

**ATENÇÃO: AS RESPOSTAS ENVOLVENDO CÁLCULO NÃO ESTÃO NECESSARIAMENTE CORRETAS. A PROFESSORA NÃO DIVULGOU A CORREÇÃO. PORTANTO, NÃO CONFIE 100%!!!!**

Questão 1

Completo

Vale 2,00 ponto(s).

Marcar questão

Considere um planeta homogêneo cuja superfície reflita 30% da radiação solar incidente sobre ela e, que no espectro infravermelho, atue como um corpo negro. Esse planeta está envolto por uma atmosfera homogênea e isotérmica, que é capaz apenas de absorver radiação, tanto no espectro solar, quanto no espectro terrestre.

(1,0) Faça um esboço de como seria o esquema de transferência de radiação nesse sistema e obtenha uma expressão para a temperatura da superfície, supondo que o planeta esteja em equilíbrio radiativo.

(1,0) Qual seria o valor da temperatura de equilíbrio radiativo do planeta caso a atmosfera atue como corpo negro no espectro terrestre, mas com absortância nula no espectro solar. Considere que incide no topo irradiância solar igual a  $1360,8/4$ .

Questão 2

Correto

Atingiu 1,00 de 1,00

Marcar questão

(1,0) Quais fatores dos listados abaixo podem afetar a irradiância emitida pela atmosfera em direção à superfície?

Escolha uma ou mais:

- ☐ a. temperatura da superfície
- ☐ b. concentração de aerossóis da moda fina
- ☐ c. ângulo zenital solar
- ☒ d. concentração de vapor d'água na atmosfera ✓ Sim, é necessário conhecer a concentração de todos os gases que absorvem radiação no espectro infravermelho.
- ☒ e. presença de nuvens ✓ Sim, pois se há nuvens, a emissividade da atmosfera é alterada.

Questão 3

Correto

Atingiu 1,00 de 1,00

Marcar questão

Associe o termo da equação de transferência radiativa ao seu significado

$$S_{\lambda}(\tau) = S_{0\lambda} e^{-\tau/\mu_0}$$

Termo que representa a radiação espectral solar direta

✓

$$\frac{\omega(\lambda, \tau)}{4\pi} S_{\lambda} p(\lambda, \tau, -\mu_0, \phi_0, \mu, \phi)$$

Termo que representa o espalhamento de radiação solar direta

✓

$$p(\lambda, \tau, \mu', \phi', \mu, \phi)$$

Termo que representa a fração da radiação espalhada na direção de interesse

✓

$$[1 - \omega(\lambda, \tau)] B_{\lambda}(T(\tau))$$

Termo que representa a radiação espectral emitida pela atmosfera.

✓

$$\frac{\omega(\lambda, \tau)}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 I_{\lambda}(\tau, \mu', \phi') p(\lambda, \tau, \mu, \phi) d\mu' d\phi'$$

Termo que representa o espalhamento de radiação difusa já disponível

✓

Questão 4

Incorreto

Atingiu 0,00 de 2,00

Marcar questão

Considere uma camada da atmosfera delimitada pelos valores de pressão de 894 hPa e 791 hPa. Sabendo que essa camada absorveu irradiância no espectro solar igual a  $31 \text{ Wm}^{-2}$  e irradiância infravermelha igual a  $488 \text{ Wm}^{-2}$ , que a absorptância média de tal camada vale 0,82 e sua temperatura nesse instante seja igual a 265 K, determine a taxa de aquecimento/resfriamento radiativo da camada, utilizando a aproximação hidrostática.

Resposta:  ✖

A resposta correta é: 0,99 K/h.

Questão 5

Correto

Atingiu 1,00 de 1,00

Marcar questão

Os quatro componentes do balanço de radiação em superfície são:

Escolha uma ou mais:

- ☒ a. irradiância solar incidente em superfície ✓
- ☒ b. irradiância no espectro infravermelho emitida pela superfície ✓
- ☒ c. irradiância no infravermelho emitida pela atmosfera em direção à superfície ✓
- ☐ d. calor sensível
- ☒ e. irradiância solar refletida pela superfície ✓

Questão 6

Completo

Vale 3,00 ponto(s).

Marcar questão

Considere a transferência de radiação solar na atmosfera terrestre, na ausência de espalhamento múltiplo.

(2,0) Resolva a equação de transferência radiativa e determine a radiância espectral difusa ascendente no topo da atmosfera nas coordenadas  $\mu = 1$  e  $\varphi = 0^\circ$  com o disco solar na posição  $-\mu_0 = -0,8$  e  $\varphi_0 = 30^\circ$ .

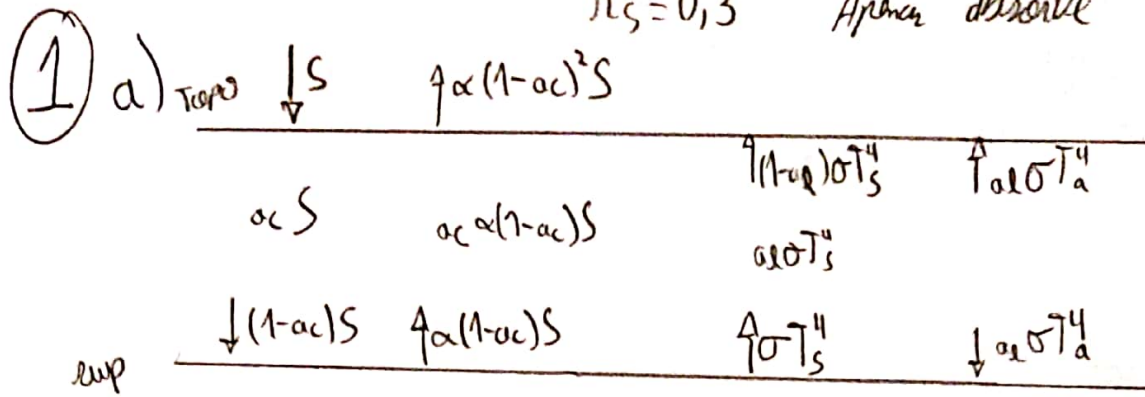
Considere também que a profundidade óptica da atmosfera vale 0,05, o albedo simples é constante igual a 0,95, que  $S_{0\lambda} = 2,0 \text{ Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ , a superfície absorve toda a radiação solar no comprimento de onda considerado e que o espalhamento só é causado pelas moléculas presentes na atmosfera.

Explicita nos seus resultados:

(0,5) Quanto vale o ângulo de espalhamento

(0,5) Quanto vale a função de fase

$r_s = 0,3$  Atmos absorve



Para que o sistema esteja em equilíbrio radiativo, deve-se satisfazer as equações:

a) superfície:  $S(1-r_s)(1-\alpha_c) + \alpha_a T_a^4 = \sigma T_s^4$

b) atmosfera:  $\alpha_c S + r_s(1-\alpha_c)\alpha_c S + \alpha_a \sigma T_s^4 = 2\alpha_a \sigma T_a^4$

c) planeta (no topo):  $(1-\alpha_c)^2 r_s S + (1-\alpha_c)\sigma T_s^4 + \alpha_a \sigma T_a^4 = S$

$x = \sigma T_s^4$     $y = \sigma T_a^4$

subs. em (a) e (b)

$S(1-r_s)(1-\alpha_c) - x = -\alpha_a y$  (a')

$\alpha_c S(1+r_s(1-\alpha_c)) + \alpha_a x = 2\alpha_a y$  (b')

multiplica-se (a') por 2 e soma-se (b')

$x = \frac{(\alpha_c(1+(1-\alpha_c)r_s) + 2(1-\alpha_c)(1-r_s))S}{2-\alpha_a} = \sigma T_s^4$  (c')

$S = \frac{S_0}{4} \left(\frac{d}{D}\right)^2$

$\therefore T_s = \left( \frac{(\alpha_c(1+(1-\alpha_c)r_s) + 2(1-\alpha_c)(1-r_s))}{2-\alpha_a} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^2 \frac{S_0}{4\sigma} \right)^{\frac{1}{4}}$

$T_s = \left( \frac{(\alpha_c(1+(1-\alpha_c)0,3) + 2(1-\alpha_c)(0,7))}{2-\alpha_a} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^2 \frac{S_0}{4\sigma} \right)^{\frac{1}{4}}$

① b) Atmosfera como corpo negro  $\begin{cases} a_e = 1 \\ a_c = 0 \end{cases}$

Substituindo (c') em (a')

$$y = \frac{(a_c(1+(1-a_c)r_s) + (1-a_c)(1-r_s)a_e)S}{a_e(2-a_e)} = \sigma T_a^4$$

$$S = \frac{S_0}{4} \left( \frac{\bar{d}}{d} \right)^2$$

$$T_a = \left( \frac{(a_c(1+(1-a_c)r_s) + a_e(1-a_c)(1-r_s))}{a_e(2-a_e)} \left( \frac{\bar{d}}{d} \right)^2 \frac{S_0}{4\sigma} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Como  $a_e = 1$  e  $a_c = 0$   $r_s = 0,3$ , tem-se, ao substituir;

$$T_s = \left( \frac{2(1-0) \cdot (1-0,3)}{2-1} \cdot \frac{1360,8}{4\sigma} \right)^{\frac{1}{4}} \approx 302,72 \text{ K}$$

$$T_a = \left( \frac{(1-0)(1-0,3)}{2-1} \cdot \frac{1360,8}{4\sigma} \right)^{\frac{1}{4}} \approx 254,56 \text{ K}$$

④

Aprox. hecho.

$$T = 265 \text{ K}$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = - \frac{g}{C_p} \cdot \frac{\Delta \epsilon}{\Delta p}$$

Valor de  $g$  e  $C_p$  retirados  
do lista

A camada absorve:  $488 + 31 = 519 \text{ W/m}^2$

limite:  $2 \alpha \sigma T^4$

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{-9,81}{1004} \cdot \frac{(519 + 2 \cdot 0,82 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (265)^4)}{(791 - 894) \cdot 100}$$

$$= 3,33 \text{ K/h}$$

6

$$\mu=1 \quad \phi=0 \quad -\mu_0 = -0,8 \quad \phi_0 = 30^\circ$$

omitir os índices

$$N \cdot \frac{dI_\lambda}{d\tau} = I_\lambda - \frac{\omega}{4\pi} S_\lambda \cdot \rho$$

multip.  
 $\frac{1}{N} e^{-\tau_\mu} d\tau$

$$N \frac{dI_\lambda}{d\tau} \cdot \frac{1}{N} e^{-\tau_\mu} d\tau - I_\lambda \cdot \frac{1}{N} e^{-\tau_\mu} = -\frac{1}{N} e^{-\tau_\mu} \cdot \frac{\omega}{4\pi} S_\lambda \cdot \rho d\tau$$

$$d[I_\lambda e^{-\tau_\mu}] = -\frac{1}{N} e^{-\tau_\mu} \cdot \frac{\omega}{4\pi} \rho \cdot S_\lambda d\tau$$

Agora, deve-se integrar:

$$\int_{\tau'}^0 d[I_\lambda e^{-\tau_\mu}] = \int_{\tau'}^0 -\frac{\omega}{4\pi N} \cdot \rho S_\lambda \cdot e^{-\tau_\mu} d\tau$$

$$I_\lambda e^{-\tau_\mu} - I_\lambda e^{-\tau'_\mu} = -\frac{\omega}{4\pi} \frac{\rho \cdot S_\lambda}{N} \int_{\tau'}^0 e^{-\tau_\mu} d\tau$$

$$I_\lambda = \frac{1}{e^{-\tau_\mu}} \cdot \frac{\omega_0}{4\pi} \rho \cdot S_\lambda \cdot \frac{\mu_0}{\mu_0 + \mu} \cdot \left(1 - e^{-\tau \left(\frac{1}{\mu_0} + \frac{1}{\mu}\right)}\right)$$

Se o espalhamento molecular, é válido que:

$$\rho = \frac{3}{4} (1 + \cos^2 \theta)$$

Sabendo que,  $\epsilon = 0,05$   $S_0 = 2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$   
 $w = 0,95$

Seja  $\psi = 0^\circ$  e  $\psi_0 = 30^\circ$

$$n = 1 \quad n_0 = 0,8$$

$\Downarrow$  isto será o  $\cos \theta_{inc}$

$$\cos \theta = \cos \theta_{inc} \cos \theta_{scat} + \underbrace{\sin \theta_{inc} \sin \theta_{scat}}_{\sin(0) = 0} \cdot \cos(\phi_{inc} - \phi_{scat})$$

Portanto,  $\cos \theta = \cos \theta_{inc} \cdot \cos \theta_{scat}$

$$\cos \theta = 0,8$$

$$\text{Assim, } P = \frac{3}{4} (1 + 0,8^2)$$

$$P = 1,23$$

Substituindo na expressão encontrada,

$$I = \frac{0,95}{4\pi} \cdot \frac{1}{e^{0,05}} \cdot 1,23 \cdot 2 \cdot \left( \frac{0,8}{1+0,8} \right) \cdot \left( 1 - e^{-0,05 \left( \frac{1}{0,8} + \frac{1}{1} \right)} \right)$$

Fazendo os cálculos com ajuda de softwares,

$$I = 9,3 \cdot 10^{-3} \text{ W m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$$

Como  $\psi$  vale  $0^\circ$  e  $\psi_0 = 30^\circ$ , o ângulo de espalhamento deve ser de  $30^\circ$ .