

# Plimovanje ozračja

David Lajevec

Dinamična meteorologija 1

2023

1. Vzroki za atmosfersko plimovanje
2. Kaj je atmosfersko plimovanje?
3. Sončno vzbujeno plimovanje
4. Migracijska in nemigracijska plimovanja
5. Klasična teorija plimovanja
6. Glavne enačbe
7. Reševanje enačb
8. Splošne rešitve Laplaceve plimske enačbe
9. Stanja sončno vzbujenega plimovanja
10. Disipacija plimovanja
11. Posledice atmosferskega plimovanja

# Vzroki za atmosfersko plimovanje

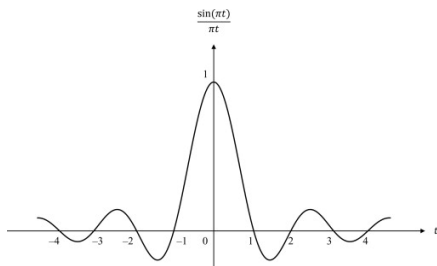
- ▶ Sončevo segrevanje atmosfere
- ▶ gravitacijski privlak Lune
- ▶ sproščanje latentne toplote v tropih

# Kaj je atmosfersko plimovanje?

- ▶ segrevanje vodne pare in ozona v ozračju
- ▶ največje plimovanje v troposferi in stratosferi
- ▶ oscilacije v  $u$ ,  $v$ ,  $T$ ,  $\rho$ ,  $p$
- ▶ analogije s plimovanje morja (frekvenca, sprememba amplitude z višino)

# Sončno vzbujeno plimovanje

- ▶ sončno sevanje absorbirajo različne snovi
  - ▶ vodna para (0 - 15 km)
  - ▶ ozon (30 - 60 km)
  - ▶ molekularni kisik in dušik (120 - 170 km)
- ▶ oscilacije s periodami 24, 12, 8, 6 h



# Migracijska in nemigracijska plimovanja

- ▶ migracijsko plimovanje
  - ▶ potuje s Soncem proti zahodu
  - ▶ nagib Zemlje vpliva na to vrsto plimovanja
- ▶ nemigracijsko plimovanje
  - ▶ proti vzhodu ali zahodu z drugačno hitrostjo kot Sonce
  - ▶ razlike v topografiji, morje-kopno, efekti tal, sproščanje toplote v tropih
  - ▶ glavna oblika 24 urnega plimovanja
  - ▶ največje amplitude nad J Ameriko, Afriko, Avstralijo

# Klasična teorija plimovanja

- ▶ zanemari mehanično siljenje in disipacijo
- ▶ valovanja obravnavamo kot linearne preturbacije povprečnega stanja
- ▶ atmosfero obravnavamo kot izotermno in horizontalno stratificirano

Glavna rezultata teorije:

1. atmosfersko plimovanje, kot lastna stanja, ki jih opisujejo Houghove funkcije
2. amplitude oscilacij rastejo eksponentno z višino

- ▶ gibalni enačbi

$$\frac{\partial u'}{\partial t} - 2\Omega \sin \phi v' + \frac{1}{a \cos \phi} \frac{\partial \Phi'}{\partial \lambda} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v'}{\partial t} + 2\Omega \sin \phi u' + \frac{1}{a} \frac{\partial \Phi'}{\partial \phi} = 0 \quad (2)$$

- ▶ energijska enačba

$$\frac{\partial^2}{\partial t \partial z} \Phi' + N w' = \frac{1}{a} \frac{\kappa J'}{H} \quad (3)$$

- ▶ kontinuitetna enačba

$$\frac{1}{a \cos \phi} \left( \frac{\partial u'}{\partial \lambda} + \frac{\partial}{\partial \phi} (v' \cos \phi) \right) + \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial}{\partial z} (\rho_o w') = 0 \quad (4)$$



## Reševanje enačb

Uporabimo separacijo spremenljivk:

$$\Phi'(\phi, \lambda, z, t) = \widehat{\Phi}(\phi, z)e^{i(s\lambda - \sigma t)} \quad (5)$$

$$\widehat{\Phi}(\phi, z) = \sum_n \Theta_n(\phi)G_n(z) \quad (6)$$

Rešujemo za  $\phi$ :

$$L\Theta_n + \epsilon_n\Theta_n = 0 \quad (7)$$

Iščemo lastne funkcije in vrednosti hermitskega operatorja  $L$

$$L = \frac{\partial}{\partial \mu} \left[ \frac{(1 - \mu^2)}{\eta^2 - \mu^2} \frac{\partial}{\partial \mu} \right] - \frac{1}{\eta^2 - \mu^2} \left[ -\frac{s}{\eta} \frac{\eta^2 + \mu^2}{\eta^2 - \mu^2} + \frac{s^2}{1 - \mu^2} \right] \quad (8)$$

$$\mu = \sin \phi, \quad \eta = \frac{\sigma}{(2\Omega)} \quad (9)$$

$$\epsilon_n = \frac{(2\Omega a)^2}{gh_n} \quad (10)$$

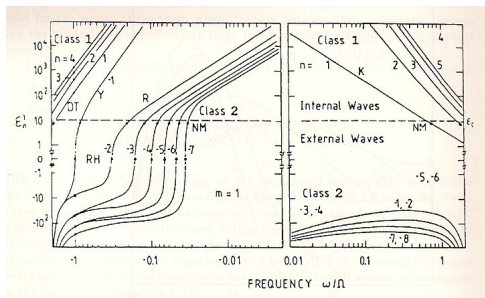
# Splošne rešitve Laplaceve plimske enačbe

V splošnem:

- ▶ gravitacijski valovi (Class 1 waves),  $n > 0$
- ▶ rotacijski valovi (Class 2 waves),  $n < 0$ 
  - ▶ posledica Coriolisove sile
  - ▶ obstajajo samo za  $T > 12\text{h}$

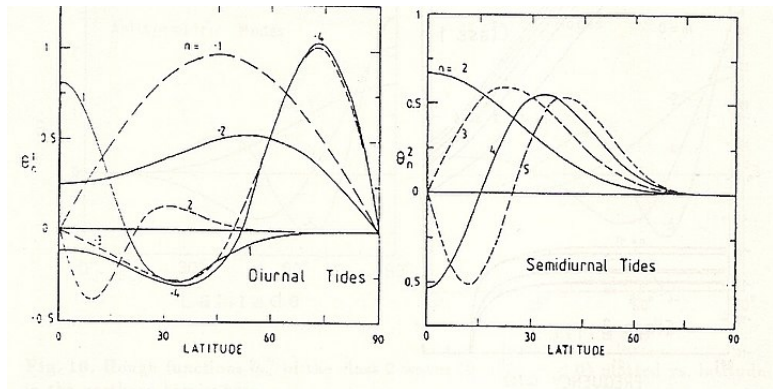
Za plimovanje:

- ▶ notranji, potujoči valovi,  $\epsilon_n > 0$
- ▶ zunanji, evanescentni valovi,  $\epsilon_n < 0$
- ▶ notranji valovi lahko prenašajo energijo v višje dele atmosfere



# Stanja sončno vzbujenega plimovanja

- ▶ 24 h plimovanje  $\rightarrow s = 1, n = -2$
- ▶ 12 h plimovanje  $\rightarrow s = 2, n = 2$



# Reševanje enačb

Rešujemo še za  $z$

$$\frac{d^2 G_n^*}{dx^2} + \alpha_n^2 G_n^* = F_n(x) \quad (11)$$

pri čemer

$$\alpha_n^2 = \frac{\kappa H}{h_n} - \frac{1}{4} \quad (12)$$

$$x = z/H \quad (13)$$

$$G_n^* = G_n \rho_0^{1/2} / N \quad (14)$$

$$F_n(x) = -\frac{\rho_0^{-1/2}}{i\sigma N} \frac{\partial}{\partial x} (\rho_0 J_n) \quad (15)$$

Rešitve so pri tem oblike:

$$G_n^* \propto \begin{cases} e^{-|\alpha_n|x} & : \epsilon_n < 0, \text{ evanscenti valovi} \\ e^{i\alpha_n x} & : \epsilon_n > 0, \text{ potujoči valovi} \end{cases} \quad (16)$$

# Disipacija plimovanja

- ▶ ob stiku z 'ozadjem' atmosfere
- ▶ dušenje v spodnji termosferi
- ▶ atenuacija zaradi ionosferske plazme

# Efekti atmosferskega plimovanja

- ▶ pomembno za prenos energije
- ▶ glavna dinamika v mezosferi in nižji termosferi