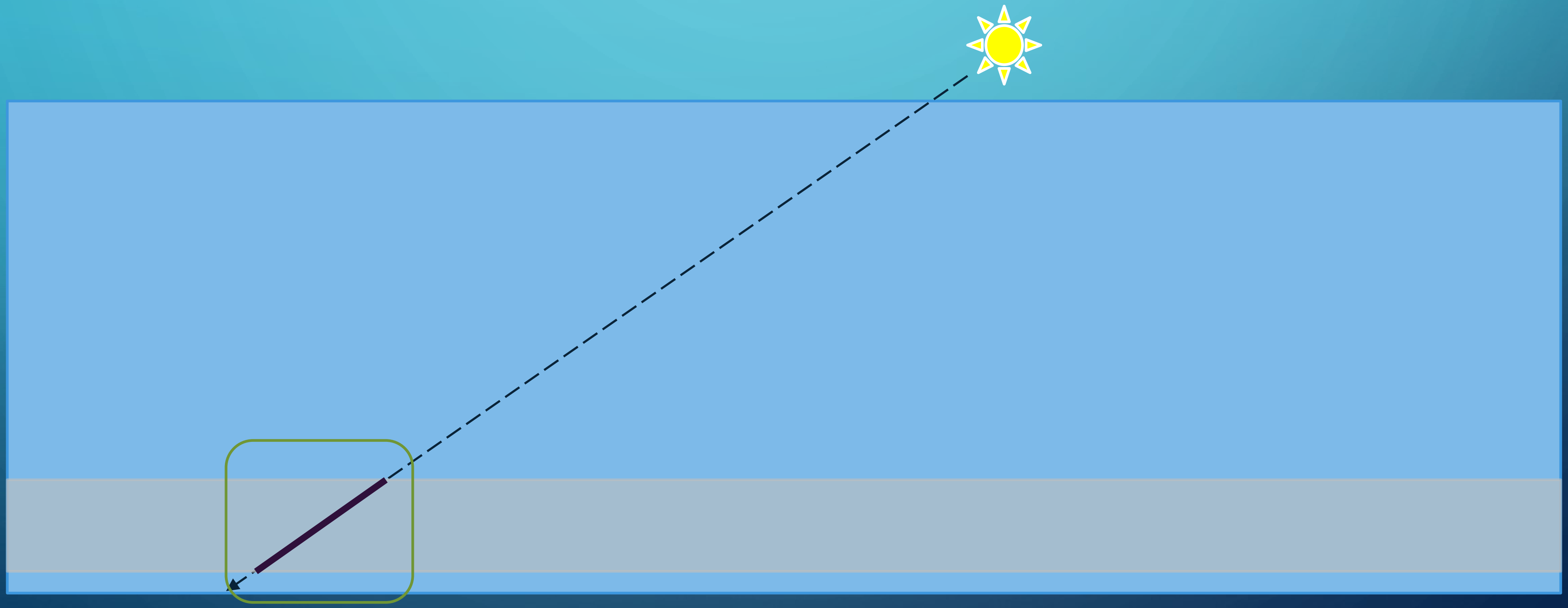
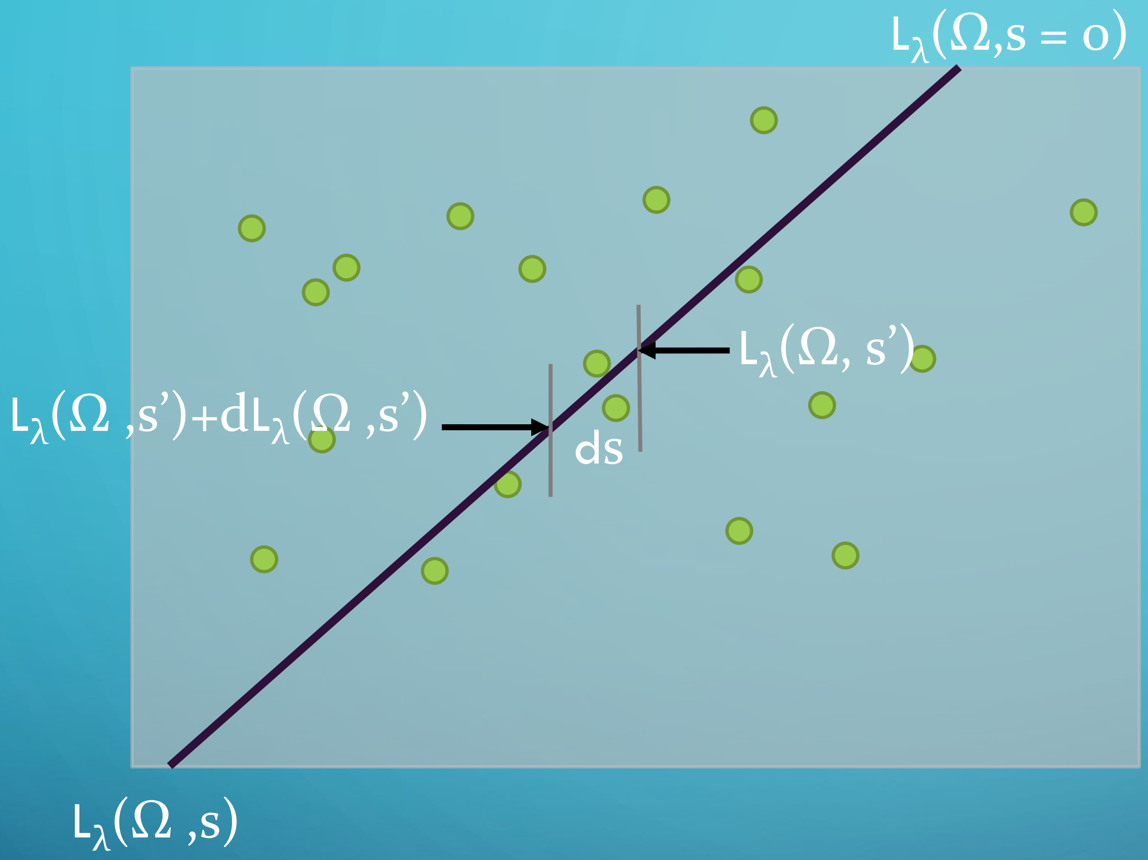
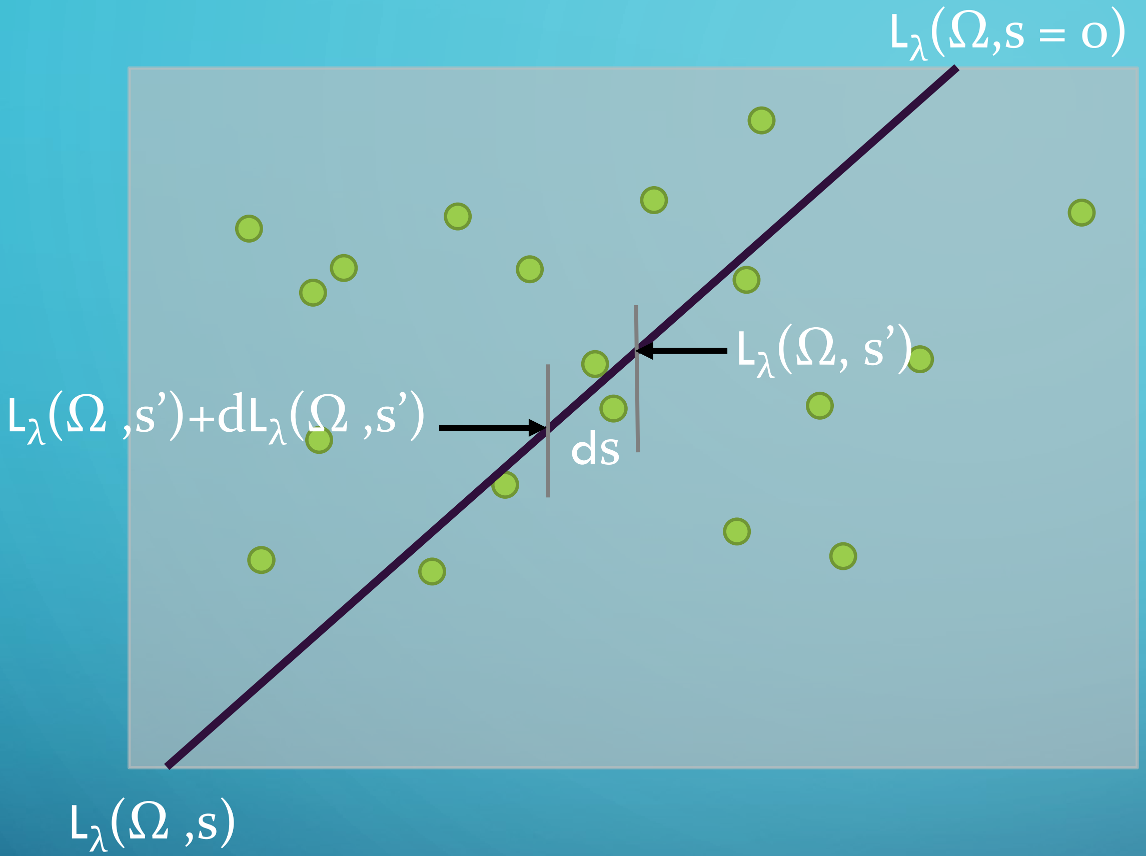
LEI DE BEER

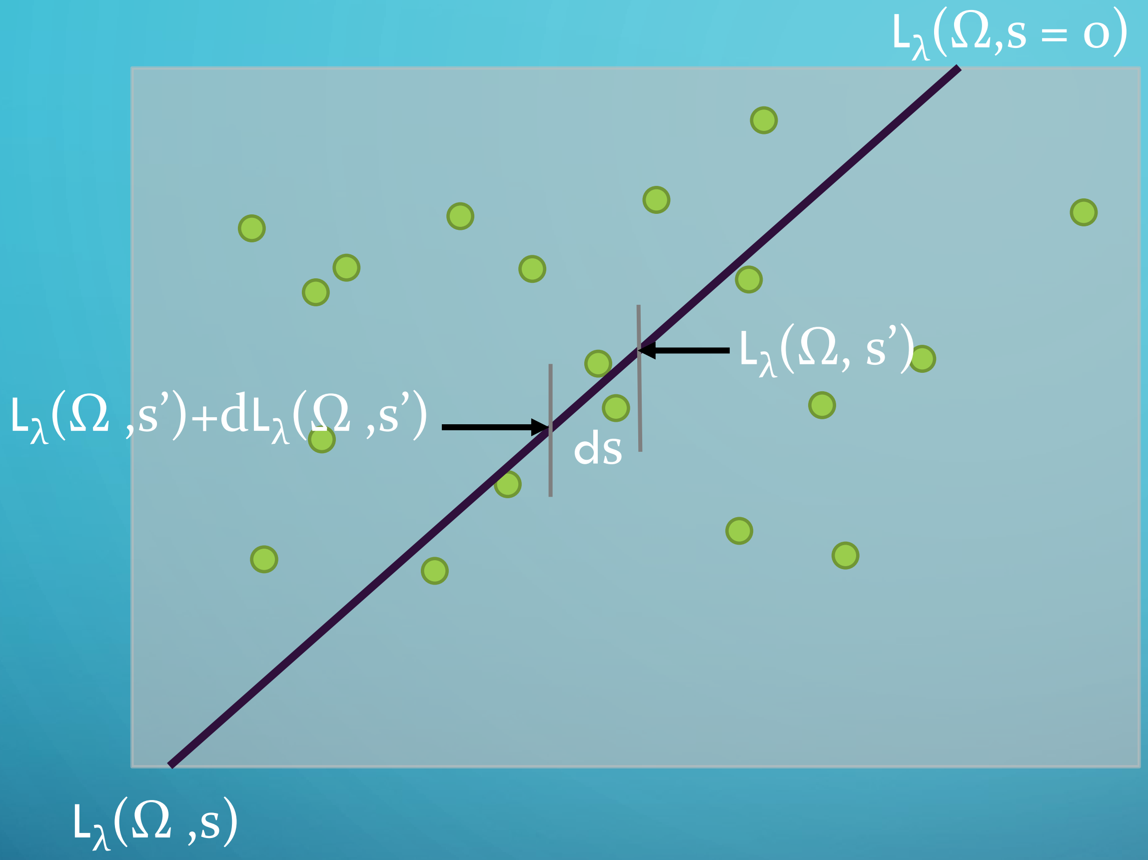




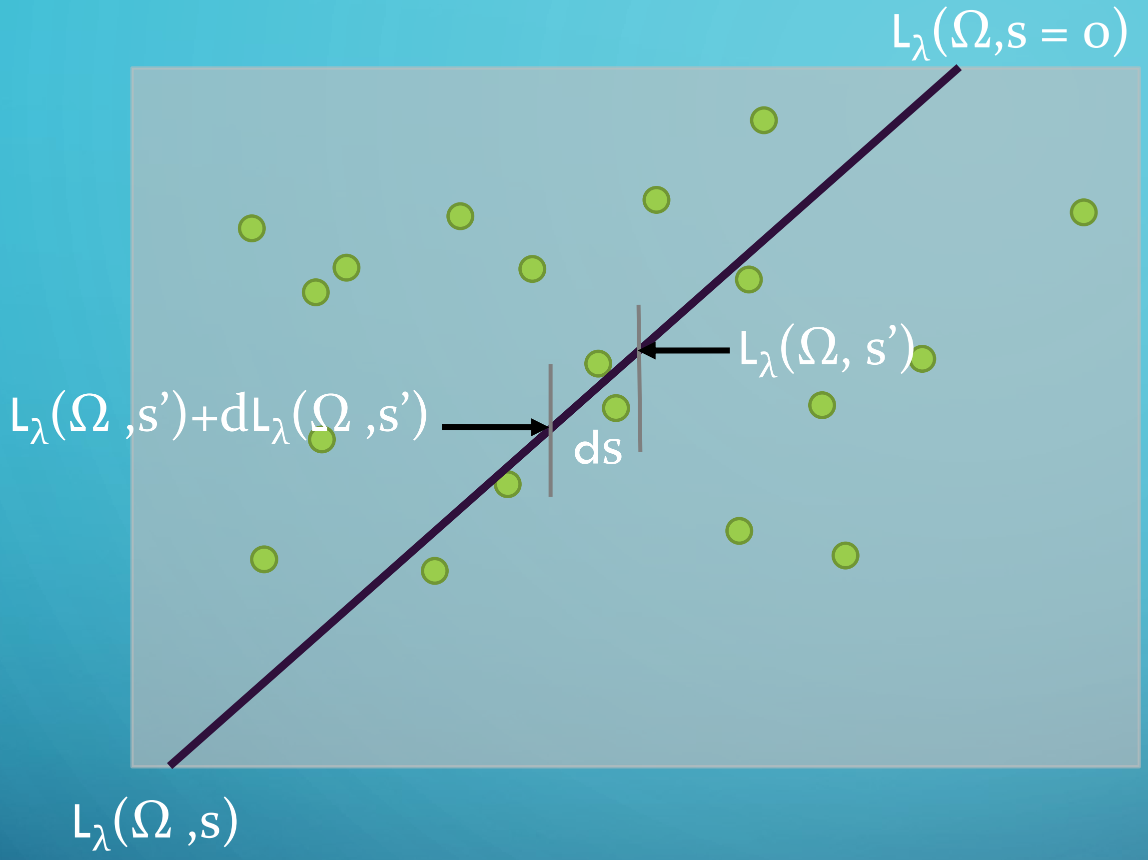
Lλ(Ω,s = 0)
Lλ(Ω, s')
Lλ(Ω ,s')+dLλ(Ω ,s')
ds
Lλ(Ω ,s)



$$dL_\lambda(\Omega, s') = -L_\lambda(\Omega, s')\,\beta(\lambda, s)$$



$$dL_\lambda(\Omega, s') = -L_\lambda(\Omega, s')\,\beta(\lambda, s)$$



$$dL_\lambda(\Omega, s') = -L_\lambda(\Omega, s')\,\beta(\lambda, s)\,ds$$

A ATENUAÇÃO SOFRIDA PELA RADIÂNCIA ENTRE DUAS POSIÇÕES S_1 E S_2 DO CAMINHO ÓPTICO É DADA POR

$$\int_{s_1}^{s_2} dL_\lambda(\Omega,s) = -\int_{s_1}^{s_2} L_\lambda(\Omega,s)\beta(\lambda,s)ds$$

- Como resolver?

$$\int_{s_1}^{s_2} \frac{dL_\lambda(\Omega,s)}{L_\lambda(\Omega,s)} = -\int_{s_1}^{s_2} \beta(\lambda,s)ds$$

$$= ln[L_\lambda(\Omega,s_2)] - ln[L_\lambda(\Omega,s_1)] = -\int_{s_1}^{s_2} \beta(\lambda,s)ds$$

$$=> L_\lambda(\Omega,s_2) = L_\lambda(\Omega,s_1)\ \mathrm{exp}\{-\int_{s_1}^{s_2} \beta(\lambda,s)ds\}$$

$$\boldsymbol{L_\lambda(\Omega,s_2) = L_\lambda(\Omega,s_1)\ \mathrm{exp}[-\delta(\lambda,s_1,s_2)}$$

ONDE

$$\delta(\lambda, s_1, s_2) = \int_{s_1}^{s_2} \beta(\lambda, s)\, ds$$

É a espessura óptica em λ entre $s_1 e\ s_2$

$$\boldsymbol{L_\lambda(\Omega, s_2) = L_\lambda(\Omega, s_1)\ \mathbf{exp}[-\delta(\lambda, s_1, s_2)}$$

Que é a lei de atenuação exponencial ou Lei de Beer-Lambert-Bouguer

- A lei de Beer descreve como a radiância espectral diminui ao atravessar um meio opticamente ativo.
- Mas, interação radiação/matéria envolve:

(a) Absorção (1)

(b) Emissão (2)

(c) Espalhamento $\begin{cases} remoção \ (3) \\ adição \quad (4) \end{cases}$

PARA DETERMINAR COMO A RADIÂNCIA ESPECTRAL VARIA NESSE CENÁRIO,

utilizamos a **Equação de Transferência Radiativa**

ASSIM,

$$dL_\lambda(\Omega, s) = \sum_{i=1}^{4} dL_\lambda^{(i)}(\Omega, s)$$

$$= -\, dL_\lambda^{(1)}(\Omega, s) \rightarrow absorção$$

$$+dL_\lambda^{(2)}(\Omega, s) \rightarrow \text{emissão}$$

$$-\, dL_\lambda^{(3)}(\Omega, s) \rightarrow \text{remoção por espalhamento}$$

$$+dL_\lambda^{(4)}(\Omega, s) \rightarrow \text{adição por espalhamento}$$

(necessário existir outras “fontes”)

AUSÊNCIA DE ESPALHAMENTO

$$dL_{\lambda}^{(1)}(\Omega, s) = -L_{\lambda}(\Omega, s)\, \beta_a(\lambda, s) ds$$

$$\boxed{a(\lambda, s)} = \frac{dL_{\lambda}^{(1)}(\Omega, s)}{L_{\lambda}(\Omega, s)} = \beta_a(\lambda, s) ds$$

absortância

Da Lei de Kirchhoff => $a(\lambda, s) = \varepsilon(\lambda, s)$

$$\varepsilon(\lambda, s) = \frac{dL_{\lambda}^{(2)}(\Omega, s)}{B_{\lambda}(\Omega, T(s))}$$

$$dL_{\lambda}^{(2)}(\Omega, s) = \varepsilon(\lambda, s) B_{\lambda}(\Omega, T(s)) = B_{\lambda}(\Omega, T(s)) \beta_a(\lambda, s) ds$$

$$-dL_{\lambda}^{(1)}(\Omega, s) + dL_{\lambda}^{(2)}(\Omega, s) =$$
$$-L_{\lambda}(\Omega, s) \beta_a(\lambda, s) ds + B_{\lambda}(\lambda, T(s)) \beta_a(\lambda, s) ds$$
$$= dL_{\lambda}(\Omega, s)$$

Portanto, $\dfrac{dL_{\lambda}(\Omega, s)}{\beta_a(\lambda, s) ds} = -L_{\lambda}(\Omega, s) + B_{\lambda}(\lambda, T(s))$

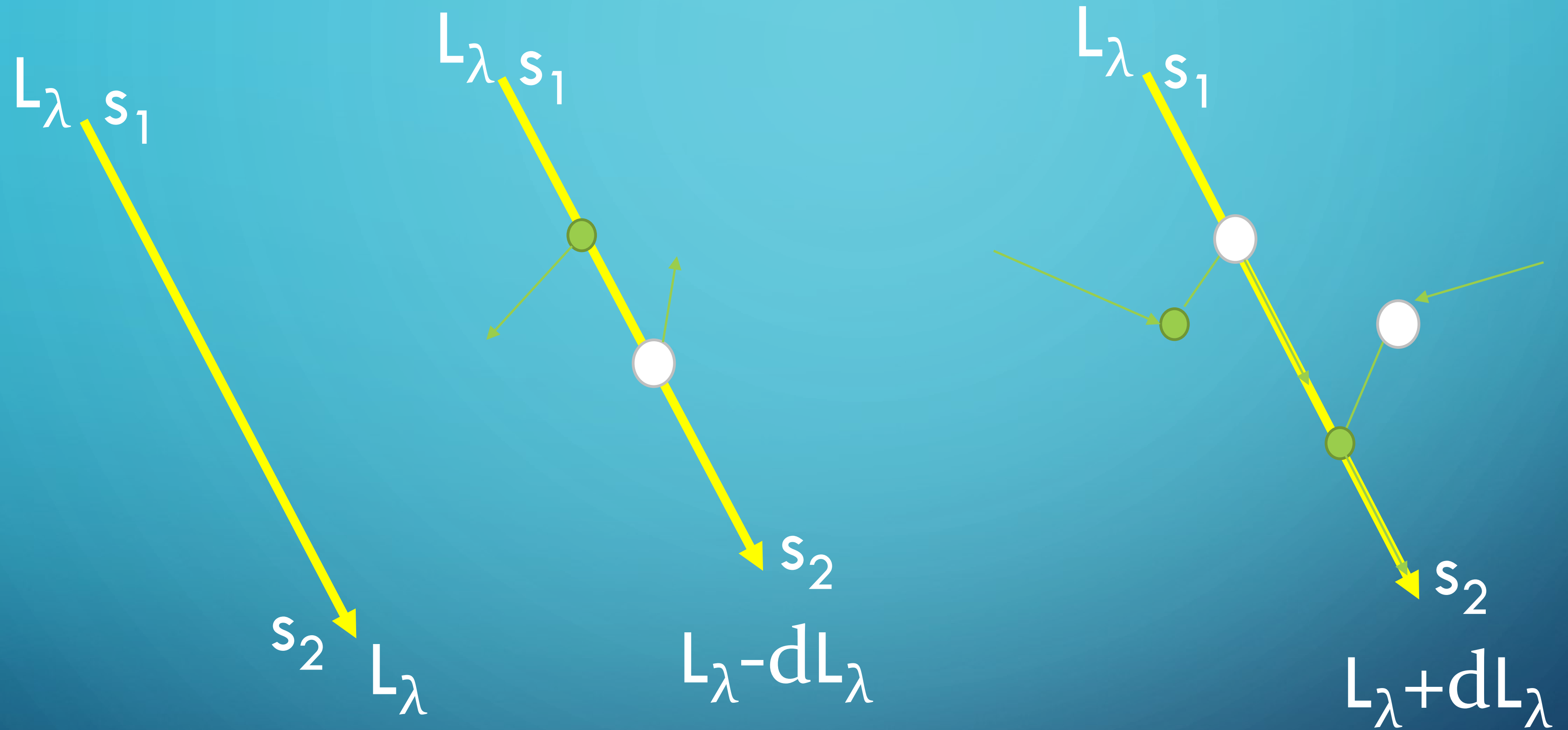
forma diferencial da ETR na ausência de espalhamento

AUSÊNCIA DE ABSORÇÃO/EMISSÃO

$$dL_\lambda(\Omega, s) = \boxed{-dL_\lambda^{(3)}(\Omega,\mathrm{s})} + \boxed{\mathrm{d}L_\lambda^{(4)}(\Omega,\mathrm{s})}$$

Espalhamento de uma parte da radiância incidente segundo Ω para outras direções (ou "para fora")

Espalhamento de uma parte da radiância provenientes de outras direções do espaço para Ω



Não há espalhamento

Espalhamento simples (olhando para o sol)

Espalhamento múltiplo (olhando para o céu) – aumenta com τ ou δ

$$dL_\lambda(\Omega,s) - dL_\lambda^{(3)}(\Omega,s)+\mathrm{d}L_\lambda^{(4)}(\Omega,s)$$

$$dL_{\lambda}^{(3)}d\,(\Omega\,,s)=L_\lambda\,(\Omega,\,\mathrm{s})\;\beta_e\,(\lambda,\mathrm{s})\mathrm{ds}$$

$$\beta_e\,(\lambda,\mathrm{s})=\sigma_e(\lambda,\mathrm{s})\mathrm{N}(\mathrm{s})$$

$$\frac{dL_\lambda}{\beta ds}= -L_\lambda+\boxed{B_\lambda}\;J_\lambda \Rightarrow$$

Função fonte de espalhamento

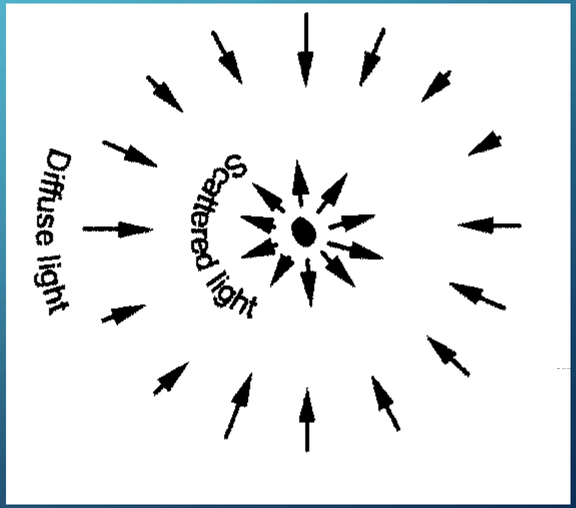
$$\mathrm{d}L_\lambda^{(4)}(\Omega,\mathrm{s}) = J_\lambda(\Omega,\mathrm{s})\beta_e(\lambda,\mathrm{s})\mathrm{ds}$$

$$J_\lambda(\Omega,\mathrm{s}) = \frac{1}{4\pi}\int_{4\pi} L_\lambda(\Omega', s)p(\lambda,\Omega',\Omega)d\Omega'$$

Função fonte de espalhamento

Radiância disponível para espalhamento proveniente de outras direções Ω'

Função de fase



Ω'= orientação de incidência

Ω = orientação de emergência ou de interesse

EQUAÇÃO GERAL DE TRANSFERÊNCIA RADIATIVA

- Considerando a ocorrência simultânea de absorção, emissão e espalhamento

$$dL_\lambda(\Omega,\mathrm{s}) = -L_\lambda(\Omega, s)\beta_a(\lambda,\mathrm{s})\mathrm{ds} - L_\lambda(\Omega,\mathrm{s})\,\beta_e(\lambda,\mathrm{s})\mathrm{ds}$$
$$+B_\lambda(\lambda,\mathrm{T(s)})\,\beta_a(\lambda,\mathrm{s})\mathrm{ds} + J_\lambda(\Omega,\mathrm{s})\beta_e(\lambda,\mathrm{s})\mathrm{ds}$$

Mas, $\beta(\lambda,s) = \beta_a(\lambda,s) + \beta_e(\lambda,s)$ e $\omega(\lambda,s) = \frac{\beta_e(\lambda,s)}{\beta(\lambda,s)}$

$\Rightarrow \beta_e(\lambda,s) = \omega(\lambda,s)\ \beta(\lambda,s)$ e

$\beta_a(\lambda,s) = [1 - \omega(\lambda,s)]\ \beta(\lambda,s)$

PORTANTO,

$$\mathrm{d}L_\lambda(\Omega,\mathrm{s}) = -L_\lambda(\Omega,s)\beta(\lambda,\mathrm{s})\mathrm{ds}$$
$$+B_\lambda(\lambda,T(s))[1-\omega(\lambda,s)]\beta(\lambda,s)ds$$
$$+J_\lambda(\Omega,s)\ \omega(\lambda,s)\ \beta(\lambda,\mathrm{s})\mathrm{ds}$$

$$\frac{dL_\lambda(\Omega,s)}{\beta(\lambda,s)ds} = -L_\lambda(\Omega,s) + B_\lambda(\lambda,\mathrm{T(s)})\ [1-\omega(\lambda,s)]$$
$$+\ J_\lambda(\Omega,s)\ \omega(\lambda,s)$$

Forma diferencial da equação geral de transferência radiativa