

1. Kaksitasomallin barokliinisen aallon vaihenopeus on

$$c = U_m - \frac{\beta(k^2 + \lambda^2)}{k^2(k^2 + 2\lambda^2)} \pm \left( \frac{\beta^2 \lambda^4}{k^4(k^2 + 2\lambda^2)^2} - \frac{U_T^2(2\lambda^2 - k^2)}{(k^2 + 2\lambda^2)} \right)^{1/2}$$

Olkoot leveyspiirillä 48°N  $U(250 \text{ hPa}) = 20 \text{ m/s}$ ,  $U(750 \text{ hPa}) = 5 \text{ m/s}$  ja  $\lambda^2 = 2 \times 10^{-12} \text{ m}^{-2}$ .

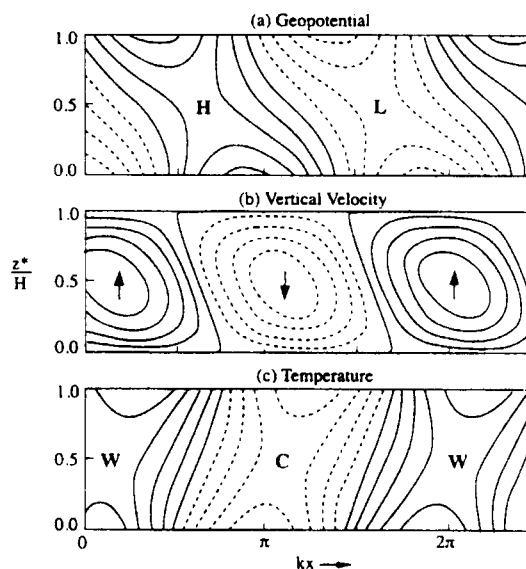
- kuinka paljon itään tai länteen 4000 km:n pituinen aalto etenee mallin mukaan yhden vuorokauden aikana?
- jos aalto on instabiili, kuinka moninkertaiseksi sen amplitudi kasvaa yhden vuorokauden aikana?
- Pienentyköön  $U(750 \text{ hPa})$  hiukan mutta pysyköön  $U(250 \text{ hPa})$  ennallaan. Miten (lisäävästi vai vähentävästi) tämä vaikuttaisi toisaalta aallon etenemis- ja toisaalta sen kasvunopeuteen?

**Vihje:** Ole huolellinen lukuarvojen kanssa. Välitulosten käyttö auttaa.

2. Oheiseen kuvaan on piirretty (a) korkeuskentän häiriön, (b) pystyliikkeen ja (c) lämpötilan häiriöosan jakaumat  $x$ - $z^*$ -tasossa (katkoviivat kuvaavat negatiivisia poikkeamia) Eadyn mallin mukaisessa, voimistuvassa barokliinisessä häiriössä.

Perustele kuvan avulla seuraavat asiat:

- Häiriön liike-energia kasvaa,
- häiriön kokonaisenergia kasvaa ja
- divergenssin jakauma on sellainen, että termi  $-f_0 \nabla \cdot \vec{V}_a$  kasvattaa pyörteisyyden ääriarvoja alatriposfäärissä.



3. Olkoon liike-energian spektrijakauma alla olevan taulukon mukainen ( $n$  kuvaa pallofunktion ensimmäistä indeksistä)

|                     |    |    |    |
|---------------------|----|----|----|
| $n$                 | 2  | 7  | 12 |
| $e_n$ (yksikkö mv.) | 30 | 50 | 20 |

- Miten enstrofia on jakautunut taulukon kolmen aallon kesken (ilmaise kunkin aallon enstrofia prosentteina kaikkien kolmen aallon yhteisestä enstrofiamäärästä)?
- Oletetaan, että barotrooppiset prosessit kasvattavat aallon  $n = 2$  liike-energian 40 yksikköön. Miten paljon liike-energiaa olisi tämän jälkeen alloilla  $n = 7$  ja  $n = 12$ ? Oletetaan, että siirtymiä esiintyy vain mainittujen aaltojen välillä.

**JATKU KÄÄNTÖPUOLELLA!**

4. Tarkastellaan horisontaalista liikeyhtälöä

$$\underbrace{\frac{\partial \vec{V}}{\partial t}}_I + \underbrace{\vec{V} \cdot \nabla_p \vec{V}}_II + \underbrace{\omega \frac{\partial \vec{V}}{\partial p}}_III + \underbrace{f\mathbf{k} \times \vec{V}}_IV = - \underbrace{g \nabla_p Z}_V$$

a) Arvioi termien I, II ja suuruusluokat, kun tuulennopeuden suuruusluokka on  $U \sim 10$  m/s, häiriöiden vaakamittakaava on  $L \sim 1000$  km, ja vaihteluiden aikaskaala on  $T = L / U$ .

b) Arvioi samalla tavoin termin IV suuruusluokka toisaalta keskileveysasteilla ( $45^\circ\text{N}$ ), toisaalta tropiikissa ( $4^\circ\text{N}$ ).

c) Voit olettaa, ettei termi III ole ainakaan isompi kuin I ja II. Arvioi nyt a- ja b-kohdan tulosten perusteella korkeuskentän ( $Z$ ) vaihteluiden karkea suuruusluokka toisaalta keskileveysasteilla ( $45^\circ\text{N}$ ), toisaalta tropiikissa ( $4^\circ\text{N}$ ).

d) Perustele fysikaalisesti, miksi c-kohdan tuloksista seuraa, että lämpötilan vaihteluiden on oltava tropiikissa pienempiä kuin keskileveysasteilla.

5. Kuvaa lyhyesti (n.  $\frac{1}{2}$  sivua per kohta) seuraavia ilmiöitä

(a) Pohjois-Afrikan aaltohäiriöt

(b) Walker-kiertoliike

(c) Kelvin-aallot

**Luonnonvakioita:**  $a = 6371$  km,  $\Omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ,  $R = 287 \text{ J / kgK}$ ,  
 $c_p = 1004 \text{ J / kgK}$ ,  $L_c = 2.5 \times 10^6 \text{ J / kg}$ .

**Vastaa kaikkien tehtävien kaikkiin kohtiin.** Yrittämisestä ei ainakaan rankaista.

**MUISTA PAKOLLINEN SÄHKÖINEN KURSSIPALAUTE!**

Ei palautetta  $\rightarrow$  ei suoritusmerkintää.

<https://kampela.it.helsinki.fi/elomake/lomakkeet/1926/lomake.html>