



ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი

P-მოდები დედამიწისა და დედამიწის ტიპის პლანეტების თხევად ბირთვებში

ლუკა ცისკარიშვილი

საბაკალავრო პროგრამა „ფუნდამენტური ფიზიკა“

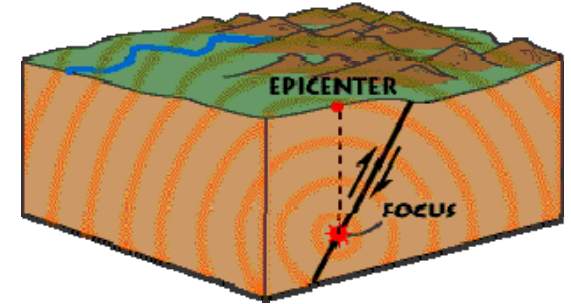
ხელმძღვანელი: ალექსანდრე თევზაძე

(თბილისი, 11.07.2013)

P-მოდეები დედამიწის წიაღში

რხევების აღძვრა დედამიწის გულში:

- მიწისძვრები (ტექტონიკური აქტივობა)
- გარეშე შეშფოთებები (მეტეორიტები)

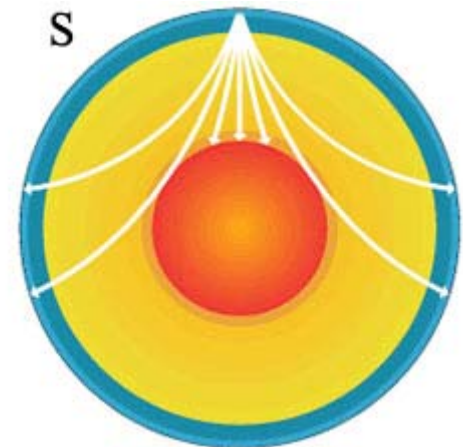
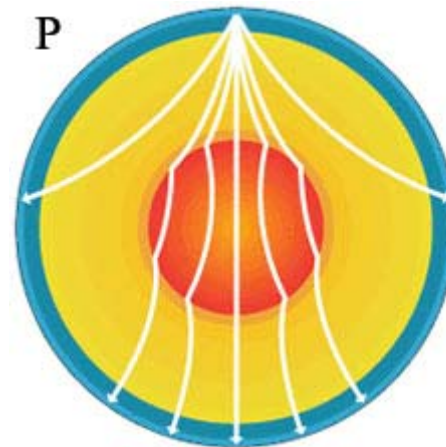


P-მოდეები (პირველადი, წნევის, გასწვრივი)

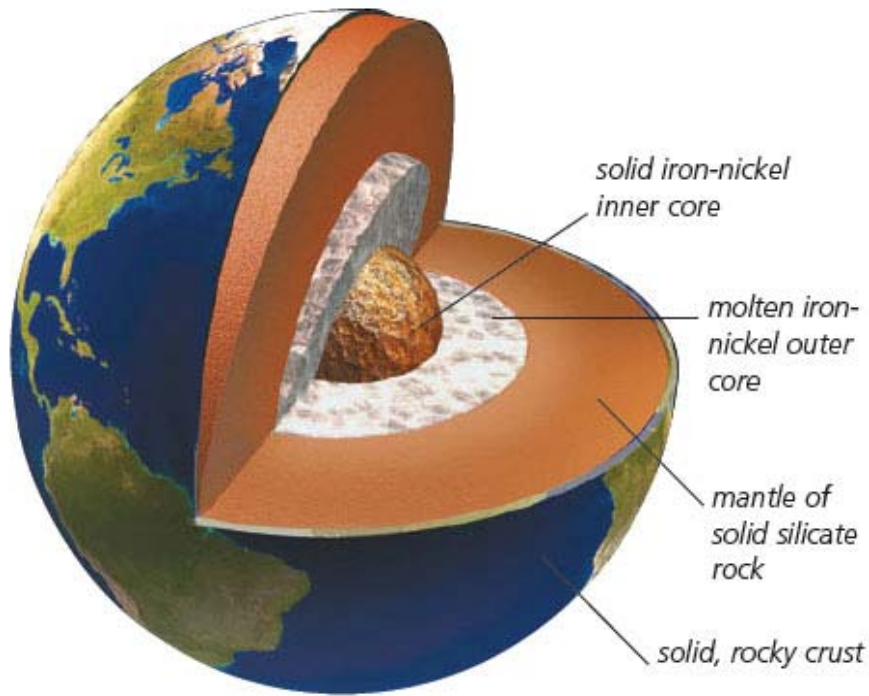
S-მოდეები (მეორადი, წანაცვლების, განივი)



P და S მოდის გავრცელება
განსხვავდება მყარ და თხევად
გარემოებში

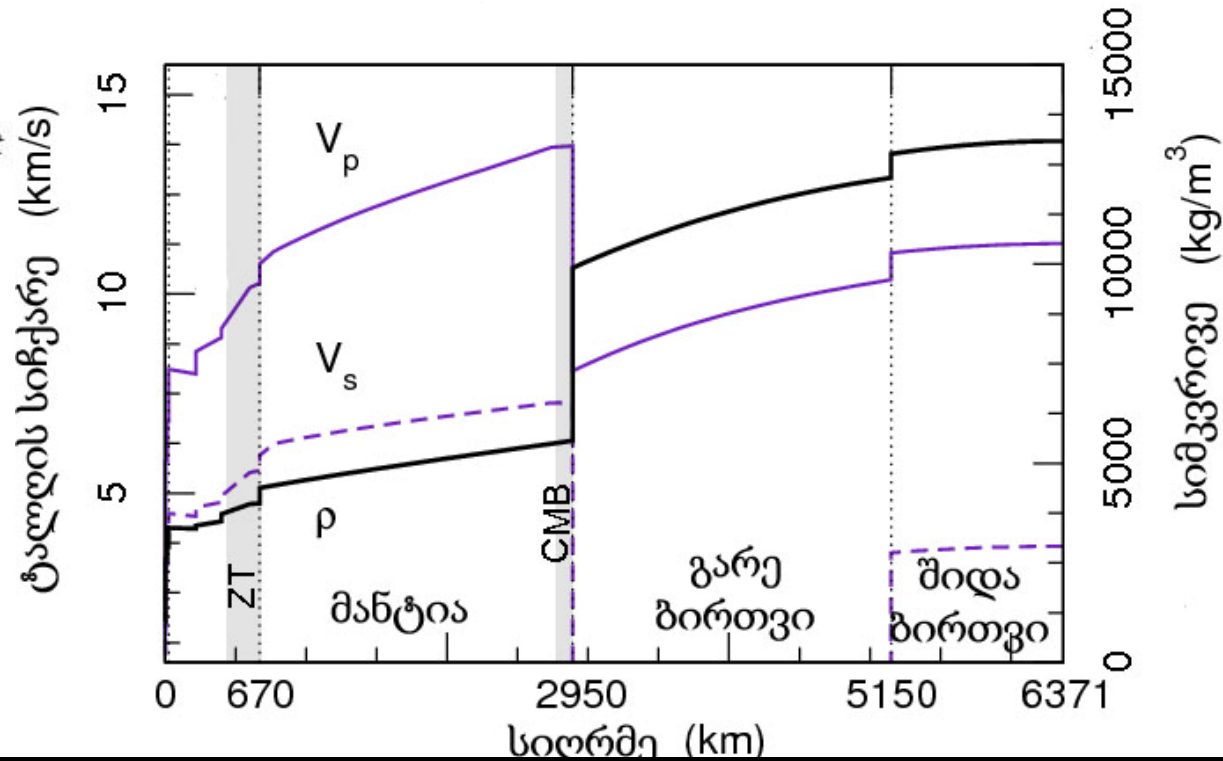


დედამიწის სტრუქტურა



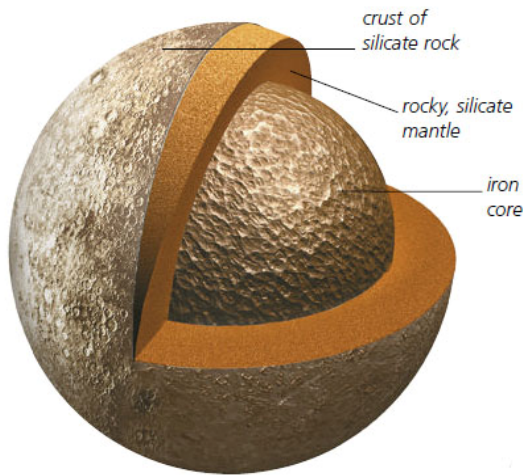
- ქერქი
- მანტია
- გარე გული
- შიდა გული

თხევადი
აკუსტიკური
ღრუ

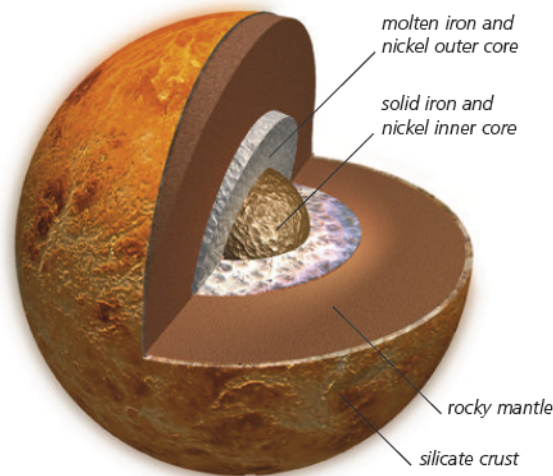


დედამიწის ტიპის პლანეტები

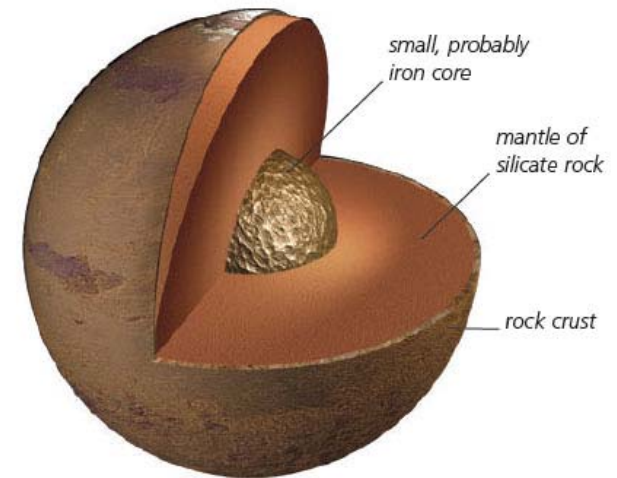
მზის სისტემის კლდოვანი პლანეტები
სტრუქტურული მსგავსება დედამიწასთან



მერკური



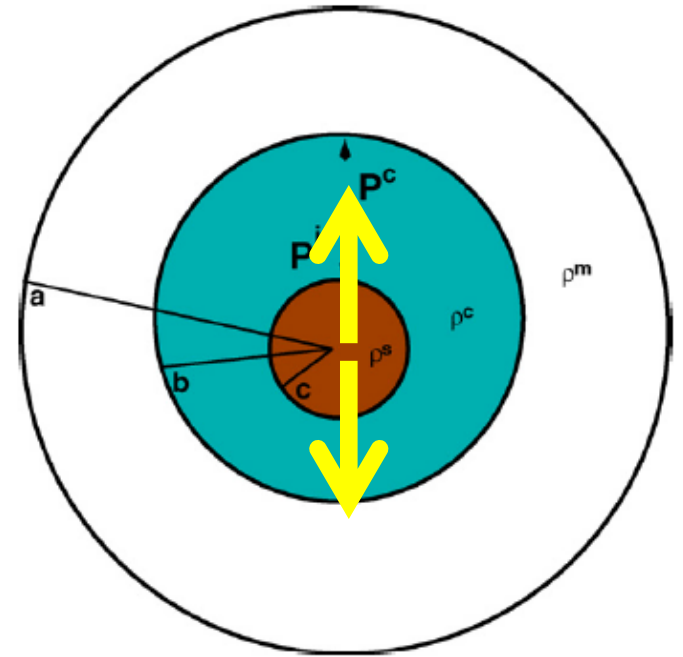
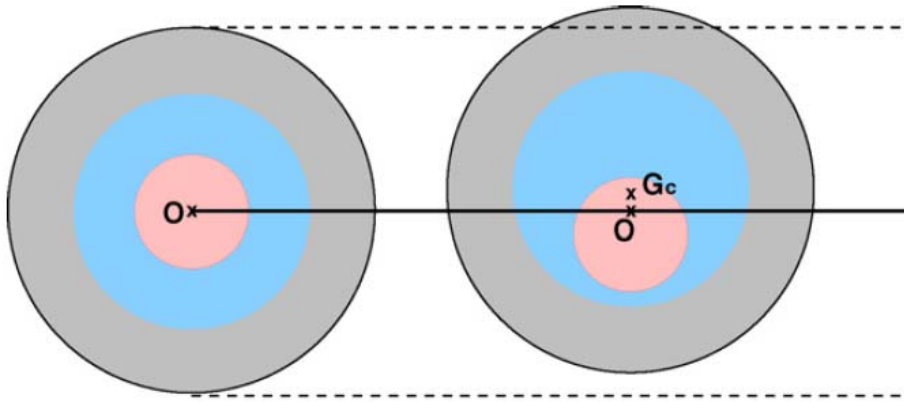
ვენერა



მარსი

სლიხტერის მოდეები

კლდოვანი პლანეტის მყარი შიდა ბირთვის რხევა თხევად გარე ბირთვში



$$\omega^2 = 2G\rho_2 \frac{D}{3\rho_2 R_2^3 + 2(\rho_1 - \rho_2)(R_2^3 - R_1^3)(1 - \frac{m}{M})}$$

$$M = \rho_1 R_1^3 + \rho_2 (R_2^3 + R_1^3) + \rho_3 (R_3^3 + R_2^3) \quad m = (\rho_1 - \rho_2) R_1^3$$

Grinfeld, P., and Wisdom, J., "Motion of the mantle in the translational modes of the Earth and Mercury", *Physics of the Earth and Planetary Interiors* **151**, 77 (2005).

თხევადი სტრატეფიცირებული გარემო

$$\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{V} + (\mathbf{V} \nabla) \mathbf{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \mathbf{g} \quad \frac{\partial}{\partial t} \rho + \nabla(\rho \mathbf{V}) = 0$$

სტაციონალური ვერტიკალურად სტრატეფიცირებული
წონასწორული მდგომარეობა:

$$\mathbf{V}_0 = 0$$

$$P_0 = P_0(z)$$

$$\rho_0 = \rho_0(z)$$

წონასწორობის პირობა: $-\frac{1}{\rho} \nabla p + \mathbf{g} = 0$

წრფივი შეშფოთებები: $\mathbf{V} = \mathbf{V}_0 + \mathbf{V}'$
 $P = P_0 + P'$
 $\rho = \rho_0 + \rho'$

აკუსტიკური რხევები

$$\frac{\partial \xi_z}{\partial z} - \frac{g}{c_s^2} \xi_z + \frac{1}{c_s^2} \left(1 - \frac{k_p^2 c_s^2}{\omega^2} \right) = 0$$

$$\frac{\partial h'}{\partial z} + \frac{N^2}{g} h' + (N^2 - \omega^2) \xi_z = 0$$

სადაც:

$$h' = \frac{p'}{\rho} \quad V_z = i\omega \xi_z$$

და სისტემის მახასიათებელი პარამეტრებია:

$$A = \frac{1}{\rho} \nabla \rho - \frac{1}{\gamma p} \nabla p \quad N^2 = -gA \quad g = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z}$$

პოლიტროპული სტრუქტურული კოორდინატის განტოლება

თერმოდინამიკური მდგომარეობის განტოლება:

$$P = K\rho^{1+\frac{1}{m}}$$

$$\rho(z) = \left(\frac{g}{(m+1)K} \right)^m (-z)^m$$

პარამეტრების დამოკიდებულება ვერტიკალურ კოორდინატზე:

$$c_s^2 = \frac{\gamma g}{m+1} x$$

$$\frac{N^2}{g} = \frac{(\gamma-1)m-1}{\gamma x}$$

ზოგადი ამონახსნი P-მოდებისათვის

$$\frac{\partial^2 \xi_z}{\partial \tau^2} + \frac{2m+1}{\tau} \frac{\partial \xi_z}{\partial \tau} + \omega^2 \xi_z = 0$$

სადაც

$$\tau = \int_0^x \frac{dx}{c_s}$$

ზოგადი ამონახსნი ბესელის ფუნქციებში:

$$\xi_z = \tau^{-m} (C_1 J_m(\omega\tau) + C_2 J_{-m}(\omega\tau))$$

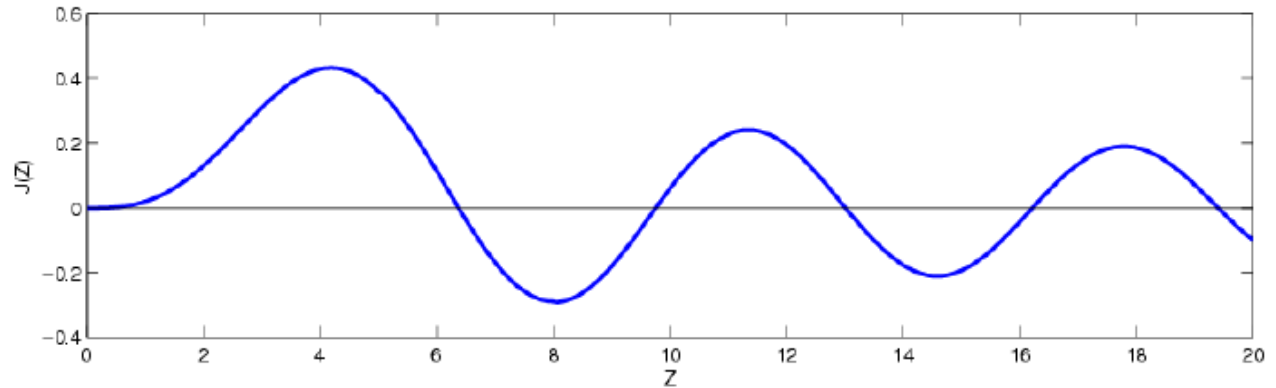
სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით:

$$J_m(Z) = 0,$$

საკუთარი სიხშირეები

ფუნქციების ნულები:

$$Z = Z_i, i=0,1,2,3, \dots$$



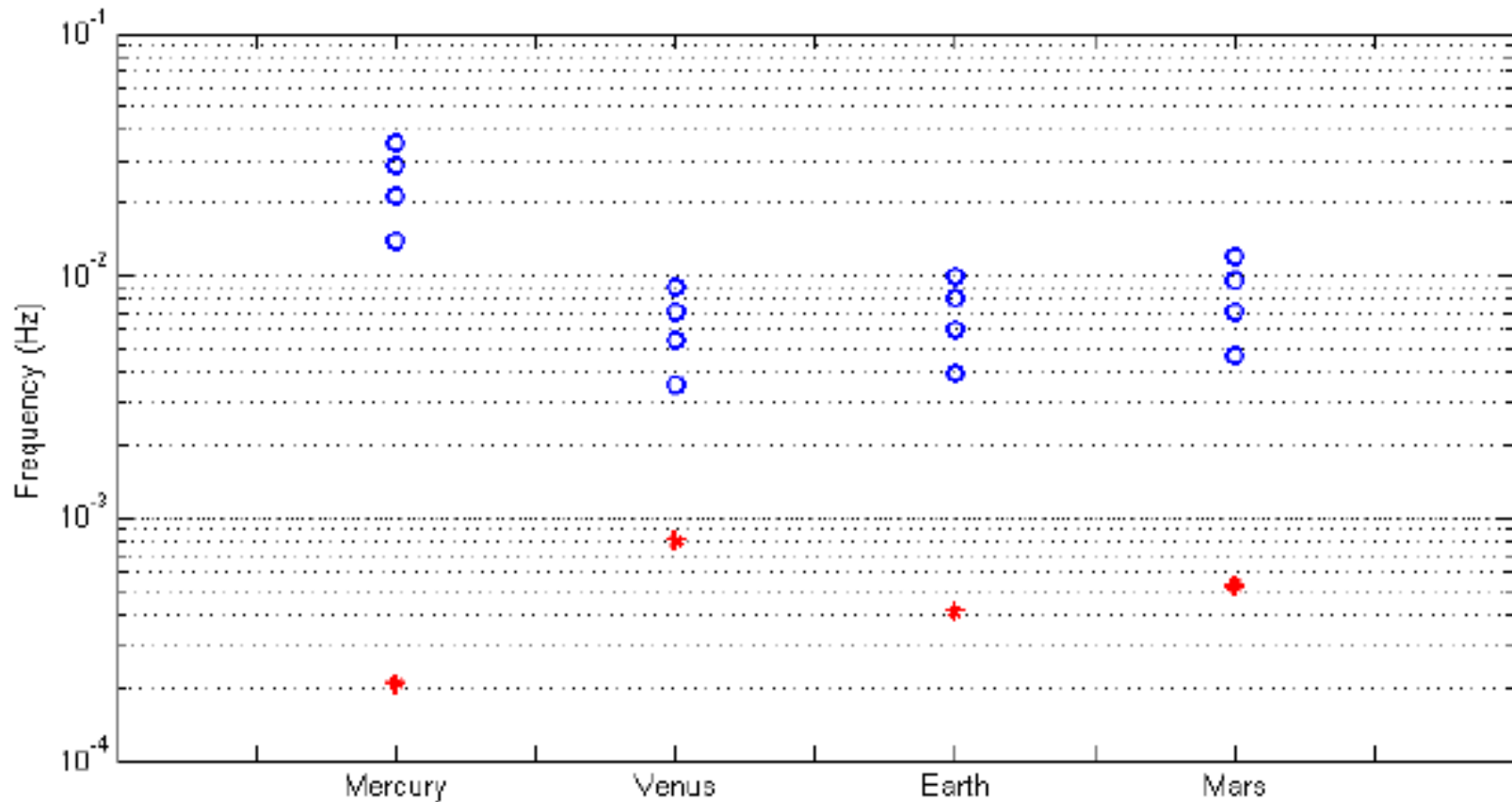
საკუთარი სიხშირეები:

$$\omega_i = \frac{Z_i}{\tau_H}.$$

დედამიწისათვის: $\omega_i = 0.0039, 0.0060, 0.0080, 0.01, \dots$ (ჰც).

შედეგები: P-მოდელები და სლიხტერის რხევები

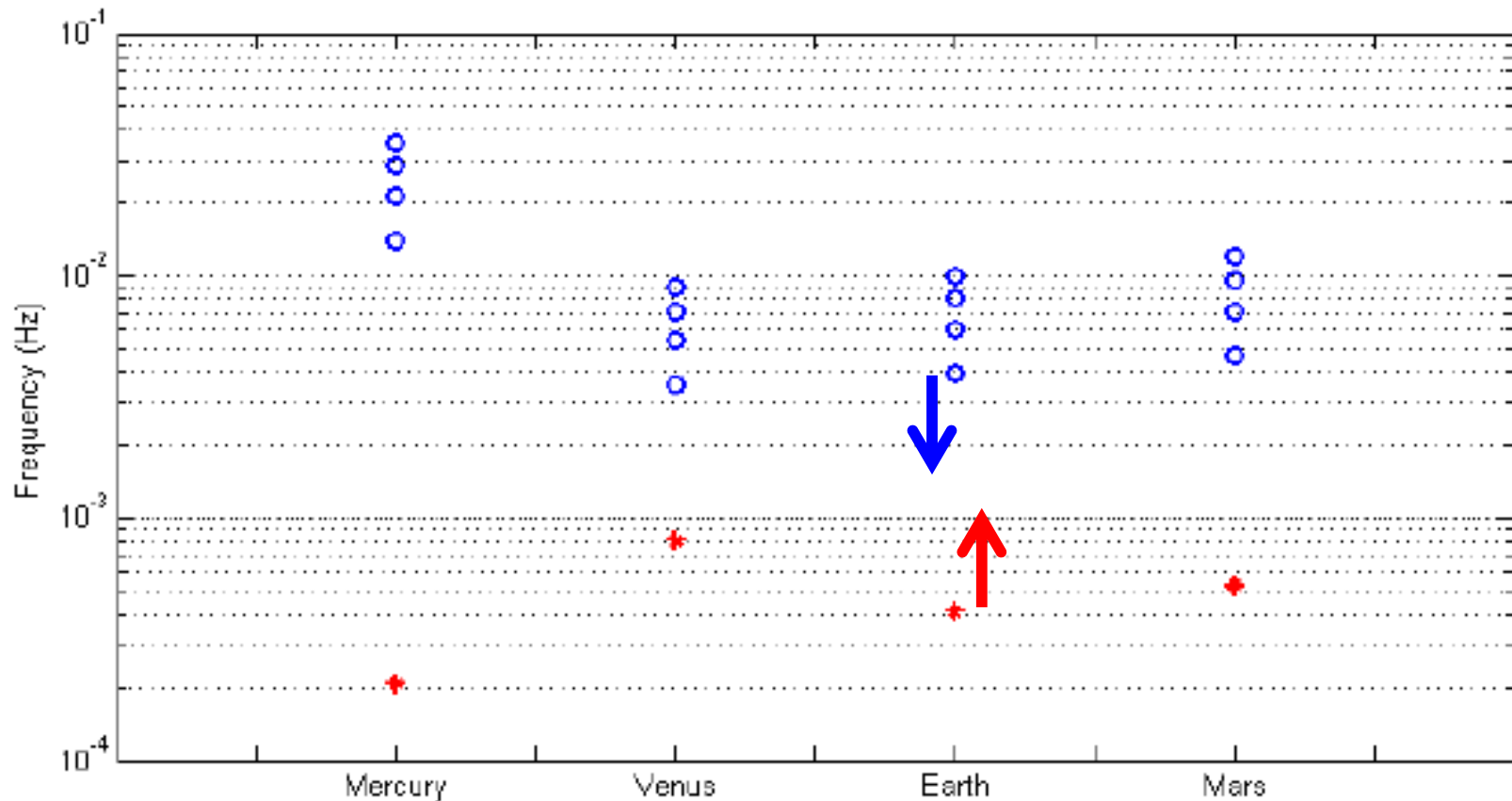
პლანეტა	ω_1 (წმ ⁻¹)	ω_2 (წმ ⁻¹)	ω_3 (წმ ⁻¹)	ω_4 (წმ ⁻¹)	ω_{sl} (წმ ⁻¹)
მერკური	0.0140	0.0214	0.0286	0.0356	2.08×10^{-4}
ვენერა	0.0035	0.0054	0.0072	0.0089	8.07×10^{-4}
დედამიწა	0.0039	0.0060	0.0080	0.0100	4.11×10^{-4}
მარსი	0.0047	0.0072	0.0096	0.0119	5.24×10^{-4}



პლანეტების წარსული ისტორია

ახალგაზრდა პლანეტები უფრო ცხელია:

- ნაკლებია მყარი ბირთვის ზომა (სლიხტერის სიხშ. მეტია)
 - მეტია თხევადი ბირთვის ზომა (p-მოდების სიხშ. ნაკლებია)
- წარსულში შესაძლებელია ყოფილიყო რეზონანსები



გმადლობთ ყურადღებისათვის