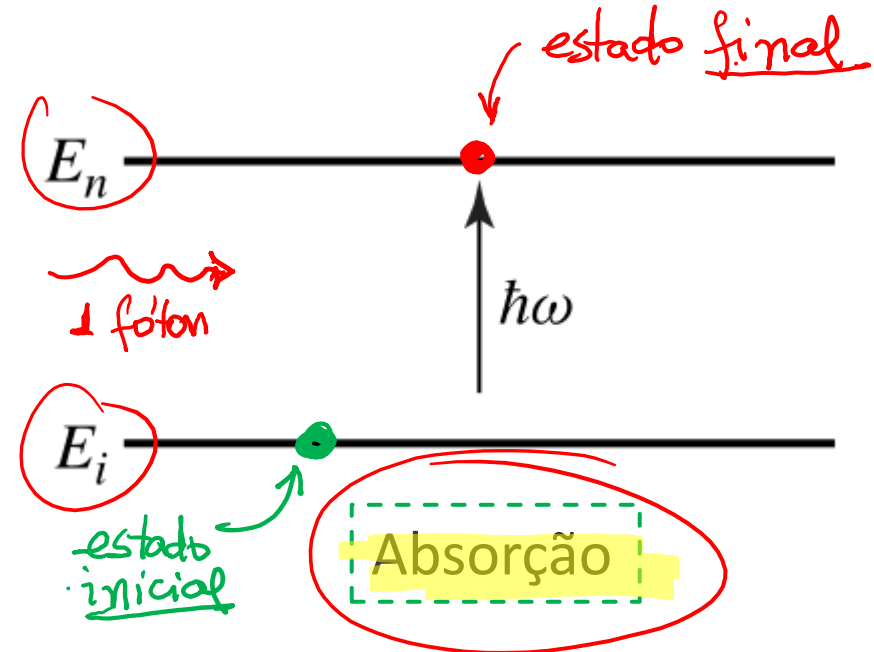
$$c_n(t) \approx -\frac{V_{ni}}{2\hbar} \left[ \frac{e^{i(\omega_0 + \omega)t} - 1}{(\omega_0 + \omega)} + \frac{e^{i(\omega_0 - \omega)t} - 1}{(\omega_0 - \omega)} \right]$$

$$\omega \approx -\omega_0$$

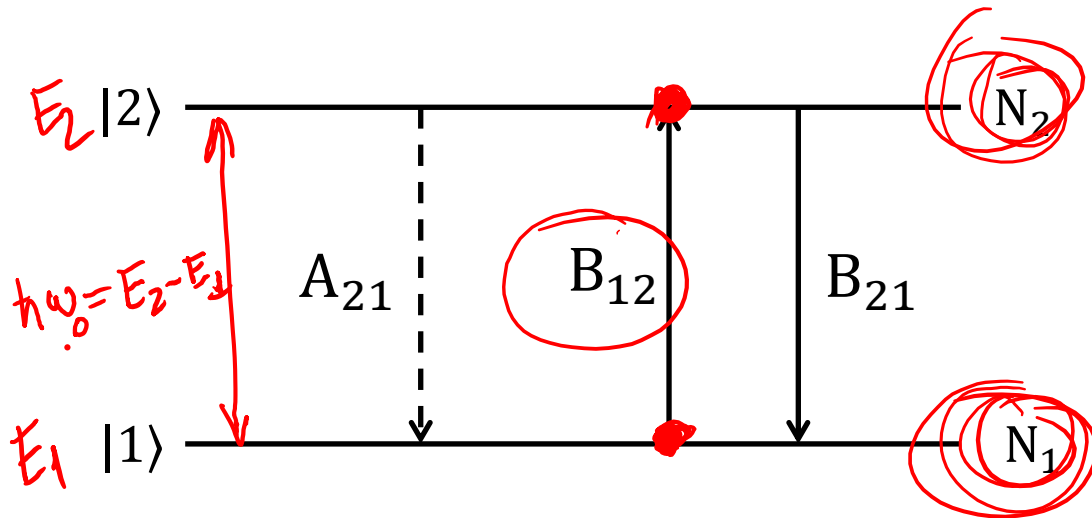
$$\omega_0 \equiv (E_n - E_i) / \hbar$$



Absorção e Emissão estimulada\*  
 surgem naturalmente da  
 teoria de perturbação...



# Coeficientes A e B de Einstein



Ensemble: coleção de  $N$  átomos (2 níveis)  $N = N_1 + N_2$

$u(\omega)$  dens. de energia detronas. por unidade de volume, no intervalo  $d\omega$  em torno de  $\omega$ .  
Planck

$$\frac{dN_1}{dt} = - \underbrace{u(\omega) B_{12} N_1}_{\# \text{ excit. } |1\rangle \rightarrow |2\rangle} + \underbrace{u(\omega) B_{21} N_2}_{\# \text{ decaimento estimulado } |2\rangle \rightarrow |1\rangle} + \underbrace{A_{21} N_2}_{\# \text{ decaimento espontâneo } |2\rangle \rightarrow |1\rangle}$$

$$\frac{dN_2}{dt} = + u(\omega) B_{12} N_1 - u(\omega) B_{21} N_2 - A_{21} N_2$$

$$\dot{N} = \frac{dN}{dt} = \frac{dN_1}{dt} + \frac{dN_2}{dt} = 0$$

$$\frac{dN_1}{dt} = - \frac{dN_2}{dt}$$

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-h\nu_0/k_B T}$$

No equilíbrio  $\dot{N}_1 = \dot{N}_2 = 0$

fator de Boltzmann

$$u(\omega) = \frac{\omega^3}{(e^{h\nu_0/k_B T} - 1)}$$

Planck

$$B_{21} = B_{12}$$

$$\frac{A_{21}}{B_{12}} = \frac{8\pi h \omega^3}{c^2}$$

$$A_{21} = B_{12} \left( \frac{8\pi h \omega^3}{c^2} \right)$$

unidades Sist. Gaussiano

# Dúvidas e discussões pós-aula... (Exemplo: Aprisionamento magnético & bombeamento óptico)

