Ćwiczenia nr. 10.

1. Załóżmy, że atmosfera jest pojedynczą, izotermiczną warstwą o temperaturze T_a, która przepuszcza promieniowanie słoneczna oraz absorbuje całe promieniowanie długofalowe. Pokazać, że globalna temperatura powierzchni Ziemi wyraża się wtedy wzorem: $T = (2T_a)^{1/4}$. Jaka będzie wartość temperatury powierzchni Ziemi jeśli globalne albedo wynosi 30% a stała słoneczna wynosi 1366 Wm^{-2}.
2. Załóżmy, że atmosfera składa się z N jednorodnych, równoległych do siebie i izotermicznych warstw o takich samych grubościach optycznych. Zdolność emisyjna każdej z warstw wynosi jeden. W układzie tych warstw ustali się równowaga radiacyjna. Energia emitowana do góry i do dołu przez n-tą warstwę (o temperaturze T_n) wynosi σT_n^4. Jednocześnie warstwa ta absorbuje energię wyemitowaną przez dwie sąsiadujące warstwy, czyli σT^4_{n-1} i σT^4_{n+1}. Temperatura najwyższej warstwy $n = 1$ wynosi T_e.
    a. Pokazać, że temperatura n-tej warstwy wyraża się następującym wzorem: $T_n = n^{1/4} T_e$
    b. Załóżmy, że do powierzchni Ziemi dociera dodatkowo promieniowanie krótkofalowe $I_0(1-A)\frac{1}{4}$. Jak będzie wyglądał bilans energetyczny dla powierzchni Ziemi?
3. Absorbujący gaz jest dobrze wymieszany w atmosferze oraz spełnia równanie hydrostatyki $\frac{\partial p_a}{\partial z} = -\rho_a g$, gdzie p_a jest ciśnieniem cząstkowym tego gazu a ρ_a gęstością:
    a. Zdefiniujmy grubość optyczną jako $\tau = \langle \alpha_m \rangle \int_z^\infty dz \rho_a(z)$, gdzie $\langle \alpha_m \rangle$ jest masowym współczynnikiem absorpcji. Pokazać, że:
    $$T(p_a) = T(\tau = 0)\left[1 + \frac{3}{2}\langle \alpha_m \rangle p_a \, 1/g\right]^{1/4}.$$
    b. Pokazać, że gradient temperatury w stanie równowagi radiacyjnej dany jest wzorem:
    $$\frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{g}{R_a}\frac{\frac{3}{8}\tau}{\left(1 + \frac{3}{2}\tau\right)}.$$
    Pokazać, że atmosfera staje się konwekcyjnie niestabilna jedynie gdy $c_p > 4R_a$, gdzie c_p i R_a są ciepłem właściwym oraz stałą gazową.
4. Obliczyć tempo nocnego wychładzania radiacyjnego powierzchni Ziemi. Przyjąć, że efektywna głębokość zmian temperatury gruntu wynosi jedynie 5cm. Pojemność cieplna ziemi wynosi $C \approx 2*10^6\ Jm^{-3}K^{-1}$, średnia absorpcyjność atmosfery $\alpha_{lw} = 0.8$ oraz jej średnia temperatura $T_a = 260K$, temperatura początkowa gruntu $T_s = 275K$. Jak zmieni się tempo wychładzania, jeśli w atmosferze występują chmury stratus o średniej temperaturze 270K.