



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ**

**Μάθημα: Φυσική Ωκεανογραφία, ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ Φεβρουαρίου 2026**

[1α: 1.8 - 1β: 0.75 - 1γ: 0.75 - 2α: 1.7 - 2β: 1.6 - 3α: 2.4 - 3β: 1.0]

**ΘΕΜΑ 1**

**α)** Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου το επιφανειακό στρώμα ανάμιξης σε περιοχή του ωκεανού βαθαίνει λόγω απώλειας θερμότητας  $H = 100 \text{ W/m}^2$ . Πόσες μέρες χρειάζονται για να βαθύνει κατά 100 m, αν το θερμοκλινές παρουσιάζει στρωμάτωση  $\partial\rho/\partial z = 10^{-2} \text{ kg/m}^4$ .

[Χρησιμοποιείτε  $\rho_0 = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $1\text{day} \approx 10^5 \text{ s}$ ]

**β)** Ποιες οι προϋποθέσεις δημιουργίας βαθιών νερών στον ωκεανό; Αναφέρετε πιθανές περιοχές δημιουργίας βαθιών νερών.

**γ)** Γιατί η βαθιά θερμοαλατική κυκλοφορία του ωκεανού είναι ενισχυμένη στο δυτικό όριο των ωκεανών;

**ΛΥΣΗ:**

**(α)**

$$N = \sqrt{-\frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z}} = 10^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$B = \frac{gaH}{\rho_0 c_p} = 0.5 \times 10^7 \text{ m}^2 \text{s}^{-3}$$

$$d = \frac{\sqrt{2Bt}}{N} \Rightarrow t = \frac{d^2 N^2}{2B} = 10^7 \text{ s} \simeq 100 \text{ days}$$

**(β)**

Δες σημειώσεις “Θερμοαλατικής Κυκλοφορίας”

**(γ)**

Δες σημειώσεις “Θερμοαλατικής Κυκλοφορίας” και “Κυμάτων Rossby”

## ΘΕΜΑ 2

Θεωρείστε κατανομή τάσης ανέμου  $\tau^x = -\tau_0 \cos(\pi y/L)$ , με μέγιστη τάση  $\tau_0 = 0.1 \text{ Pa}$ , σε ωκεάνια λεκάνη που εκτείνεται από  $y=0$  στις  $20^\circ\text{N}$  έως  $y=L$  στις  $40^\circ\text{N}$  και έχει πλάτος (στον  $x$ -άξονα)  $5000 \text{ km}$ . Υπολογίστε, στις  $30^\circ\text{N}$ , **(α)** τη μεταφορά (σε Sv) του ρεύματος δυτικού ορίου και **(β)** τη σχετική ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης στη δυτική πλευρά (σε σχέση με την ανατολική πλευρά) του ωκεανού.

$$[f_0 = 10^{-4} \text{ s}^{-1}, \beta = 2 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}\text{m}^{-1}, \rho_0 = 1025 \text{ kg/m}^3, L = 100 \text{ km}, H = 1000 \text{ m}]$$

ΛΥΣΗ:

**(α)**

$$M_{WB} = - \int_{x_{west}}^{x_{east}} M_y \Big|_{y=L/2} dx = - \int_{x_{west}}^{x_{east}} \left( - \frac{1}{\beta} \frac{\partial \tau^x}{\partial y} \right) \Big|_{y=L/2} dx =$$
$$= \left( \frac{1}{\beta} \frac{\partial \tau^x}{\partial y} \right) \Big|_{y=L/2} \Delta x = \frac{1}{\beta} - \tau_0 \frac{\pi}{L} - \sin(\pi/2) \Delta x$$

$$M_{WB} = \frac{3.14 \cdot 0.1 \text{ Pa} \cdot \sin(90^\circ)}{2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1} \cdot 20 \cdot 10^5 \text{ m}} \cdot 5 \cdot 10^6 \text{ m} = 3.925 \cdot 10^{10} \text{ kg/s}$$

$$\text{using } \bar{\rho} = 1025 \text{ kg/m}^3 \quad U_{WB} = \frac{3.925 \cdot 10^{10} \text{ kg/s}}{1025 \text{ kg/m}^3} = 38.3 \text{ Sv}$$

**(β)** At the  $30^\circ\text{N}$  latitude, where  $\tau^x$  vanishes

$$v = \frac{M_y}{H \rho_0} = - \frac{1}{H \beta \rho_0} \left( \frac{\partial \tau^x}{\partial y} \right)_{max} = v_g = \frac{g}{f} \frac{\partial \eta}{\partial x} \Rightarrow$$
$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = - \frac{f}{g H \beta \rho_0} \left( \frac{\partial \tau^x}{\partial y} \right)_{max} \Rightarrow$$
$$\eta(x) = \frac{f}{g H \beta \rho_0} \left( \frac{\partial \tau^x}{\partial y} \right)_{max} \int_x^{x_{east}} dx$$
$$\eta(x) = \frac{f}{g H \beta \rho_0} \left( \frac{\partial \tau^x}{\partial y} \right)_{max} (x_{east} - x)$$

$$\Delta \eta = \frac{f \tau_0 \pi \sin(\pi/2)}{g H \beta \rho_0 L} \Delta x \simeq 38 \text{ cm}$$

### ΘΕΜΑ 3

**α)** Θεωρείστε κυκλική θαλάσσια λεκάνη (ακτίνας  $r = 1000 \text{ km}$ ) στο βόρειο ημισφαίριο σε γεωγραφικό πλάτος με  $f = 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ), που αποτελείται από δύο στρώματα, ένα επιφανειακό (ενεργό) πάχους  $100 \text{ m}$  και ένα βαθύ (αδρανές) πάχους  $1000 \text{ m}$ , με διαφορά πυκνότητας  $\Delta\rho$ . Την ίδια χρονική στιγμή ένα πολύ μακρό εσωτερικό κυματοπακέτο Rossby και ένα εσωτερικό κύμα Kelvin ξεκινούν από το ανατολικότερο σημείο της λεκάνης. Αν συναντηθούν στο δυτικότερο σημείο της λεκάνης, υπολογίστε το  $\Delta\rho$ .

$$[\beta = 2 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}\text{m}^{-1}, \rho_0 = 10^3 \text{ kg/m}^3, g = 10 \text{ m/s}^2]$$

**β)** Μακρό βαρυντικό κύμα πλησιάζει στην ακτή. Εξηγήστε γιατί αλλάζει το μήκος κύματος (μεγαλώνει ή μικραίνει;).

ΛΥΣΗ:

**(α)**

$$\begin{aligned} |C_R| &= \beta R^2 = \beta \frac{g \Delta \rho h}{\rho_0 f^2}, \quad |C_K| = \sqrt{g' h} = \sqrt{\frac{g \Delta \rho h}{\rho_0}} \\ \Delta t_R = \Delta t_K &\Rightarrow \frac{2r}{C_R} = \frac{\pi r}{C_K} \Rightarrow \left( \frac{2r}{C_R} \right)^2 = \left( \frac{\pi r}{C_K} \right)^2 \Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{4r^2 \rho_0^2 f^4}{\beta^2 (\Delta \rho)^2 g^2 h^2} = \frac{\pi^2 r^2 \rho_0}{g \Delta \rho h} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \Delta \rho = \frac{4 \rho_0 f^4}{\pi^2 \beta^2 g h} = 10 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

**(β)**

$$C_G(\text{long}) = \frac{\omega}{k} = \sqrt{gH} \quad \downarrow \quad \Rightarrow \quad k \uparrow \quad \lambda \downarrow$$