

# Ροές Υπολειμμάτων & Παράκτιες Πλημμύρες

Διαλέξεις 5<sup>η</sup> - 6<sup>η</sup>

Παράκτιες Πλημμύρες  
Διαλέξεις Αχιλλέα Σαμαρά

**Αχιλλέας Σαμαράς**

Επίκουρος Καθηγητής

Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022

[achsamar@civil.duth.gr](mailto:achsamar@civil.duth.gr) • [www.achilleassamaras.com](http://www.achilleassamaras.com)





- **Στοιχεία Κυματομηχανικής**
- **Διαμόρφωση Κυματισμών**
- **Στοιχεία Ανέμων**
- **Ανεμογενείς Κυματισμοί**
- **Θαλάσσια Κυκλοφορία – Διακυμάνσεις Στάθμης**

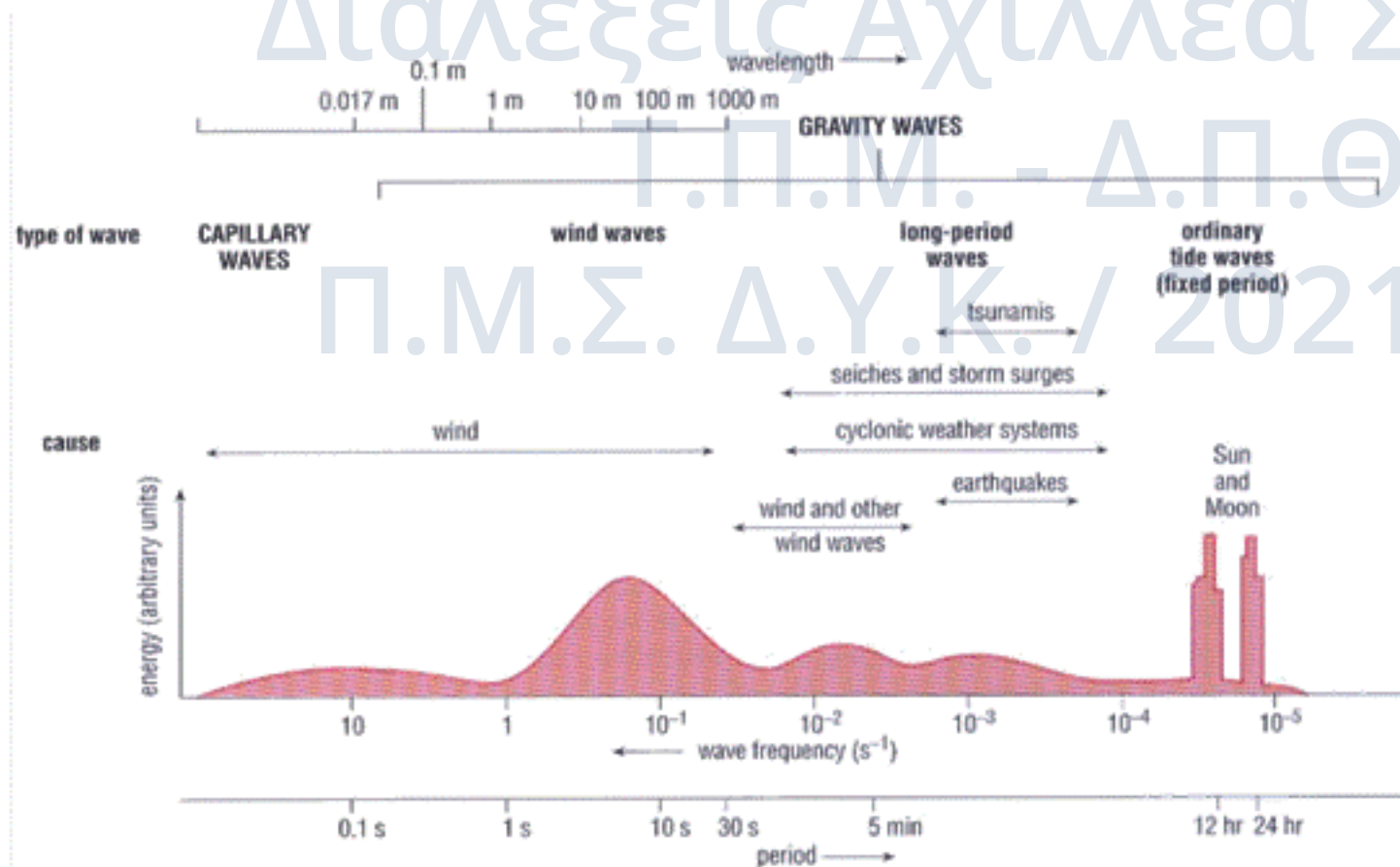




## Ορισμοί - Γενικά

- Αιτίες γένεσης επιφανειακών ή εσωτερικών κυματισμών

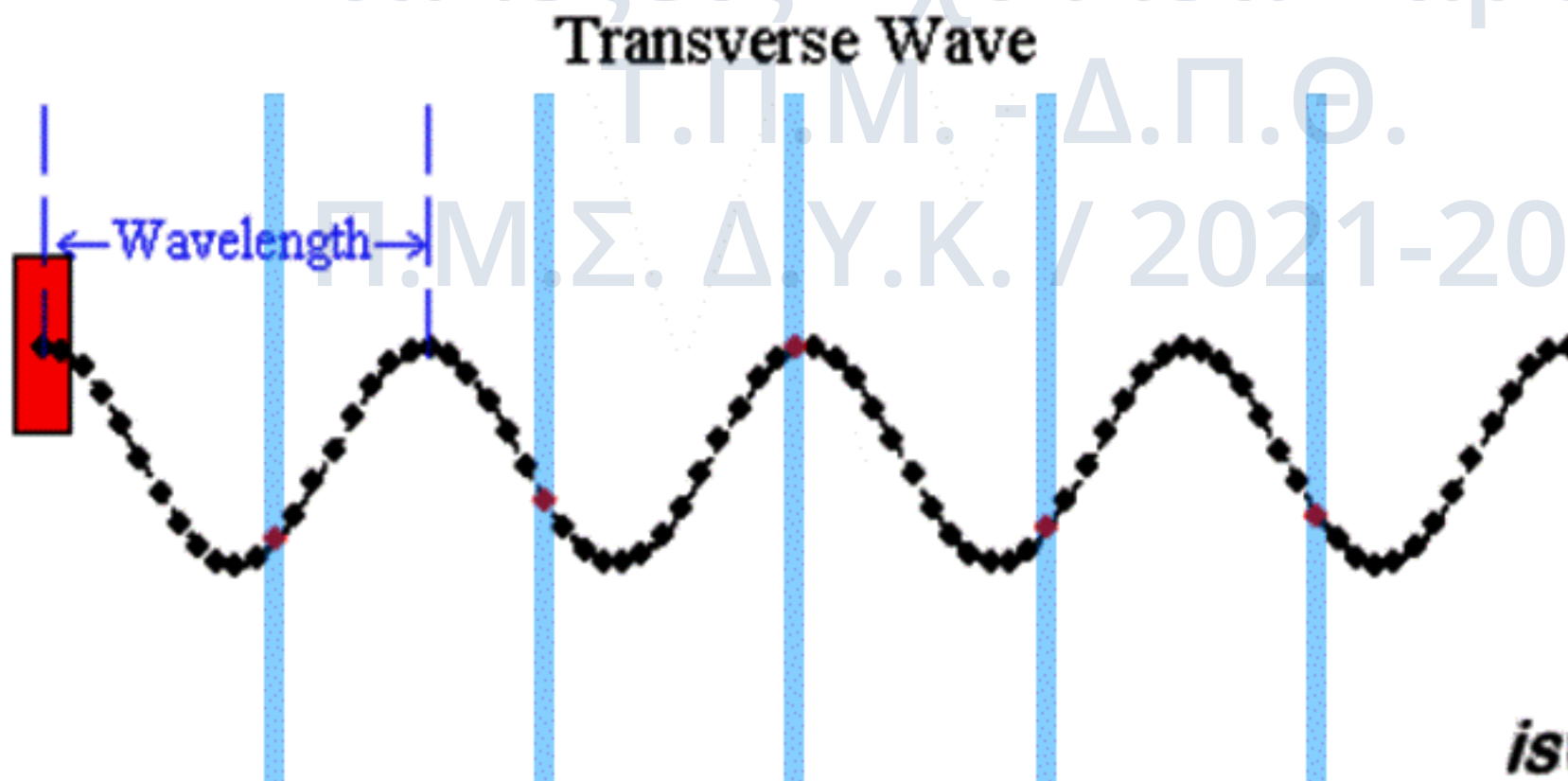
- Επίδραση ανέμου
- Αστρονομική παλίρροια
- Υποθαλάσσιοι σεισμοί
- Διαφοροποιήσεις βαρομετρικής πίεσης
- Υποβρύχιες κατολισθήσεις
- Διαφοροποιήσεις πυκνότητας θαλασσίων μαζών



## Ορισμοί - Γενικά

- Κατά τη διάδοση ενός κυματισμού λαμβάνει χώρα:

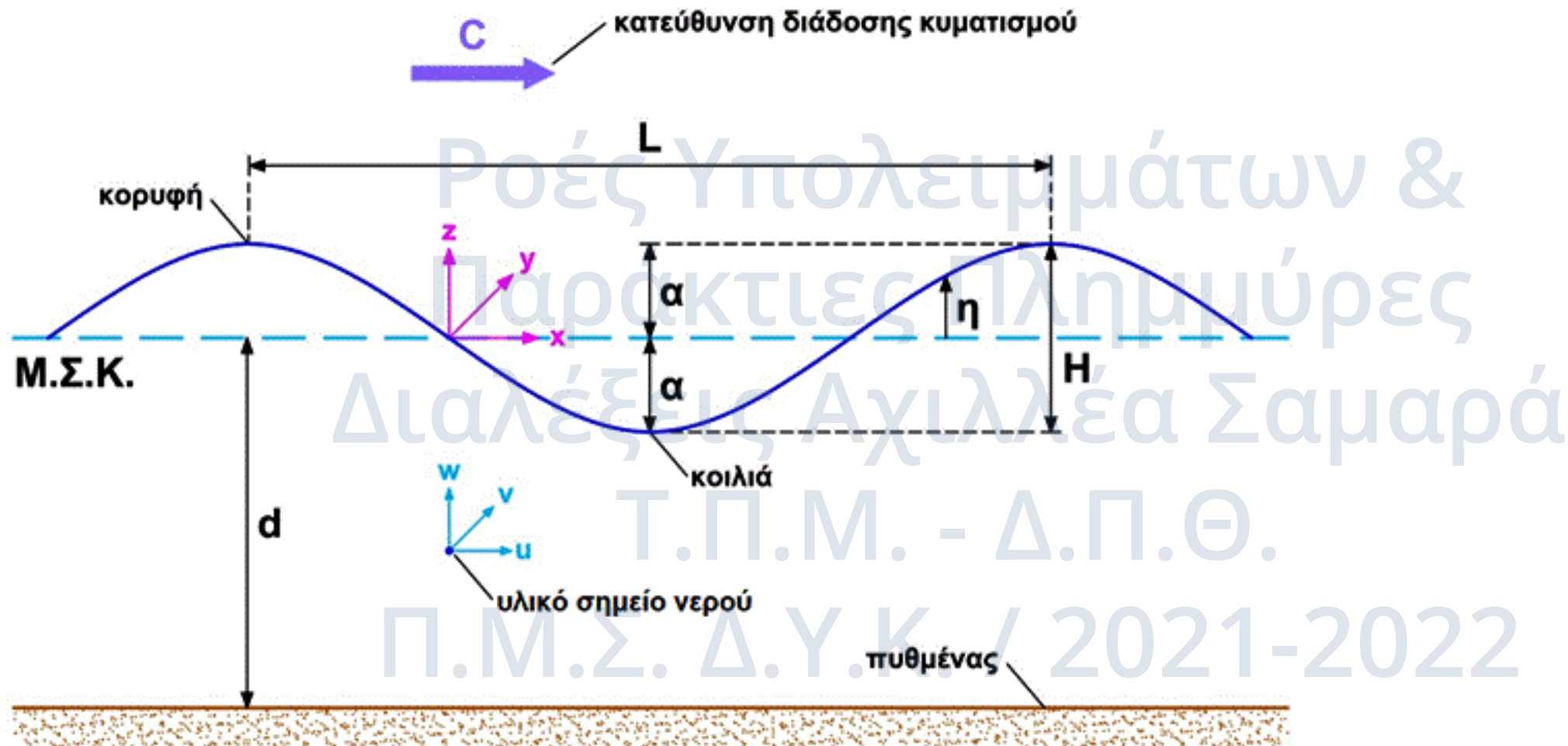
- Μεταφορά μάζας;
- Μεταφορά ενέργειας;
- Μεταφορά μάζας & ενέργειας;







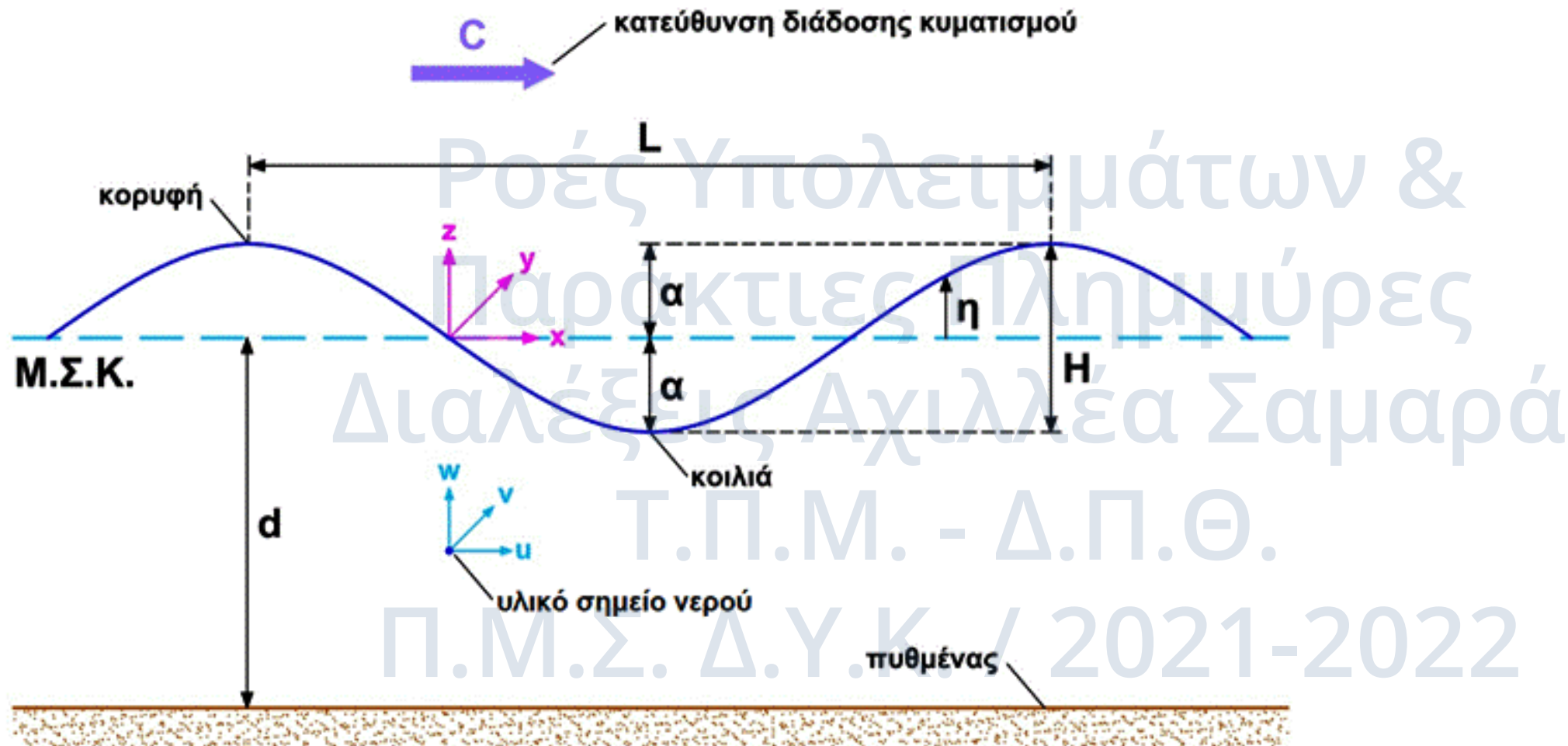
## Στοιχεία περιγραφής κυματισμού



- **έξαρση/κοίλωμα:** τμήμα του κύματος κάτω/πάνω από τη στάθμη ηρεμίας (Μ.Σ.Θ. ή Μ.Σ.Κ.)
- **κορυφή:** το ψηλότερο σημείο της έξαρσης
- **κοιλιά/πόδι:** το χαμηλότερο σημείο του κοιλώματος



## Στοιχεία περιγραφής κυματισμού

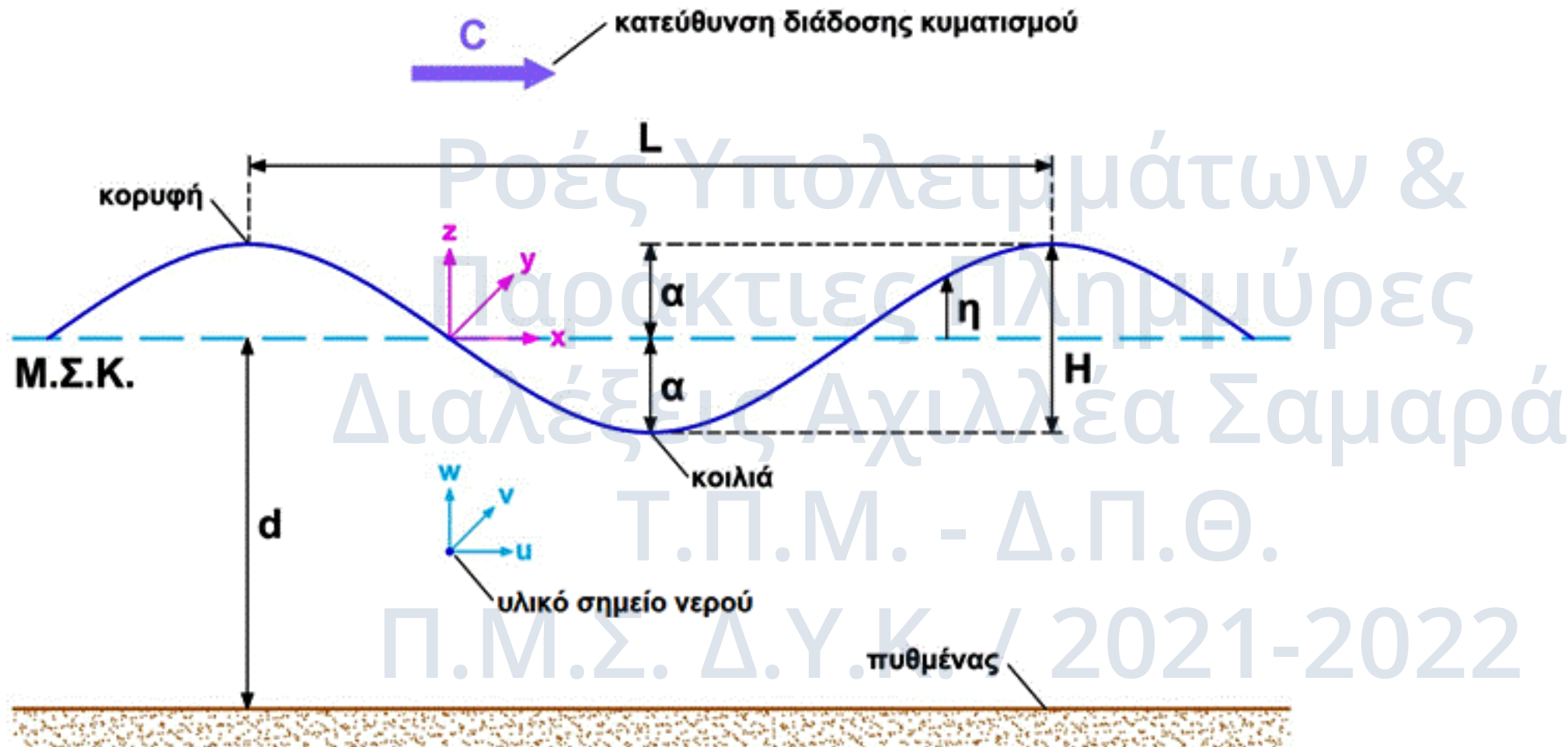


- $L =$  μήκος κύματος [m]: απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κοιλιών ή κορυφών
- $k = 2\pi / L =$  αριθμός κύματος [ $m^{-1}$ ]
- $H =$  ύψος ή εύρος κύματος [m]: απόσταση κορυφής – κοιλιάς
- $r = H / L =$  καμπυλότητα ή κλίση κύματος





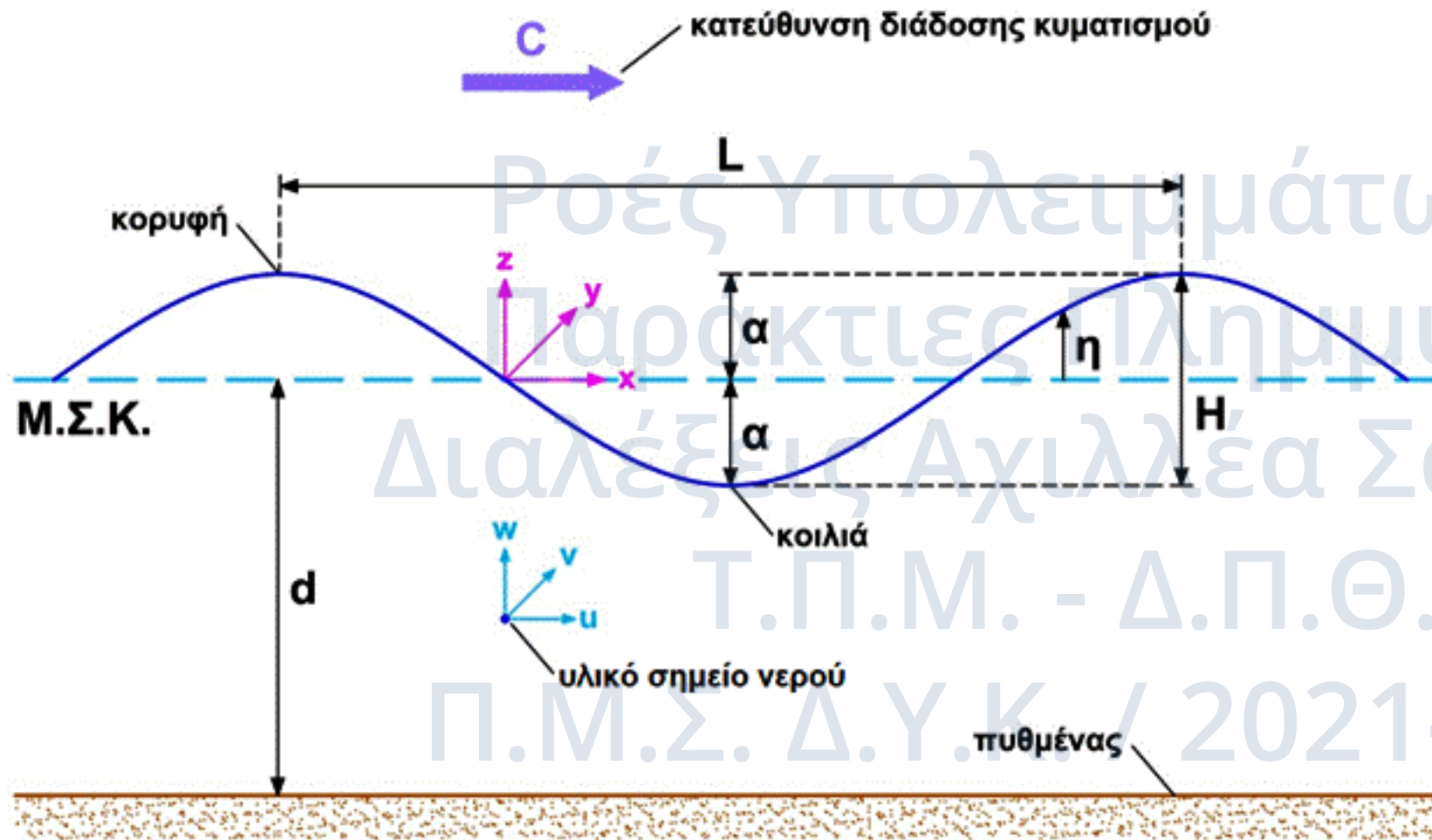
## Στοιχεία περιγραφής κυματισμού



- $\alpha$  = πλάτος κύματος [m]: το ήμισυ του ύψους κύματος
- $T$  = περίοδος κύματος [sec]: χρονική απόσταση ανάμεσα στην εμφάνιση δύο διαδοχικών κορυφών/κοιλιών σε μία θέση



## Στοιχεία περιγραφής κυματισμού



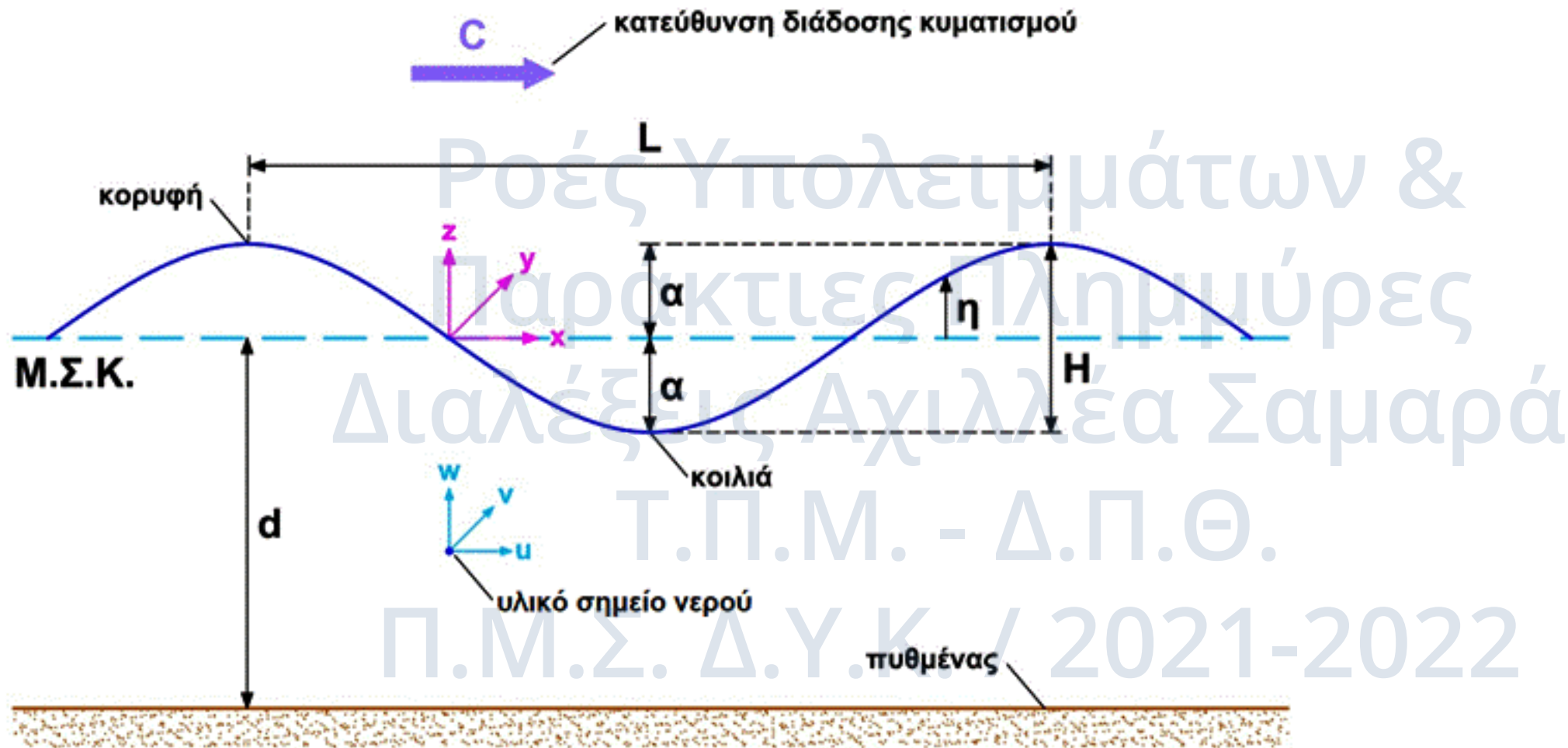
- $f = 1 / T =$  κυκλική συχνότητα [Hz]
- $\omega =$  γωνιακή συχνότητα [rad/sec]

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f$$





## Στοιχεία περιγραφής κυματισμού

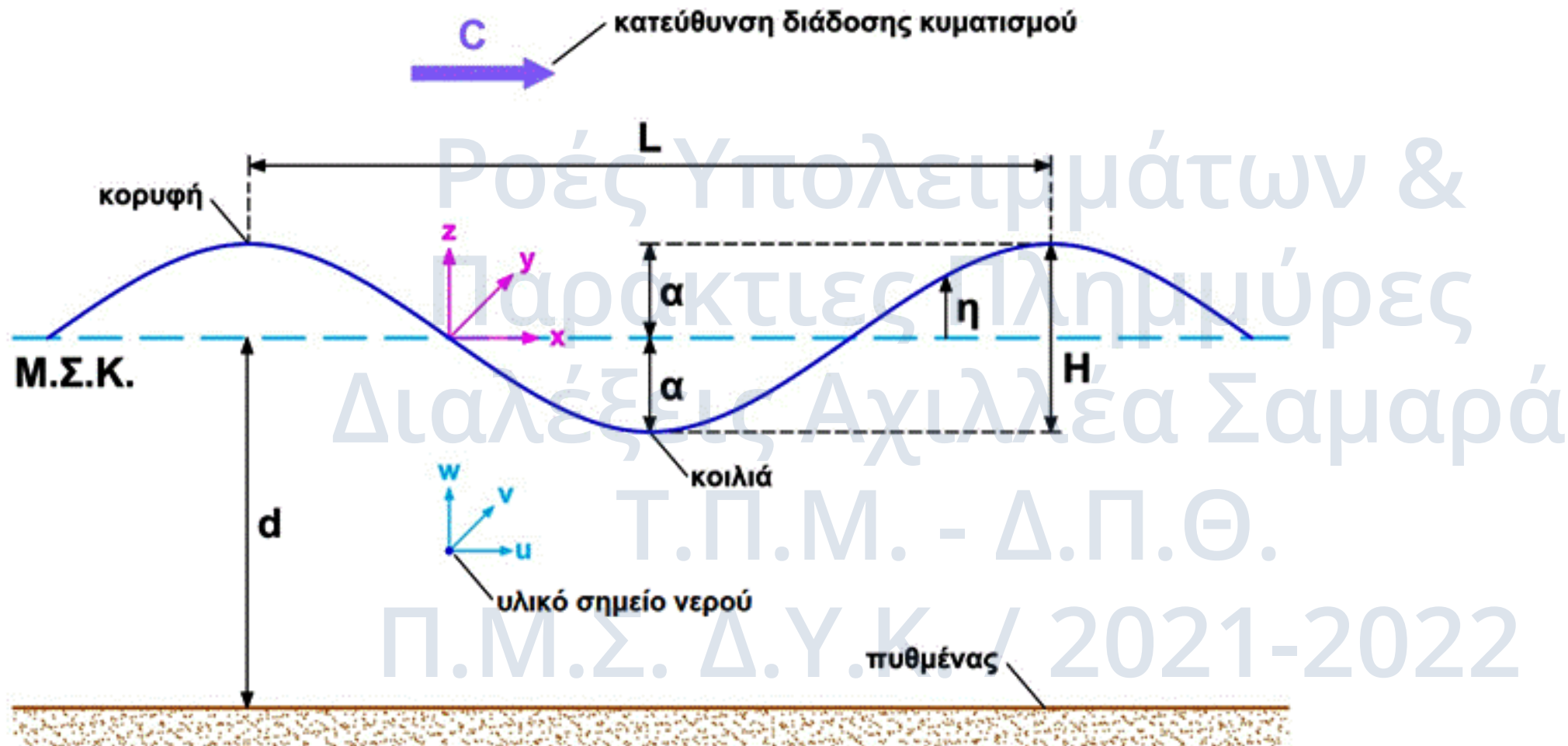


- $C$  = φασική ταχύτητα ή ταχύτητα διάδοσης κύματος [m/sec]
- $u, v, w$  = συνιστώσες της ταχύτητας των μορίων του νερού

$$L = C \cdot T \Leftrightarrow C = \frac{L}{T}$$



## Στοιχεία περιγραφής κυματισμού



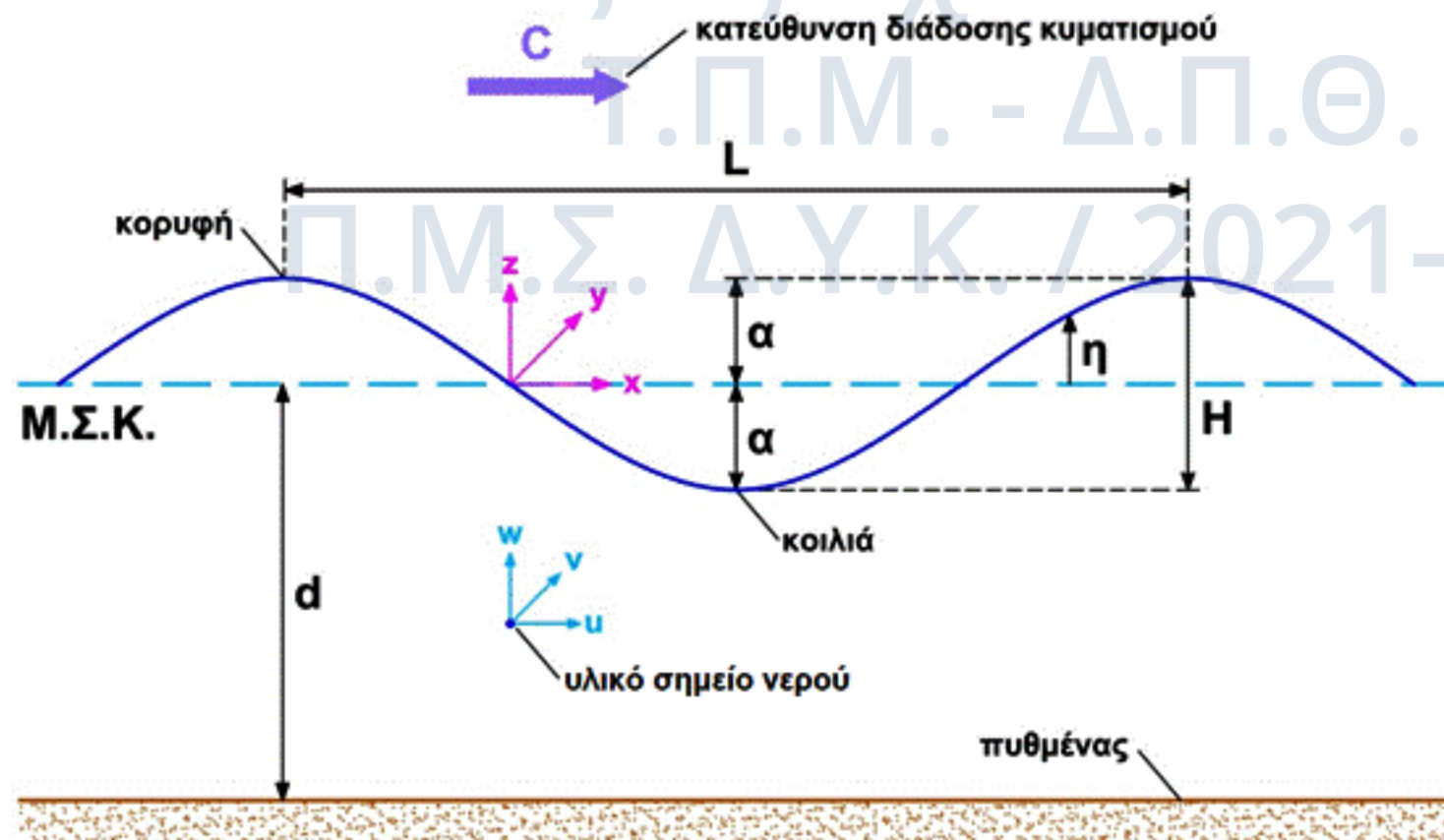
- $\eta$  (ή  $\zeta$ ) [m]: η απόσταση της στάθμης της επιφάνειας από τη Μ.Σ.Κ.
- $d$  (ή  $h$ ) [m]: το βάθος του νερού στην αρχική κατάσταση
- Διαφοροποίηση Μ.Σ.Κ. από στάθμη ηρεμίας (Σ.Η.): **wave set-up / set-down**





## Θεωρίες περιγραφής κυματισμών

- Παραδοχή **διδιάστατων** κυματισμών (μεταβολές μόνο στο επίπεδο  $xz$ )
- Διάκριση ως προς την περίοδο  $T$ 
  - Αρμονικοί / Μονοχρωματικοί κυματισμοί: **μοναδική τιμή  $T$**
  - Μη αρμονικοί / Τυχαίοι κυματισμοί: **εύρος τιμών  $T$**



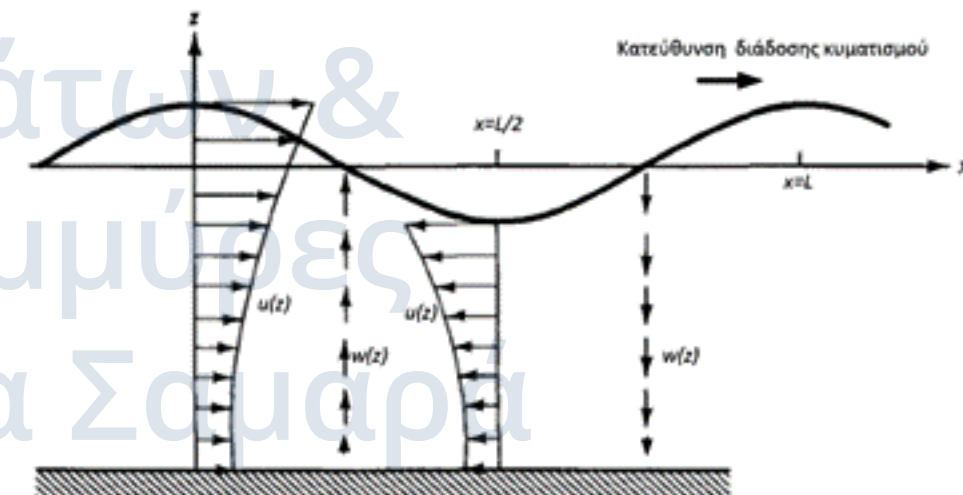


## Γραμμική θεωρία Stokes 1<sup>ης</sup> τάξης

- Πεδίο ροής γραμμικών κυματισμών

$$u = \frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{\cosh(k \cdot (d + z))}{\sinh(k \cdot d)} \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$w = \frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{\sinh(k \cdot (d + z))}{\sinh(k \cdot d)} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$



$$\xi = \int u dt = \frac{H}{2} \cdot \frac{\cosh(k \cdot (d + z))}{\sinh(k \cdot d)} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$\zeta = \int w dt = \frac{H}{2} \cdot \frac{\sinh(k \cdot (d + z))}{\sinh(k \cdot d)} \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

Η τροχιά των  
υλικών σημείων  
του νερού είναι  
έλλειψη

$$\frac{\xi^2}{A} + \frac{\zeta^2}{B} = 1$$





## Γραμμική θεωρία Stokes 1<sup>ης</sup> τάξης

- Διάκριση συνθηκών διάδοσης κυματισμών

$$\frac{d}{L} > 0.5$$

⇒ βαθιά νερά

$$0.05 < \frac{d}{L} < 0.5$$

⇒ ενδιάμεσα νερά

$$\frac{d}{L} < 0.05$$

⇒ ρηχά νερά

$$\sinh(k \cdot d) = \frac{e^{k \cdot d}}{2}$$

$$\cosh(k \cdot d) = \frac{e^{k \cdot d}}{2}$$

$$\tanh(k \cdot d) = 1$$

σχέση διασποράς + πεδίο ροής

$$C_o = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi}$$

$$u = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot e^{k \cdot z} \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$\xi = \frac{H}{2} \cdot e^{k \cdot z} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$L_o = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi}$$

$$w = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot e^{k \cdot z} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$\zeta = \frac{H}{2} \cdot e^{k \cdot z} \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$



## Γραμμική θεωρία Stokes 1<sup>ης</sup> τάξης

- Διάκριση συνθηκών διάδοσης κυματισμών

$$\frac{d}{L} > 0.5$$

⇒ βαθιά νερά

$$0.05 < \frac{d}{L} < 0.5$$

⇒ ενδιάμεσα νερά

$$\frac{d}{L} < 0.05$$

⇒ ρηχά νερά

σχέση διασποράς + πεδίο ροής

$$\sinh(k \cdot d) = k \cdot d$$

$$\cosh(k \cdot d) = 1$$

$$\tanh(k \cdot d) = k \cdot d$$

$$C = \sqrt{g \cdot d}$$

$$u = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{1}{k \cdot d} \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$\xi = \frac{H}{2} \cdot \frac{1}{k \cdot d} \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$L = \sqrt{g \cdot d} \cdot T$$

$$w = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \left(1 + \frac{z}{d}\right) \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$\zeta = \frac{H}{2} \cdot \left(1 + \frac{z}{d}\right) \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$





## Γραμμική θεωρία Stokes 1<sup>ης</sup> τάξης

- Διάκριση συνθηκών διάδοσης κυματισμών

$$\frac{d}{L} > 0.5$$

⇒ βαθιά νερά

$$0.05 < \frac{d}{L} < 0.5$$

⇒ ενδιάμεσα νερά

$$\frac{d}{L} < 0.05$$

⇒ ρηχά νερά

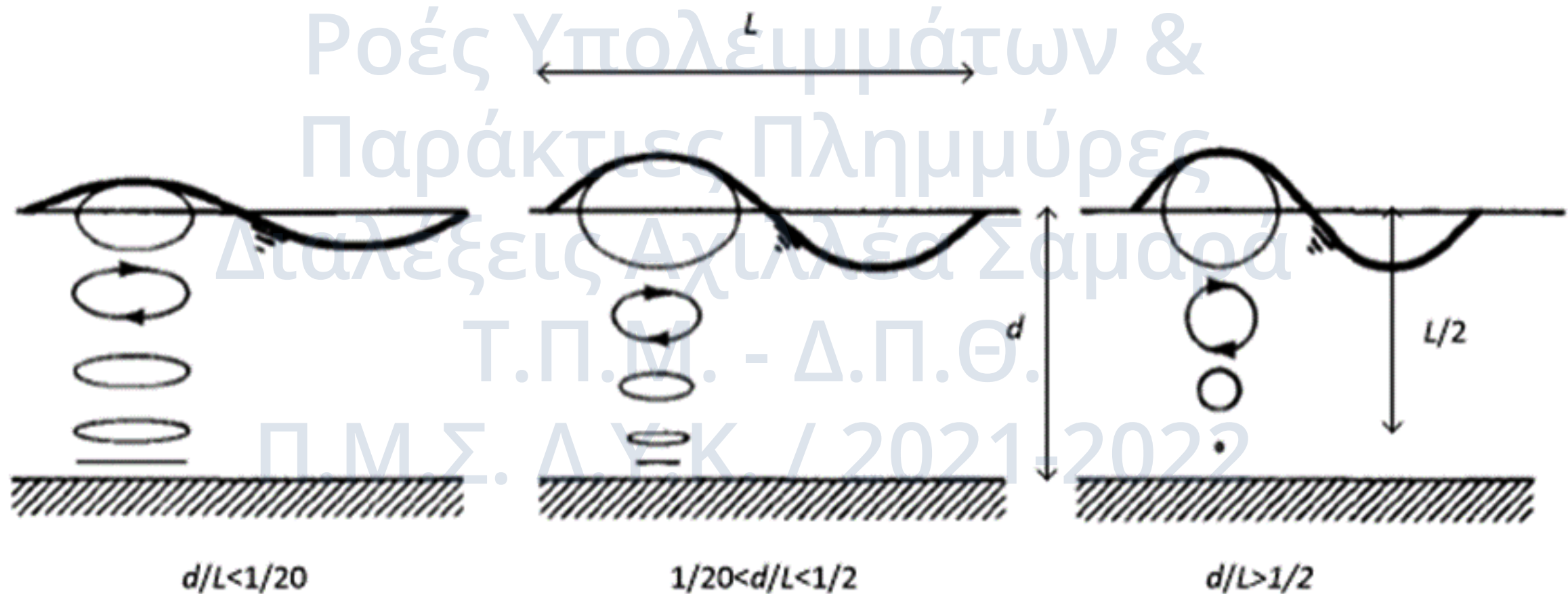
$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right) \xrightarrow{L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi}} L = L_0 \cdot \tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right)$$

- επίλυση με επαναληπτική διαδικασία
- επίλυση με νομογράφημα
- επίλυση με πίνακες Wiegel



## Γραμμική θεωρία Stokes 1<sup>ης</sup> τάξης

- Τροχιές υλικών σημείων νερού





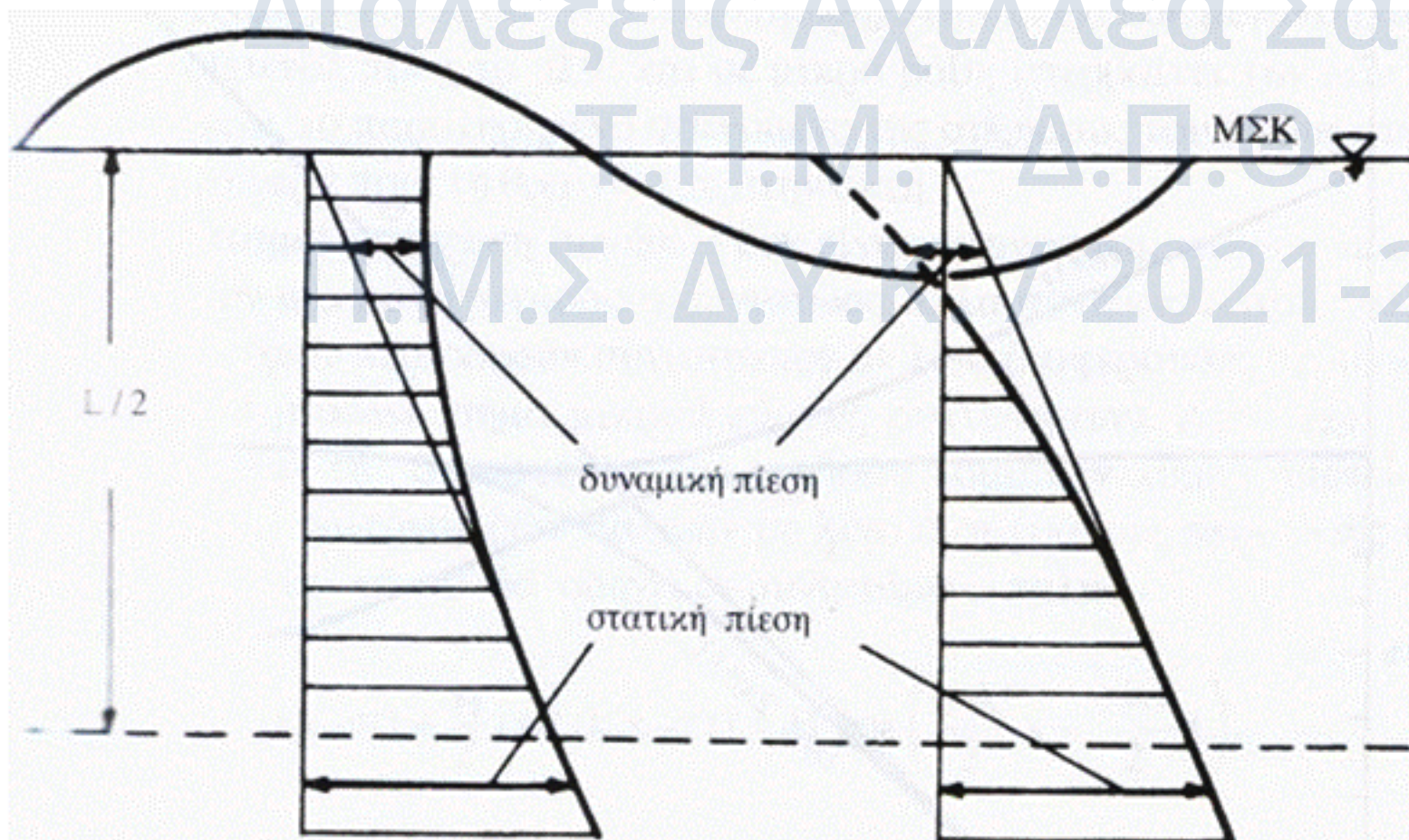
## Γραμμική θεωρία Stokes 1<sup>ης</sup> τάξης

## Πιέσεις



- Πεδίο πίεσης: γραμμικοποιημένη γενικευμένη εξίσωση Bernoulli
- Συνολική πίεση = υδροστατική πίεση + υδροδυναμική πίεση

$$p = -\rho \cdot g \cdot z + \frac{\rho \cdot g \cdot H}{2} \frac{\cosh(k \cdot (d+z))}{\cosh(k \cdot d)} \cdot \cos(k \cdot x - \omega \cdot t)$$





## Γραμμική θεωρία Stokes 1<sup>ης</sup> τάξης

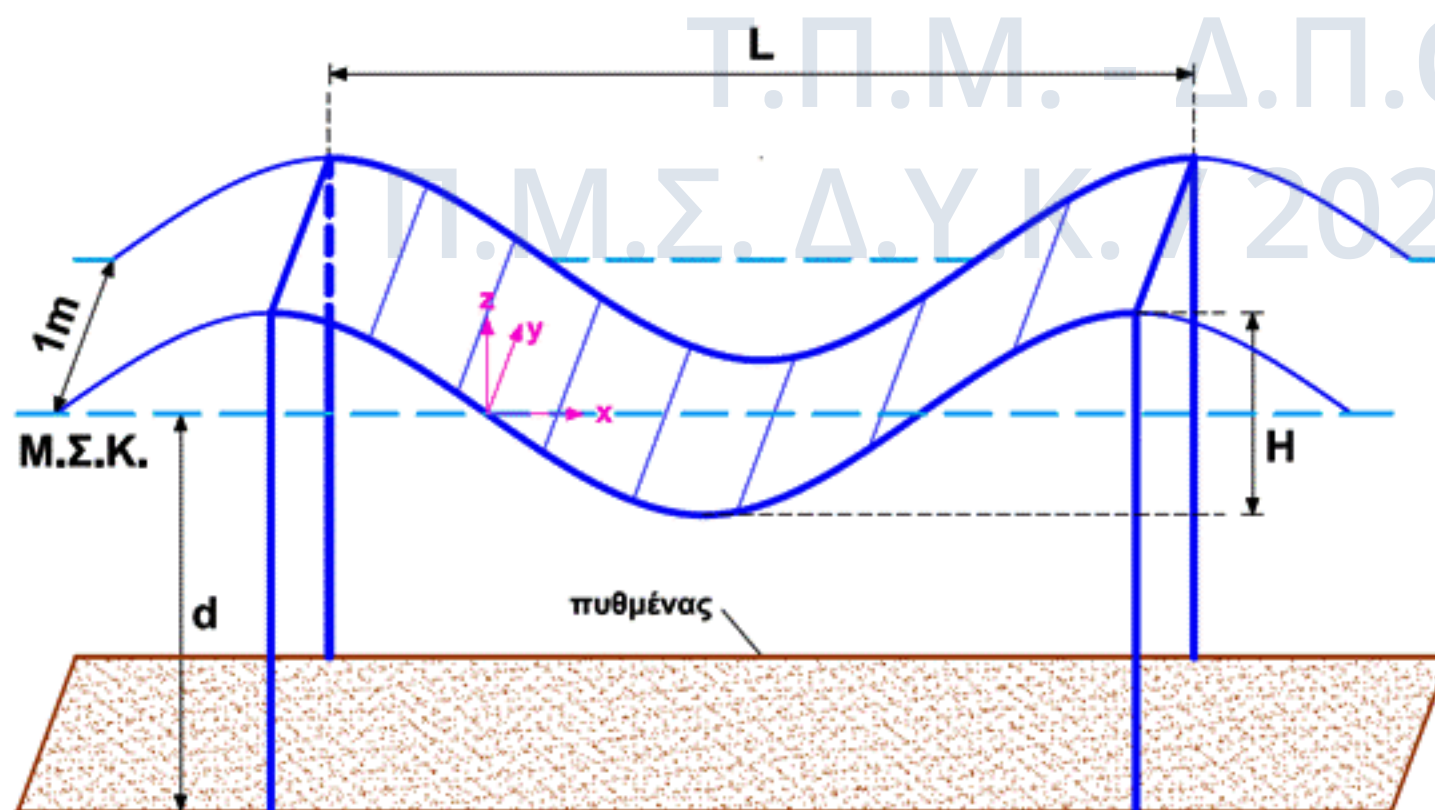
## Ενέργεια



- Το μηχανικό ενεργειακό περιεχόμενο στήλης νερού πλάτους 1m και μήκους ίσο προς L:

$$E = E_k + E_p = \int_0^L \int_{-d}^{\eta} \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (u^2 + w^2) dz dx + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \int_0^L \eta^2 dx \Rightarrow \dots \Rightarrow$$

$$E = E_k + E_p = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2 \cdot L}{16} + \frac{\rho \cdot g \cdot H^2 \cdot L}{16} = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2 \cdot L}{8}$$







- **Ισχύς:** μέσος ρυθμός ροής ενέργειας από κατακόρυφη διατομή μοναδιαίου πλάτους

$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \int_{-d}^0 p \cdot u \cdot dz \cdot dt = 0.5 \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right) \cdot \frac{E}{T} = \frac{n \cdot E}{T} = n \cdot C \cdot \bar{E}$$

$$n = 0.5 \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot k \cdot d}{\sinh(2 \cdot k \cdot d)} \right) = 0.5 \cdot \left( 1 + \frac{\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{L}}{\sinh\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{L}\right)} \right)$$

- Μεταφορά ενέργειας αρμονικών κυματισμών

$$C_g = n \cdot C \quad \longrightarrow \quad C_{g0} = 0.5 \cdot C_0$$

Η κυματική παράμετρος  $n$  μεταβάλλεται από 0.5 στα βαθιά νερά ( $n_0=0.5$ ) έως 1.0 στα ρηχά νερά ( $n=1.0$ )



## Παράδειγμα 1<sup>ο</sup>

Σε θαλάσσια περιοχή βάθους  $d = 10\text{m}$  διαδίδεται κυματισμός με μήκος κύματος  $L = 110\text{ m}$ . Ζητούνται:

(α) Η κατηγορία διάδοσης του κύματος

(β) Η περίοδος του κύματος και το μήκος του κύματος στα βαθιά

(γ) Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος

Δίνονται:  $\pi = 3.14$  και  $g = 9.81\text{ m/s}^2$ . - Δ.Π.Θ.

Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022



# Παραδείγματα Κατανόησης

## Παράδειγμα 1<sup>ο</sup>

## Επίλυση • (α)

$$\frac{d}{L} = \frac{10}{110} = 0.091$$

$$0.091 > 0.05$$

$$0.091 < 0.5$$

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
→ ενδιάμεσα νερά

Διαλέξεις Αχιλλέα Σαμαρά

Τ.Π.Μ. - Δ.Π.Θ.

Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022





## Παράδειγμα 1<sup>ο</sup>

## Επίλυση • (β1)

- Ισχύουν

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh(k \cdot d)$$

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right)$$

$$L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi}$$

$$L = L_0 \cdot \tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right)$$

- Επίλυση ως προς T

$$T^2 = \frac{L \cdot 2 \cdot \pi}{g} \cdot \frac{1}{\tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right)}$$

- Υπολογισμός tanh (αναλυτικά)

$$\tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right) = \tanh\left(\frac{2 \cdot 3.14 \cdot 10}{110}\right)$$

$$= \tanh(0.571)$$

$$= \frac{e^{0.571} - e^{-0.571}}{e^{0.571} + e^{-0.571}}$$

$$= \frac{1.770 - 0.565}{1.770 + 0.565}$$

$$= \frac{1.205}{2.335}$$

$$= 0.516$$

$$\tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right) = 0.516$$



## Παράδειγμα 1<sup>ο</sup>

## Επίλυση • (β1)

- Αντικατάσταση γνωστών μεγεθών

$$T^2 = \frac{L \cdot 2 \cdot \pi}{g} \cdot \frac{1}{\tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right)} \quad L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi}$$

$$\begin{aligned} T^2 &= \frac{110 \cdot 2 \cdot 3.14}{9.81} \cdot \frac{1}{0.516} \\ &= \frac{690.8}{5.062} \\ &= 136.469 \end{aligned} \quad \begin{aligned} L_0 &= \frac{10 \cdot 11.7^2}{2 \cdot 3.14} \\ &= \frac{1368.9}{6.28} \\ L_0 &= 218\text{m} \end{aligned}$$

$$T = \sqrt{136.469}$$

$$T = 11.7 \text{ sec}$$



## Παράδειγμα 1<sup>ο</sup>

## Επίλυση • (γ1)

- Υπολογισμός C

$$L = C \cdot T$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{110}{11.7}$$

$$C = 9.40 \text{ m / sec}$$

Ροές Υπολειμμάτων &

Παράκτιες Πλημμύρες

Διαλέξεις Αχιλλέα Σαμαρά

Τ.Π.Μ. - Δ.Π.Θ.

Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022





## Παράδειγμα 1<sup>ο</sup>

## Επίλυση • (β2)



- Χρήση πινάκων Wiegel

$$\frac{d}{L} = 0.091$$

$$\frac{d}{L_0} \cong 0.047$$

$$L_0 \cong 212$$

$d/L_0$	$d/L$	$2\pi d/L$	$\tanh \frac{2\pi d/L}{2\pi d/L}$	$\sinh \frac{2\pi d/L}{2\pi d/L}$	$\cosh \frac{2\pi d/L}{2\pi d/L}$
.04500	.08883	.5581	.5066	.5876	1.1599
.04600	.08991	.5649	.5116	.5954	1.1639
.04700	.09098	.5717	.5166	.6033	1.1679
.04800	.09205	.5784	.5215	.6111	1.1720
.04900	.09311	.5850	.5263	.6189	1.1760

- Υπολογισμός  $T$

$$\begin{aligned} T^2 &= \frac{2 \cdot \pi \cdot L_0}{g} \\ &= \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 212}{9.81} \\ &= 135.715 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T^2 &= \sqrt{135.715} \\ T &= 11.6 \text{ sec} \end{aligned}$$

## Παράδειγμα 1<sup>ο</sup>

## Επίλυση • (γ2)

- Υπολογισμός C

$$L = C \cdot T$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{110}{11.6}$$

$$C = 9.48 \text{ m / sec}$$

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
Διαλέξεις Αχιλλέα Σαμαρά  
Τ.Π.Μ. - Δ.Π.Θ.  
Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022





## Παράδειγμα 1<sup>ο</sup>

## Σύγκριση αποτελεσμάτων

- Αναλυτική επίλυση:

- $L_0 = 218 \text{ m}$
- $T = 11.7 \text{ sec}$
- $C = 9.40 \text{ m/sec}$

- Επίλυση χρήση πινάκων Wiegel:

- $L_0 = 212 \text{ m}$
- $T = 11.6 \text{ sec}$
- $C = 9.48 \text{ m/sec}$

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
Διαλέξεις Αχιλλέα Σαμαρά  
Τ.Π.Μ. - Δ.Π.Θ.  
Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022



# Διαμόρφωση Κυματισμών

## Ρήχωση

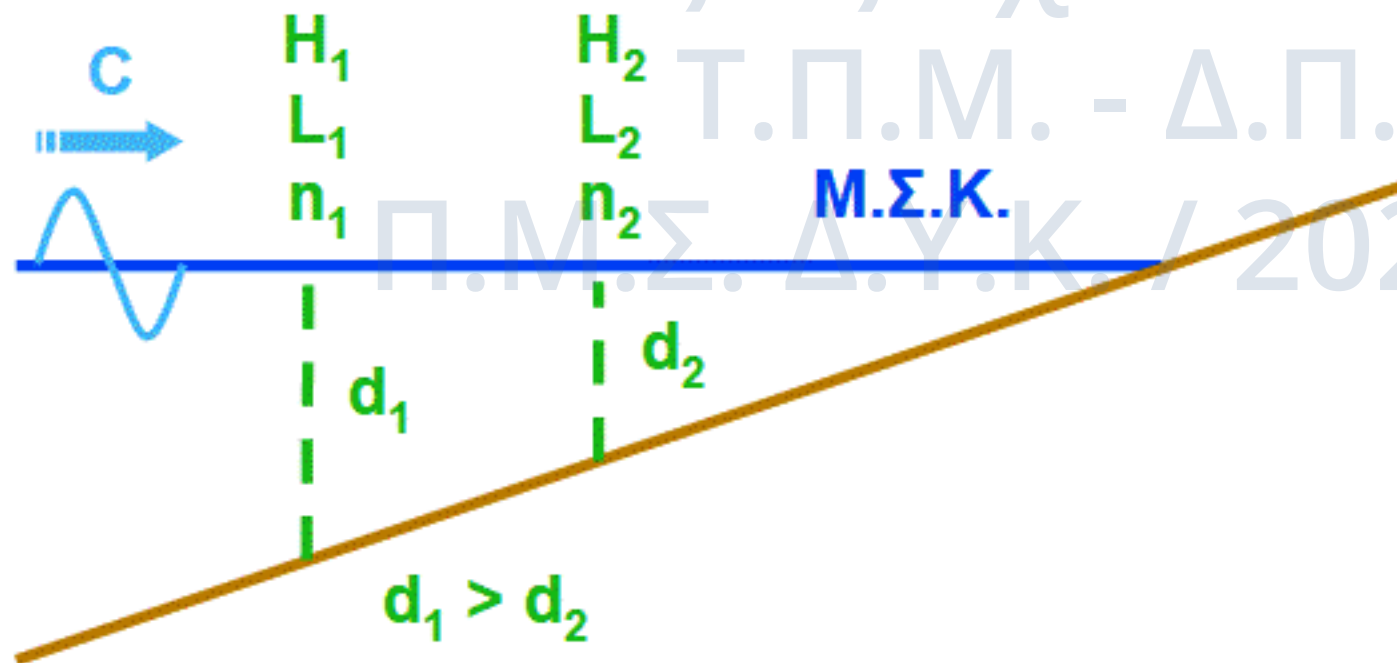
- Περιγραφή: Το φαινόμενο της μεταβολής των χαρακτηριστικών του κυματισμού με τη μείωση του βάθους





## Ρήχωση

- Περιγραφή: Το φαινόμενο της μεταβολής των χαρακτηριστικών του κυματισμού με τη μείωση του βάθους
- Εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ενέργειας/ισχύος του κυματισμού μεταξύ δύο διατομών σε διαφορετικά βάθη





## Διάδοση κυματισμών προς την ακτή

- Ισοβαθείς, κυματοκορυφές (κορυφογραμμές), ορθογώνιες (ακτίνες)



- Διδιάστατη προσέγγιση / περιγραφή
- Πραγματικότητα: τριδιάστατοι κυματισμοί λόγω της πολυπλοκότητας της βυθομετρίας και της παρουσίας τεχνικών έργων ή/και φυσικών εμποδίων

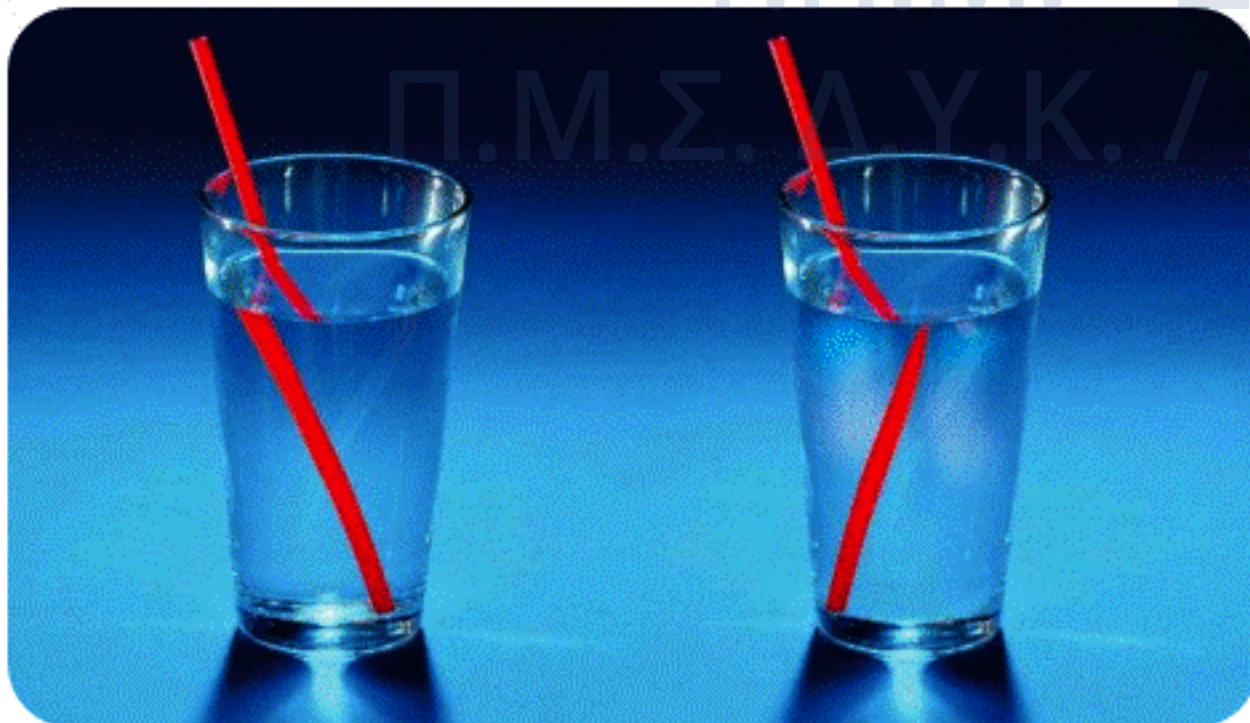
απλές  
ποσοτικές  
μέθοδοι





## Διάθλαση

- Περιγραφή: Το φαινόμενο της μεταβολής των χαρακτηριστικών του κυματισμού υπό της επίδραση της βυθομετρίας
- Οφείλεται στη χωρική διαφοροποίηση της ταχύτητας προώθησης (φασικής ταχύτητας)  $C$  ενός αρχικά διδιάστατου κυματισμού λόγω της επίδρασης του βάθους  $d$
- Αναλογία με το οπτικό φαινόμενο

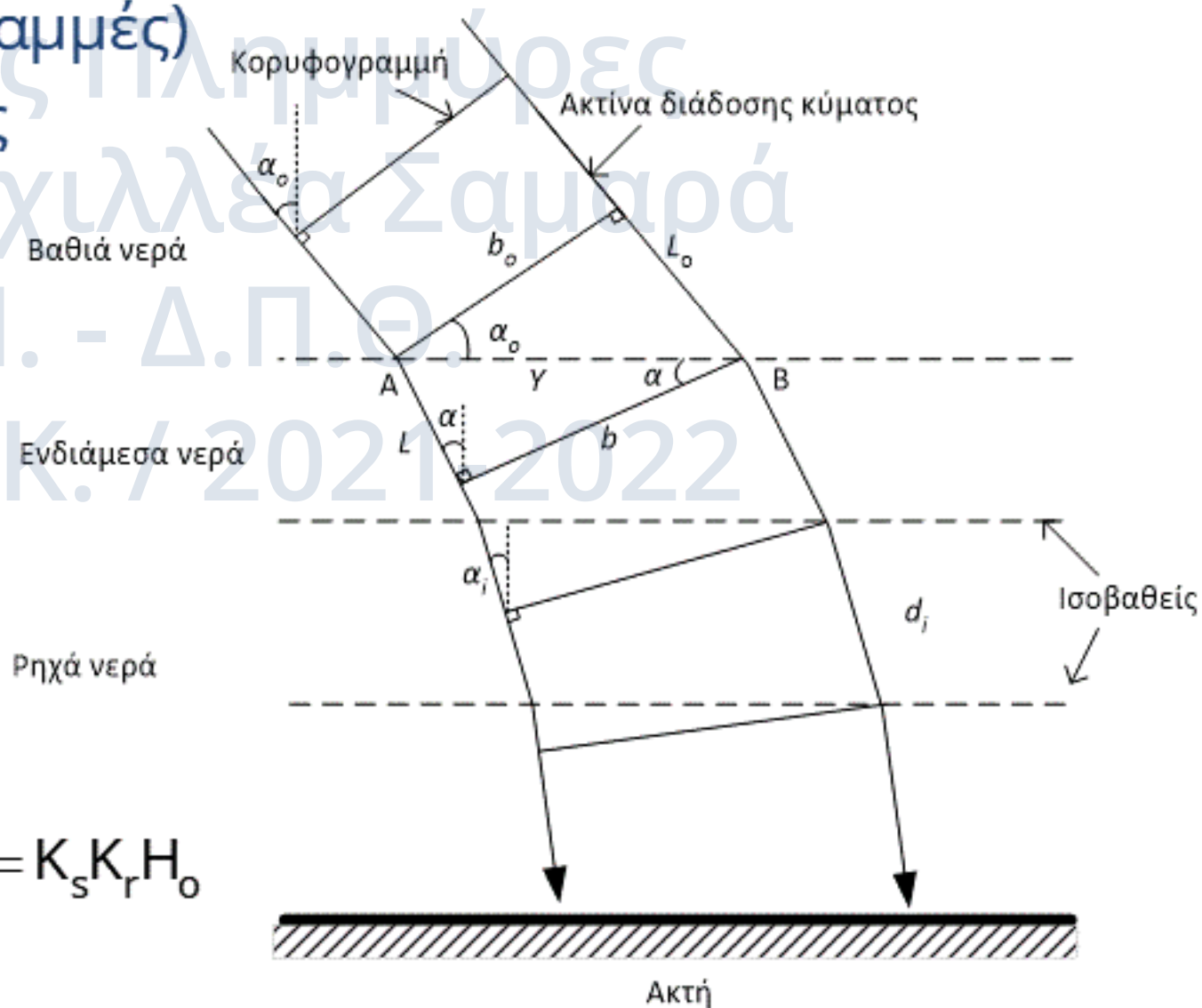




## Διάθλαση

- $C = L/T \Rightarrow$  μείωση  $C$  με τη μείωση του βάρους
- Εξήγηση εστιάζοντας σε δύο ορθογώνιες (ακτίνες)
- Οι κυματοκορυφές (κορυφογραμμές) τείνουν να γίνουν παράλληλες προς τις ισοβαθείς
- Η γωνία πρόσπτωσης  $\alpha$  μειώνεται και τείνει στο μηδέν στην ακτογραμμή

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n L}} \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n L}} \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \Rightarrow H = K_s K_r H_0$$





# Διαμόρφωση Κυματισμών

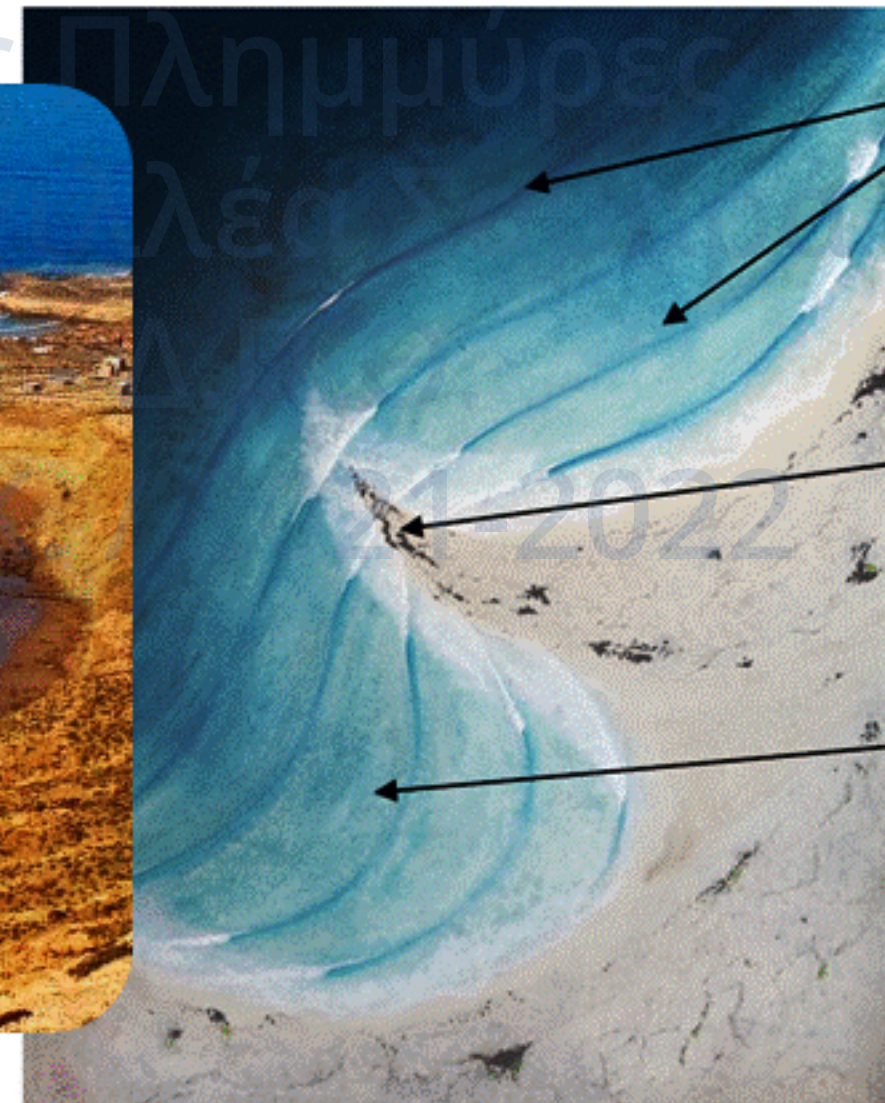
Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
ΠΜΣ ΔΥΚ  
Διαλέξεις 5<sup>η</sup> - 6<sup>η</sup>  
Αχιλλέας Σαμαράς



## Διάθλαση

- Τι συμβαίνει σε ακρωτήρια και κόλπους;

## Ροές Υπολειμμάτων & Παράκτιες Πλημμύρες



Κορυφογραμμές

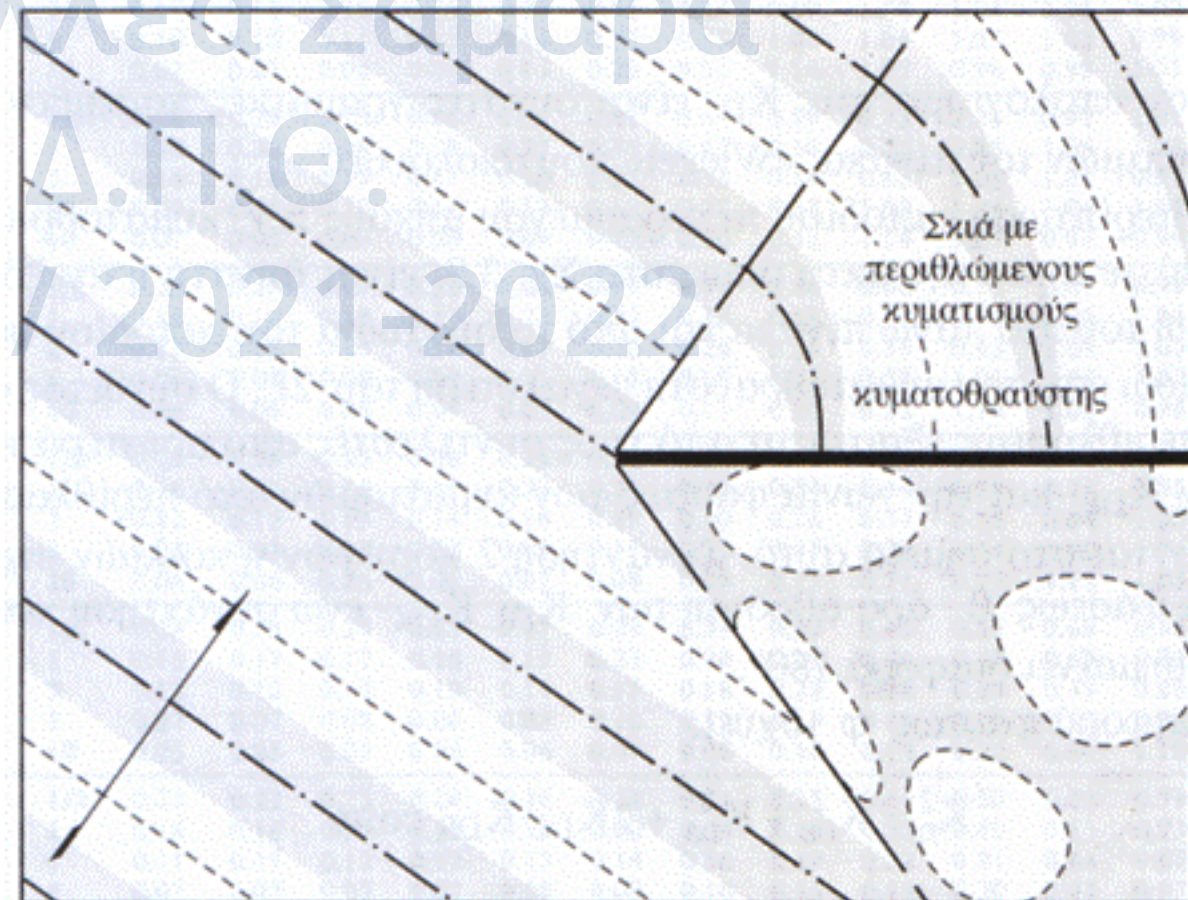
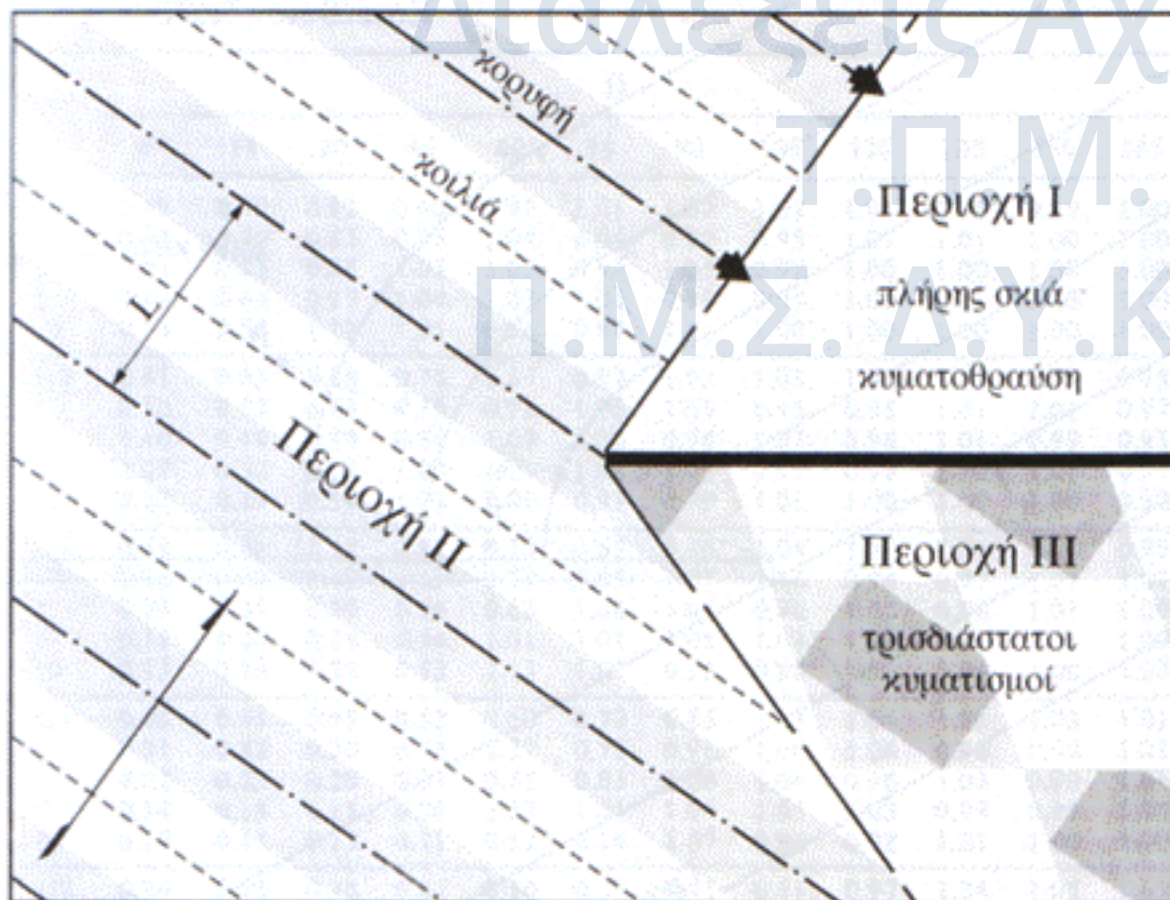
Ακρωτήριο

Κόλπος



## Περίθλαση

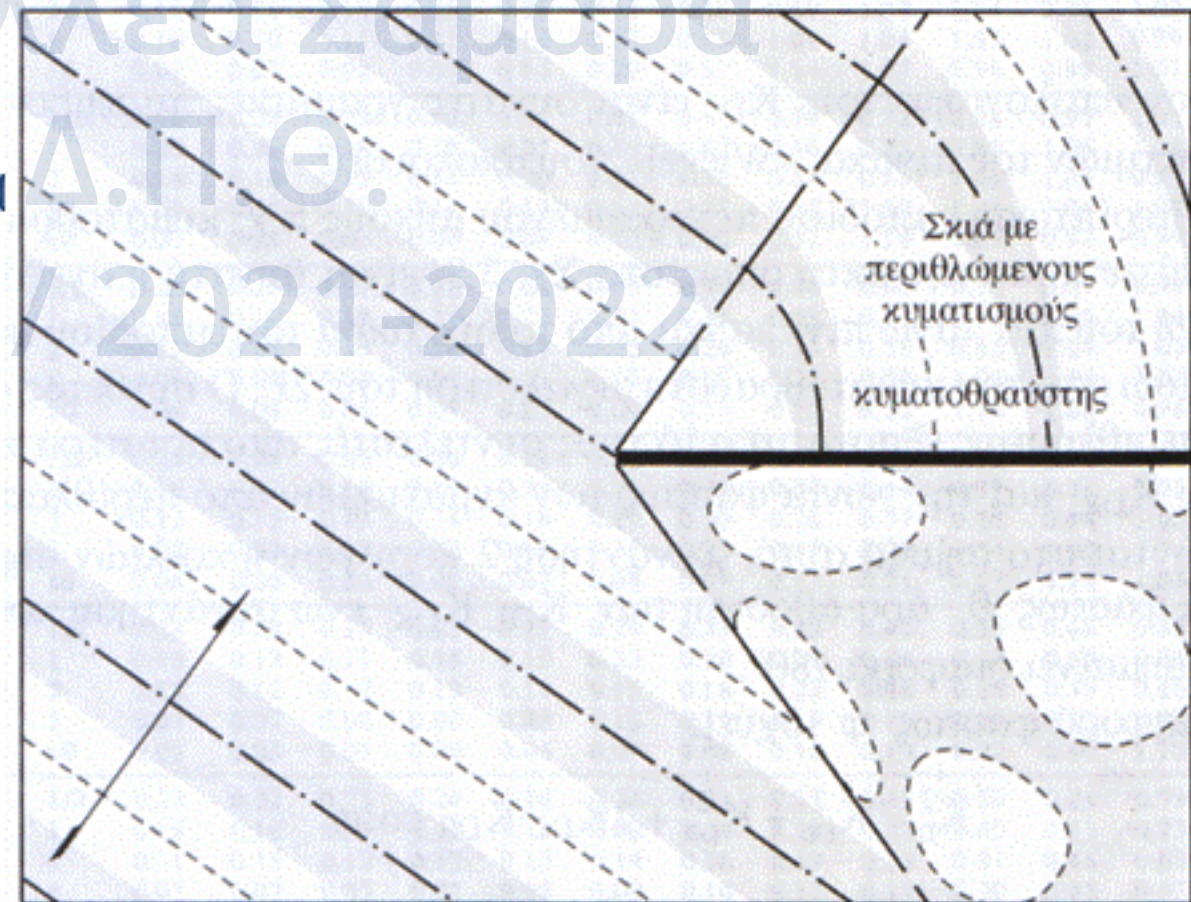
- Περιγραφή: Το φαινόμενο της μεταβολής των χαρακτηριστικών του κυματισμού λόγω της παρουσίας εμποδίων στο πεδίο διάδοσής του
- Αναλογία με το οπτικό φαινόμενο





## Περίθλαση

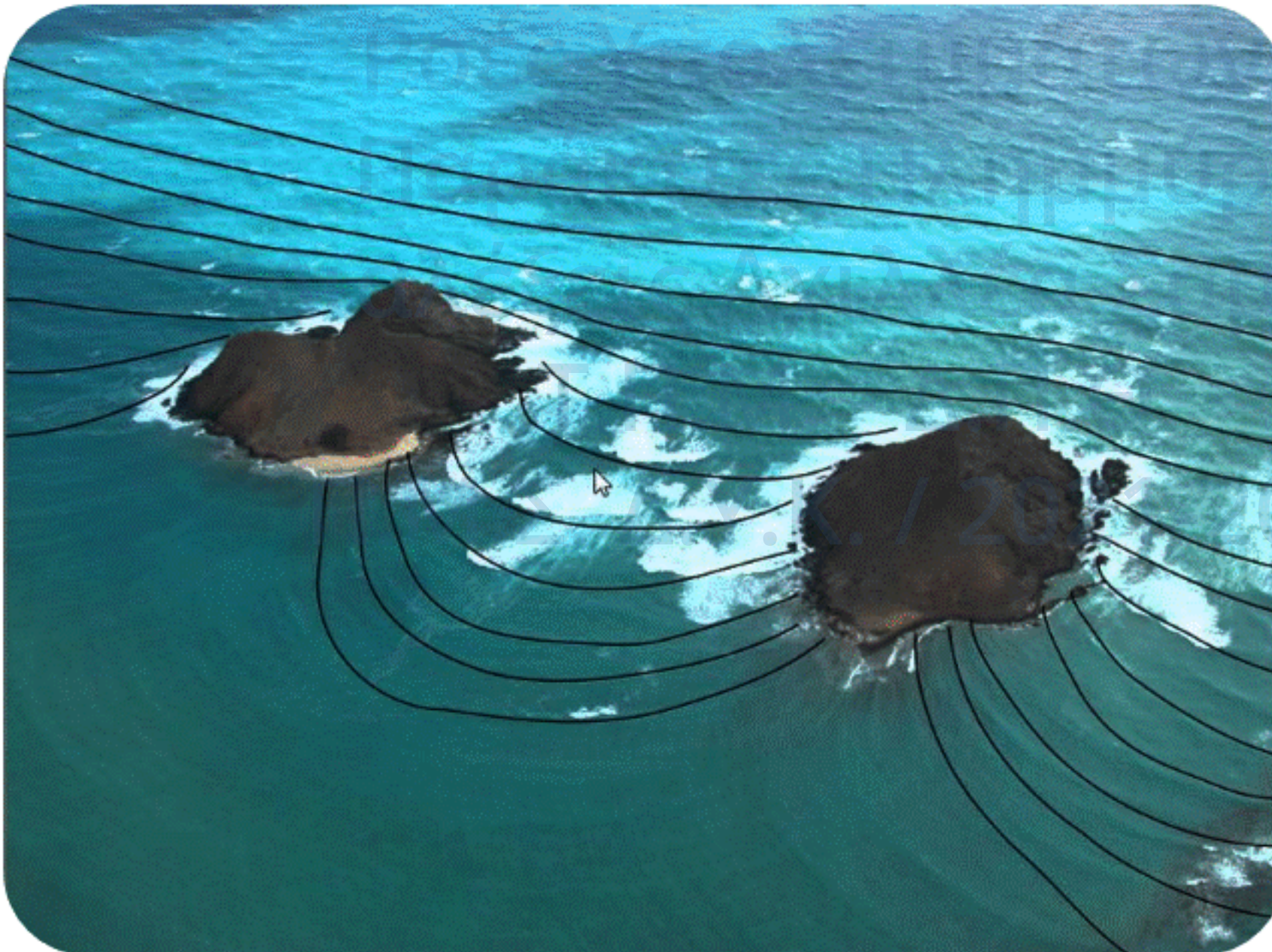
- Περιγραφή: Το φαινόμενο της μεταβολής των χαρακτηριστικών του κυματισμού λόγω της παρουσίας εμποδίων στο πεδίο διάδοσής του
- Αναλογία με το οπτικό φαινόμενο
- Διάδοση κυματισμού με συνεχή μείωση της κυματικής ισχύος κατά μήκος των αναδιαμορφωμένων κυματοκορυφών στη "σκιά" της κατασκευής





## Περίθλαση

- Παραδείγματα από το πεδίο



&  
ες  
αρά

2022



# Διαμόρφωση Κυματισμών

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
ΠΜΣ ΔΥΚ  
Διαλέξεις 5<sup>η</sup> - 6<sup>η</sup>  
Αχιλλέας Σαμαράς

## Περίθλαση

- Παραδείγματα από το πεδίο







## Ανάκλαση

- Περιγραφή: Όταν οι κυματισμοί συναντούν κάποιο εμπόδιο στη διάδοσή τους (κεκλιμένη ή κατακόρυφη φυσική ακτή, κυματοθραύστης, κ.α.) και αν η ενέργειά τους δεν απορροφηθεί μέσω θραύσης ή άλλων μηχανισμών, τότε μέρος της ανακλάται
- Δημιουργία σύνθετων κυματισμών λόγω ανάκλασης
- Συντελεστής ανάκλασης  $C_r$

$$C_r = \frac{H_r}{H_i}$$

- $H_r \Rightarrow$  reflected
- $H_i \Rightarrow$  incident



# Διαμόρφωση Κυματισμών

## Θραύση

- Περιγραφή: Η κύρια εκδήλωση υδροδυναμικής αστάθειας στη διάδοση των κυματισμών, η οποία συμβαίνει όταν υπερβαίνονται γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους  $f(H, L, d)$





# Διαμόρφωση Κυματισμών

## Θραύση

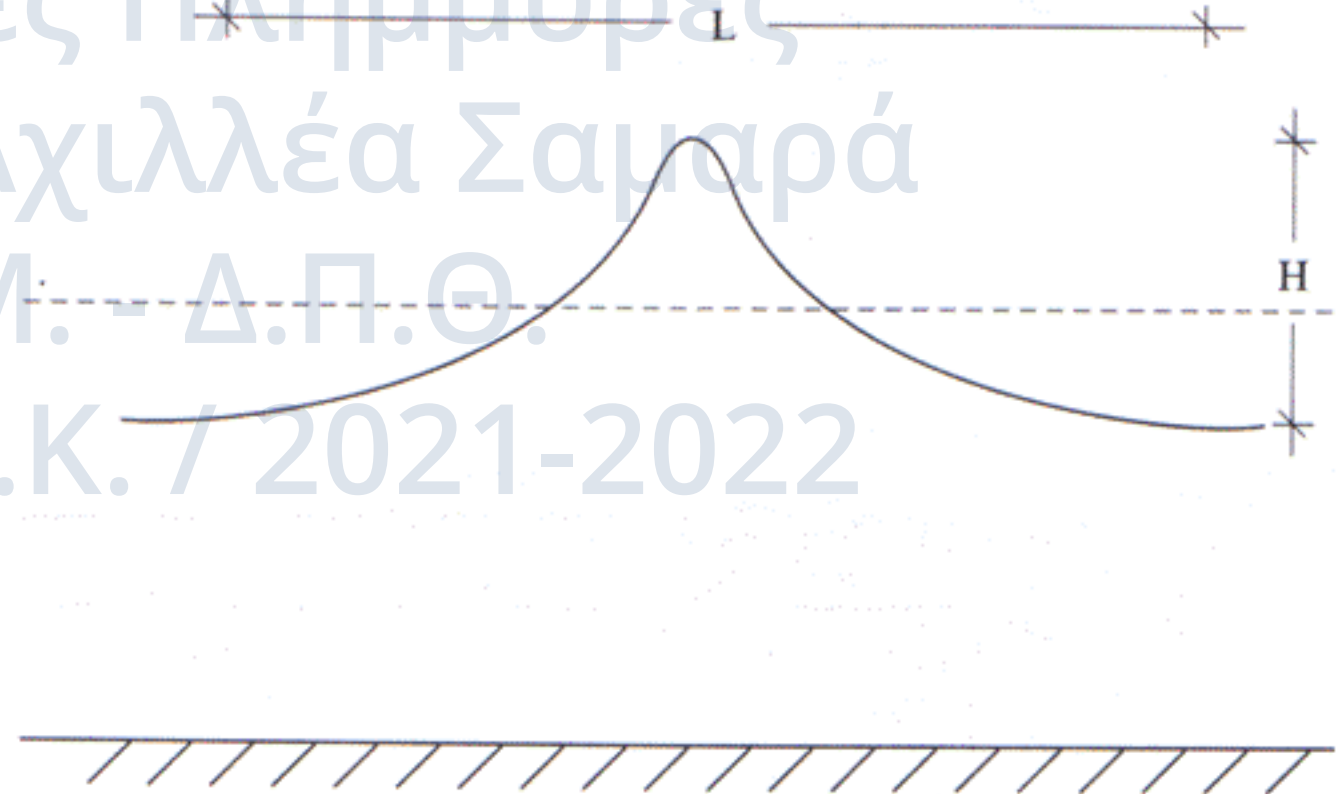
- Στην ανοιχτή θάλασσα (βαθιά νερά)
  - Θραύση λόγω υπέρβασης ορίου καμπυλότητας/κλίσης του κύματος

Γενική περίπτωση

$$\frac{H}{L} = 0.142 \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$



$$\frac{H_0}{L_0} = \frac{1}{7} \cong 0.142$$



Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022



## Θραύση

Γενική περίπτωση

$$\frac{H}{L} = 0.142 \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

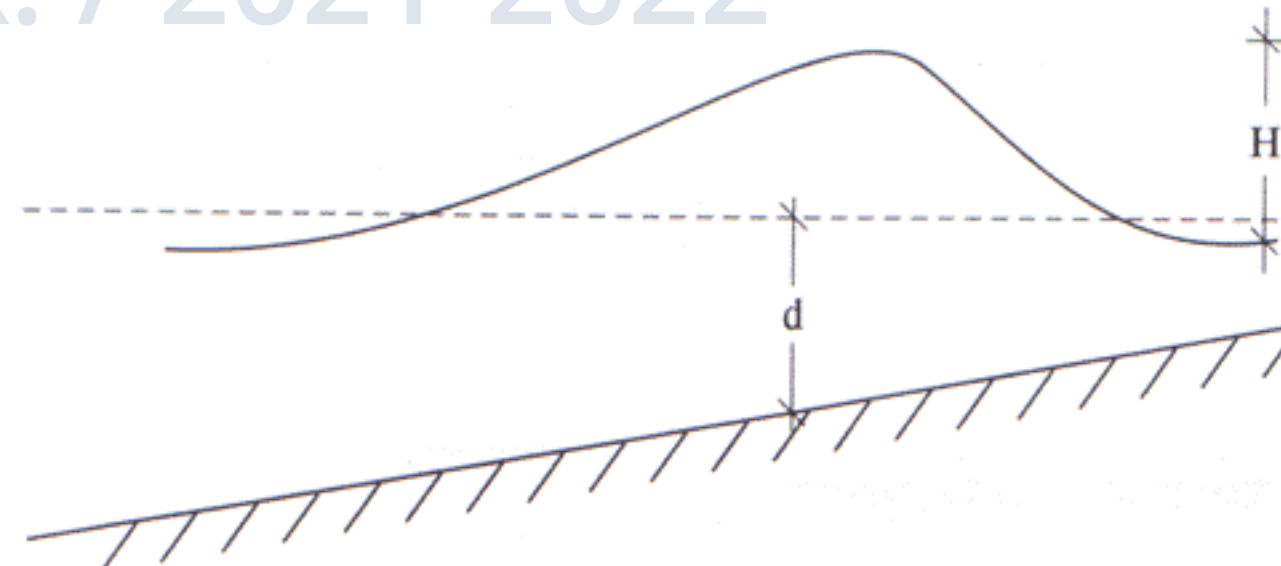
- Στην ανοιχτή θάλασσα (βαθιά νερά)
  - Θραύση λόγω υπέρβασης ορίου καμπυλότητας/κλίσης του κύματος

$$\frac{H_o}{L_o} = \frac{1}{7} \cong 0.142$$

- Στην παράκτια ζώνη
  - Θραύση λόγω υπέρβασης της φασικής ταχύτητας από την ταχύτητα των μορίων του νερού

$$\gamma_b = \frac{H_b}{h_b}$$

- $\gamma_b$  = δείκτης βάθους θραύσης
- $h_b$  = συνολικό βάθος θραύσης

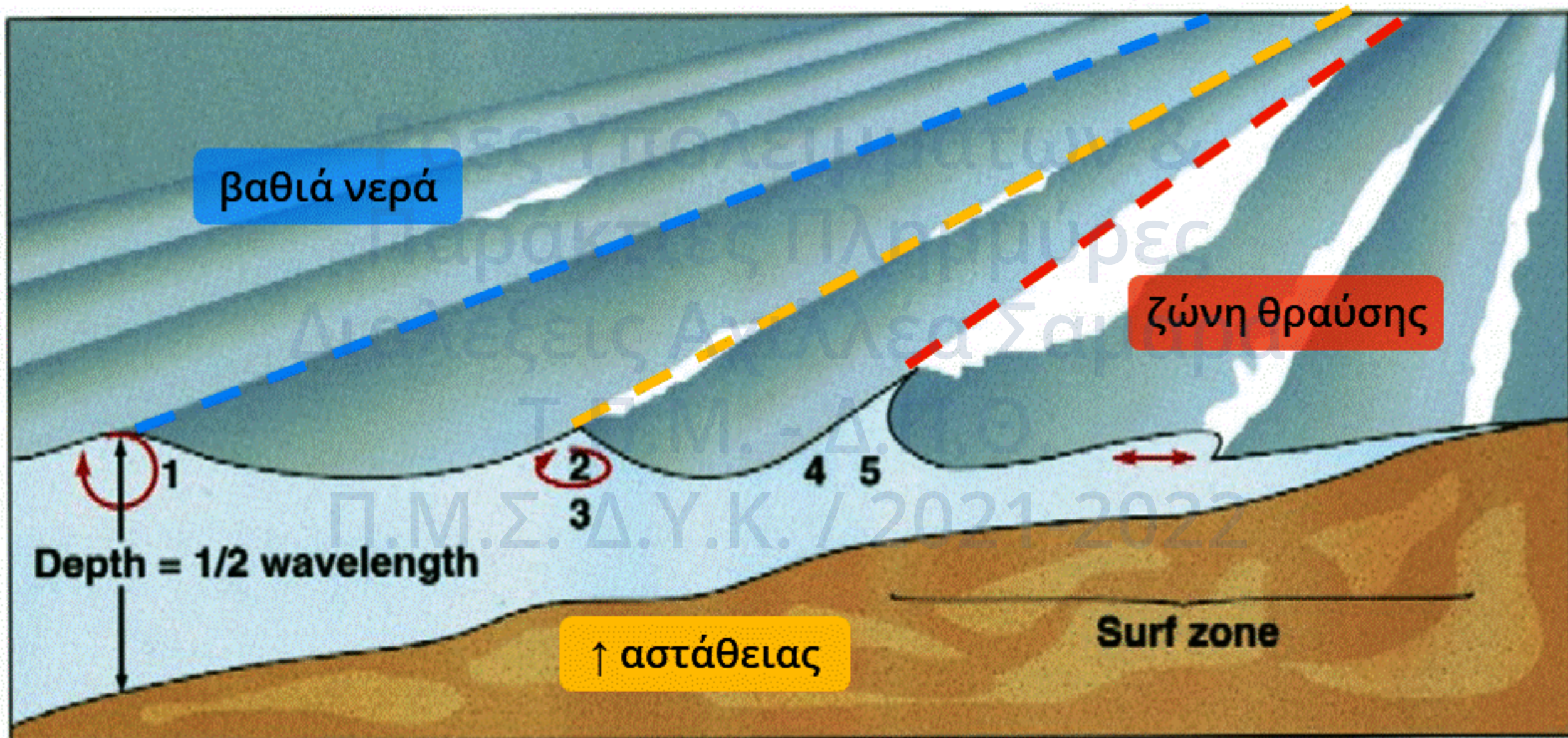




# Διαμόρφωση Κυματισμών



## Θραύση

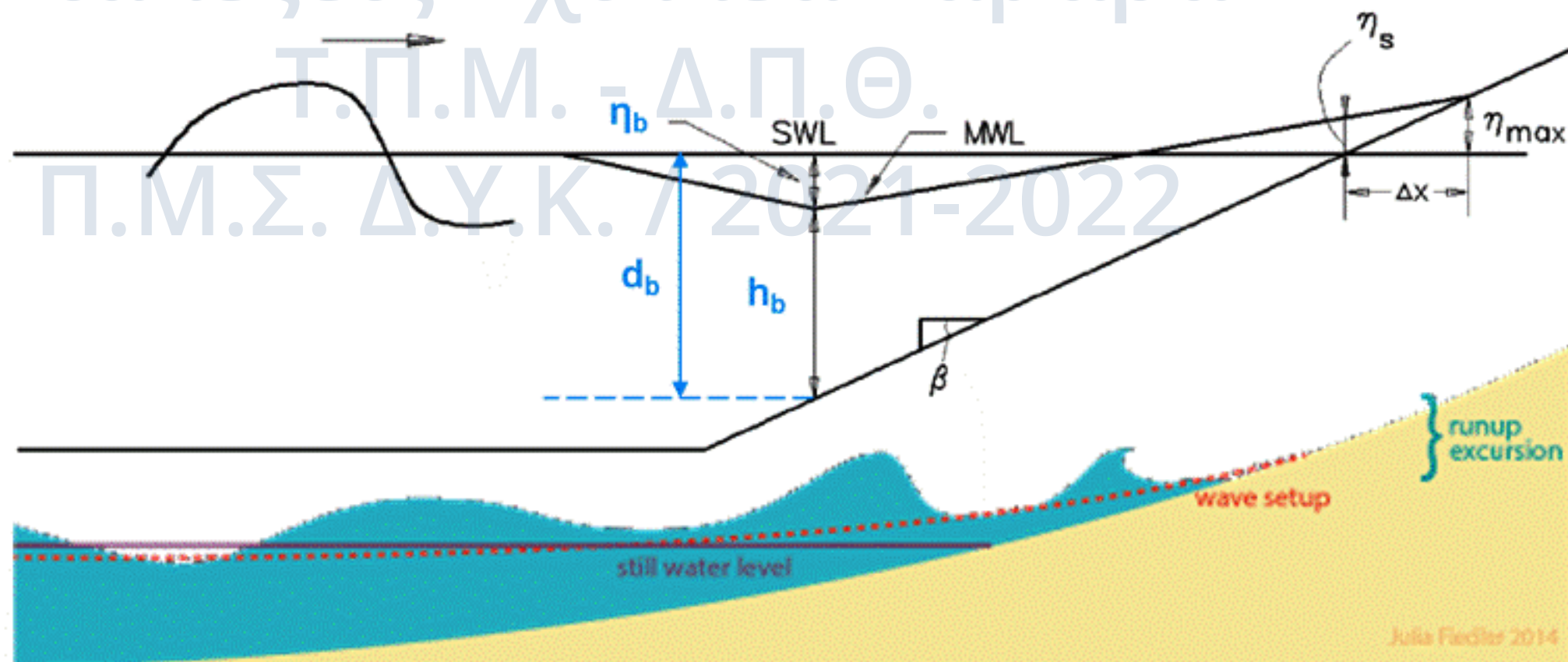




## Αναρρίχηση

- Σύνδεση με θραύση & ανάκλαση
- Ανύψωση (set-up) και ταπείνωση (set-down) της Μ.Σ.Κ.
- Κυματογενής αναρρίχηση (wave runup)

$$R = \xi H_0$$

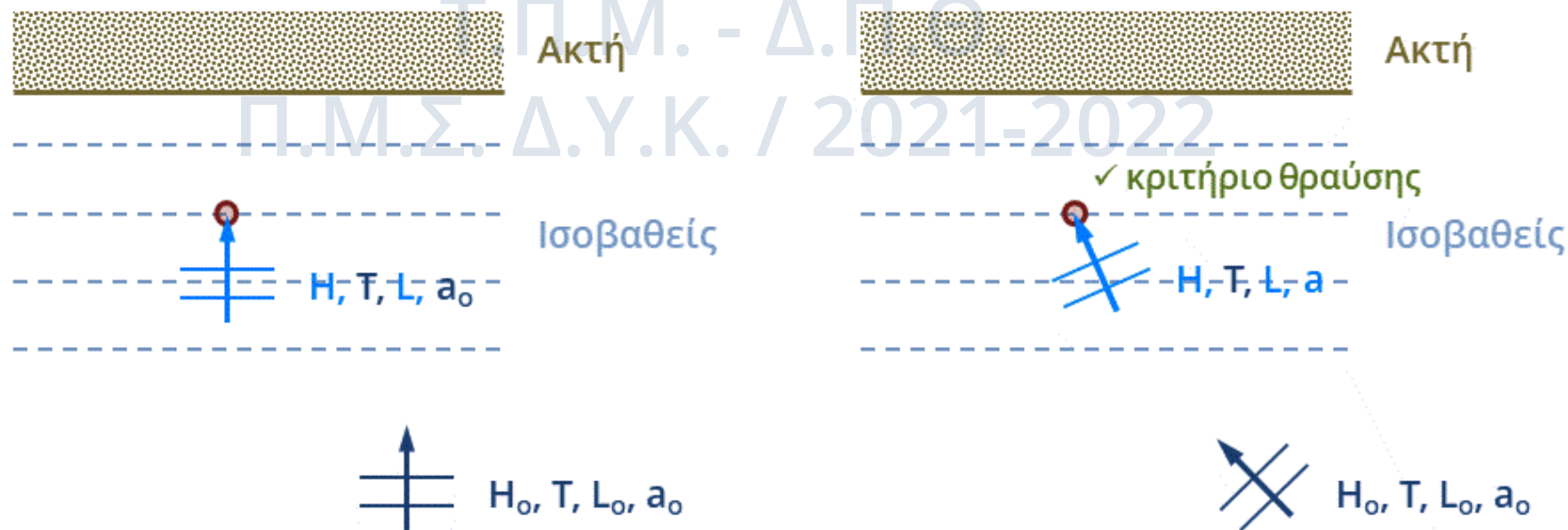




## Παράδειγμα 2<sup>ο</sup>

Στις παρακάτω περιπτώσεις προβλημάτων ακτομηχανικής, ζητείται:

- (α) Να αναγνωριστούν οι μηχανισμοί διαμόρφωσης των κυματισμών που πρέπει να ληφθούν υπόψη.
- (β) Η αντίστοιχη πορεία/μεθοδολογία των υπολογισμών που πρέπει να ακολουθηθεί.







## Παράδειγμα 2<sup>ο</sup>

Στις παρακάτω περιπτώσεις προβλημάτων ακτομηχανικής, ζητείται:

- (α) Να αναγνωριστούν οι μηχανισμοί διαμόρφωσης των κυματισμών που πρέπει να ληφθούν υπόψη.
- (β) Η αντίστοιχη πορεία/μεθοδολογία των υπολογισμών που πρέπει να ακολουθηθεί.





## Παράδειγμα 2<sup>ο</sup>

Στις παρακάτω περιπτώσεις προβλημάτων ακτομηχανικής, ζητείται:

- (α) Να αναγνωριστούν οι μηχανισμοί διαμόρφωσης των κυματισμών που πρέπει να ληφθούν υπόψη.
- (β) Η αντίστοιχη πορεία/μεθοδολογία των υπολογισμών που πρέπει να ακολουθηθεί.

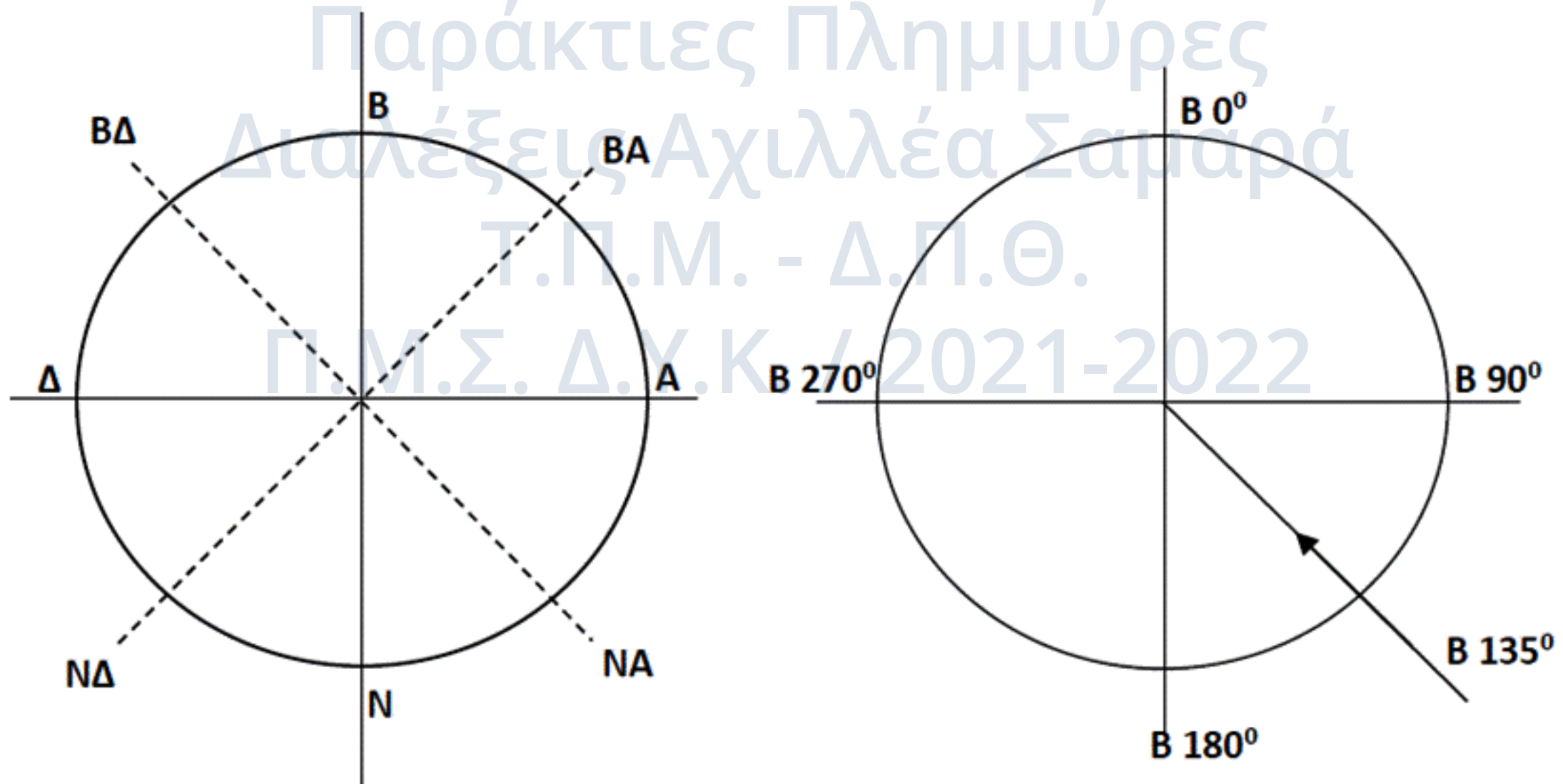






## Συμβάσεις & Ονομασίες

- Ονομασία ανέμων (και κυμάτων) με βάση την προέλευση
- Οι συμβάσεις των γωνιών μπορεί να μεταβάλλονται





## Συμβάσεις & Ονομασίες

- Ταχύτητα ανέμου  $U_{10}$ : μέση ταχύτητα 10λέπτου σε ύψος  $z = 10\text{m}$  από την επιφάνεια της θάλασσας

$$U(z) = U_{10} \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{1/7} \Rightarrow U_{10} = U(z) \cdot \left(\frac{10}{z}\right)^{1/7}$$

- Μονάδες μέτρησης:

- m/s
- km/h
- knot = κόμβος  
= ναυτικό μίλι / ώρα  
= 1.852 km/h  
= 0.515 m/s

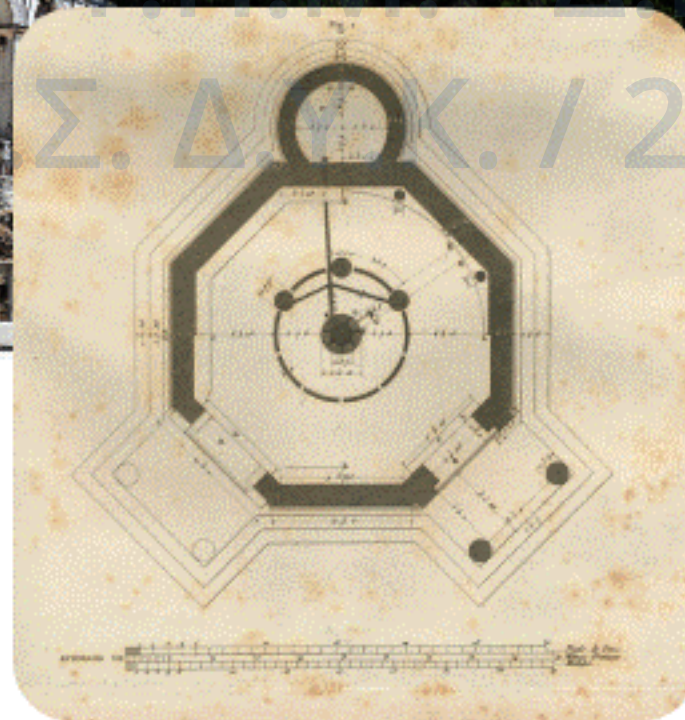
Κλίμακα Beaufort





## Συμβάσεις & Ονομασίες

- «Αέρηδες», Πλάκα, Αθήνα: Ωρολόγιο του Κυρρήστου (1<sup>ος</sup> αι. π.Χ.)





## Κλίμακα Beaufort



- Αντιστοίχιση με μονάδες μέτρησης & περιγραφή

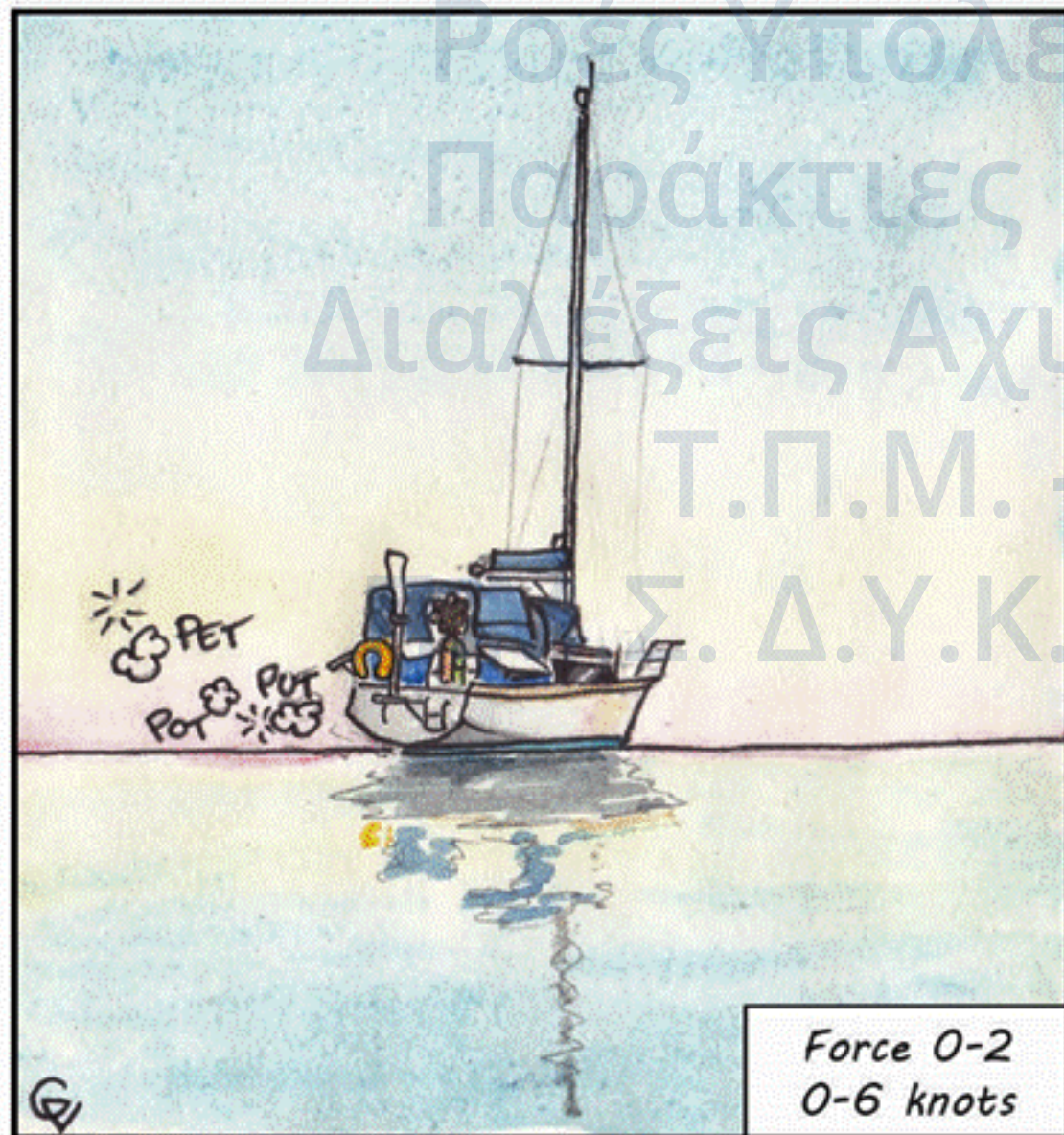
Αριθμός Beaufort	Ταχύτητα [m/s]	Ταχύτητα [knots]	Περιγραφή
0	< 0.2	< 1	Νηνεμία
1	0.3 - 1.5	1 - 3	Αύρα
2	1.6 - 3.3	4 - 6	Ασθενής άνεμος
3	3.4 - 5.4	7 - 10	Λεπτός άνεμος
4	5.5 - 7.9	11 - 16	Μέτριος άνεμος
5	8.0 - 10.7	17 - 21	Λαμπρός άνεμος
6	10.8 - 13.8	22 - 27	Ισχυρός άνεμος
7	13.9 - 17.1	28 - 33	Σφοδρός άνεμος
8	17.2 - 20.7	34 - 40	Θυελλώδης άνεμος
9	20.8 - 24.4	41 - 47	Θύελλα
10	24.5 - 28.4	48 - 55	Ισχυρή θύελλα
11	28.5 - 32.6	56 - 63	Σφοδρή θύελλα
12 - 17	32.7 <	64 <	Τυφώνας



# Στοιχεία Ανέμων

## Κλίμακα Beaufort

- Αντιστοίχιση με συνθήκες στη θάλασσα (εμπειρική)





# Στοιχεία Ανέμων

## Κλίμακα Beaufort

- Αντιστοίχιση με συνθήκες στη θάλασσα (εμπειρική)

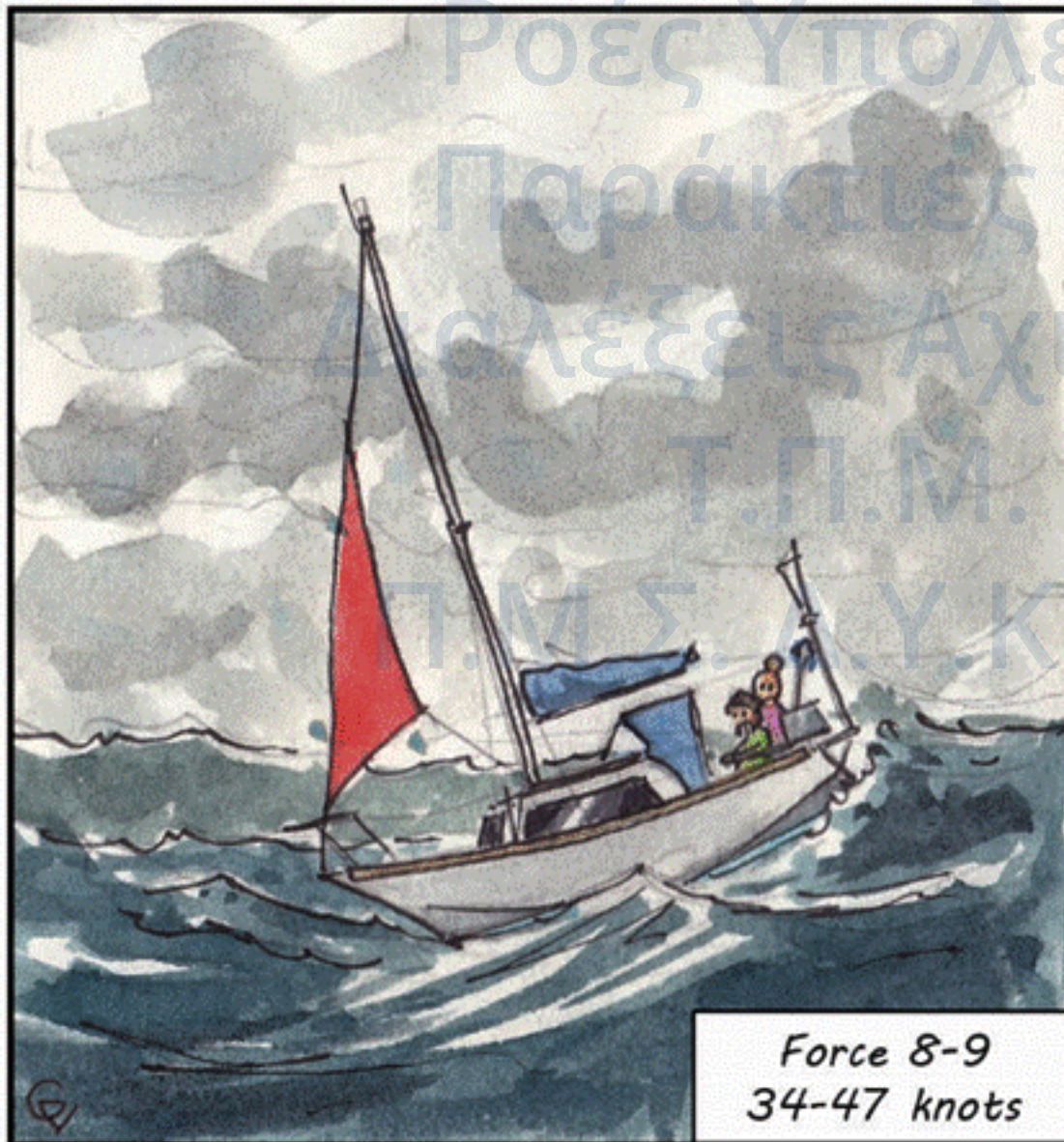




# Στοιχεία Ανέμων

## Κλίμακα Beaufort

- Αντιστοίχιση με συνθήκες στη θάλασσα (εμπειρική)





## Ανεμολογικά Στοιχεία



- Πίνακες Ε.Μ.Υ. → συχνότητες εμφάνισης / κατεύθυνση / ένταση

## Ροές Υπολειμμάτων & Παράκτιες Πλημμύρες

Διαλέξεις Αχιλλέας Σαμαράς  
ΠΜΣ ΔΥΚ / 2021-2022

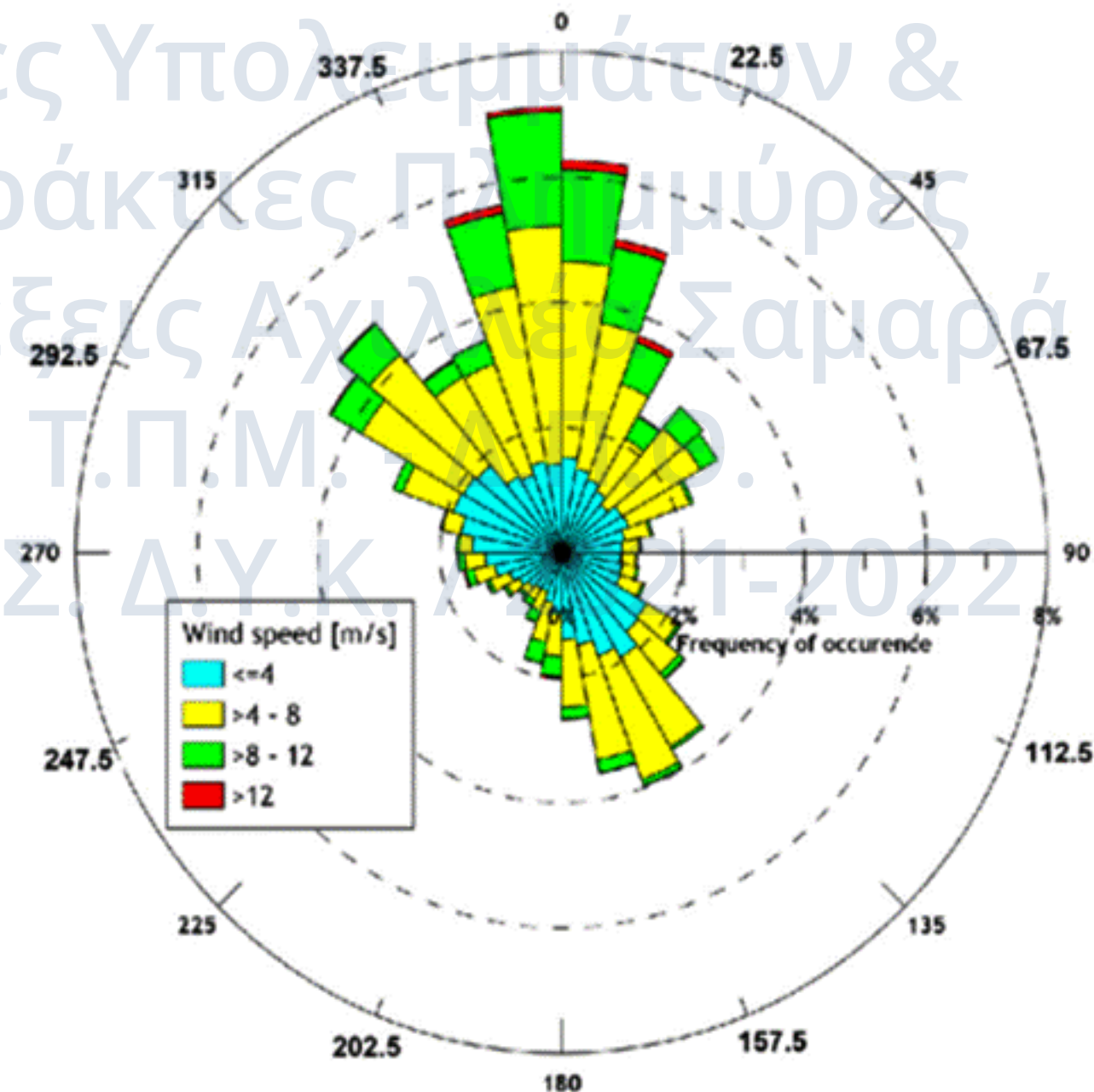
Beaufort	B	BA	A	NA	N	NΔ	Δ	ΝΔ	Νηνεμία	Σύνολο
0									6.609	6.609
1	1.842	0.428	0.482	0.767	0.164	1.305	1.272	2.949		9.209
2	4.615	1.633	0.91	1.622	0.647	2.521	2.160	4.495		18.603
3	5.733	2.478	0.778	1.491	0.669	2.620	1.940	2.828		18.537
4	6.808	3.289	0.625	1.381	0.57	2.631	1.294	1.633		18.231
5	5.054	2.061	0.263	0.669	0.329	1.875	0.724	0.614		11.589
6	4.747	1.831	0.219	0.449	0.219	1.491	0.537	0.504		9.997
7	2.609	0.899	0.088	0.186	0.066	0.625	0.241	0.230		4.944
8	1.041	0.307	0.033	0.044	0.022	0.164	0.088	0.077		1.776
9	0.208	0.077	0.011	0.011	0.011	0.033	0.011	0.033		0.395
10	0.044	0.022	0	0	0	0.011	0.011	0.011		0.099
≥11	0.011	0	0	0	0	0	0	0		0.011
Σύνολο	32.712	13.025	3.409	6.62	2.697	13.276	8.278	13.374	6.609	100.000





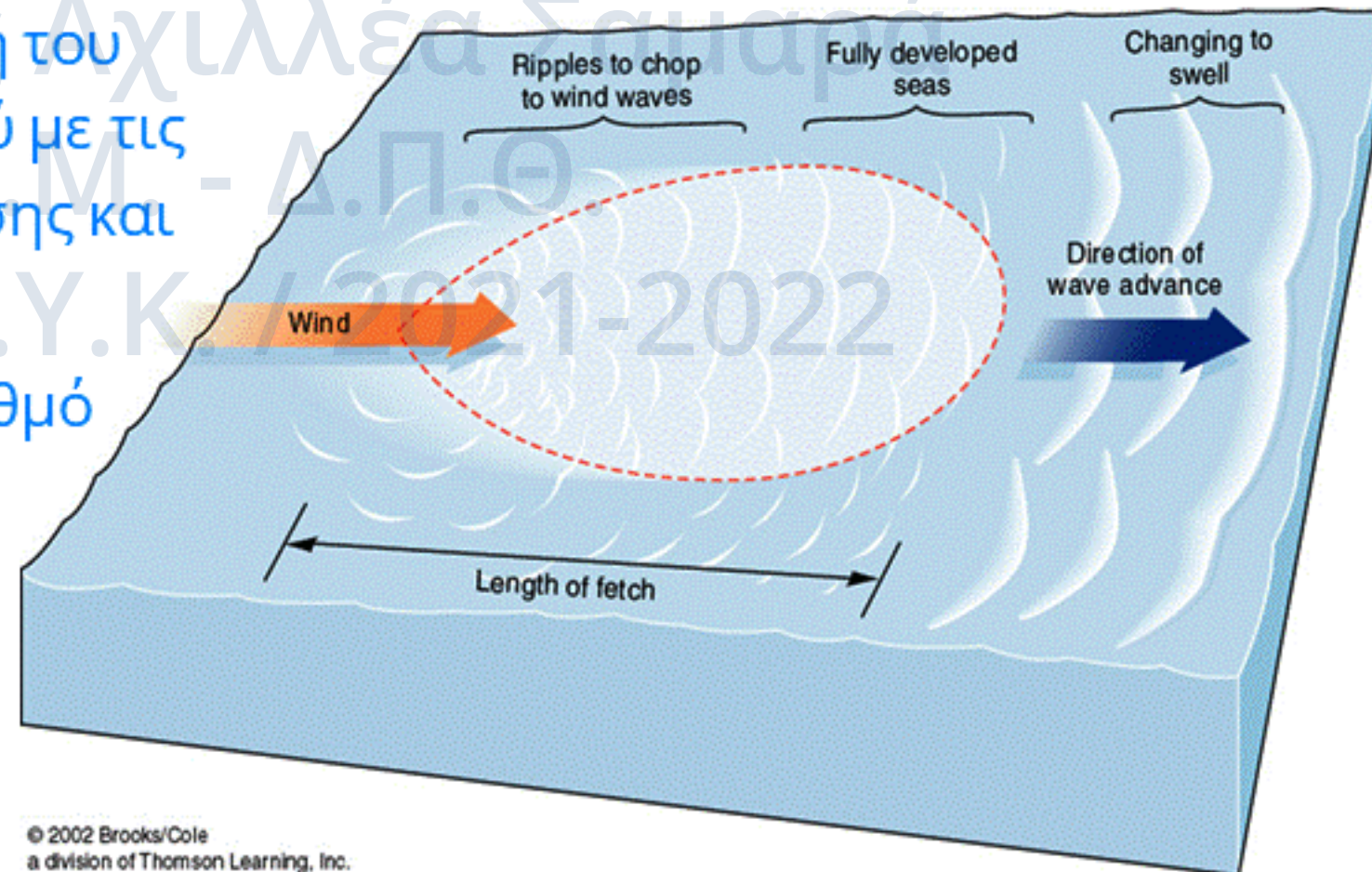
## Ανεμολογικά Στοιχεία

- Πίνακες Ε.Μ.Υ. → συχνότητες εμφάνισης / κατεύθυνση / ένταση
- Ροδογράμματα



## Γένεση & Ανάπτυξη

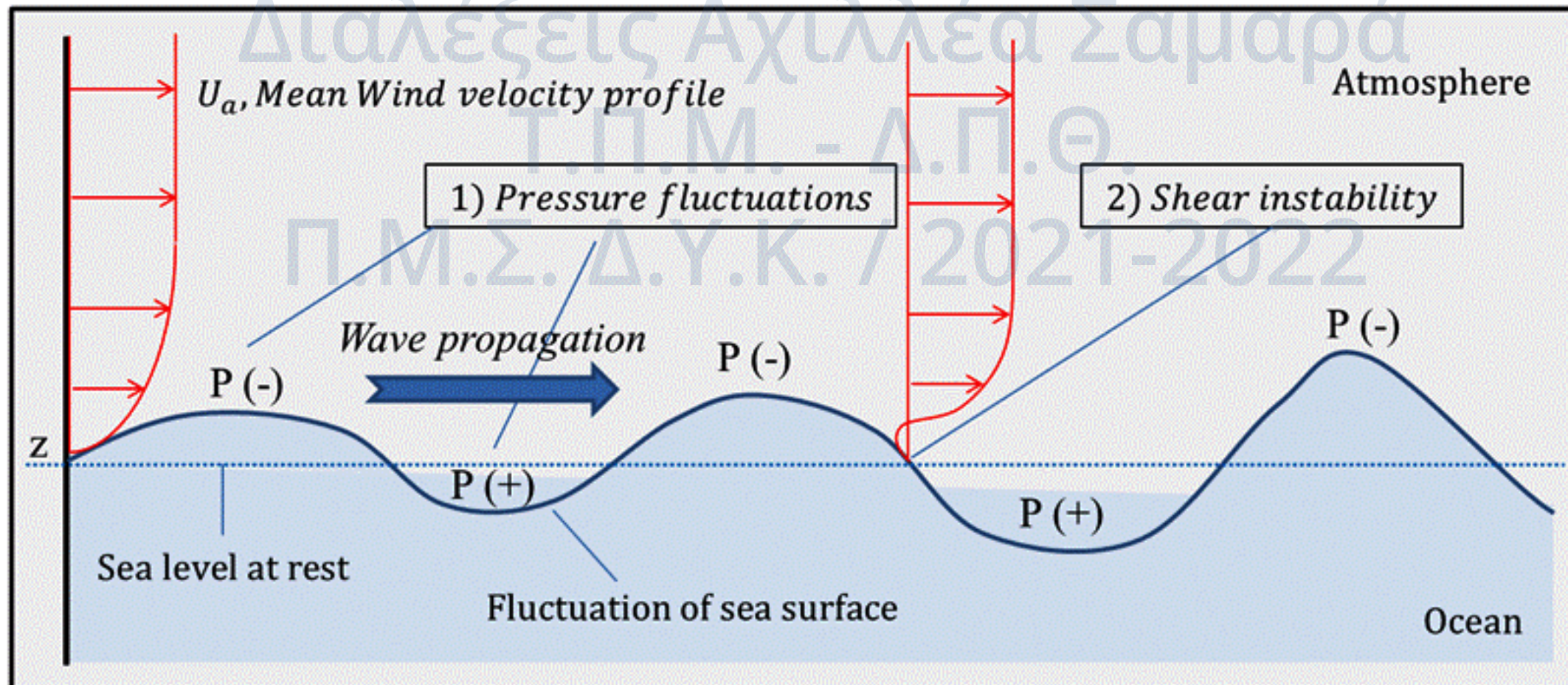
- Ο κύριος παράγοντας “ανεμοκυματογένεσης” είναι η μετάδοση ενέργειας από τα κινούμενα κατώτερα ατμοσφαιρικά σώματα στις επιφανειακές θαλάσσιες μάζες.
- Σύμφωνα με την επικρατούσα θεωρία, η κυματογένεση:
  - Ξεκινά με γραμμική αύξηση του κύματος λόγω συντονισμού με τις τυρβώδεις διαταραχές πίεσης και τριβής στην επιφάνεια
  - Συνεχίζεται με εκθετικό ρυθμό αναπτύξεως λόγω υδροδυναμικής αστάθειας





## Γένεση & Ανάπτυξη

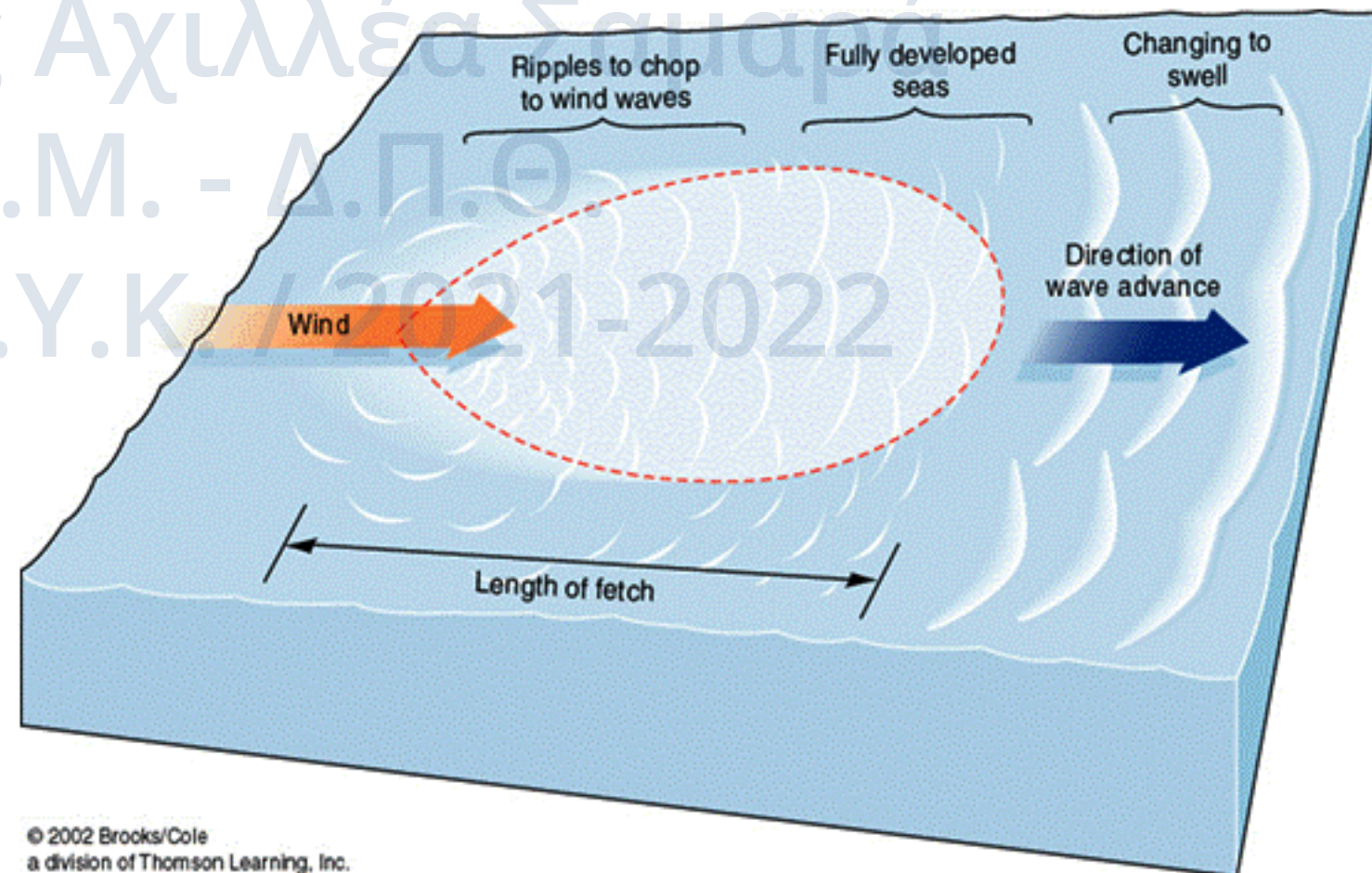
- Ο κύριος παράγοντας “ανεμοκυματογένεσης” είναι η μετάδοση ενέργειας από τα κινούμενα κατώτερα ατμοσφαιρικά σώματα στις επιφανειακές θαλάσσιες μάζες.
- Σύμφωνα με την επικρατούσα θεωρία, η κυματογένεση:





## Γένεση & Ανάπτυξη

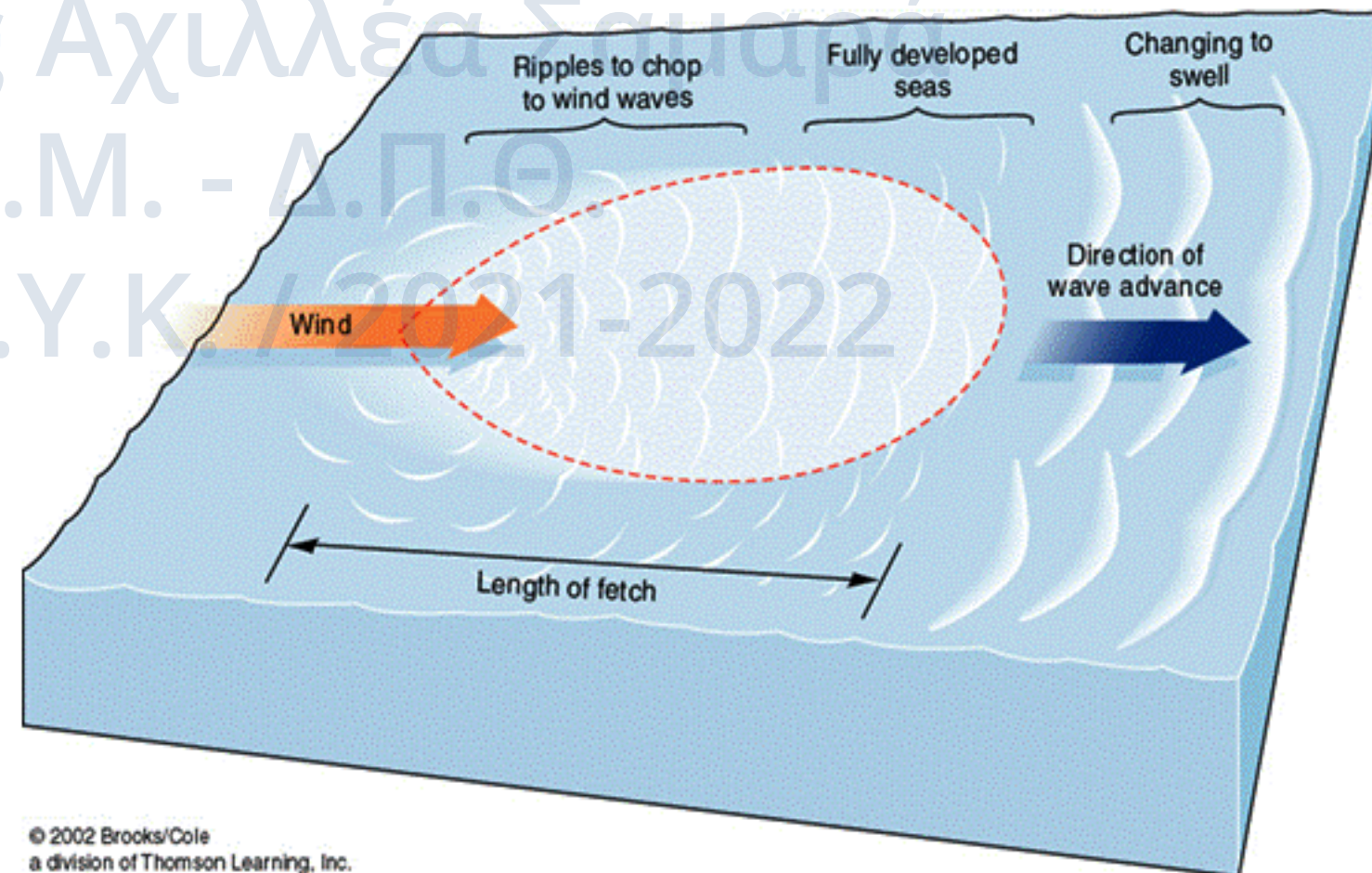
- Η επίδραση του ανέμου μιας συγκεκριμένης κατεύθυνσεως έχει διαπιστωθεί ότι προκαλεί γένεση και ανάπτυξη κυματισμών σε έναν τομέα  $\pm 45^\circ$  εκατέρωθεν της διεύθυνσεως του ανέμου, με αποτέλεσμα να διαμορφώνεται ένα πεδίο τριδιάστατων κυματισμών





## Γένεση & Ανάπτυξη

- Παράμετροι ανέμου που επηρεάζουν τη γένεση & ανάπτυξη
  - Ταχύτητα ανέμου  $U_{10}$
  - Διάρκεια πνοής ανέμου  $t_D$
  - Μήκος αναπτύγματος ανέμου στο θαλάσσιο πεδίο (fetch)  $F$





## Γένεση & Ανάπτυξη

- Σχεδιασμός τεχνικών έργων
  - Χαρακτηρισμός μη-αρμονικών κυματισμών από μοναδικό ζεύγος μεγεθών
    - «Σημαντικό» ύψος κύματος  $H_s$
    - «Σημαντική» περίοδος κύματος  $T_s$
  - Πρόγνωση κυματικών χαρακτηριστικών (wave forecasting)
    - Ανάλυση κυματικών καταγραφών ή απεικονίσεων της επιφάνειας της θάλασσας
    - Χρήση στατιστικών μεθόδων
  - Πρόβλεψη κυματικών χαρακτηριστικών (wave hindcasting)
    - Συσχέτιση με ιστορικά ανεμολογικά δεδομένα  
( $H_s, T_s$ ) =  $f(U_{10}, t_D, F)$



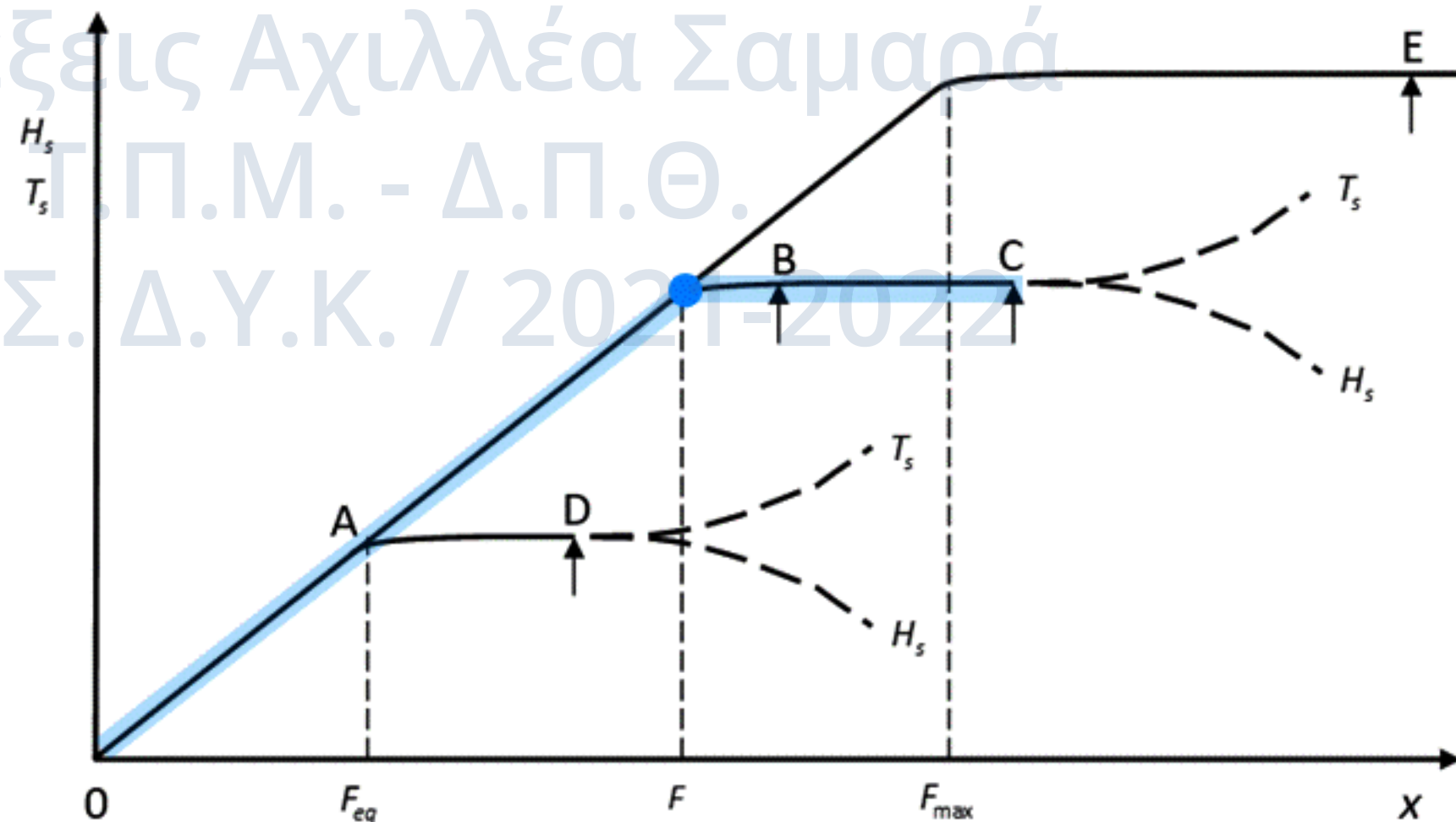
## Γένεση & Ανάπτυξη

- Ανάπτυξη Ανεμογενών Κυματισμών

- Κυματισμός περιορισμένος από το μήκος αναπτύγματος (fetch-limited waves)

- $t_D > F/C_g$

- $(H_s, T_s) = f(U_{10}, F)$



Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
Διαλέξεις Αχιλλέας Σαμαράς  
Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022

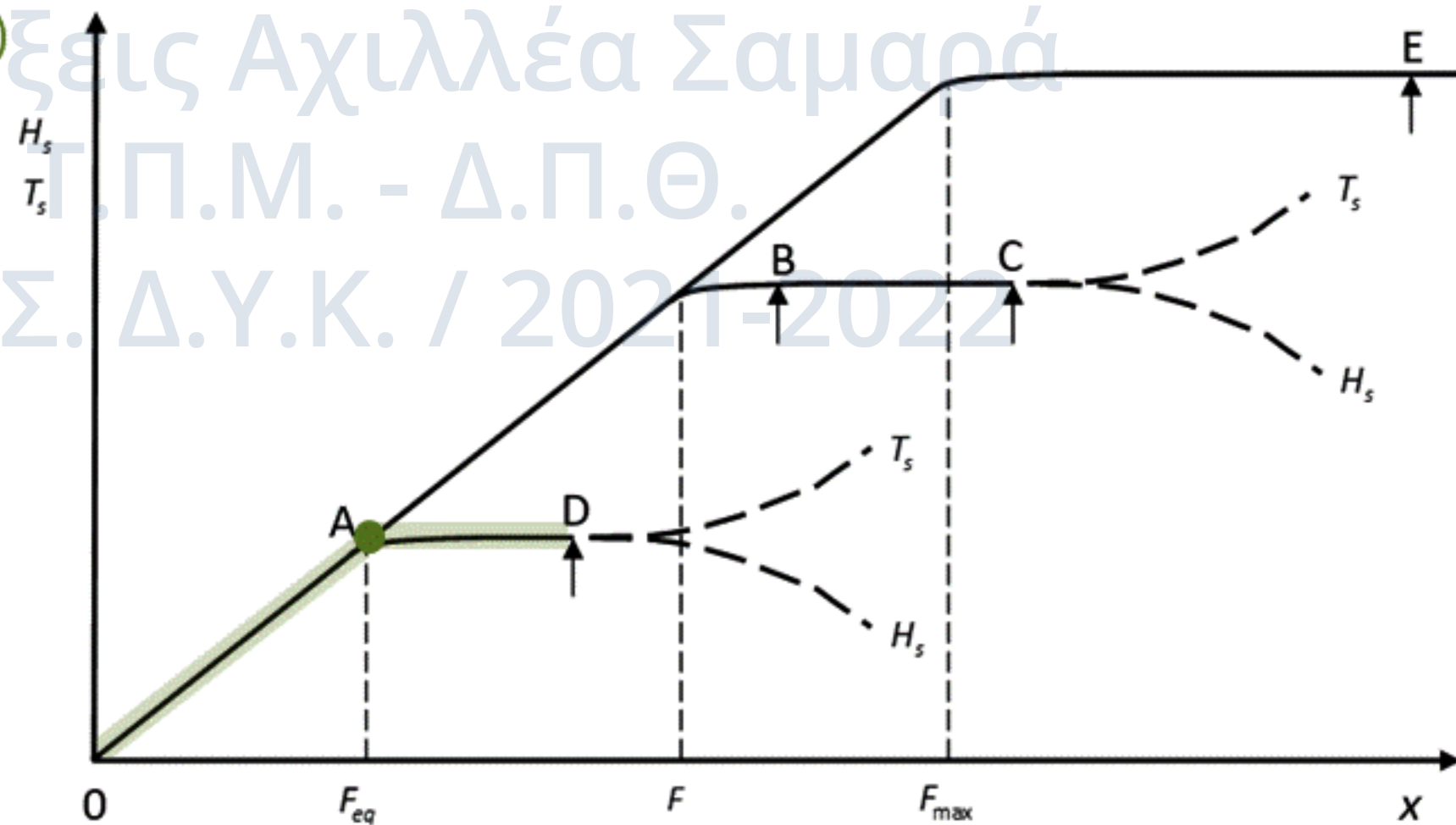
## Γένεση & Ανάπτυξη

- Ανάπτυξη Ανεμογενών Κυματισμών

- Κυματισμός περιορισμένος από τη διάρκεια πνοής (duration-limited waves)

- $t_D < F/C_g$

- $(H_s, T_s) = f(U_{10}, t_D)$





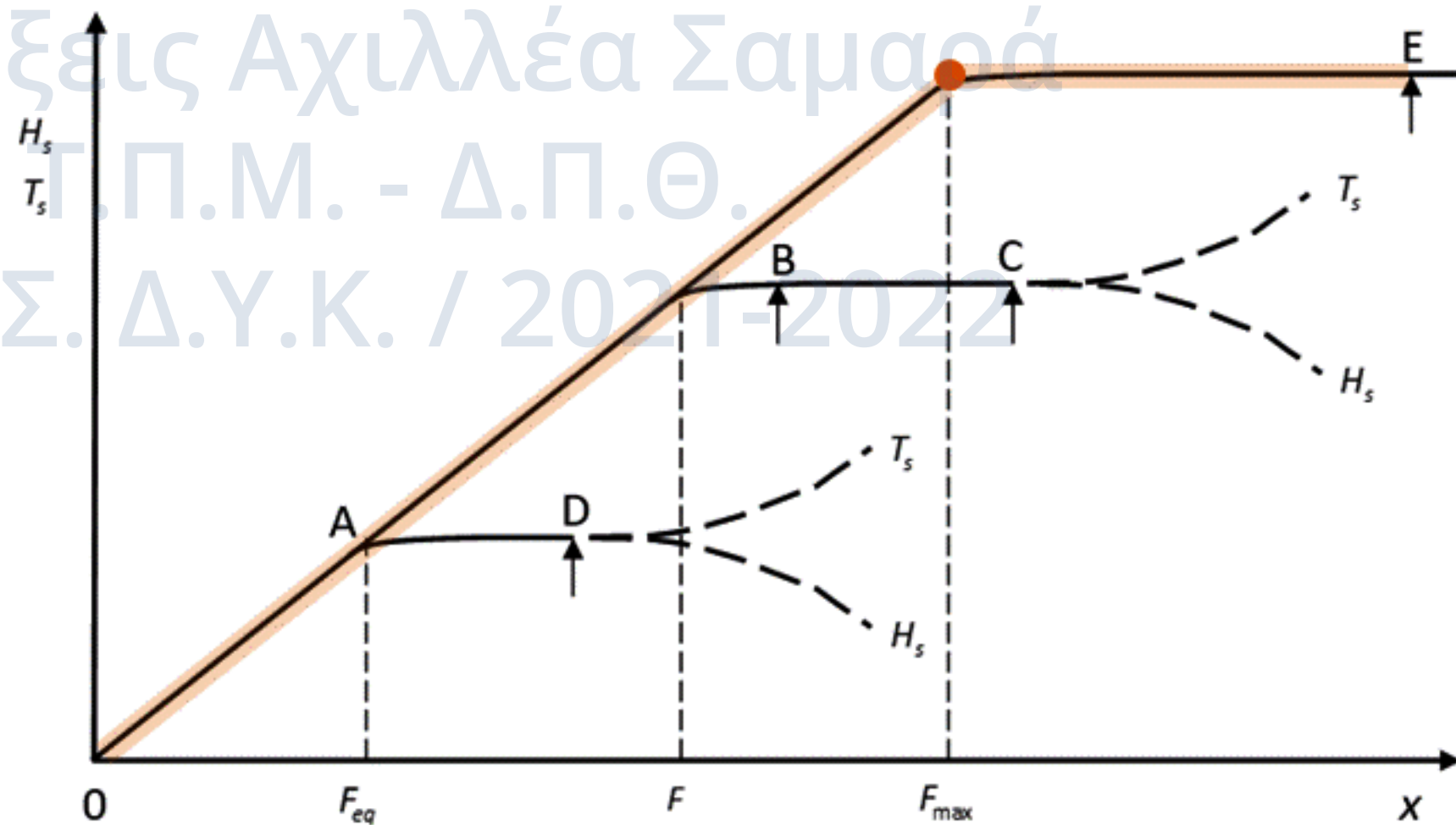
## Γένεση & Ανάπτυξη

- Ανάπτυξη Ανεμογενών Κυματισμών

- Κυματισμός πλήρως αναπτυγμένος  
(fully developed waves)

- $t_D \rightarrow \infty$  και  $F \rightarrow \infty$

- $(H_s, T_s) = f(U_{10})$





## Γενικά

- Βασικά αίτια δημιουργίας θαλάσσιων ρευμάτων και επιφανειακών διακυμάνσεων:
  - Άνεμος & Οριζόντιες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης.  
(ανεμογενής και βαροτροπική κυκλοφορία)
  - Χωρικές διαφοροποιήσεις της πυκνότητας του νερού, λόγω T και S.  
(θερμοαλατική / θερμόαλη κυκλοφορία)
  - Βαρυτικές διαφοροποιήσεις στις θαλάσσιες μάζες από την επίδραση της κίνησης των πλανητών.  
(αστρονομική παλίρροια)
  - Επιρροή της κεντρομόλου δύναμης και της δύναμης Coriolis.  
(γεωστροφική κυκλοφορία)
  - Κυματισμοί, κυρίως στη ζώνη θραύσης, λόγω χωρικών διαφοροποιήσεων της ροής της ορμής.





## Γενικά

- Βασικά αίτια δημιουργίας θαλάσσιων ρευμάτων και επιφανειακών διακυμάνσεων:
- Διαφορά κυματισμών και ρευμάτων
  - Κυματισμοί: Μεταφορά μάζας = Μέγεθος 2<sup>ης</sup> τάξης
  - Ρεύματα: Σημαντική μεταφορά μάζας
    - Μεταφορά ρύπων
    - Μεταφορά ιζημάτων
    - Φορτίσεις στα παράκτια/θαλάσσια τεχνικά έργα και παραγωγή ενέργειας
    - Μεταβολή βαθών λιμένων και βαθών έδρασης παράκτιων τεχνικών έργων
    - Κατάκλυση (πλημμύριση) παράκτιων περιοχών



## Γενικά

- Σημασία για τις μελέτες και τα έργα





# Θαλάσσια Κυκλοφορία – Διακ. Στάθμης

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
ΠΜΣ ΔΥΚ  
Διαλέξεις 5<sup>η</sup> - 6<sup>η</sup>  
Αχιλλέας Σαμαράς

## Γενικά

- Σημασία για τις μελέτες και τα έργα





# Θαλάσσια Κυκλοφορία – Διακ. Στάθμης

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
ΠΜΣ ΔΥΚ  
Διαλέξεις 5<sup>η</sup> - 6<sup>η</sup>  
Αχιλλέας Σαμαράς



## Γενικά

- Σημασία για τις μελέτες και τα έργα



2022



# Θαλάσσια Κυκλοφορία – Διακ. Στάθμης

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
ΠΜΣ ΔΥΚ  
Διαλέξεις 5<sup>η</sup> - 6<sup>η</sup>  
Αχιλλέας Σαμαράς

## Γενικά

- Σημασία για τις μελέτες και τα έργα





# Θαλάσσια Κυκλοφορία – Διακ. Στάθμης

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
ΠΜΣ ΔΥΚ  
Διαλέξεις 5<sup>η</sup> - 6<sup>η</sup>  
Αχιλλέας Σαμαράς

## Γενικά

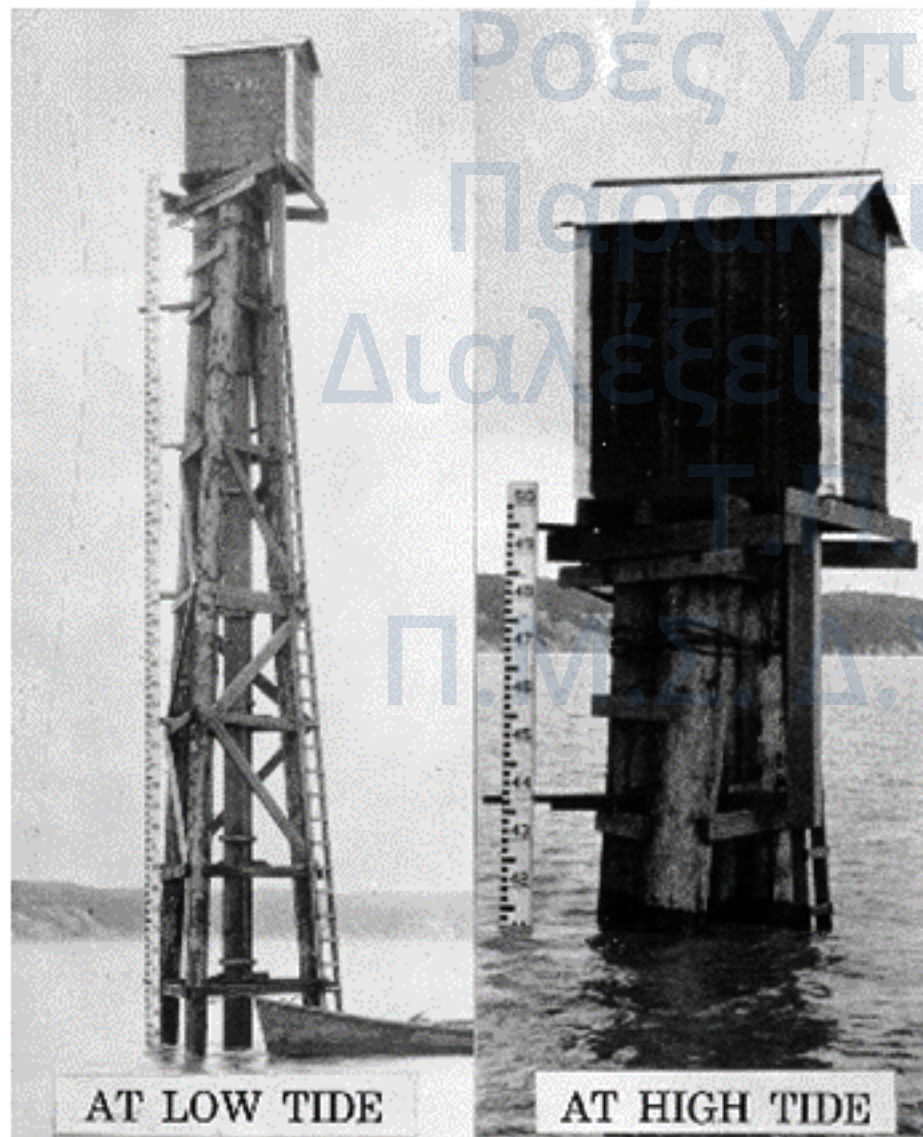
- Σημασία για τις μελέτες και τα έργα





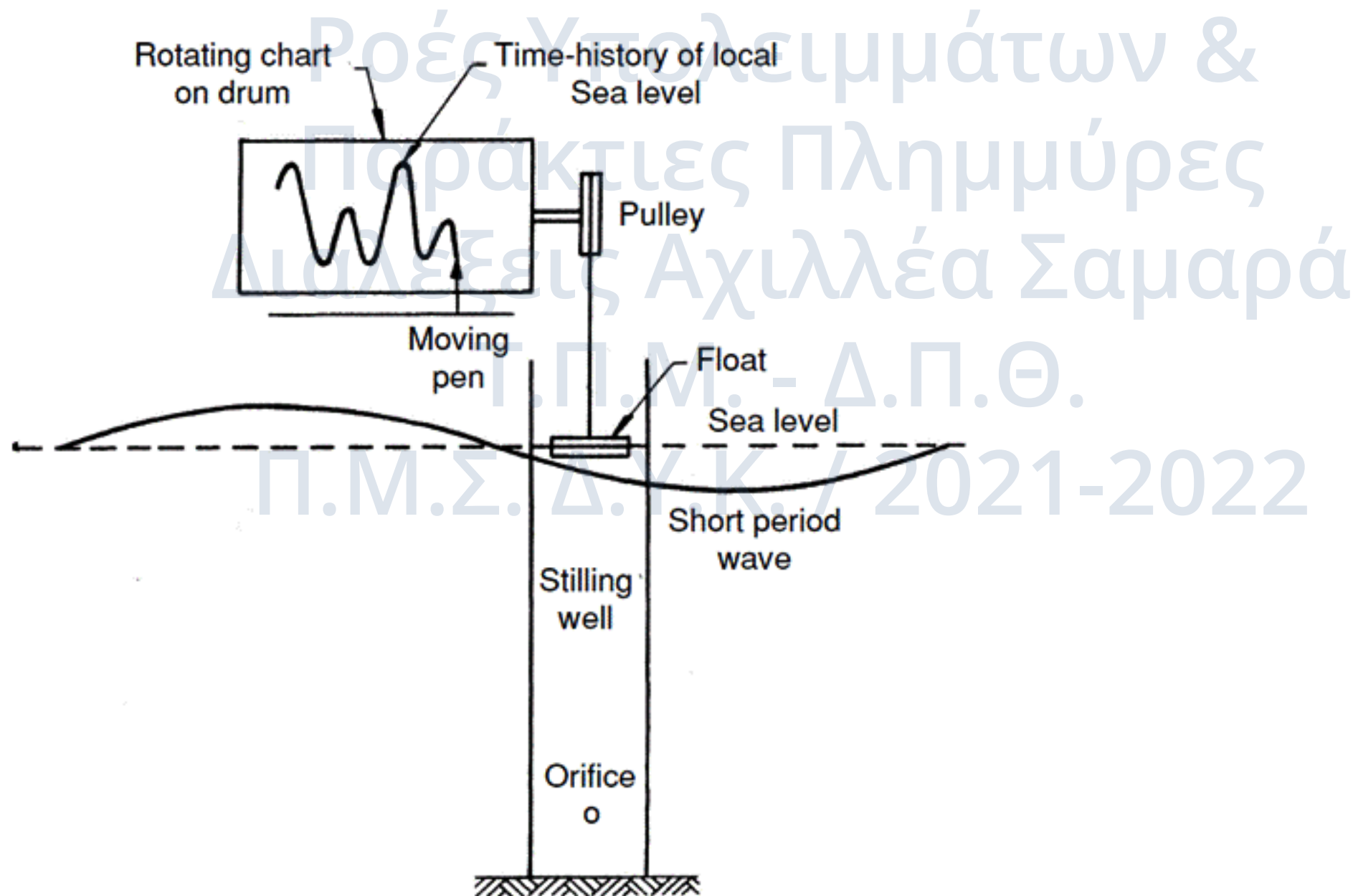
## Γενικά

- Παρατηρήσεις / Μετρήσεις διακυμάνσεων στάθμης



## Γενικά

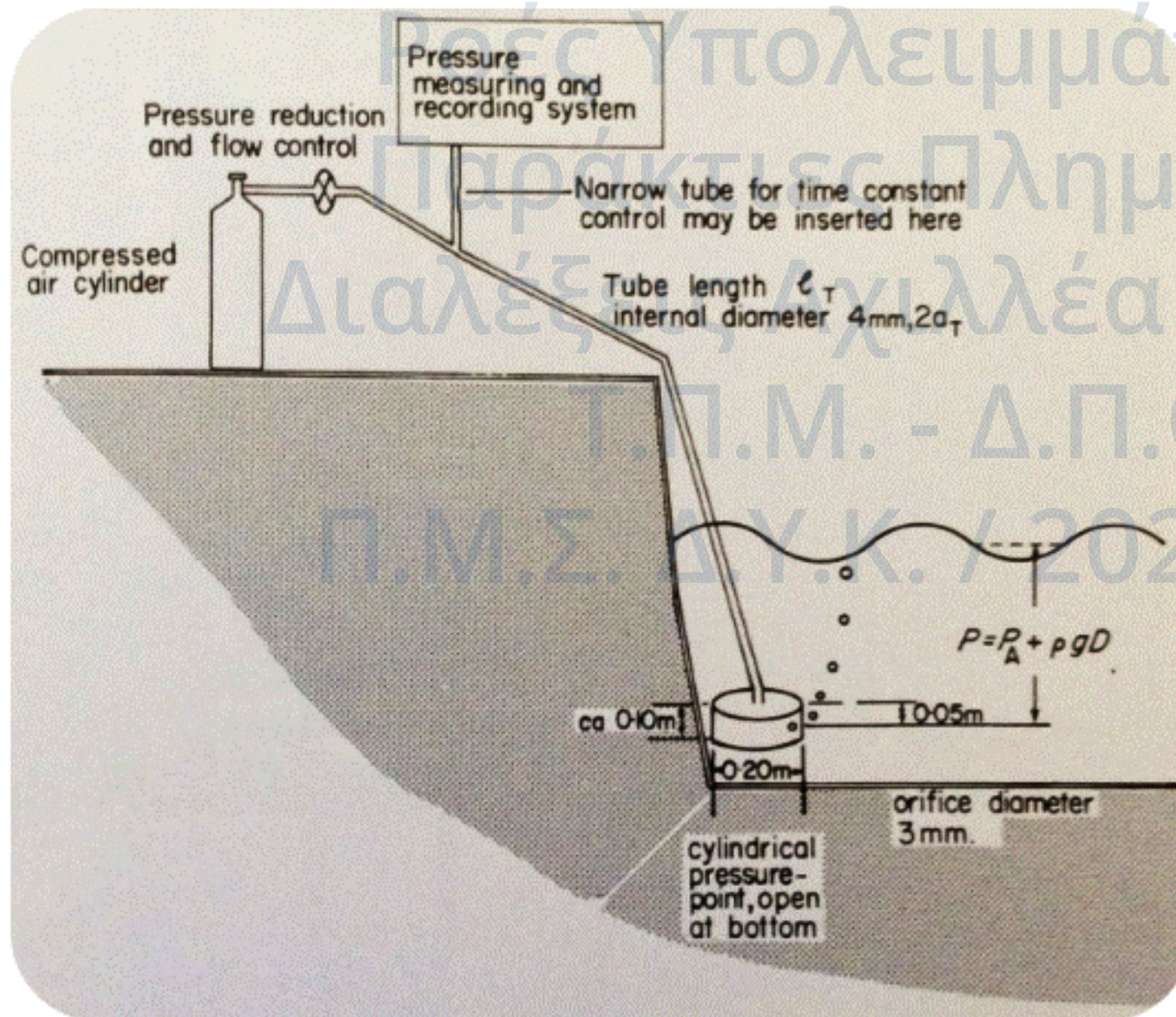
- Παρατηρήσεις / Μετρήσεις διακυμάνσεων στάθμης





## Γενικά

- Παρατηρήσεις / Μετρήσεις διακυμάνσεων στάθμης

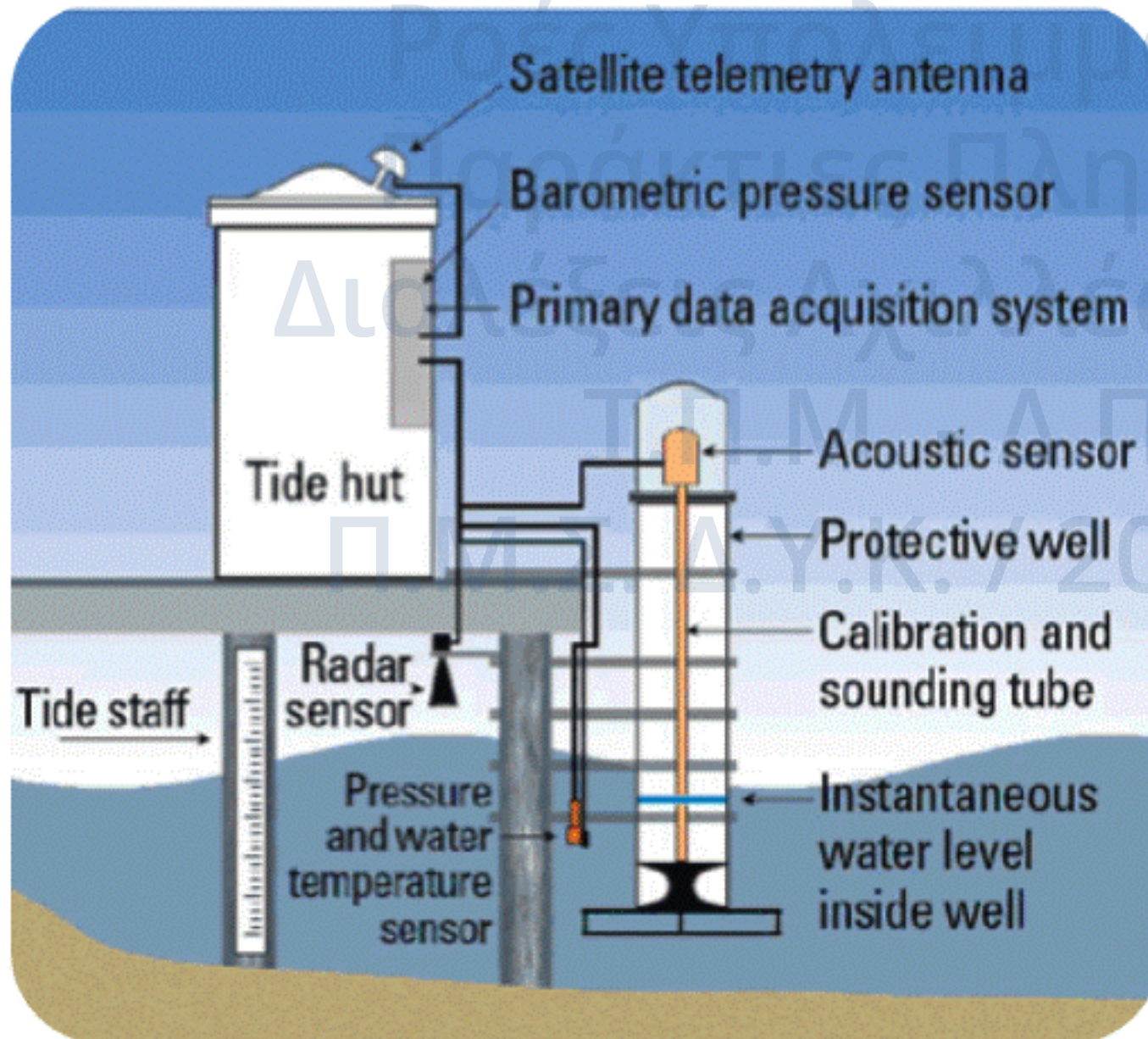






## Γενικά

- Παρατηρήσεις / Μετρήσεις διακυμάνσεων στάθμης



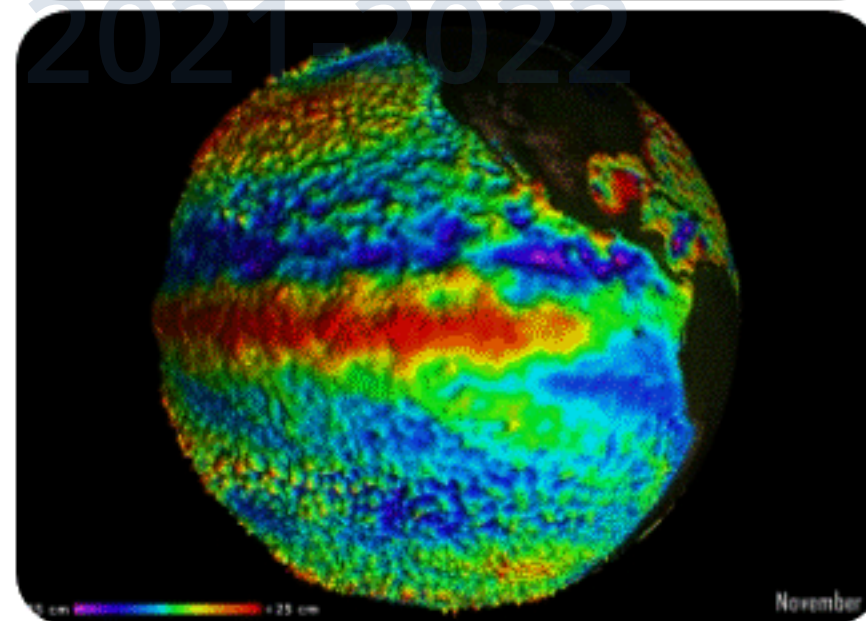
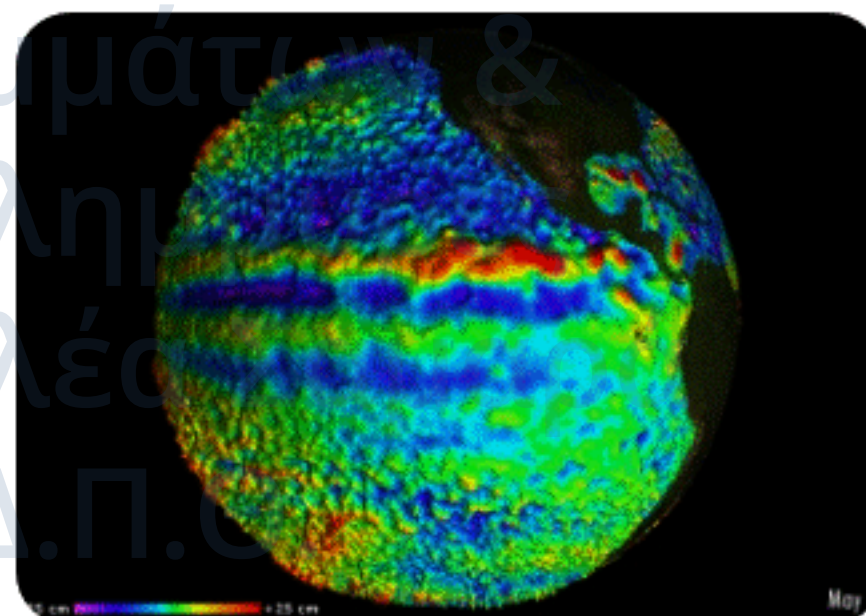
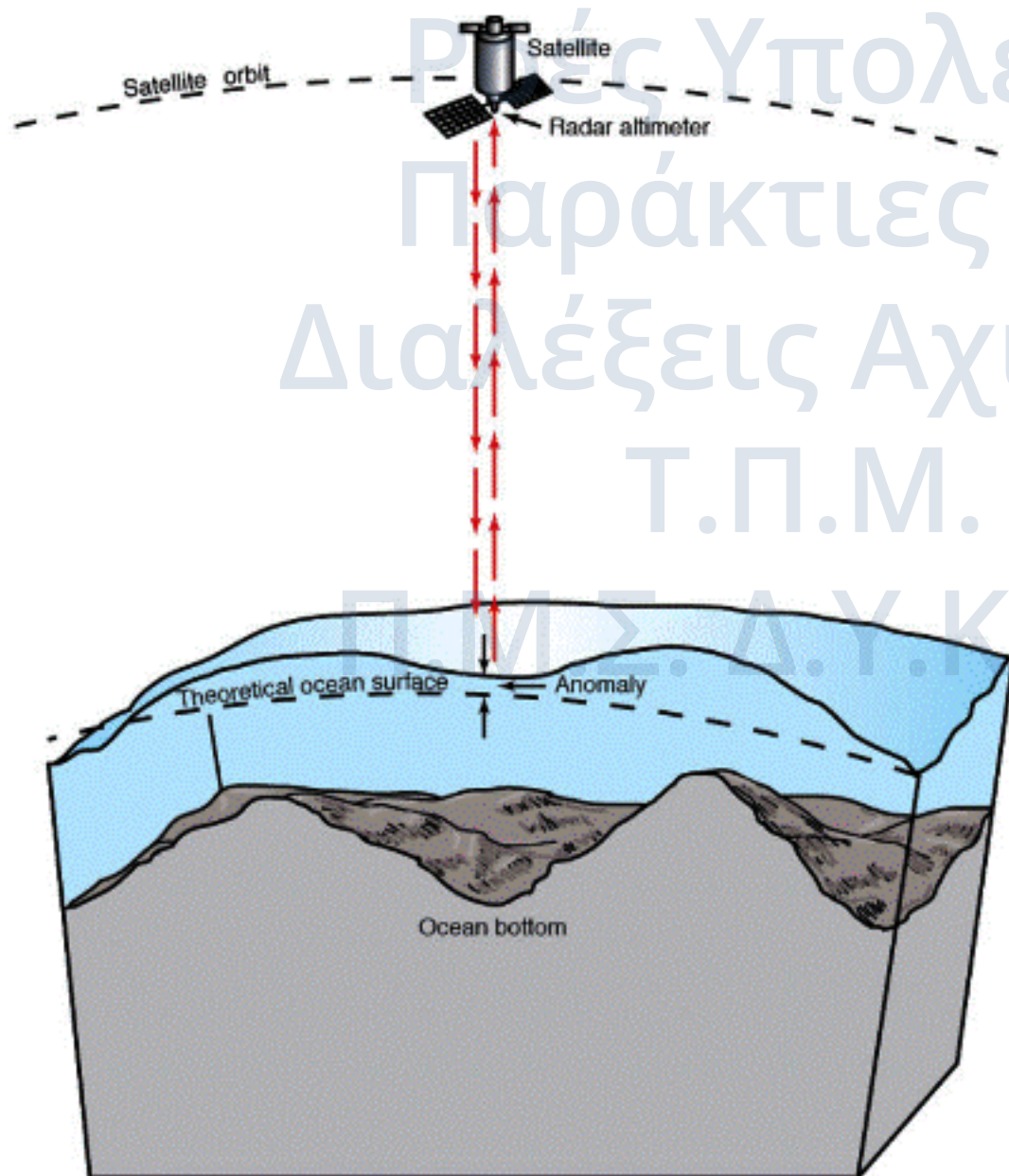


## Γενικά

## Satellite Altimetry



- Παρατηρήσεις / Μετρήσεις διακυμάνσεων στάθμης





# Θαλάσσια Κυκλοφορία – Διακ. Στάθμης

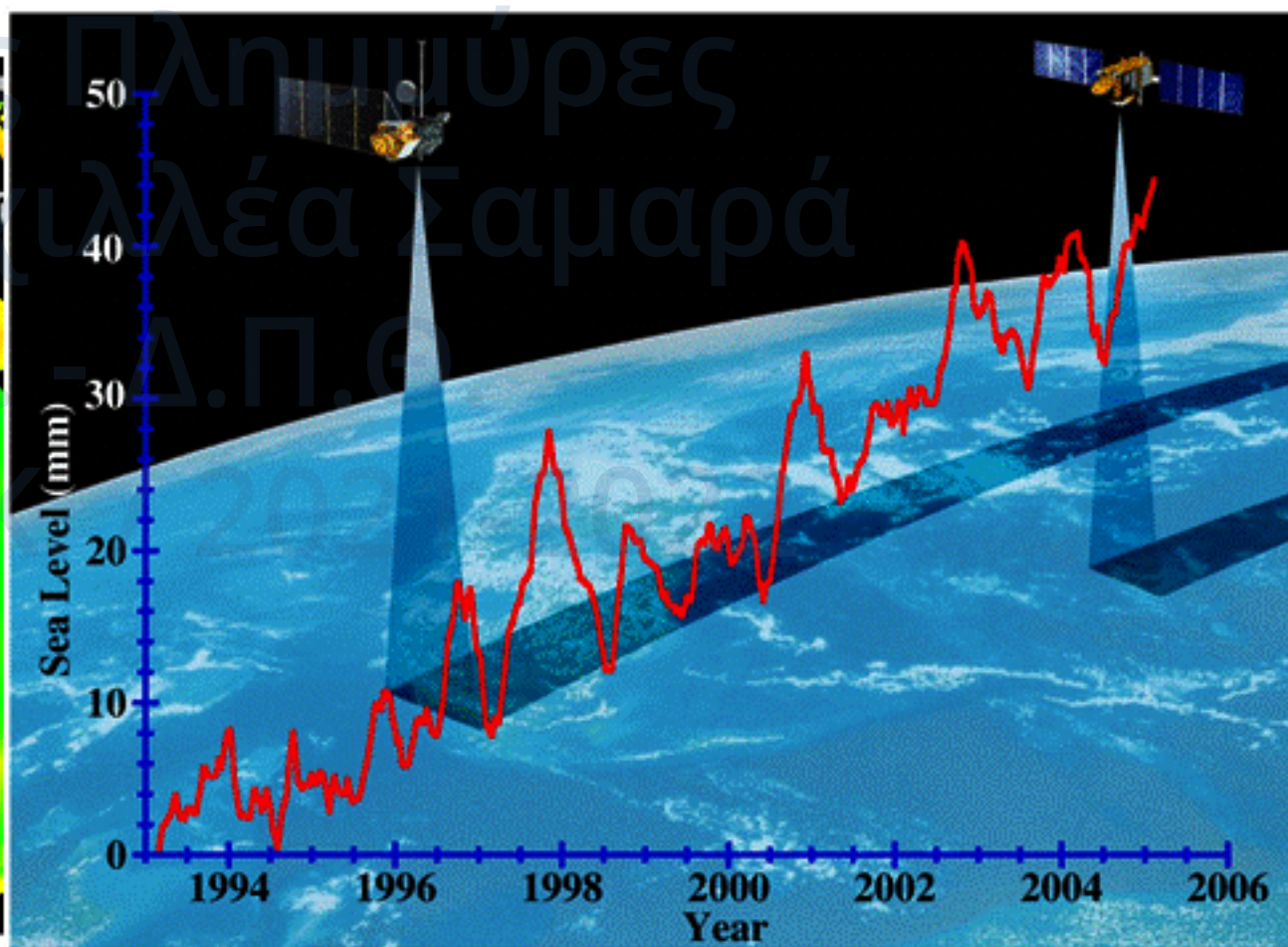
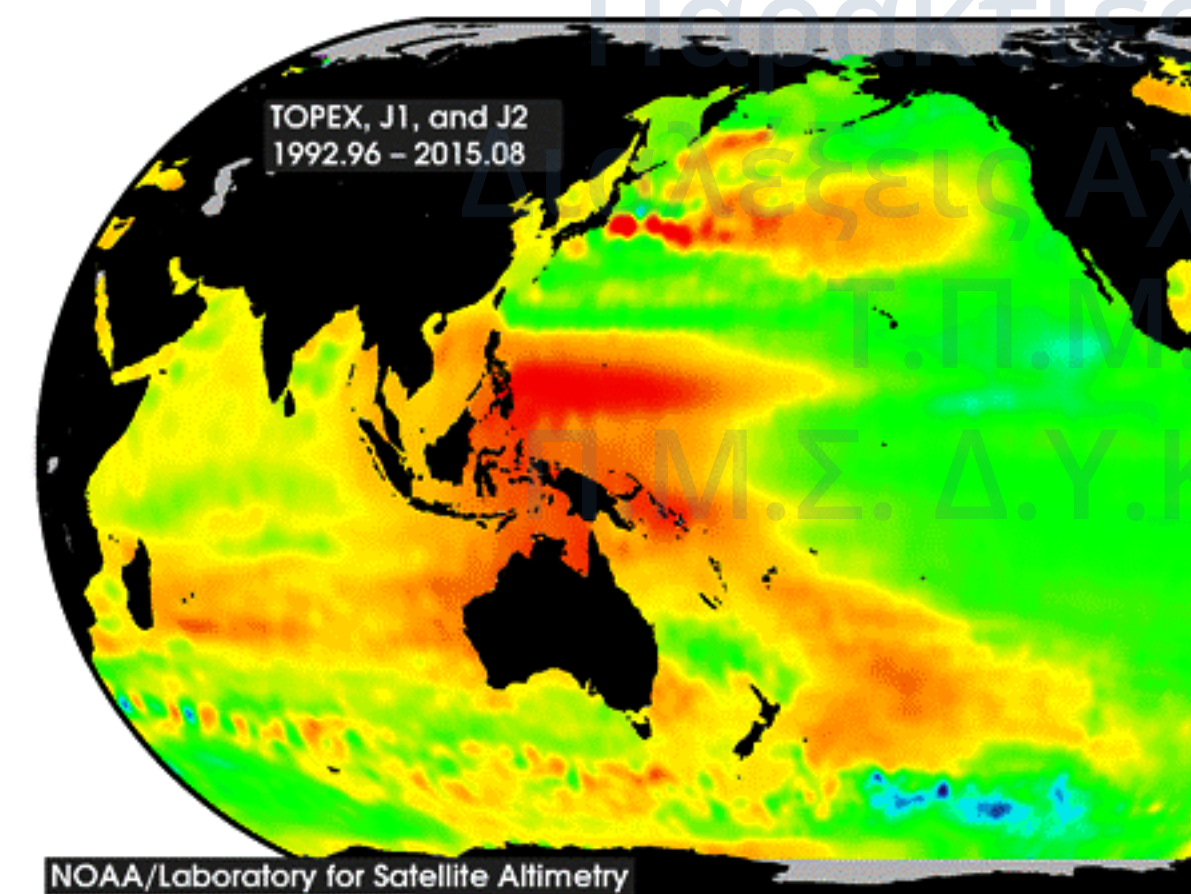
Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
ΠΜΣ ΔΥΚ  
Διαλέξεις 5<sup>η</sup> - 6<sup>η</sup>  
Αχιλλέας Σαμαράς

## Γενικά

## Satellite Altimetry



- Παρατηρήσεις / Μετρήσεις διακυμάνσεων στάθμης
  - Αποστολές: TOPEX/Poseidon (1992) – Jason-1 (2001) – OSTM/Jason-2 (2008) – Jason-3 (2016) ...





# Θαλάσσια Κυκλοφορία – Διακ. Στάθμης

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
ΠΜΣ ΔΥΚ  
Διαλέξεις 5<sup>η</sup> - 6<sup>η</sup>  
Αχιλλέας Σαμαράς

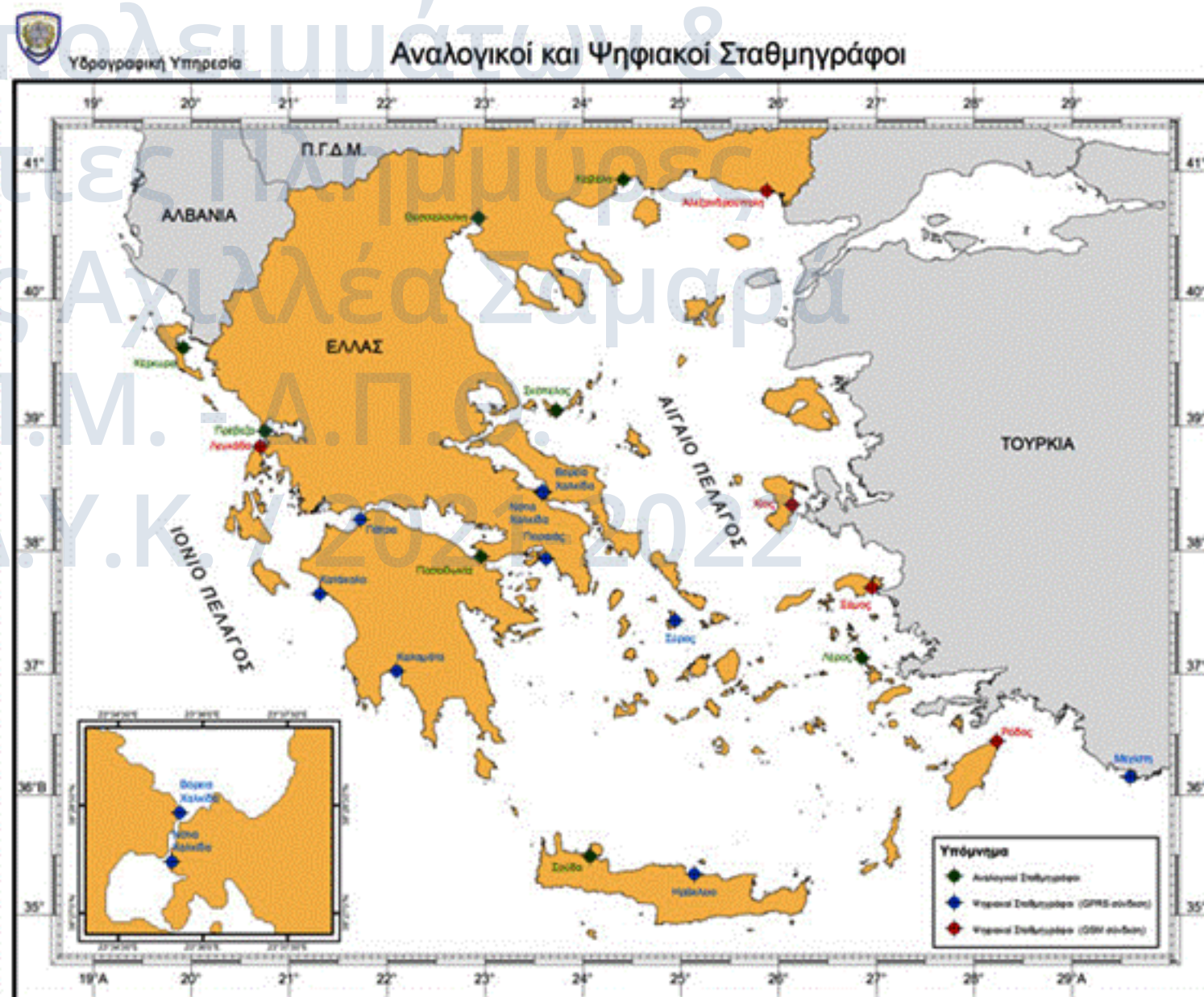
## Γενικά

## Δίκτυα Μέτρησης



- Παρατηρήσεις / Μετρήσεις διακυμάνσεων στάθμης

- Εθνικό Δίκτυο Μέτρησης Στάθμης Θάλασσας  
Υδρογραφική Υπηρεσία  
Πολεμικού Ναυτικού





# Θαλάσσια Κυκλοφορία – Διακ. Στάθμης

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
ΠΜΣ ΔΥΚ  
Διαλέξεις 5<sup>η</sup> - 6<sup>η</sup>  
Αχιλλέας Σαμαράς

## Γενικά

## Δίκτυα Μέτρησης



- Παρατηρήσεις / Μετρήσεις διακυμάνσεων στάθμης

- Εθνικό Δίκτυο Μέτρησης Στάθμης Θάλασσας  
Υδρογραφική Υπηρεσία  
Πολεμικού Ναυτικού
- Σύστημα Ποσειδών  
Ελληνικό Κέντρο  
Θαλασσιών Ερευνών





# Θαλάσσια Κυκλοφορία – Διακ. Στάθμης

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
ΠΜΣ ΔΥΚ  
Διαλέξεις 5<sup>η</sup> - 6<sup>η</sup>  
Αχιλλέας Σαμαράς

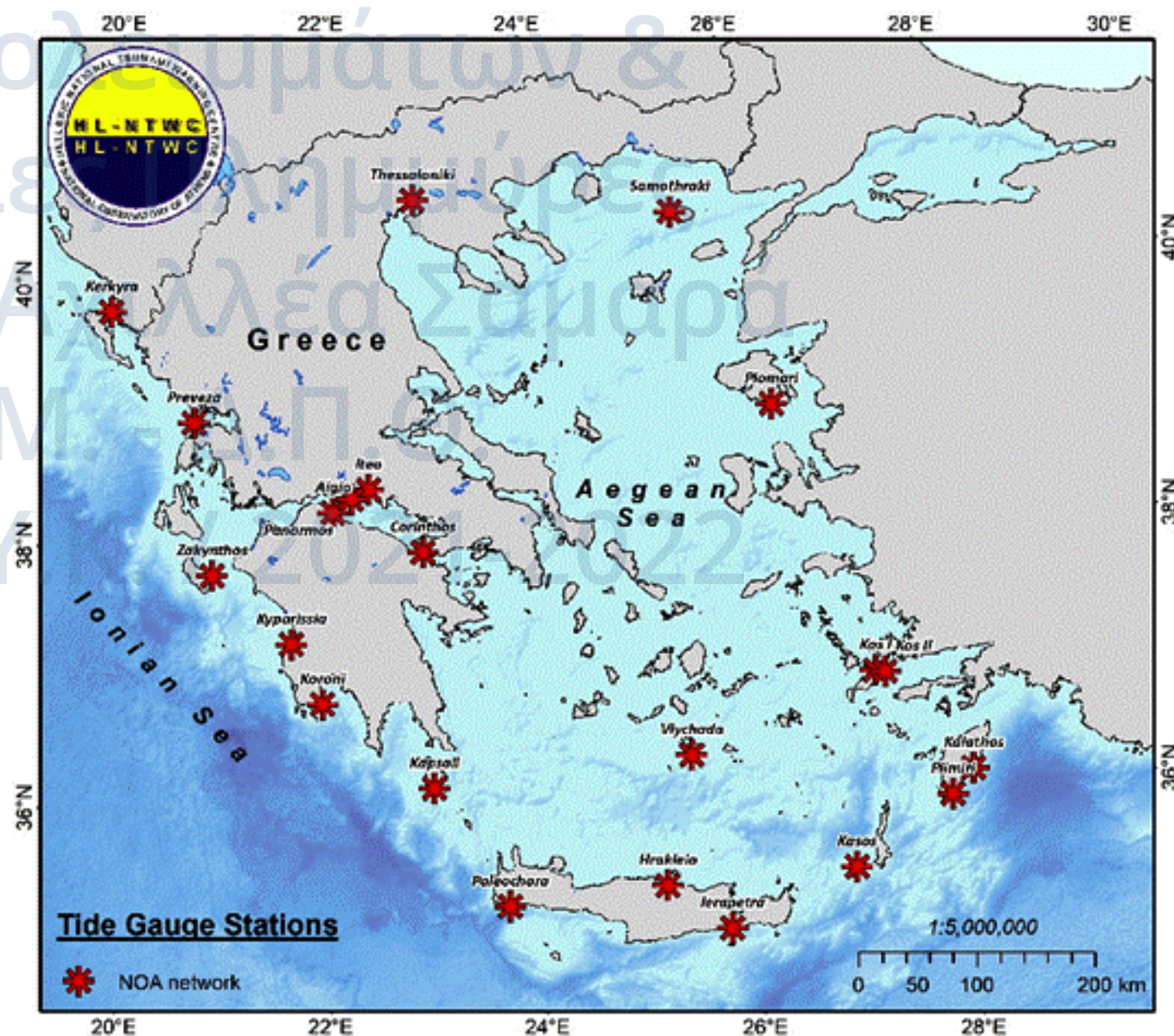
## Γενικά

## Δίκτυα Μέτρησης



- Παρατηρήσεις / Μετρήσεις διακυμάνσεων στάθμης

- Εθνικό Δίκτυο Μέτρησης Στάθμης Θάλασσας  
Υδρογραφική Υπηρεσία  
Πολεμικού Ναυτικού
- Σύστημα Ποσειδών  
Ελληνικό Κέντρο  
Θαλασίων Ερευνών
- Δίκτυο Παλιρροιογράφων  
Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

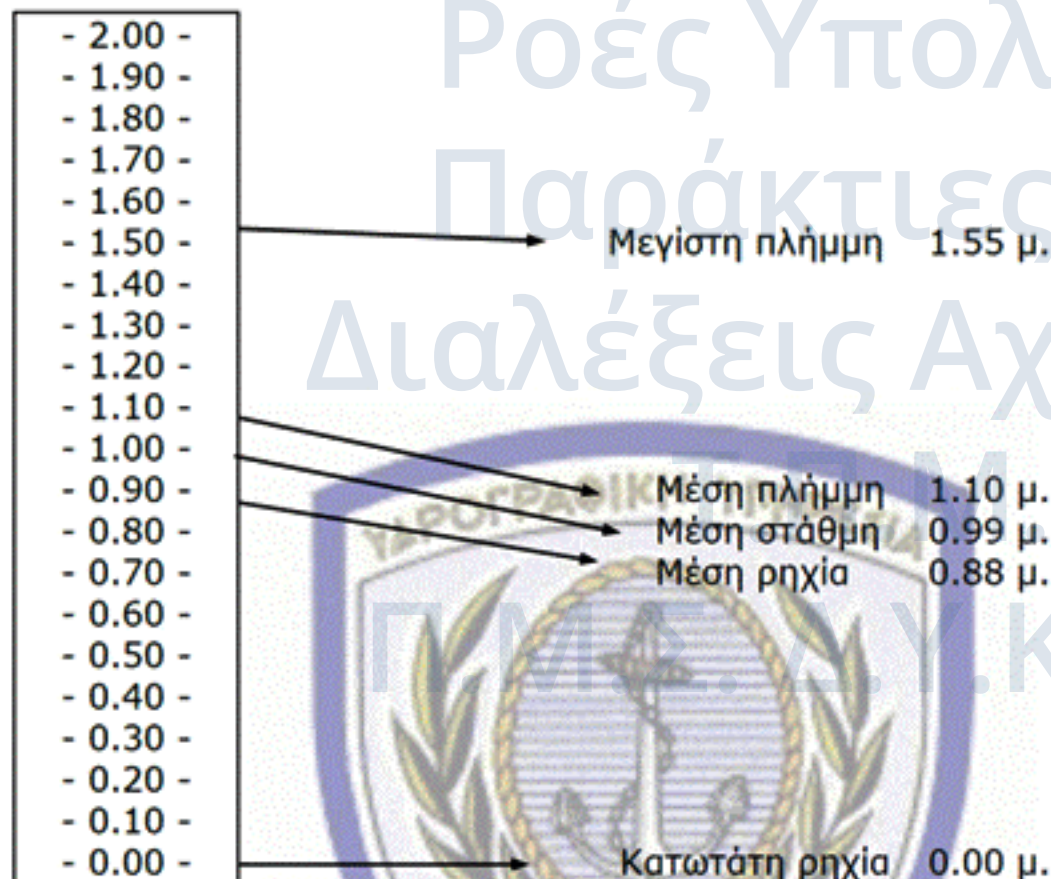






## Γενικά

- Παρατηρήσεις / Μετρήσεις διακυμάνσεων στάθμης



- Ανώτατη/Μέγιστη Πλήμμη  
(Ελ: ΑΠ – En: HAT)

- Κατώτατη Ρηχία  
(Ελ: ΚΡ – En: LAT)

- ΑΠ – ΚΡ = Επάλλαξη

- Μέση στάθμη θάλασσας  
(Ελ: ΜΣΘ – En: MSL)

≠

- Μέση στάθμη παλίρροιας  
(Ελ: ΜΣΠ – En: MTL)

Μη εξαρτώμενα από σημείο αναφοράς	
Μέγιστο εύρος : 0.72 μ.	Μέσο εύρος : 0.25 μ.
Ελάχιστο εύρος : 0.01 μ.	Επάλλαξη : 1.55 μ.



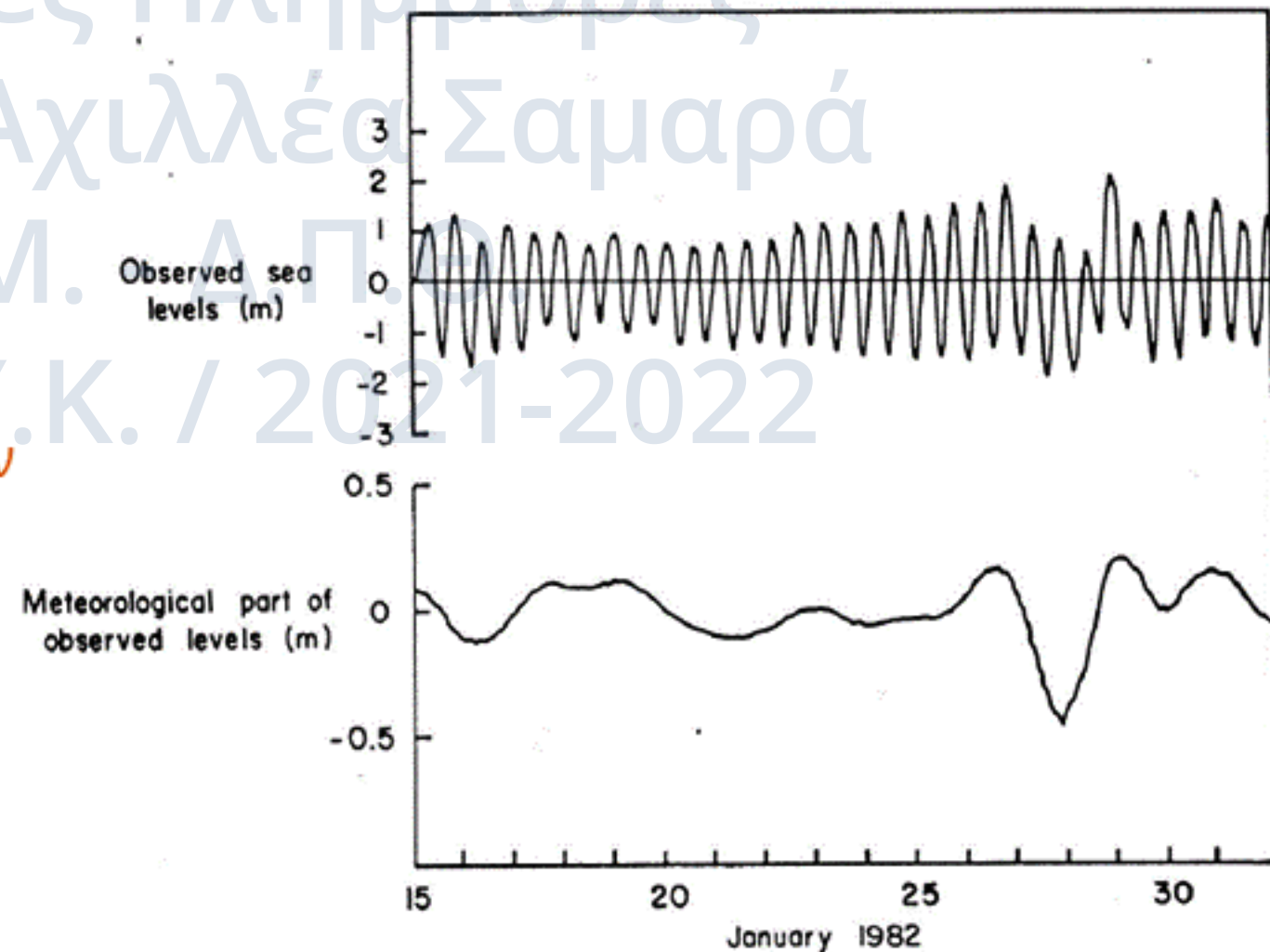


## Γενικά

- Γενική αναπαράσταση διακυμάνσεων στάθμης

$$X(t) = Z_0(t) + T(t) + S(t)$$

- $X$ : μετρούμενη στάθμη
- $Z_0$ : μακροπρόθεσμες μεταβολές
- $T$ : μεταβολές λόγω αστρονομικής παλίρροιας
- $S$ : μεταβολές λόγω μετεωρολογικών φαινομένων





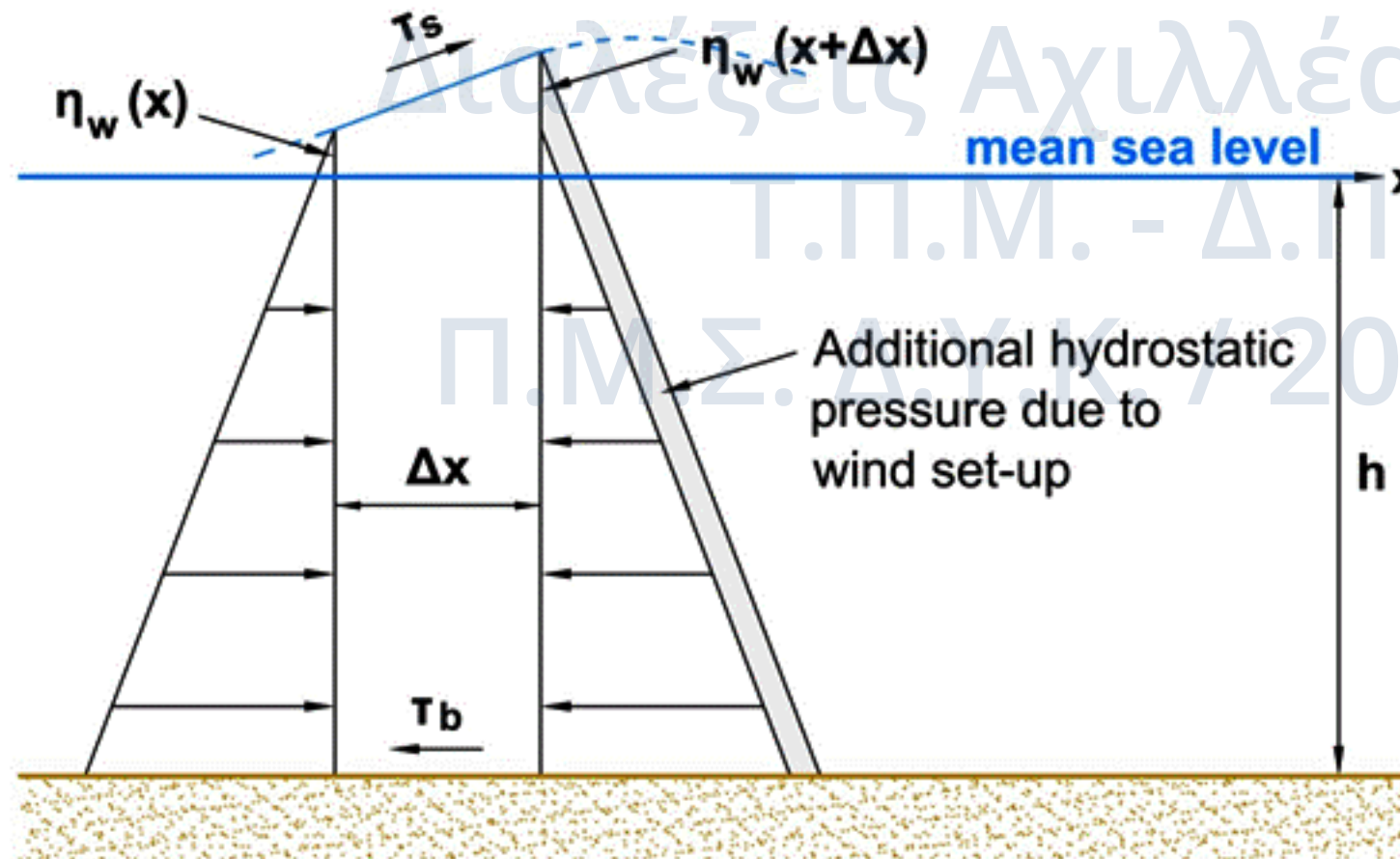


## Ανεμογενής – βαροτροπική κυκλοφορία

- Γενεσιουργό αίτιο

- Άνεμος & Οριζόντιες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης.  
(ανεμογενής και βαροτροπική κυκλοφορία)

ενσωμάτωση επιρροής  
δύναμης Coriolis



- $\eta_w$ : ανύψωση ελ. επιφάνειας λόγω ανέμου
- $\tau_s$ : τριβή επιφάνειας
- $\tau_b$ : τριβή πυθμένα



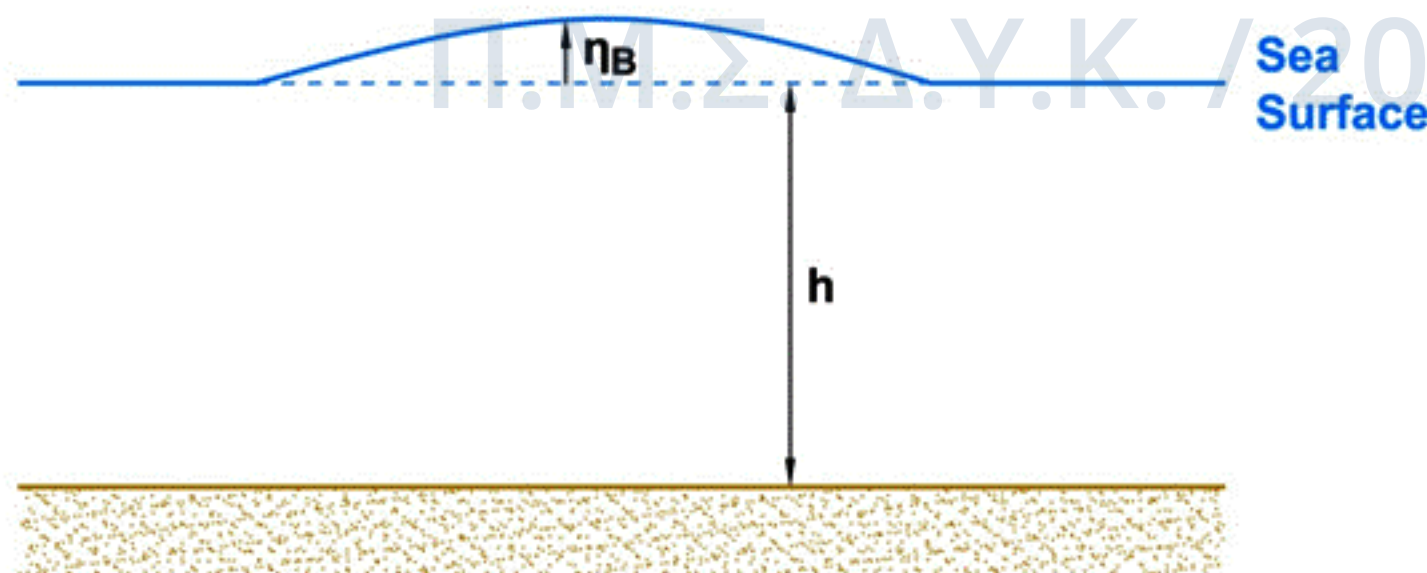
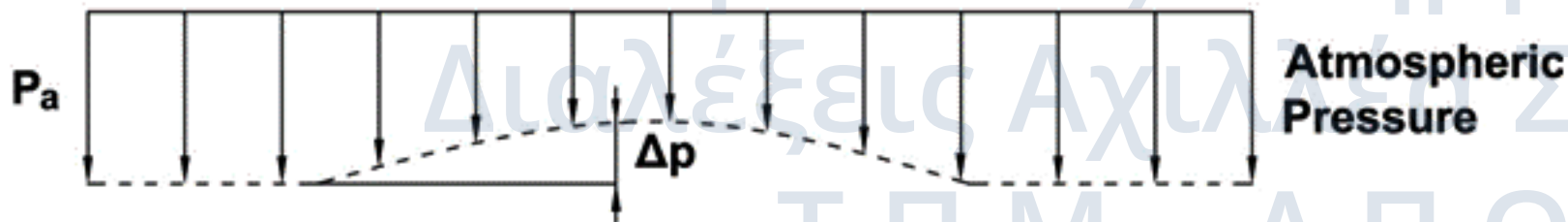


## Ανεμογενής – βαροτροπική κυκλοφορία

- Γενεσιουργό αίτιο

- Άνεμος & Οριζόντιες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης.  
(ανεμογενής και βαροτροπική κυκλοφορία)

ενσωμάτωση επιρροής  
δύναμης Coriolis



- $\eta_B$ : ανύψωση ελ. επιφάνειας λόγω ατμ. πίεσης
- $\Delta p$ : μεταβολή ατμοσφαιρικής πίεσης



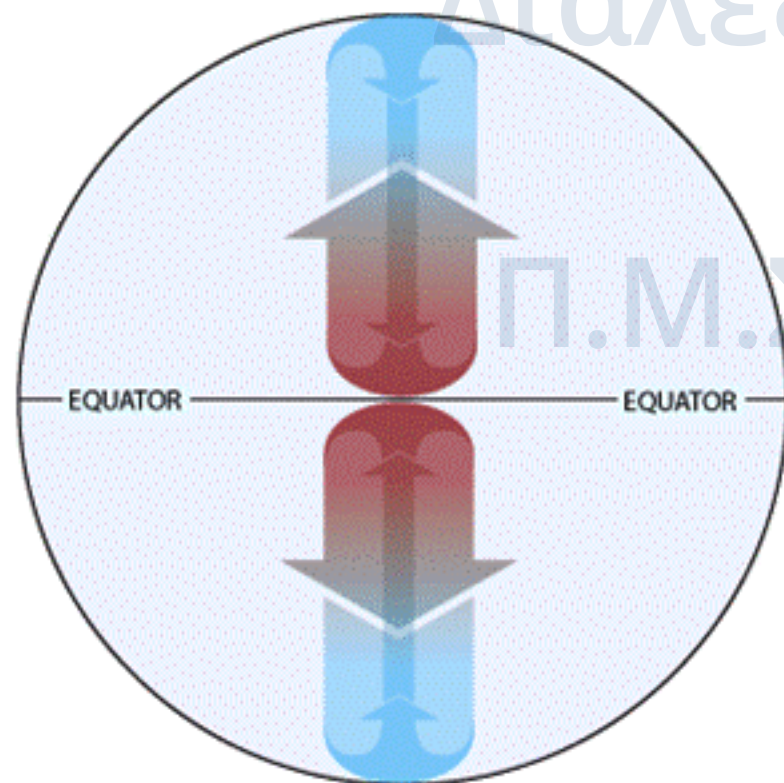


## Ανεμογενής – βαροτροπική κυκλοφορία

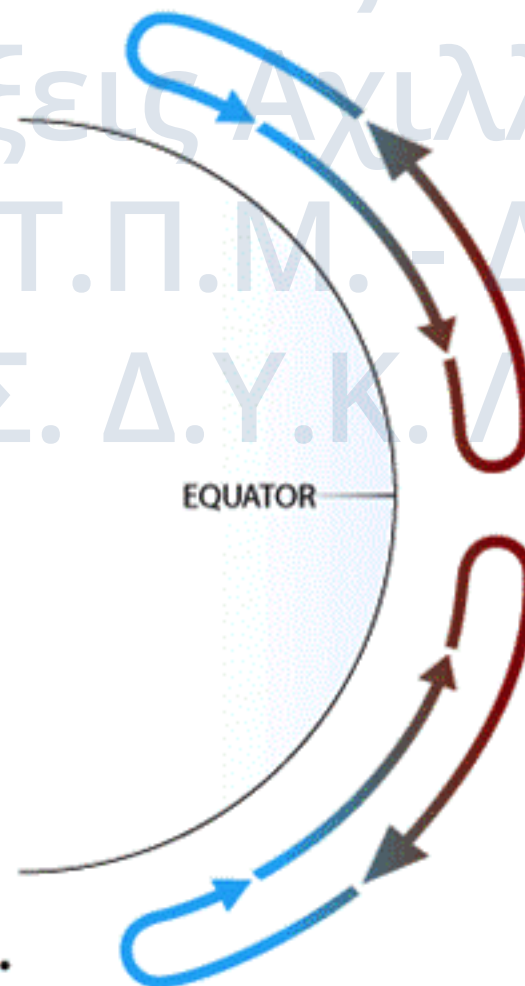
- Γενεσιουργό αίτιο

- Άνεμος & Οριζόντιες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης.  
(ανεμογενής και βαροτροπική κυκλοφορία)

χωρίς περιστροφή της Γης



A.



B.

ενσωμάτωση επιρροής  
δύναμης Coriolis

λόγω της περιστροφής της Γης  
και της αδράνειας των  
θαλασίων και αερίων μαζών

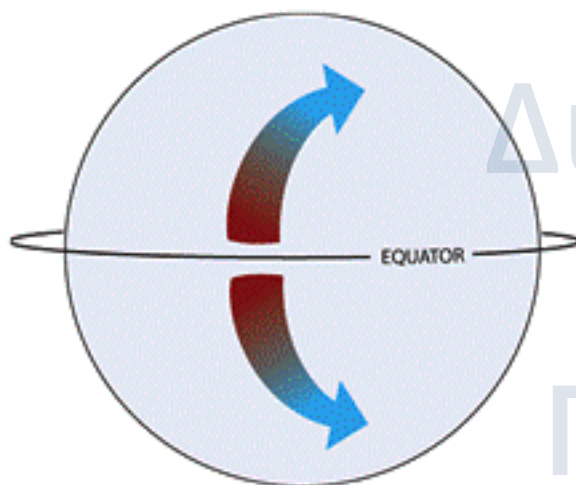




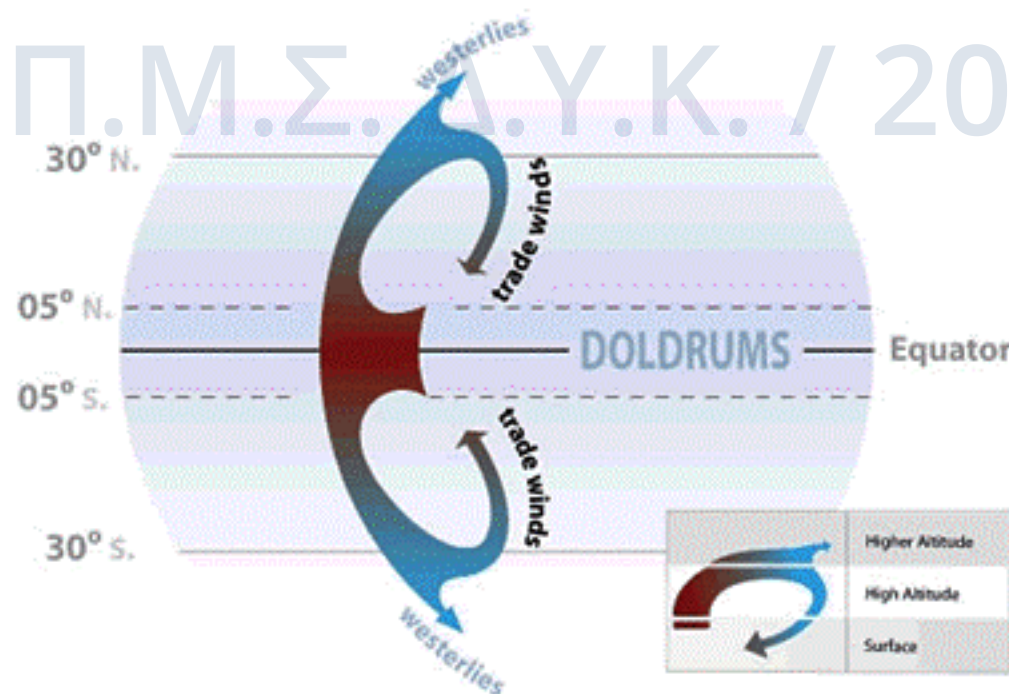
## Ανεμογενής – βαροτροπική κυκλοφορία

- Γενεσιουργό αίτιο

- Άνεμος & Οριζόντιες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης.  
(ανεμογενής και βαροτροπική κυκλοφορία)



ενσωμάτωση επιρροής  
δύναμης Coriolis



λόγω της περιστροφής της Γης  
και της αδράνειας των  
θαλασσίων και αερίων μαζών

$$f = 2\Omega \sin \varphi$$

- $\Omega$ : γωνιακή ταχύτητα Γης  
( $7.272 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ )
- $\varphi$ : γεωγραφικό πλάτος





## Ανεμογενής – βαροτροπική κυκλοφορία

- Εξισώσεις υδροδυναμικής κυκλοφορίας

(όχι όροι κυματικής κίνησης)

- Διατμητικές τάσεις στην ελεύθερη επιφάνεια

$$\tau_{sx} = \rho C_s W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$\tau_{sy} = \rho C_s W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$U_{10} = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$C_s = 1.2 \cdot 10^{-6} - 3.4 \cdot 10^{-6}$$

- $C_s$ : συντελεστής τριβής στην επιφάνεια της θάλασσας

- Διατμητικές τάσεις στον πυθμένα

$$\tau_{bx} = \frac{1}{2} \rho f_c U_c \sqrt{U_c^2 + V_c^2}$$

$$\tau_{by} = \frac{1}{2} \rho f_c V_c \sqrt{U_c^2 + V_c^2}$$

$$f_c = 2g/c_c^2$$

$$c_c = 18 \log_{10} \left( 12 \frac{h}{k_s} \right)$$

- $f_c$ : συντελεστής τριβής λόγω ρεύματος
- $k_s$ : απόλυτη τραχύτητα πυθμένα





## Ανεμογενής – βαροτροπική κυκλοφορία

- Απλοποίηση για τον υπολογισμό της ταχύτητας ανεμογενούς ρεύματος παράλληλα στην ακτή

$$\partial U_c / \partial t \approx 0$$

$$\partial \zeta / \partial x \approx 0$$

$$U_c \partial U_c / \partial x \approx 0$$

$$V_c \partial U_c / \partial y \approx 0$$

$$p_a = \text{const.}$$

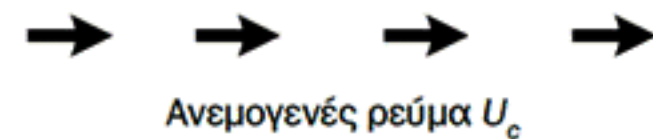
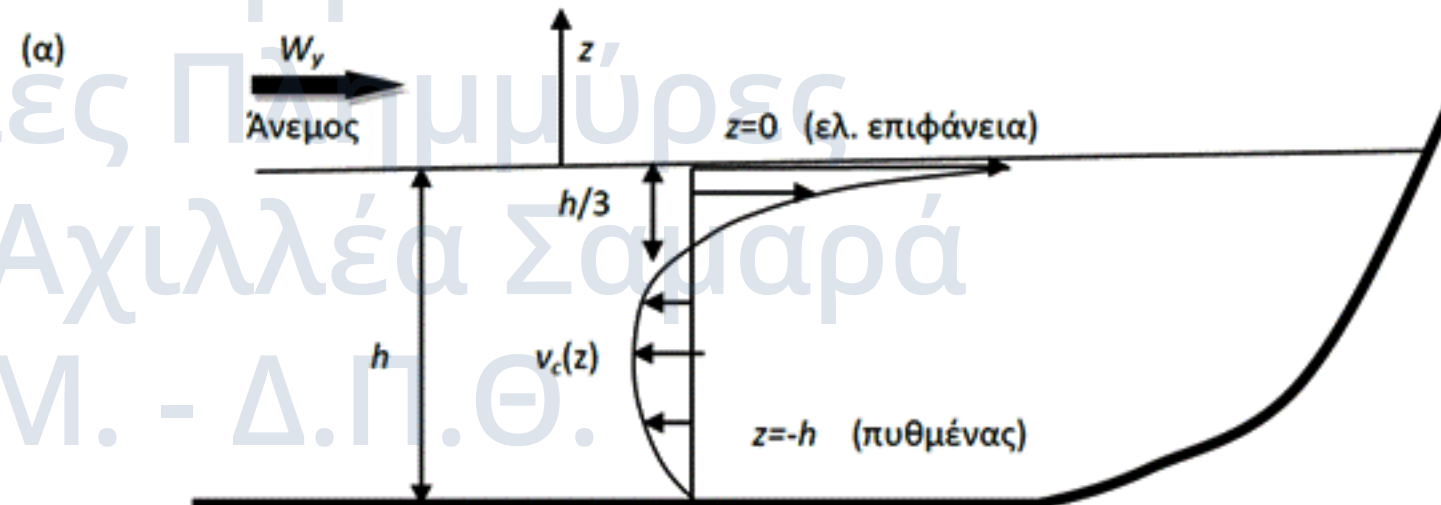
$$\text{Coriolis} \rightarrow 0$$

$$\text{Turbulent Diffusion} \rightarrow 0$$



$$\tau_{sx} = \tau_{bx} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{2} f_c U_c \sqrt{U_c^2 + V_c^2} = C_s W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

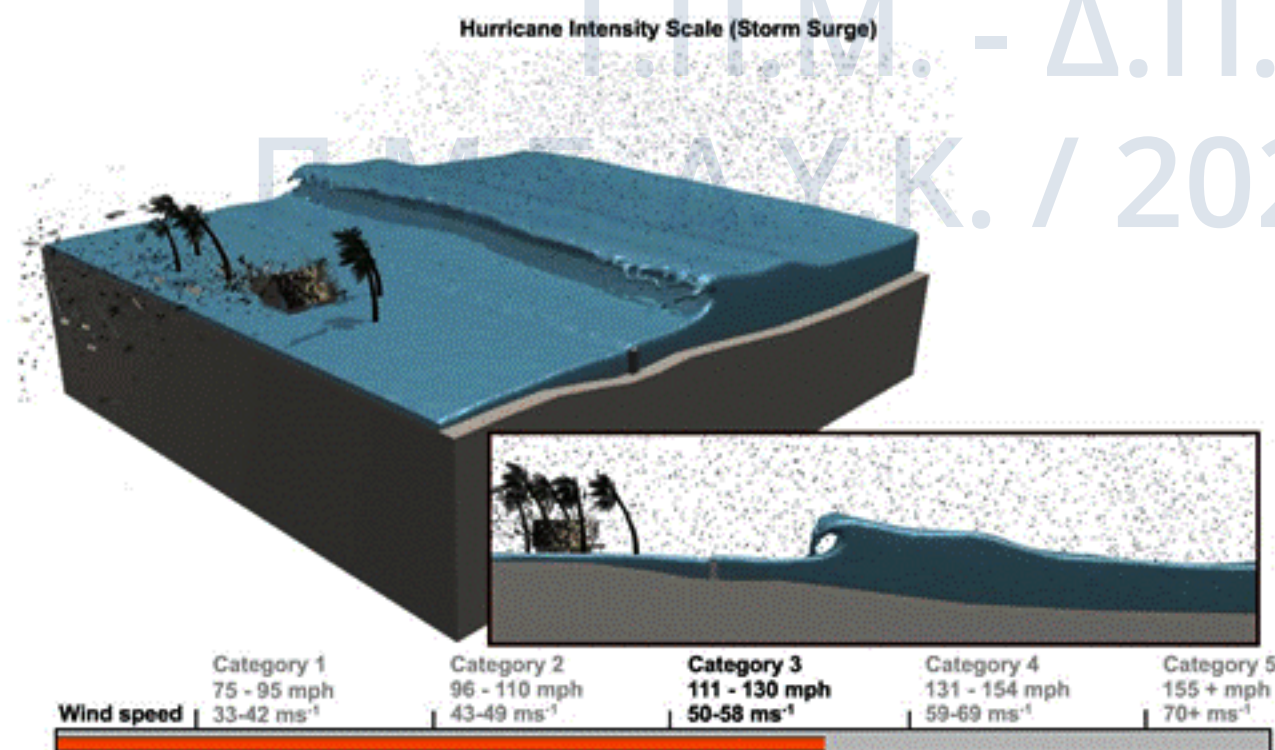






## Μετεωρολογική παλίρροια

- **Storm surge:** Ανύψωση στάθμης λόγω επίδρασης ανέμου και οριζόντιων διαφοροποιήσεων ατμοσφαιρικής πίεσης
  - Πρόσθετη της αστρονομικής παλίρροιας
  - Μπορεί να προκαλέσει έντονα φαινόμενα παράκτιας πλημμύρισης
  - Ενίσχυση όταν συμπίπτει χρονικά με πλημμυρίδα







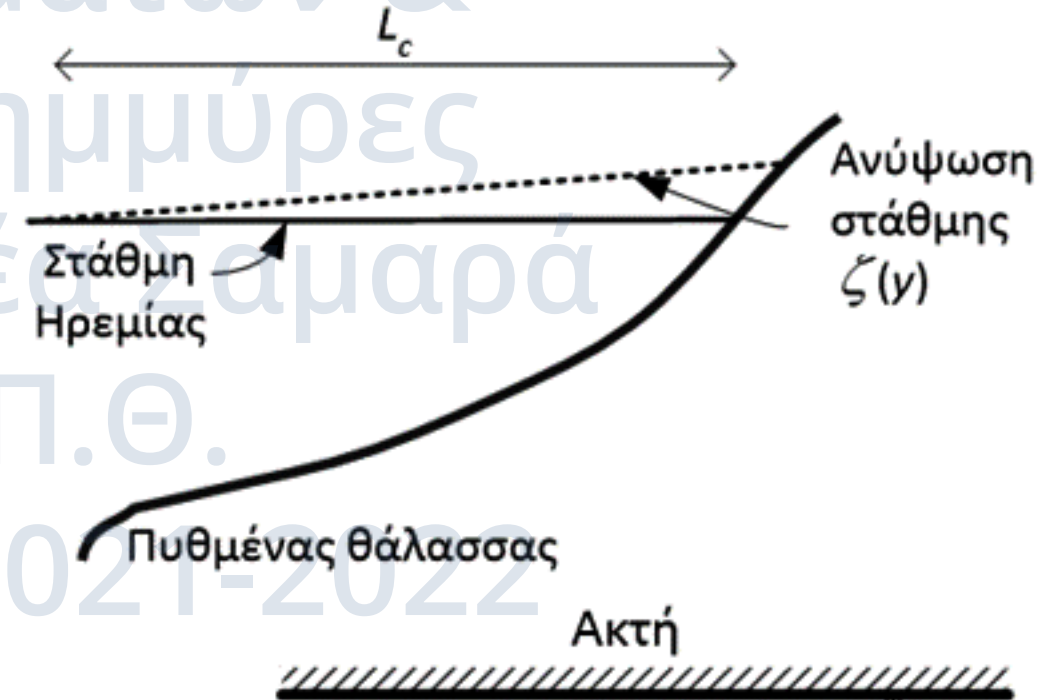
## Μετεωρολογική παλίρροια

- **Storm surge:** Ανύψωση στάθμης λόγω επίδρασης ανέμου και οριζόντιων διαφοροποιήσεων ατμοσφαιρικής πίεσης

- Απλοποιημένη περιγραφή για  $W_x \approx 0, U \approx 0$

$$\zeta_s = d_o \left( \sqrt{1 + \frac{2n_{bs} \tau_{sy} L_c}{\rho g d_o^2}} - 1 \right)$$

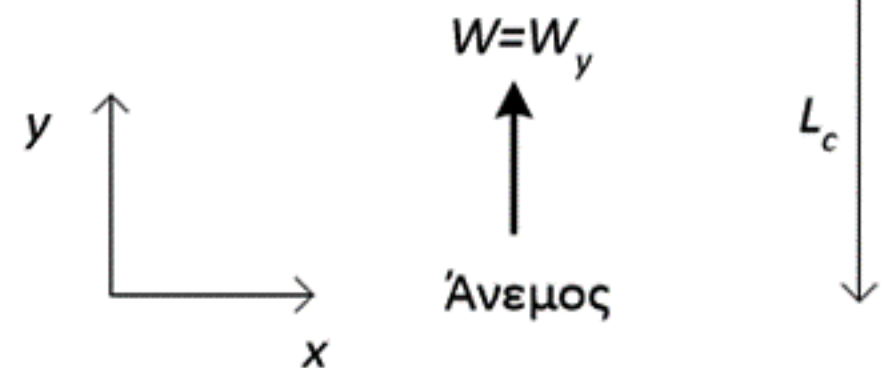
$$\frac{\tau_{sy}}{\rho} = C_s W_y^2 \quad n_{bs} = 1.15 - 1.30$$



- Όταν έχουμε επίδραση μόνο της πίεσης

$$\Delta \zeta = \frac{\Delta p_a}{\rho g} \rightarrow \dots$$

$$\Delta p_a = 100 \text{ Pa} = 1 \text{ mbar} \Rightarrow \Delta \zeta \approx 0.01 \text{ m}$$





## Αστρονομική παλίρροια

### Γενικά

- **Ορισμός:** περιοδική διακύμανση στάθμης θάλασσας που προκαλείται από την αλληλεπίδραση βαρυτικών και κεντρομόλων δυνάμεων κυρίως μεταξύ Γης, Σελήνης και Ηλίου
  - Βαρυτική έλξη Γης
  - Βαρυτική έλξη Σελήνης
  - Βαρυτική έλξη Ηλίου
  - Κεντρομόλος δύναμη λόγω της κίνησης του συστήματος Γη-Σελήνη
- **Παλίρροια:** το αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης των ανωτέρω δυνάμεων στις θαλάσσιες μάζες  
(πρακτική αναλογία ~ κύματα πολύ μεγάλης περιόδου)

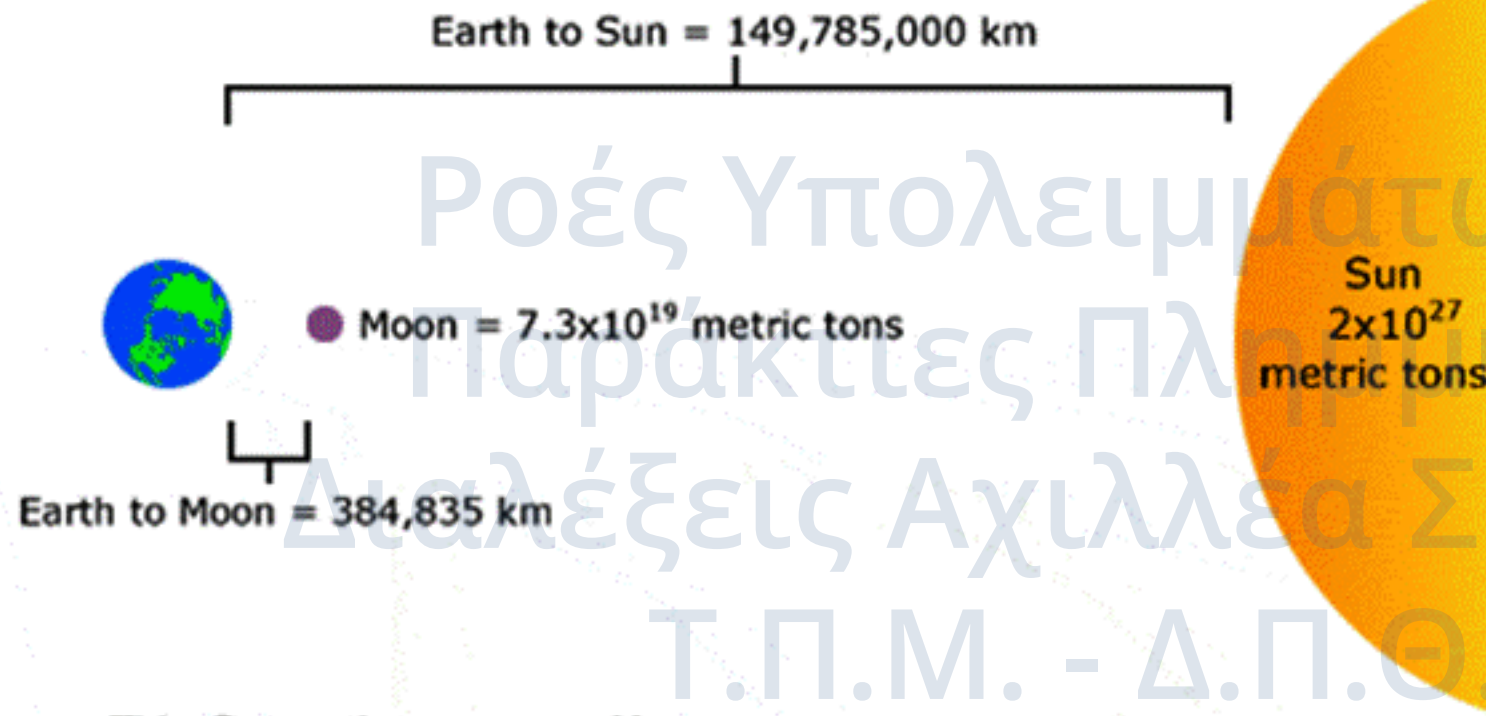






## Αστρονομική παλίρροια

## Γένεση



$$\text{Tide-Generating Force} = \propto \frac{\text{Mass}}{(\text{Distance})^3}$$

$$\text{Tide-Generating Force of the Sun} = \propto \frac{\text{Sun's Mass}}{(\text{Sun's Distance to Earth})^3}$$

\*NOTE: The sun has 27 million times more mass than the moon and is 390 times farther away from the earth than the moon.

$$(390)^3 = 59,000,000 \quad \text{So...} \quad \frac{27 \text{ million}}{59 \text{ million}} = 0.46 \text{ or } 46\%$$

Therefore the Sun has 46% of the tide-generating force of the Moon.



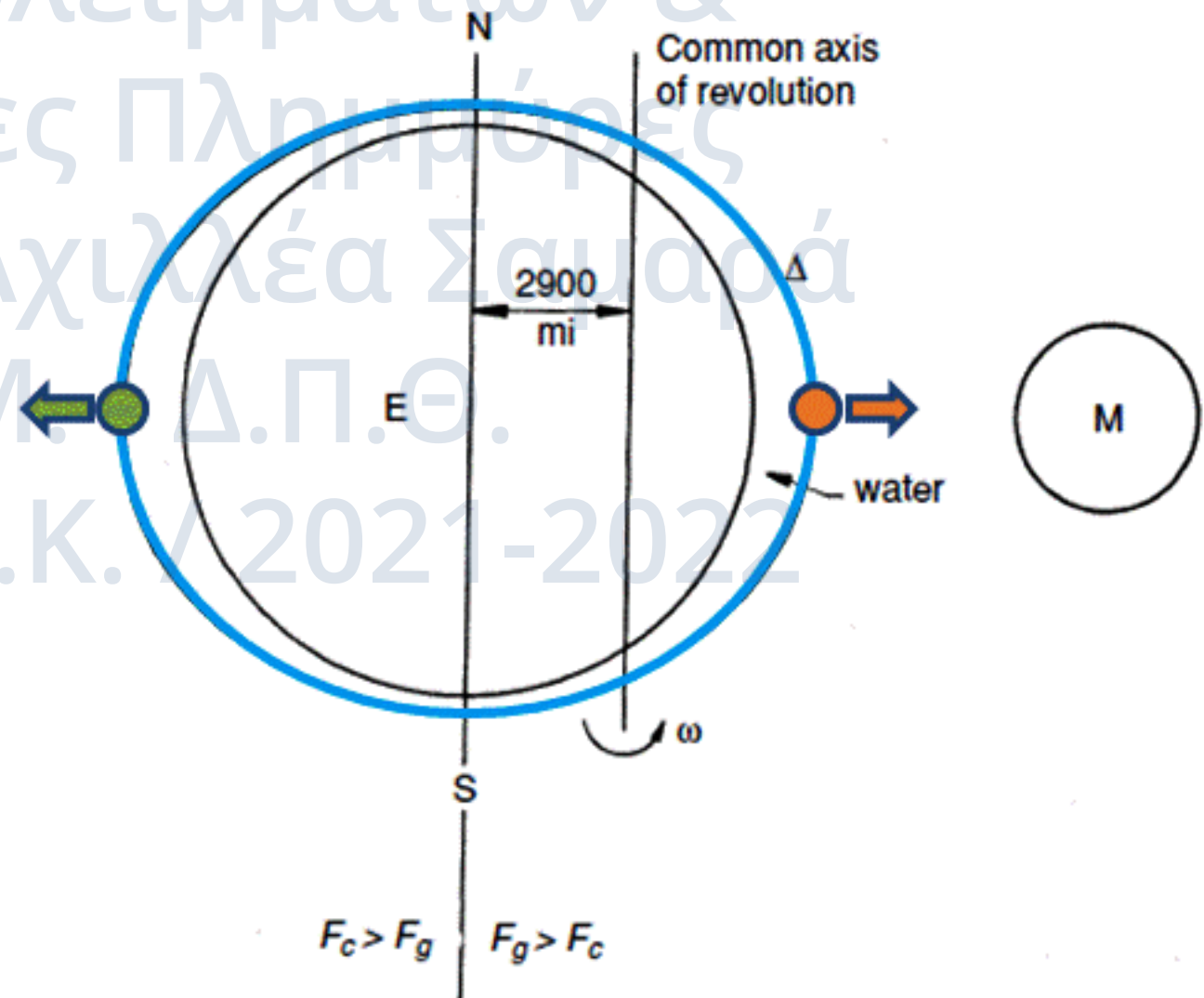
## Αστρονομική παλίρροια

## Παλίρροια Ισορροπίας

- Εξιδανικευμένο σύστημα Γης-Σελήνης

- $F_{\text{gravitational}} > F_{\text{centrifugal}}$   
κατεύθυνση συνισταμένης  $\Rightarrow$
- $F_{\text{gravitational}} < F_{\text{centrifugal}}$   
κατεύθυνση συνισταμένης  $\Leftarrow$

- Αναλογία για το σύστημα  
Γης - Ηλίου

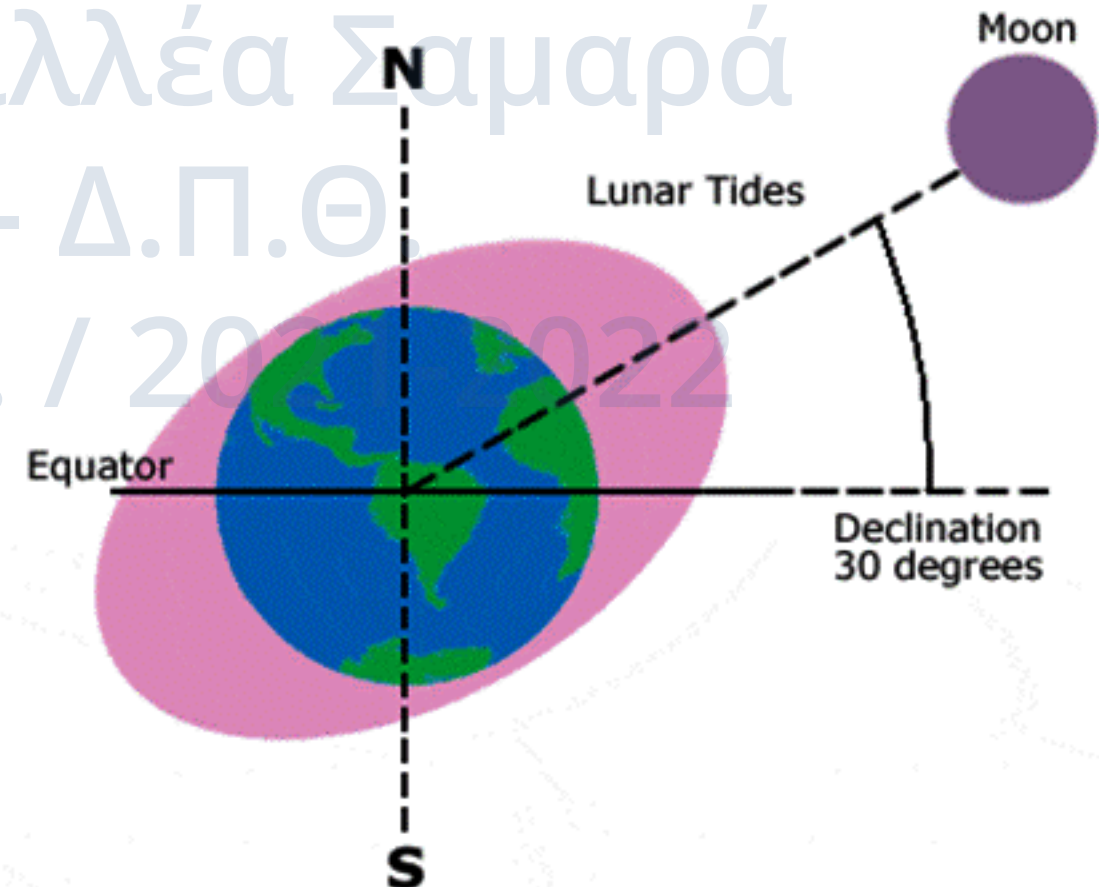




## Αστρονομική παλίρροια

## Μοτίβα

- Τα κυρτώματα των θαλασσίων μαζών (*bulges*) ευθυγραμμίζονται με τις θέσεις Σελήνης & Ηλίου
- Αλλαγές στις σχετικές θέσεις καθώς η Γη περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο και η Σελήνη γύρω από τη Γη
- Απόκλιση (*declination*)
- Αναλογία για το σύστημα Γης – Ηλίου

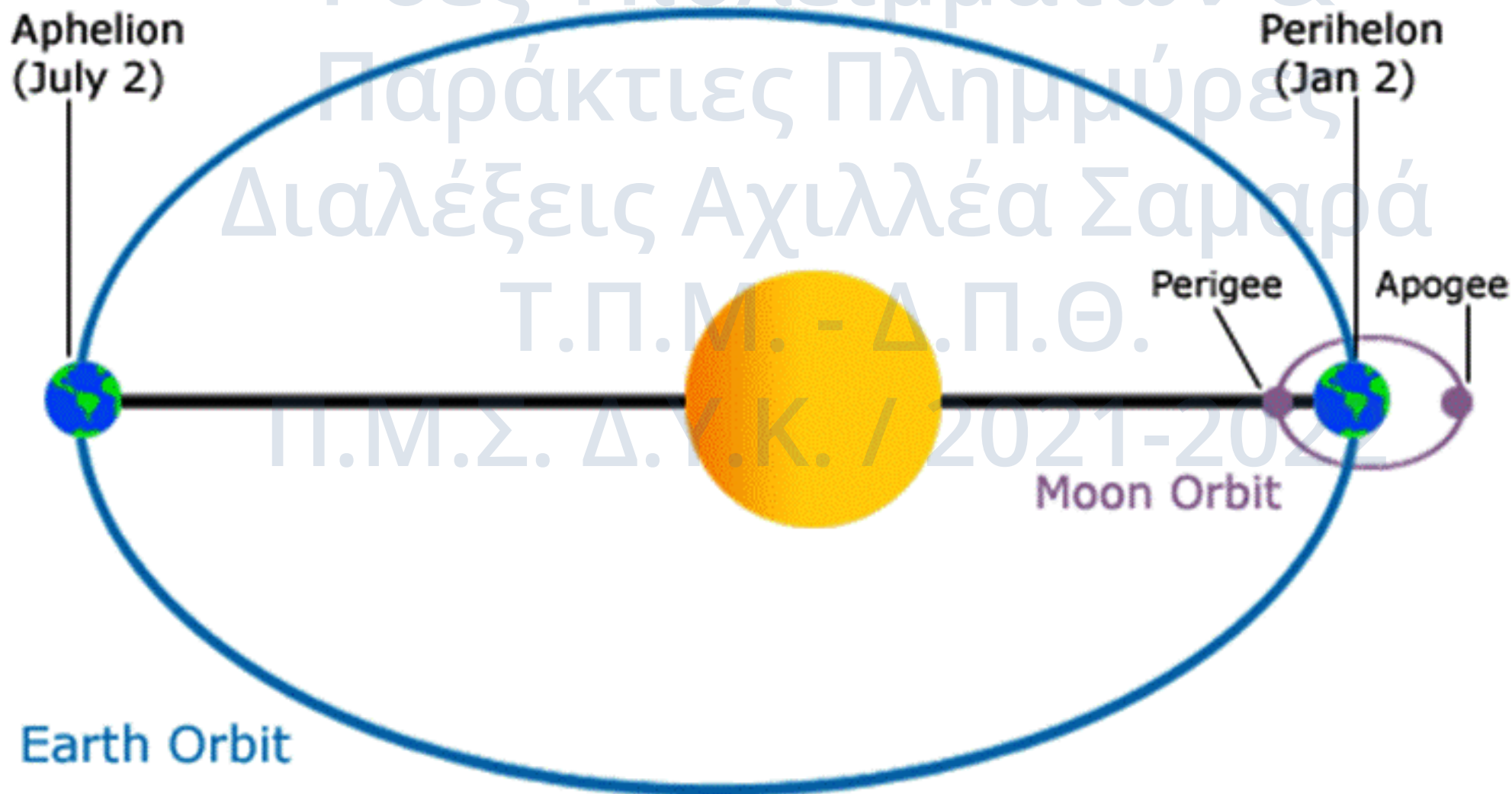


# Θαλάσσια Κυκλοφορία – Διακ. Στάθμης

## Αστρονομική παλίρροια

## Μοτίβα

- Σχετική θέση Γης – Σελήνης – Ηλίου



Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
Διαλέξεις Αχιλλέα Σαμαρά  
Τ.Π.Μ. - Δ.Π.Θ.  
Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022



## Αστρονομική παλίρροια

## Μοτίβα

- Παλίρροιες Συζυγιών (Spring Tides)
  - Γη – Σελήνη – Ήλιος σε ευθυγράμμιση (new / full moon)
  - Σεληνιακή Παλίρροια + Ηλιακή Παλίρροια = μέγιστη πλήμμη ή ελάχιστη ρηχία
- Παλίρροιες Τετραγωνισμού (Neap Tides)
  - Σελήνη – Ήλιος σε ορθή γωνία (one week after new / full moon)
  - Σεληνιακή Παλίρροια - Ηλιακή Παλίρροια = παλίρροιες μικρού εύρους

Δύο ζεύγη παλιρροιών συζυγιών και τετραγωνισμού  
κατά τη διάρκεια κάθε σεληνιακού μήνα



## Αστρονομική παλίρροια

## Συνιστώσες - Κύκλοι

- Διαφορές από τις παλίρροιες ισορροπίας ~ θέση στη Γη
  - Τροχιές πλανητών
  - Παρουσία ηπείρων
  - Βαθυμετρία & Τάσεις επιφάνειας/πτυθμένα
  - Αδρανειακές δυνάμεις
  - Επιφανειακά κύματα & Βαθμίδες πυκνότητας
- Κάθε γενεσιουργό αίτιο έχει τις δικές του ισχύ, συχνότητα και γωνία φάσης σε σχέση με τα υπόλοιπα
- Παρατηρούμενη παλίρροια = Σύνθεση της επίδρασης Σελήνης, Ηλίου και δευτερογενών παραγόντων
- Υπάρχουν ~390 παλιρροιακές συνιστώσες διαφορετικού εύρους και περιόδου





## Αστρονομική παλίρροια

## ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ - ΚΥΚΛΟΙ

- Σημαντικότερες παλιρροιακές συνιστώσες

Tidal Type	Symbol	Period (Solar Hour)	Relative Amplitude	Description
Semidiurnal	$M_2$	12.42	100.0	Principal lunar tide
	$S_2$	12.00	46.6	Principal solar tide
	$N_2$	12.66	19.1	Monthly variation in lunar distance
	$K_2$	11.97	12.7	Changes in declination of sun and moon
Diurnal	$K_1$	23.93	58.4	Solar-lunar constituent
	$O_1$	25.82	41.5	Principal lunar diurnal constituent
	$P_1$	24.07	19.3	Principal solar diurnal constituent
Longer	$M_f$	327.86	17.2	Moon's fortnightly constituent

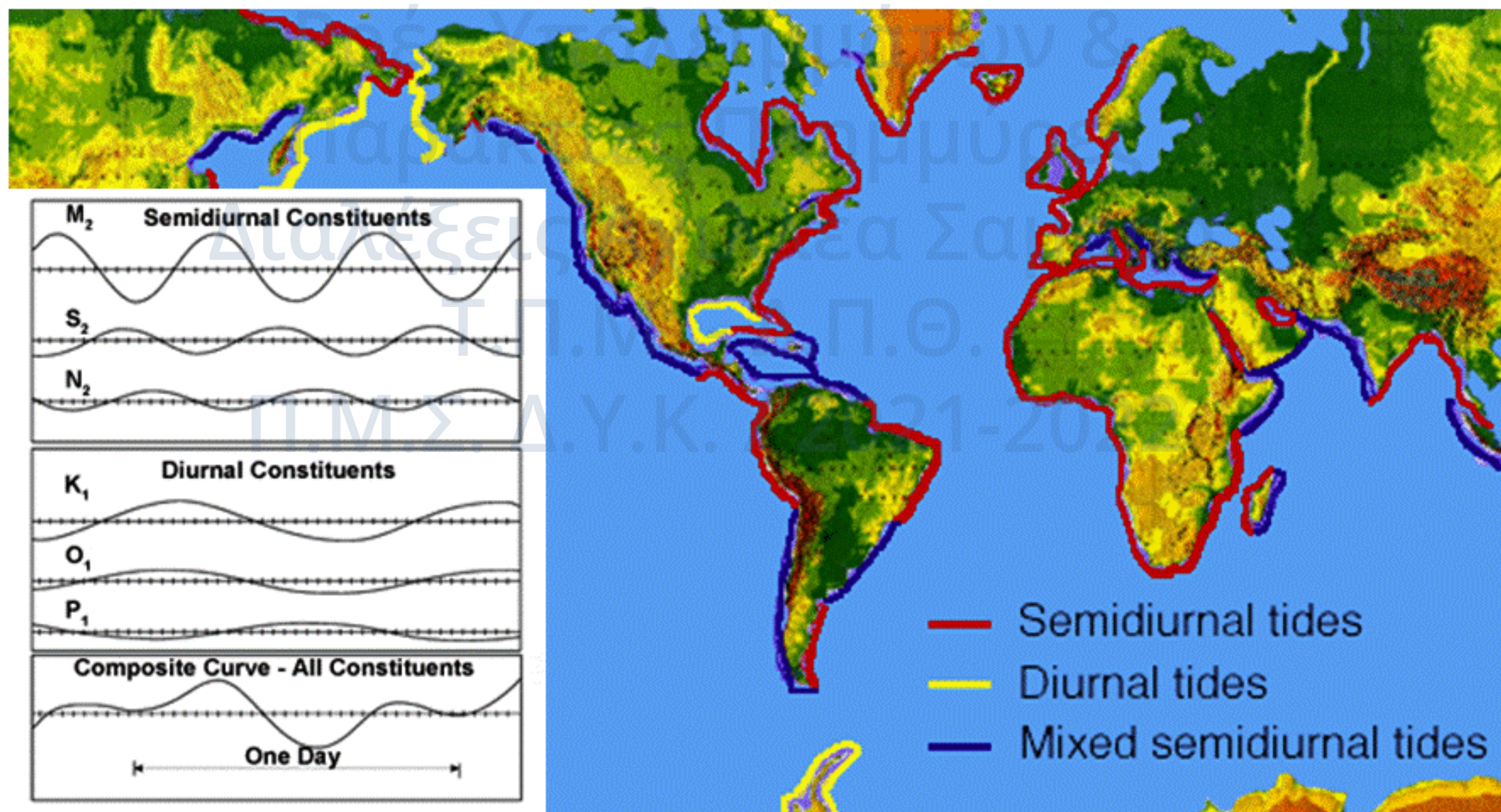




## Αστρονομική παλίρροια

## ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ - ΚΥΚΛΟΙ

- Γεωγραφική κατανομή παλιρροιακών κύκλων







## Ρεύματα πυκνότητας

- Οφείλονται στις χωρικές διαφοροποιήσεις της πυκνότητας του θαλασσινού νερού
  - Θερμική στρωμάτωση – Θερμοκλινές
  - Αλατική στρωμάτωση – Αλοκλινές
- Θερμοαλατική / Θερμόαλη κυκλοφορία
  - «Ιμάντας θερμοαλατικής/θερμόαλης κυκλοφορίας»  
*The Great Conveyor Belt*
  - Σημασία για τη θαλάσσια κυκλοφορία
  - Αλληλεπιδράσεις: κλιματική μεταβλητότητα / βιοποικιλότητα

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
Διαλέξεις Αχιλλέας Σαμαρά  
Π.Π.Μ. - Δ.Π.Θ.  
Π.Μ.Σ Δ.Υ.Κ. / 2021-2022

→ ΠΥΚΝΟΚΛΙΝΕΣ



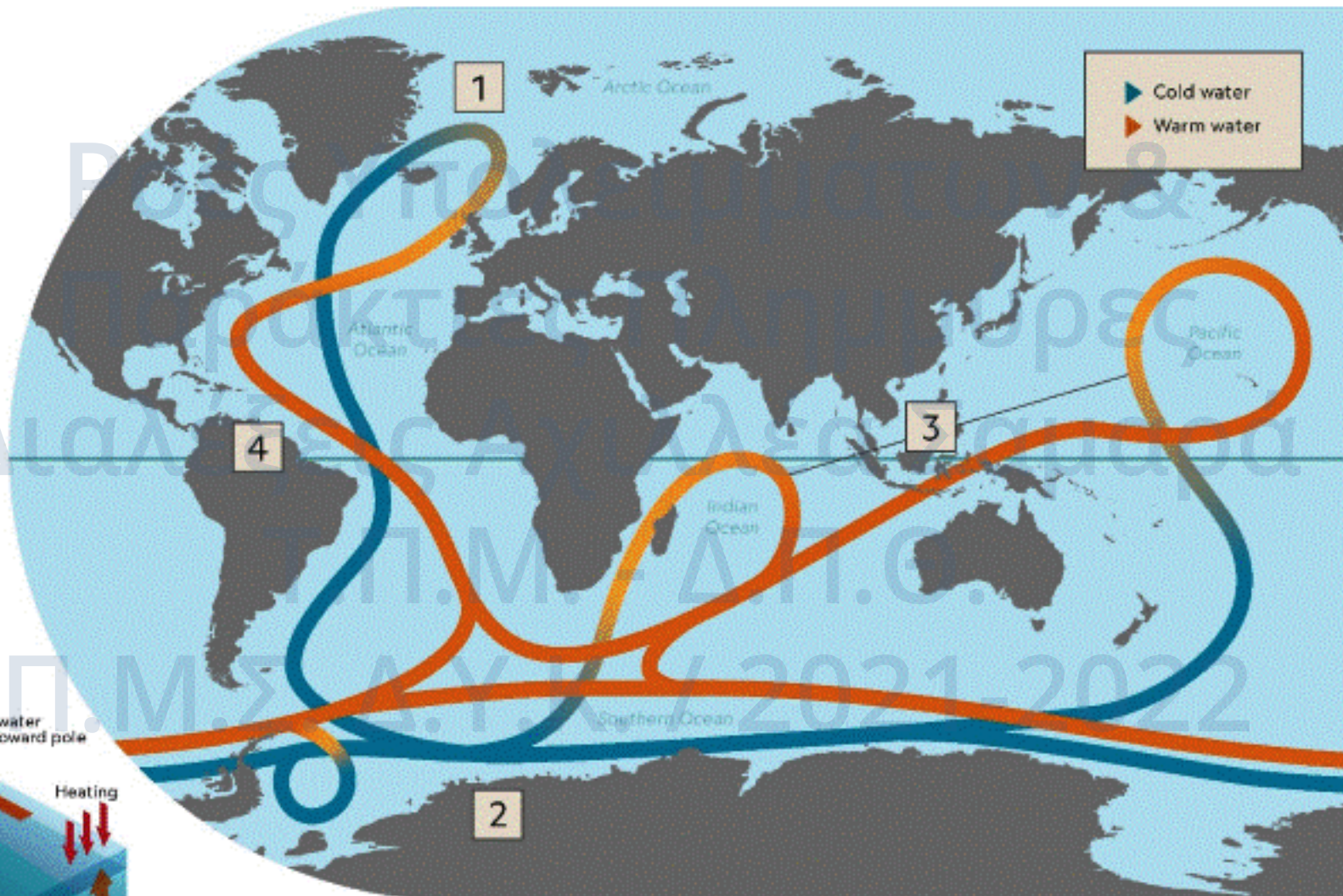
# Θαλάσσια Κυκλοφορία – Διακ. Στάθμης



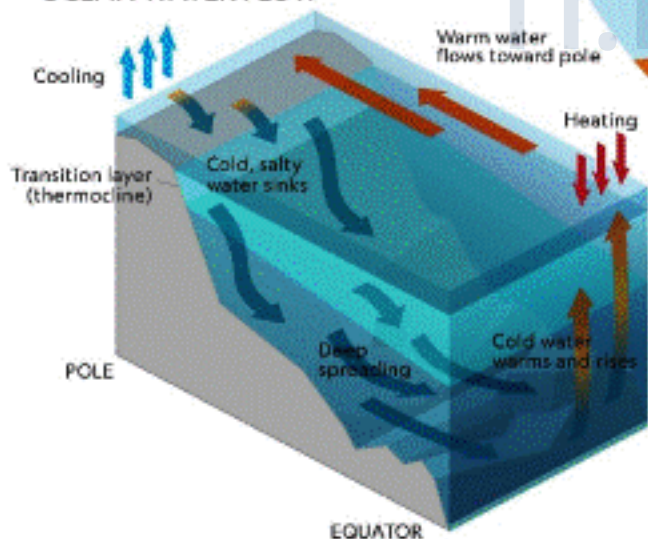
## Ρεύματα πυκνότητας

The global conveyor belt is a system of ocean currents that transport water around the world. While wind primarily propels surface currents, deep currents are driven by differences in water densities in a process called thermohaline circulation. Density depends on both the temperature (thermo) and salinity (haline) of the water. Along this conveyor belt, heat and nutrients are moved around the world in a leisurely 1000-year cycle.

As it transports heat, the global conveyor belt keeps Earth's climate stable. However, scientists have recently noticed a slowdown in ocean circulation. With climate change and rising temperatures, the process may slow down even more and bring extreme temperatures to different regions around the world.



### OCEAN WATER FLOW



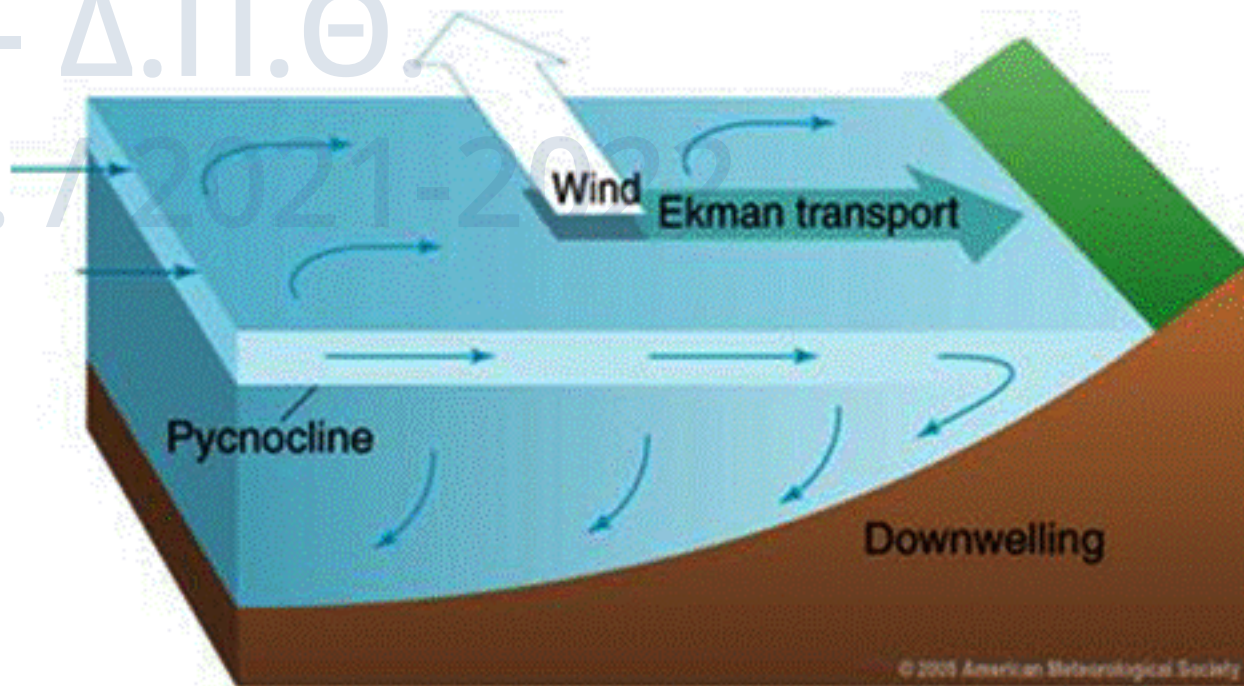
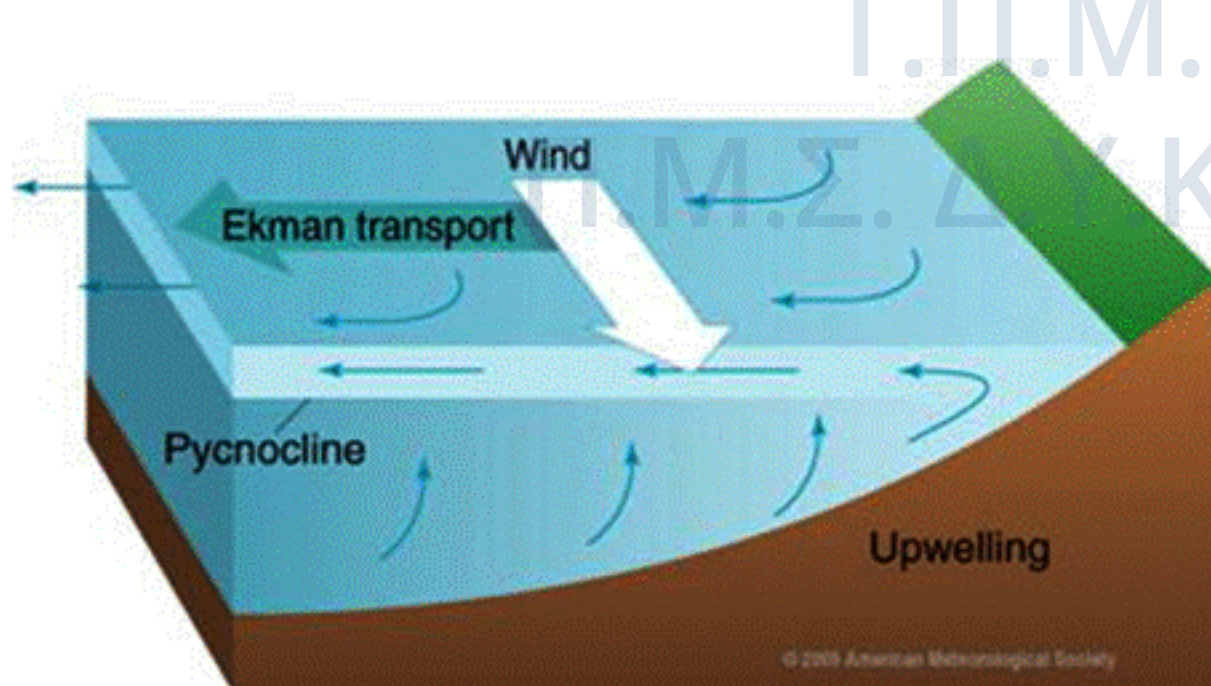
- 1 At the poles, cold ocean water becomes saltier and denser from evaporation and ice formation. The cold, salty, dense water sinks and slowly spreads.
- 2 Because there are no continents to block the water, the current can flow freely around Antarctica. Some water moves into the Indian Ocean while another current travels to the Pacific Ocean.
- 3 Deep water surfaces in a process called upwelling.
- 4 The warm surface current flows north toward Greenland, completing the cycle.





## Ρεύματα πυκνότητας

- Ανάβλυση και Καταβύθιση θαλασσίων μαζών  
*Upwelling / Downwelling*
  - Συνδυασμένη δράση ανέμου και διαφοράς πυκνότητας
  - Ρόλος κυκλωνικών/αντικυκλωνικών στροβίλων στην ανοιχτή θάλασσα
  - Επίδραση στις παράκτιες περιοχές

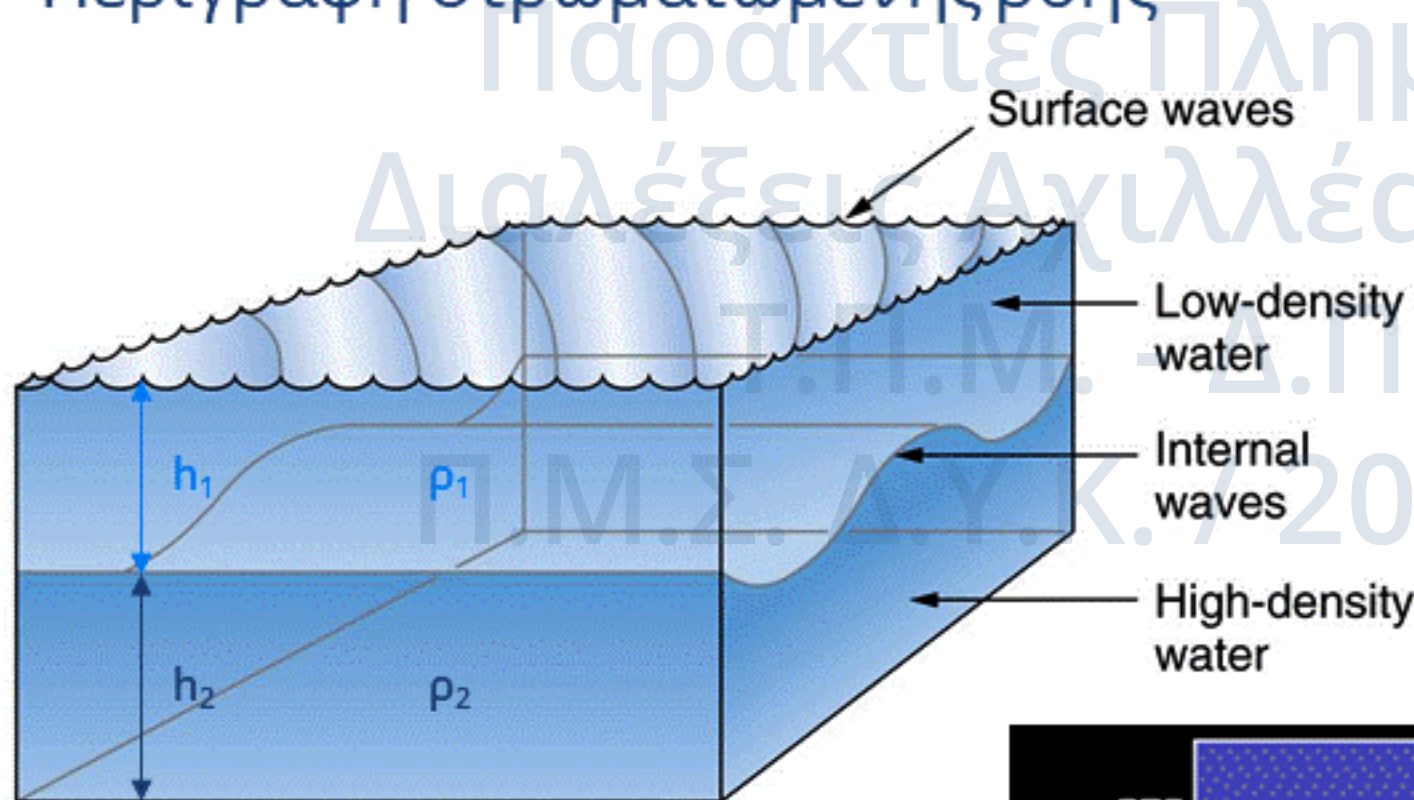






## Εσωτερικοί κυματισμοί

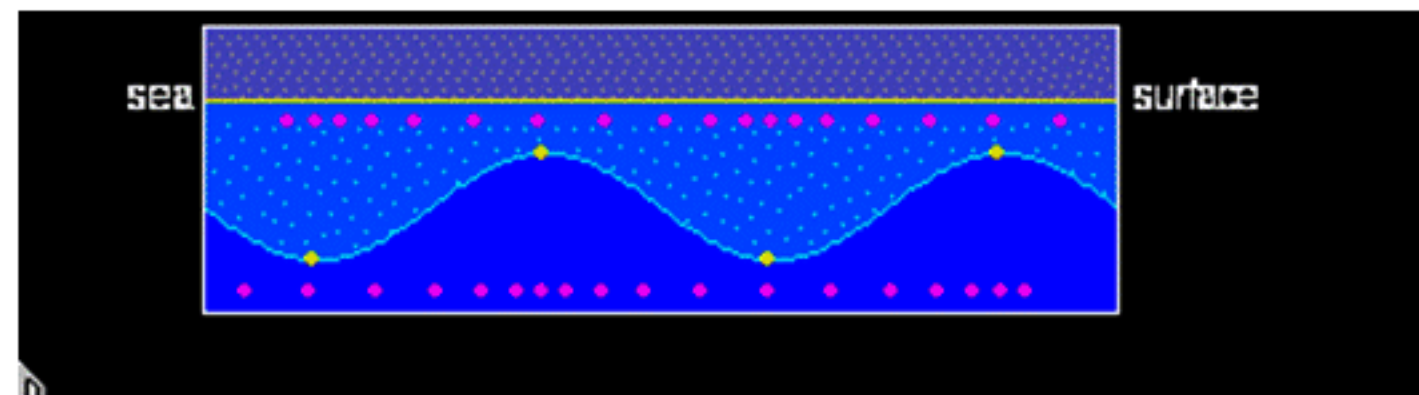
- Πολυπλοκότητα ταυτόχρονης περιγραφής της μεταβολής πυκνότητας και συνιστωσών ταχυτήτων
- Περιγραφή στρωματωμένης ροής



$$C = \sqrt{\frac{gh_1 h_2 (\rho_2 - \rho_1)}{h_1 \rho_2 + h_2 \rho_1}}$$

when  $h_1 \ll h_2$

$$C = \sqrt{\frac{gh_1 (\rho_2 - \rho_1)}{\rho_1}}$$





## Παράκτια ρεύματα

- Κυματογενές ρεύμα κατά μήκος της ακτογραμμής

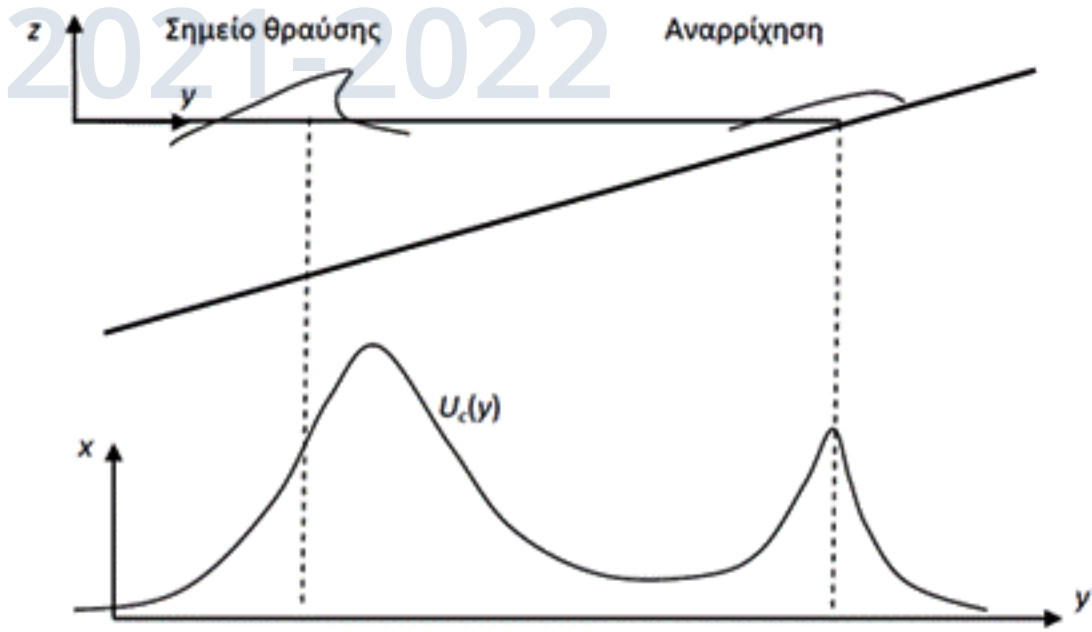
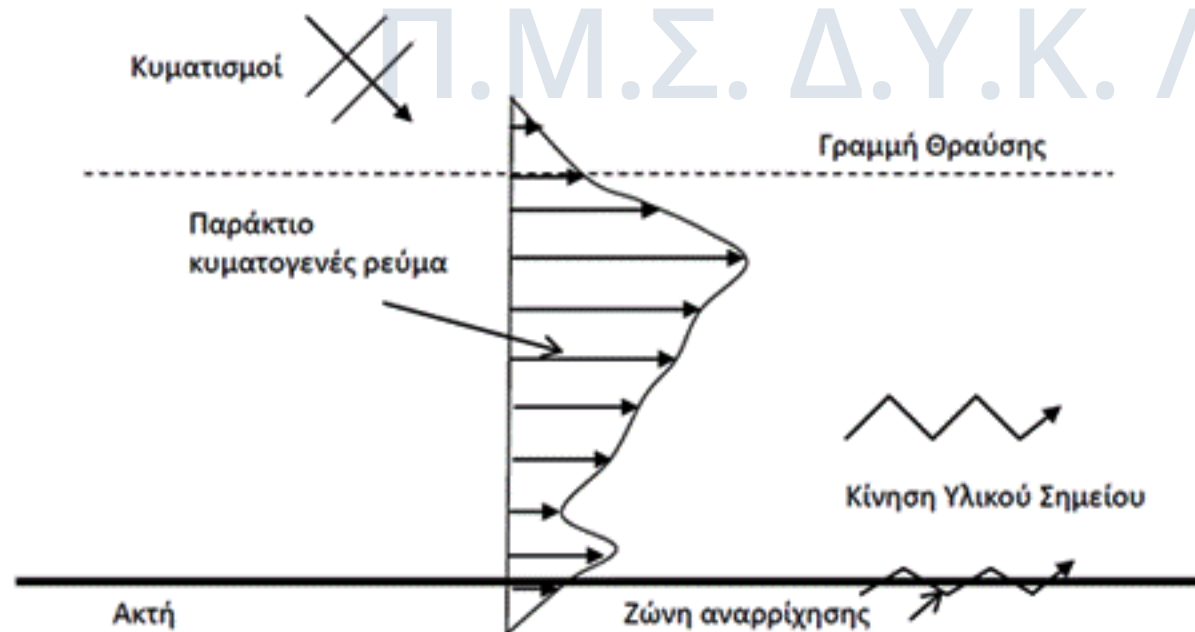
- ο Ζώνη θραύσης & Ζώνη αναρρίχησης

$$\bar{U}_c = 2.7 \frac{\gamma_b}{4} \sqrt{gd_b} \sin 2\alpha_b$$

Μέση, ως προς το πλάτος της ζώνης θραύσης, τιμή του παράκτιου κυματογενούς ρεύματος

$$U_{cR} = \sin \alpha_s \sqrt{2gR}$$

Η μέση, ως προς την περίοδο, ταχύτητα του ρεύματος στη ζώνη αναρρίχησης





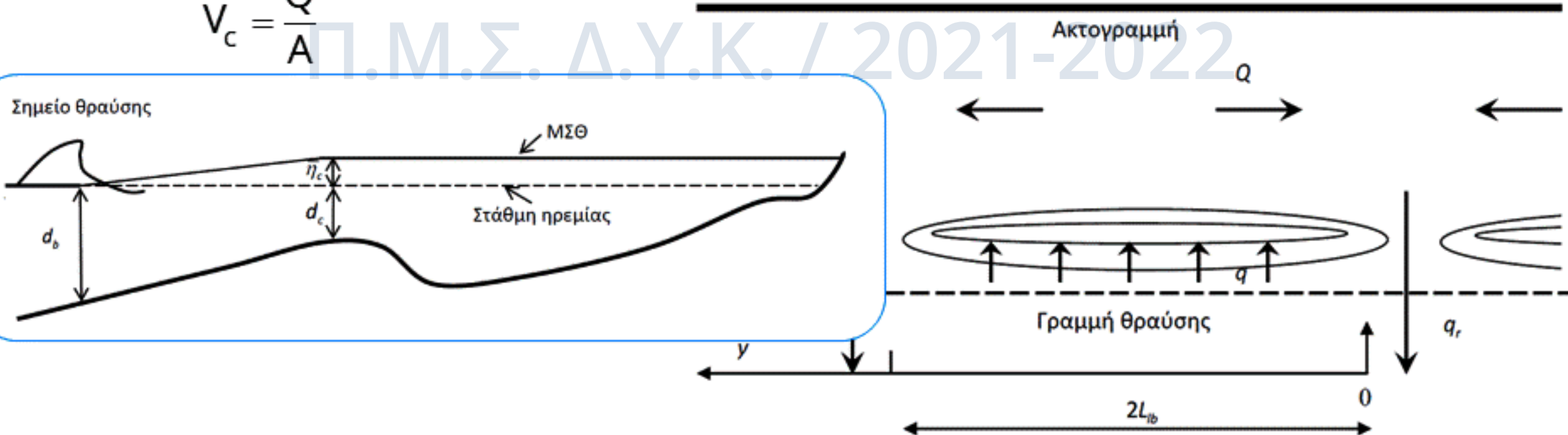
## Παράκτια ρεύματα

- Βελοειδές ρεύμα εγκάρσια στην ακτογραμμή (*rip current*)
  - Παρουσία ύψαλων αναβαθμών

$$\frac{Q}{A\sqrt{g\bar{\eta}_c}} = \sinh\left(\sqrt{2}\frac{h_c y}{A}\right) - \tanh\left(\sqrt{2}\frac{h_c L_{lb}}{A}\right) \cosh\left(\sqrt{2}\frac{h_c y}{A}\right)$$

- $A$ : εμβαδόν διατομής ρευστού (από κορυφή αναβαθμού έως ακτογραμμή)
- $h_c$ : ελάχιστο βάθος (κορυφή αναβαθμού)
- $\bar{V}_c$ : μέση ταχύτητα ρεύματος

$$\bar{V}_c = \frac{Q}{A}$$







## Παράκτια ρεύματα

- Βελοειδές ρεύμα εγκάρσια στην ακτογραμμή (*rip current*)

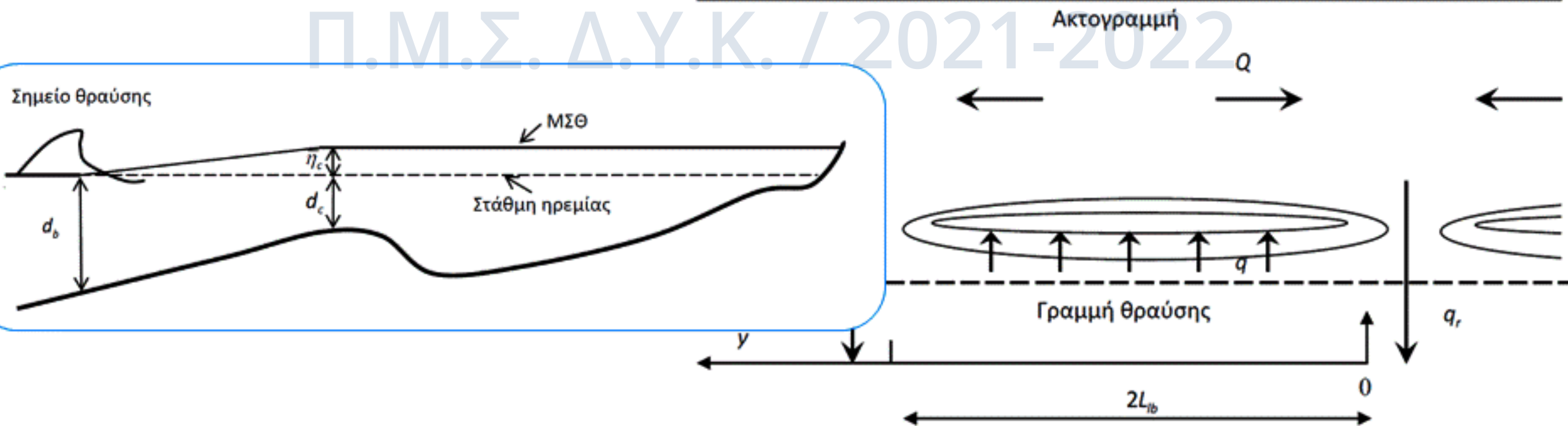
- Παρουσία ύψων αναβαθμών

$$q_r = 2Q_{\max} = 2A\sqrt{g\bar{\eta}_c} \tanh\left(\sqrt{2}\frac{h_c L_{lb}}{A}\right)$$

$$\bar{v}_{cr} = \frac{q_r}{L_r h}$$

- $\bar{v}_{cr}$ : μέση τιμή ταχύτητας βελοειδούς ρεύματος
- $L_r$ : πλάτος βελοειδούς ρεύματος

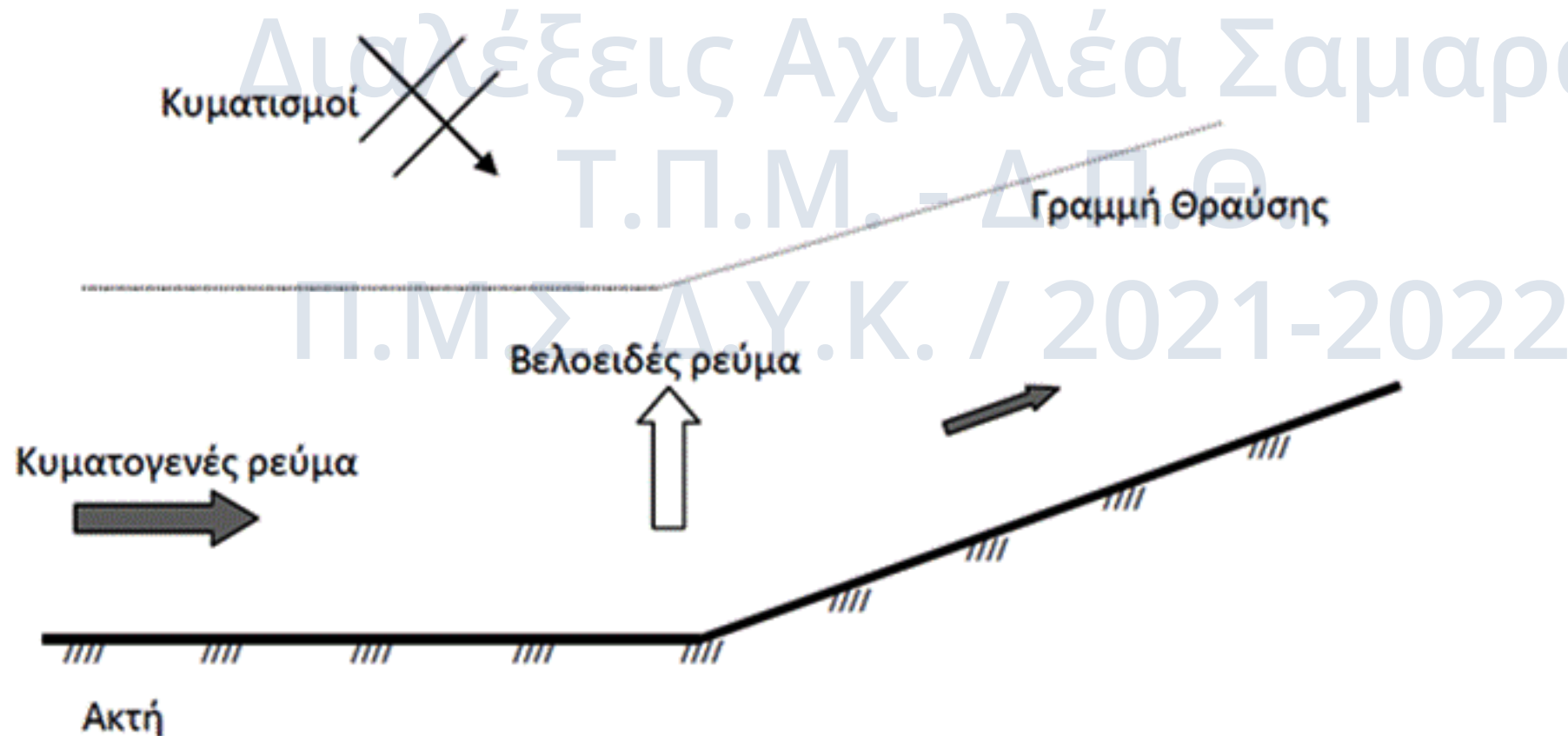
Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
Διαλέξεις Αχιλλέας Σαμαράς  
Τ.Π.Μ. - Δ.Π.Θ.  
Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022





## Παράκτια ρεύματα

- Βελοειδές ρεύμα εγκάρσια στην ακτογραμμή (*rip current*)
  - Παρουσία ύψων αναβαθμών
  - Αλλαγή βυθομετρίας ή/και προσανατολισμού ακτής



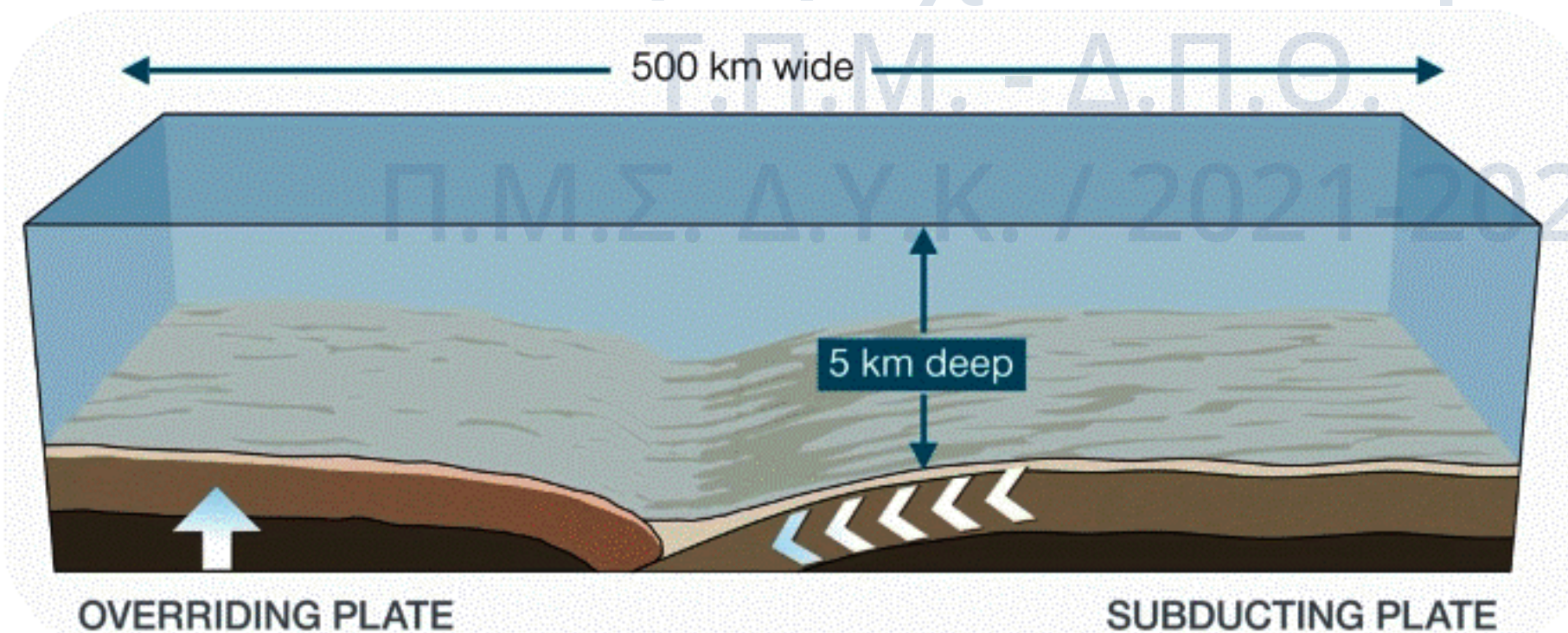




## Tsunamis

- Τσουνάμι
  - 津 = tsu = λιμάνι + 波 = nami = κύμα
- Γένεση κύματος λόγω απότομης μετατόπισης μεγάλου όγκου νερού

υποβρύχιοι  
σεισμοί



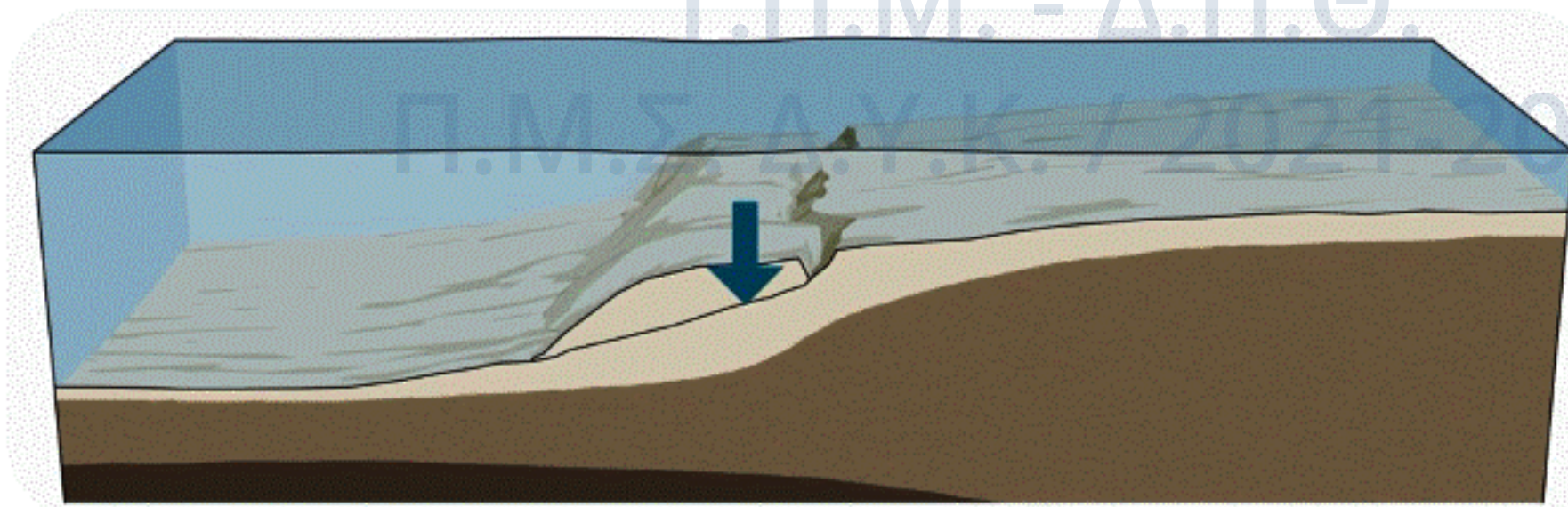




## Tsunamis

- Τσουνάμι
  - 津 = tsu = λιμάνι + 波 = nami = κύμα
- Γένεση κύματος λόγω απότομης μετατόπισης μεγάλου όγκου νερού

υποβρύχιοι  
σεισμοί



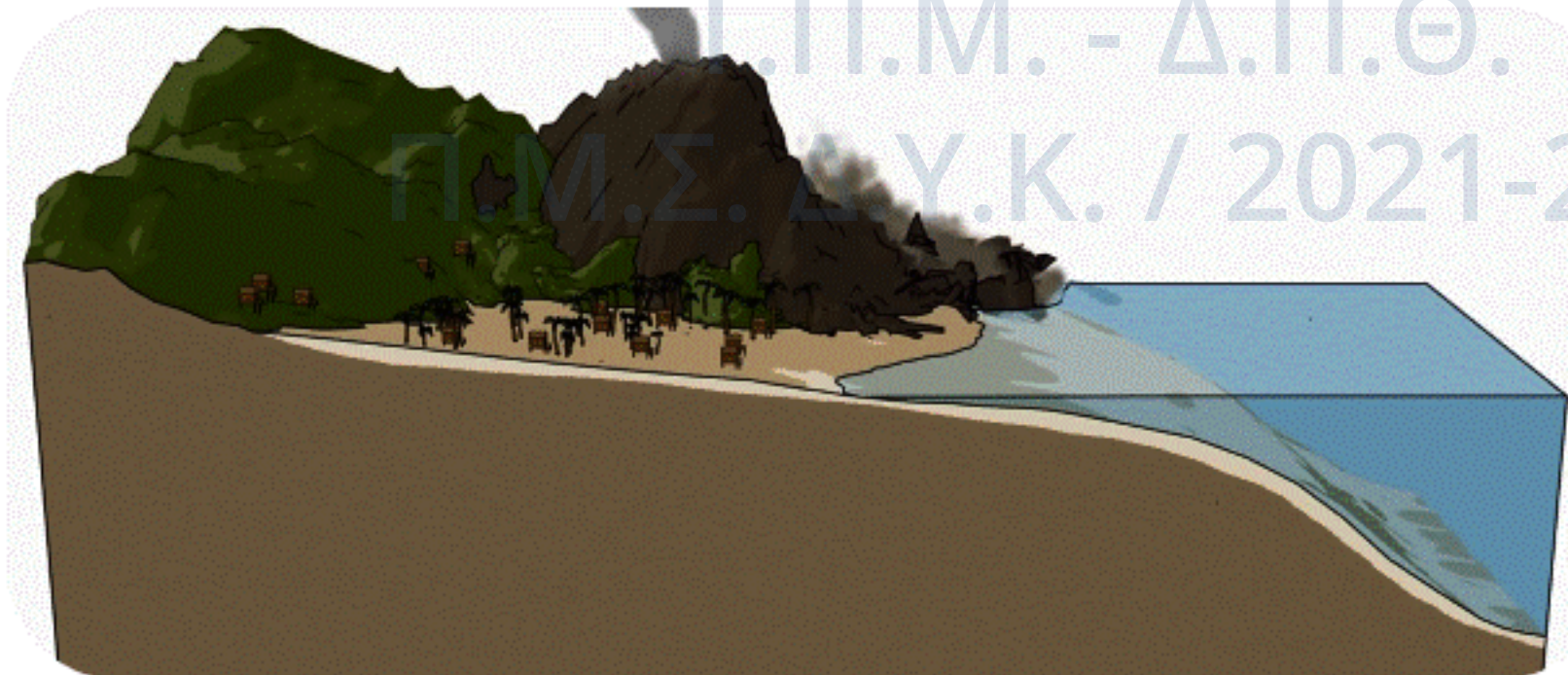
υποβρύχιες  
κατολισθήσεις





## Tsunamis

- Τσουνάμι
  - 津 = tsu = λιμάνι + 波 = nami = κύμα
- Γένεση κύματος λόγω απότομης μετατόπισης μεγάλου όγκου νερού



υποβρύχιοι  
σεισμοί

υποβρύχιες  
κατολισθήσεις

εκρήξεις  
ηφαιστείων

# Θαλάσσια Κυκλοφορία – Διακ. Στάθμης

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
ΠΜΣ ΔΥΚ  
Διαλέξεις 5<sup>η</sup> - 6<sup>η</sup>  
Αχιλλέας Σαμαράς



## Tsunamis

- Χαρακτηριστικά
  - μικρά ύψη κύματος στην ανοιχτή θάλασσα
  - πολύ μεγάλα μήκη κύματος
  - πολύ μεγάλες ταχύτητες διάδοσης
- Διαφορές με τυπικούς κυματισμούς

	Ανεμογενής κυματισμός	Τσουνάμι
Μήκος (L)	~ 10 m ÷ 200 m	÷ x · 100 km
Ταχύτητα διάδοσης (C)	~ 10 km/h ÷ 50 km/h	÷ x · 100 km/h

- Στοιχεία θραύσης, αναρρίχησης, ανάκλασης ...
- Ταλάντωση υδάτων λιμενολεκανών ...





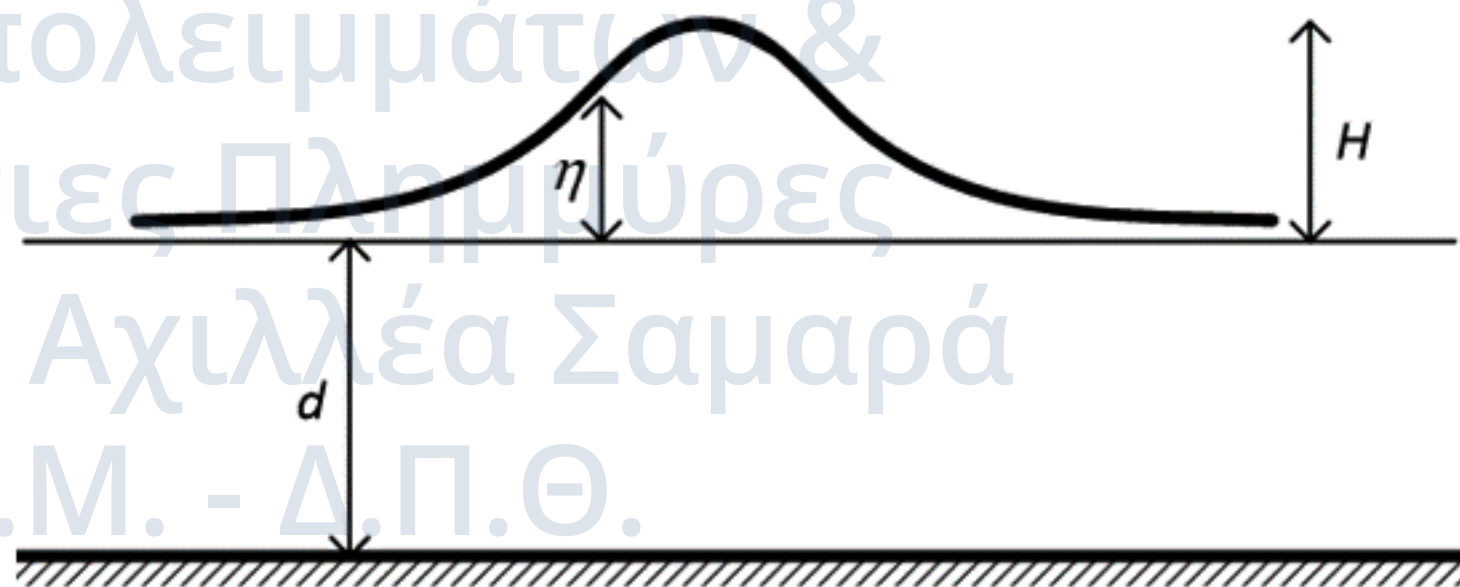
## Tsunamis

- Θεωρία μοναχικού κύματος

$$\eta = H \operatorname{sech}^2 \left( \sqrt{\frac{3H}{4(H+d)}} \frac{x - Ct}{d} \right)$$

$$\operatorname{sech}(s) = 1/\cosh(s)$$

$$C = \sqrt{g(d+H)}$$



- Αναρρίχηση θραυόμενου μοναχικού κύματος

$$\frac{R}{H} = 2.955 \xi^{0.395} \quad \xi = \tan \beta / \sqrt{H_0/L_0}$$

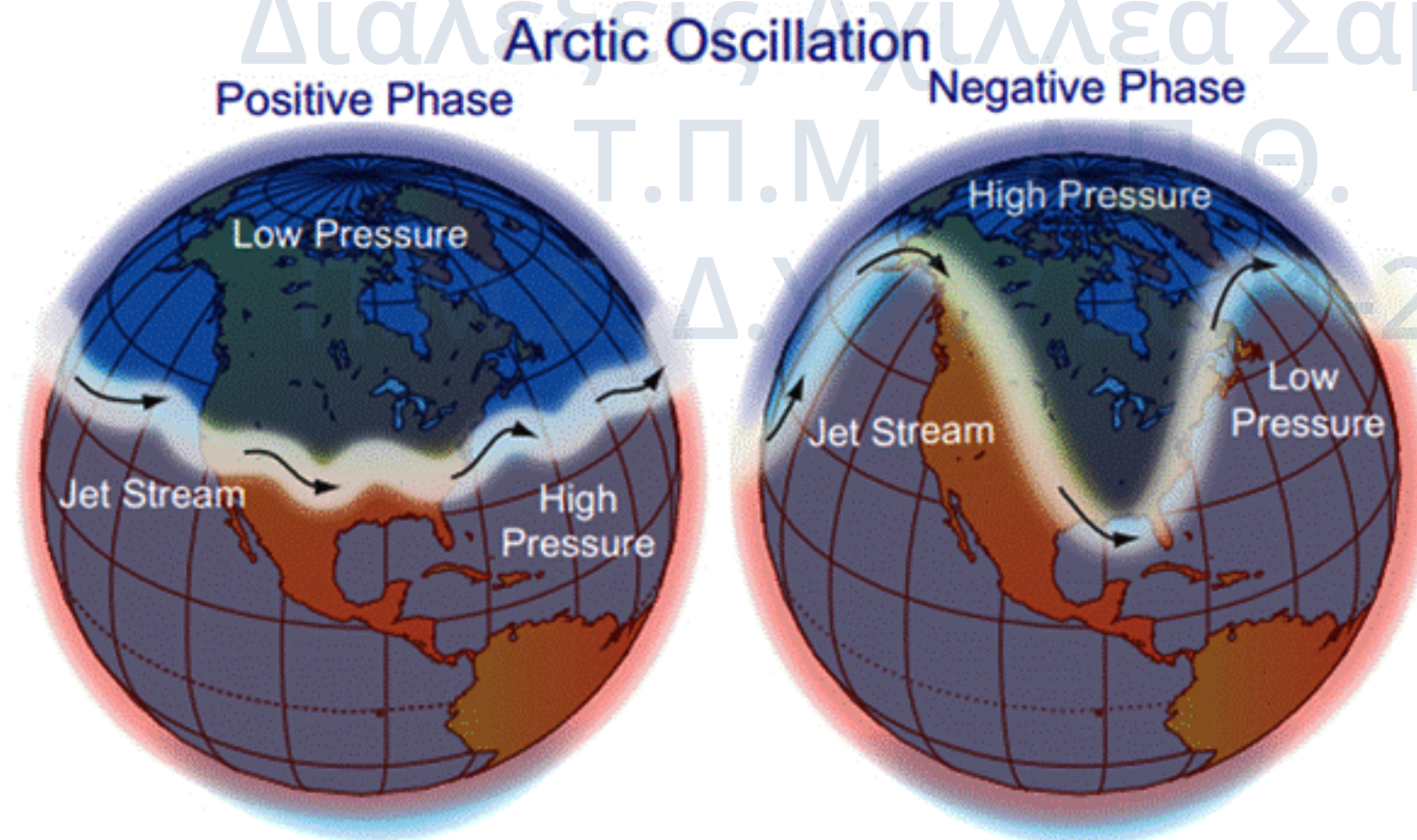
- Ταχύτητα καθόδου κύματος

$$u_R = \sqrt{2g(R-z)}$$



## Μακροπρόθεσμες μεταβολές στάθμης

- Φυσικές διακυμάνσεις κλίματος
  - Αλλαγές στο κλίμα και τα καιρικά φαινόμενα λόγω μεταβολών στα μοτίβα θαλάσσιας κυκλοφορίας και ατμοσφαιρικής πίεσης
  - Arctic Oscillation (AO) & Pacific Decadal Oscillation (PDO) - El Niño

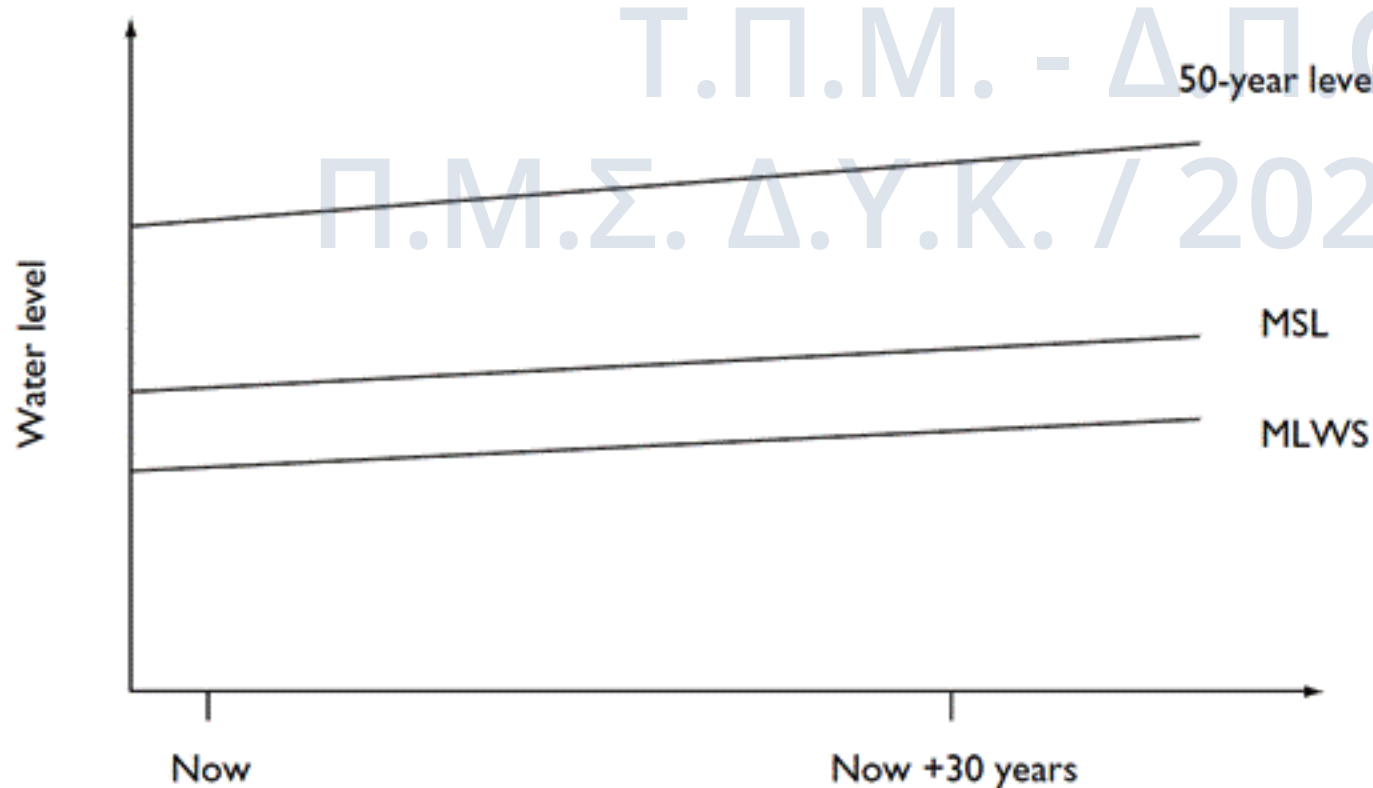






## Μακροπρόθεσμες μεταβολές στάθμης

- Φυσικές διακυμάνσεις κλίματος
  - Αλλαγές στο κλίμα και τα καιρικά φαινόμενα λόγω μεταβολών στα μοτίβα θαλάσσιας κυκλοφορίας και ατμοσφαιρικής πίεσης
  - Arctic Oscillation (AO) & Pacific Decadal Oscillation (PDO) - El Niño
  - Περίοδοι επαναφοράς ακραίων φαινομένων → σημασία για τις κατασκευές

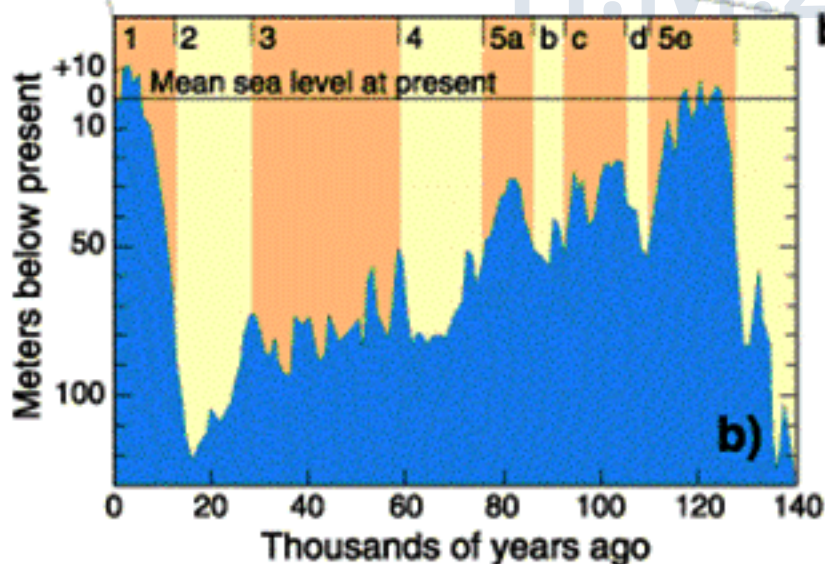
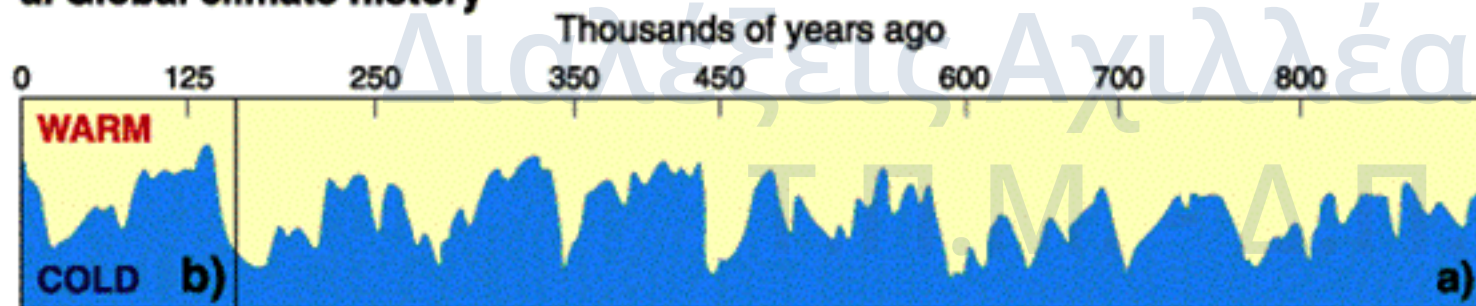




## Μακροπρόθεσμες μεταβολές στάθμης

- Ευστατική μεταβολή στάθμης θάλασσας
  - Κύκλοι δημιουργίας/τήξης παγετώνων
  - Θερμική συστολή/διόγκωση θαλασσίων μαζών

a. Global climate history



b. Late Quaternary sea-level history

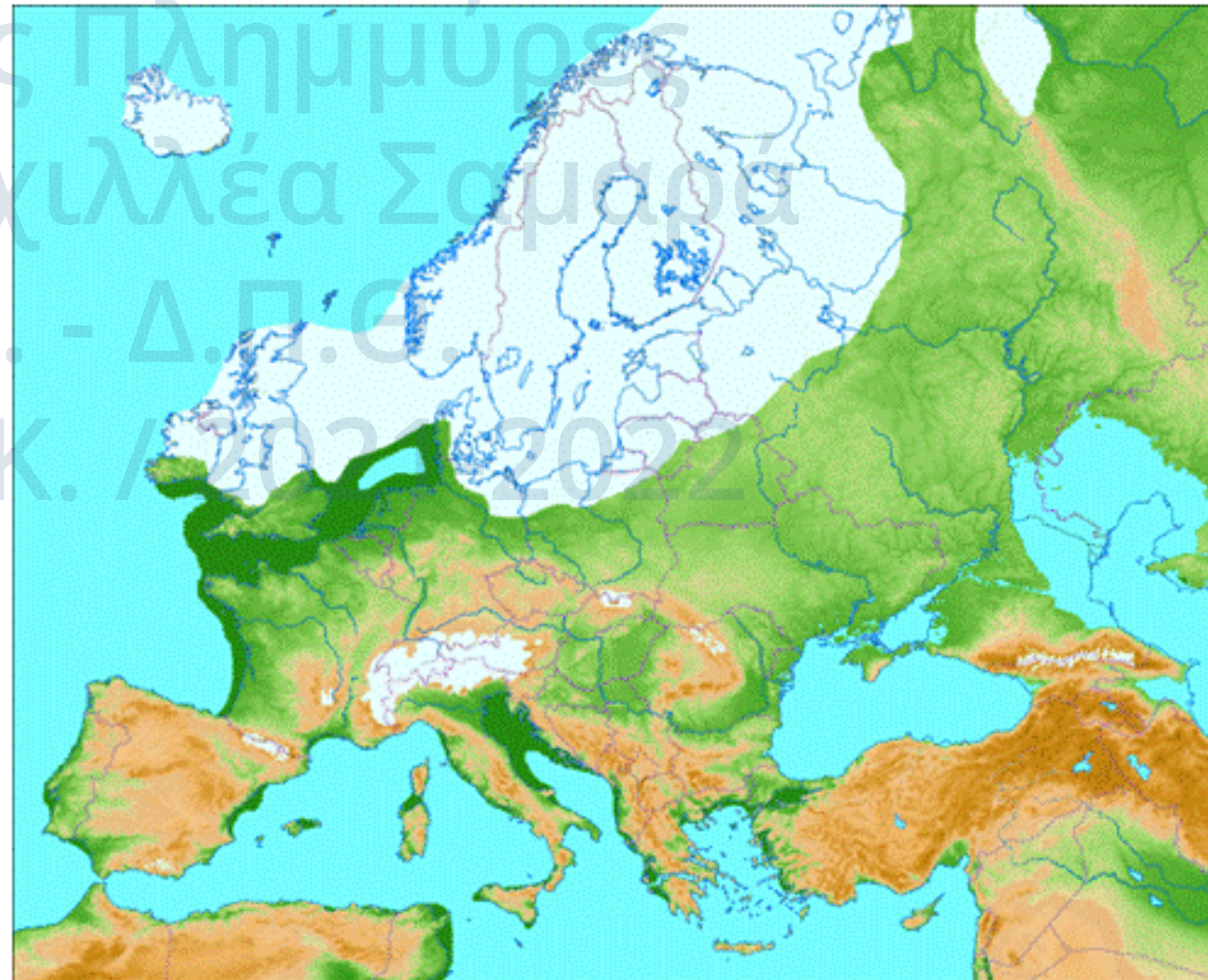
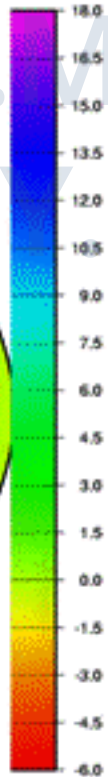
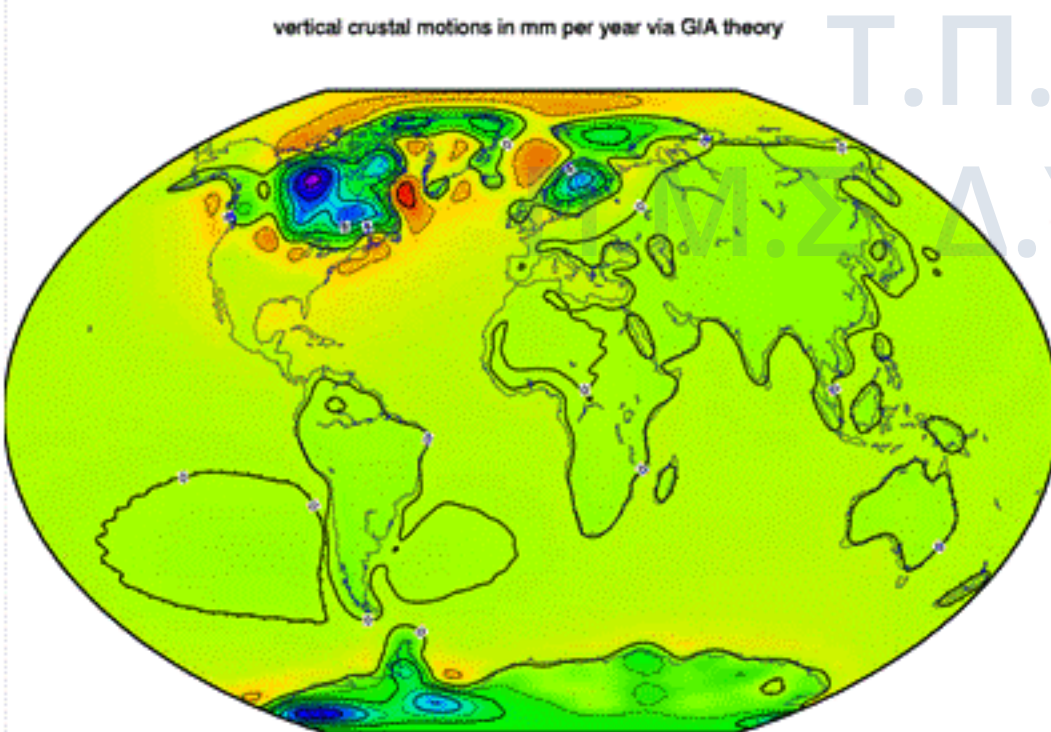
- Πριν από ~15,000 χρόνια η ΜΣΘ ήταν ~120m κάτω από την τρέχουσα στάθμη
- Δύσκολη εκτίμηση τρέχοντος ρυθμού μεταβολής (~ 1-3 mm/year)



## Μακροπρόθεσμες μεταβολές στάθμης

- Ισοστατική παραμόρφωση λιθόσφαιρας
  - Προσαρμογή φλοιού Γης στην αύξηση/μείωση της πίεσης από τη δημιουργία/τήξη παγετώνων
  - Συνήθως αναφέρεται στην τελευταία παγετωνική περίοδο

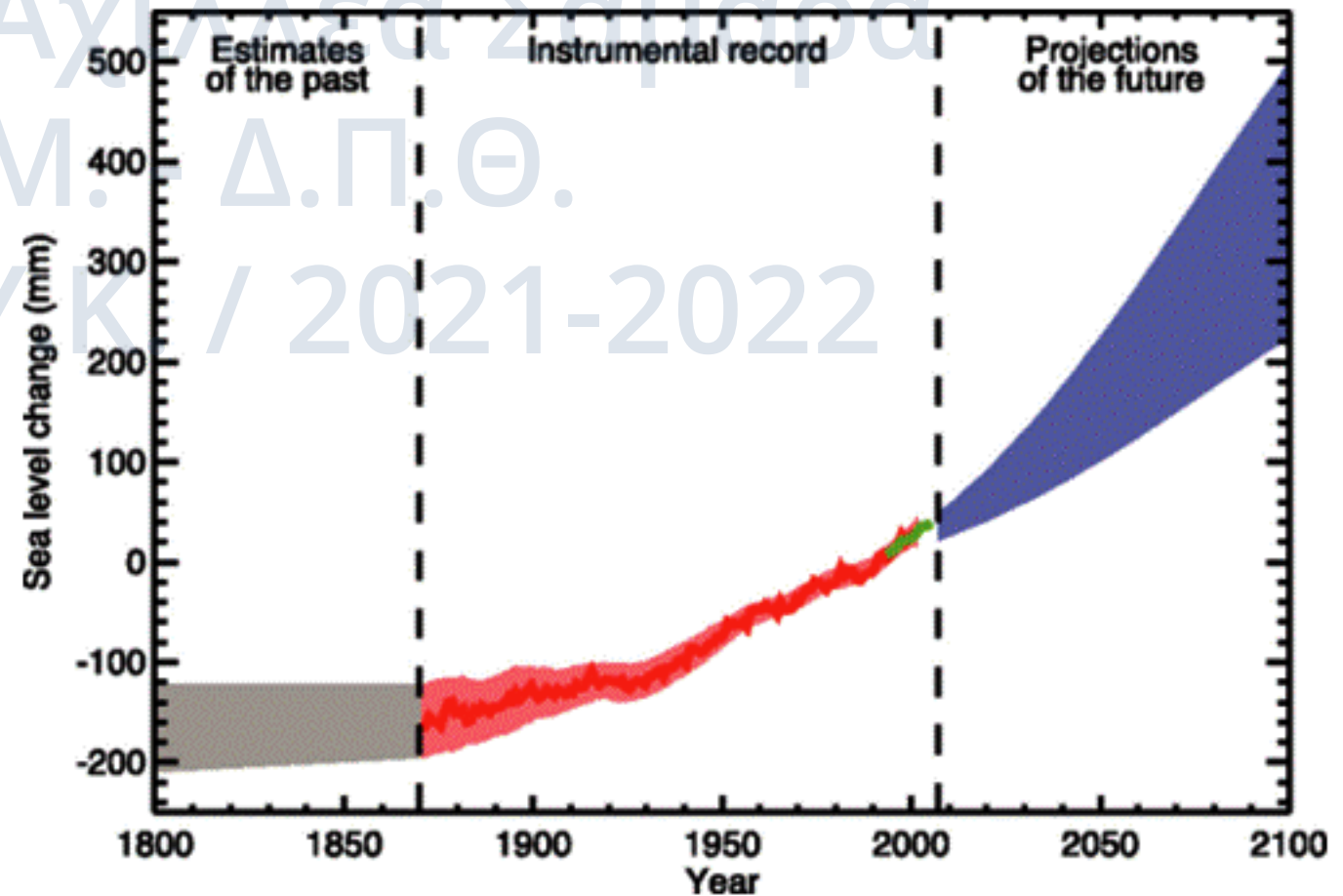
vertical crustal motions in mm per year via GIA theory





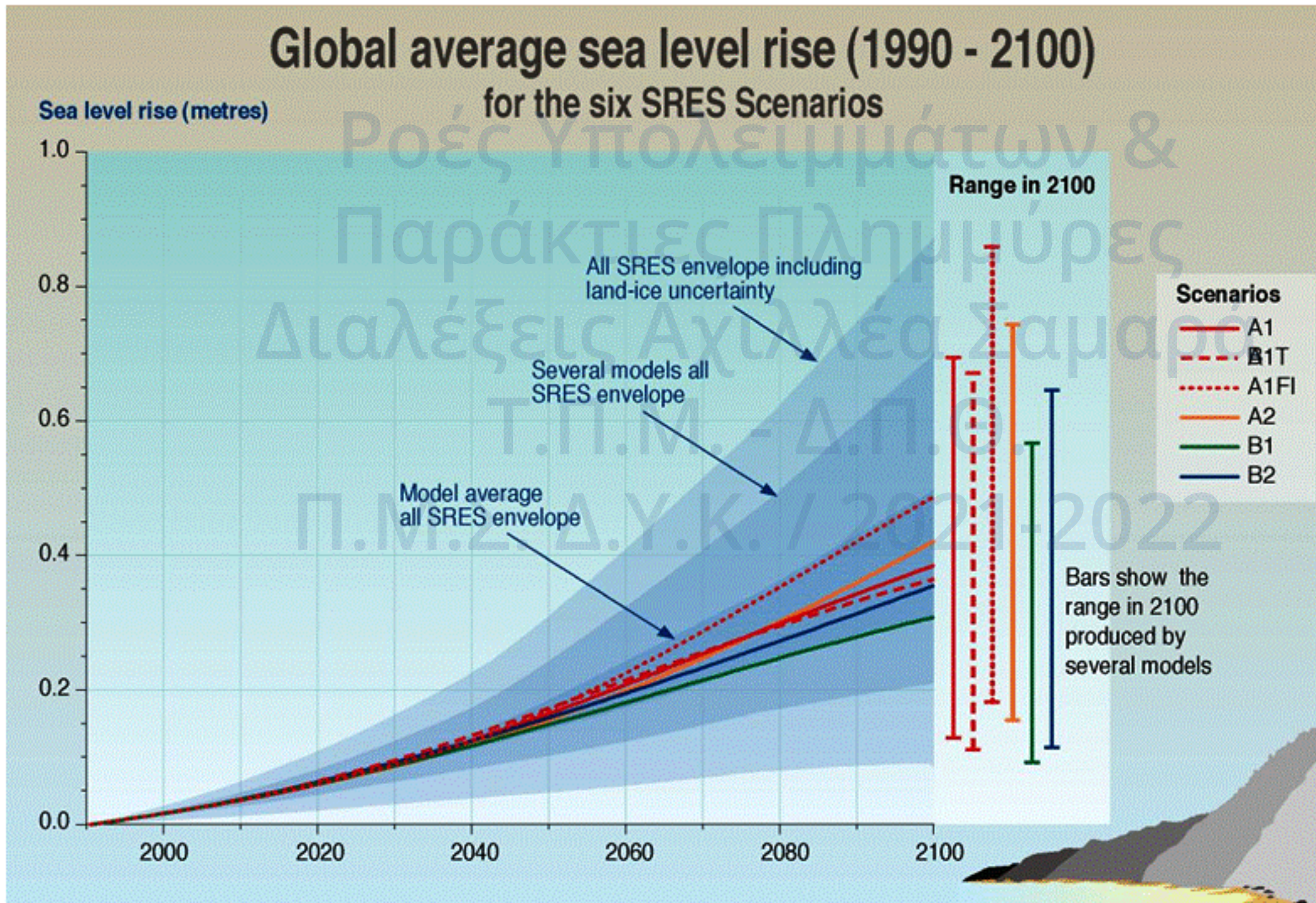
## Μακροπρόθεσμες μεταβολές στάθμης

- Κλιματική Αλλαγή
  - Άνοδος ΜΣΘ λόγω θέρμανσης του πλανήτη
  - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Προβλέψεις με βάση σενάρια εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, αερολυμάτων και άλλων ρυπαντών (*Emission Scenarios - SRES*)





## Μακροπρόθεσμες μεταβολές στάθμης





## Παράδειγμα 3<sup>ο</sup>

Δίνεται άνεμος ταχύτητας  $20 \text{ m/s}$  ο οποίος πνέει εγκάρσια σε ακτή. Το μήκος της ηπειρωτικής υφαλοκρηπίδας στην εν λόγω περιοχή είναι ίσο με  $150 \text{ km}$  και το μέσο βάθος ίσο με  $55 \text{ m}$ .

Ζητείται να υπολογιστεί η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας στην υπό μελέτη παράκτια περιοχή.

Να εξεταστούν οι συνδυασμοί μέγιστων και ελάχιστων προτεινόμενων τιμών των συντελεστών: τριβής στην επιφάνεια της θάλασσας και  $n_{bs}$ .







## Παράδειγμα 3<sup>ο</sup>

## Αποτελέσματα

$$\tau_{sx} = \rho C_s W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$\tau_{sy} = \rho C_s W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$U_{10} = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}$$

$$C_s = 1.2 \cdot 10^{-6} - 3.4 \cdot 10^{-6}$$

$$\zeta_s = d_o \left( \sqrt{1 + \frac{2n_{bs} \tau_{sy} L_c}{\rho g d_o^2}} - 1 \right)$$

$$\frac{\tau_{sy}}{\rho} = C_s W_y^2 \quad n_{bs} = 1.15 - 1.30$$

$$\left( \frac{\tau_{sy}}{\rho} \right)_1 = C_{s,\min} W_y^2 = 4.8 \cdot 10^{-4}$$

$$\left( \frac{\tau_{sy}}{\rho} \right)_2 = C_{s,\max} W_y^2 = 1.4 \cdot 10^{-3}$$

$$\zeta_{s,11} = \frac{\left( \frac{\tau_{sy}}{\rho} \right)_1 n_{bs,\min}}{\left( \frac{\tau_{sy}}{\rho} \right)_1 n_{bs,\max}} \rightarrow = 0.153\text{m}$$

$$\zeta_{s,12} = \frac{\left( \frac{\tau_{sy}}{\rho} \right)_1 n_{bs,\max}}{\left( \frac{\tau_{sy}}{\rho} \right)_1 n_{bs,\max}} \rightarrow = 0.173\text{m}$$

$$\zeta_{s,21} = \frac{\left( \frac{\tau_{sy}}{\rho} \right)_2 n_{bs,\min}}{\left( \frac{\tau_{sy}}{\rho} \right)_2 n_{bs,\max}} \rightarrow = 0.433\text{m}$$

$$\zeta_{s,22} = \frac{\left( \frac{\tau_{sy}}{\rho} \right)_2 n_{bs,\max}}{\left( \frac{\tau_{sy}}{\rho} \right)_2 n_{bs,\max}} \rightarrow = 0.490\text{m}$$

## Παράδειγμα 4<sup>ο</sup>

Θεωρείται υποβρύχιος σεισμός σε ωκεάνια περιοχή, ο οποίος προκαλεί τη δημιουργία κυματισμού tsunami με μήκος **14 km** και ύψος **2.5 m**. Το tsunami προσεγγίζει παράκτια περιοχή και αναρριχάται σε ακτή με κλίση **1:35**.

Ζητούνται: Διαλέξεις Αχιλλέα Σαμαρά

- (α) Το μέγιστο ύψος αναρρίχησης του κύματος και την έκταση της ζώνης πλημμύρισης.
- (β) Η ταχύτητα καθόδου του κύματος κοντά στην ακτογραμμή.





## Παράδειγμα 4<sup>ο</sup>

## Αποτελέσματα

$$(α) \quad \xi = \frac{\tan\beta}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} = \dots = 2.138$$

$$\frac{R}{H} = 2.955 \xi^{0.395} \Rightarrow$$

$$R = H \cdot 2.955 \xi^{0.395} = \dots = 9.97\text{m}$$

$$\Delta y = R / \tan\beta = \dots \cong 349\text{m}$$

$$(β) \quad u_R = \sqrt{2g(R-z)} = \xrightarrow{z=0} \cong 14\text{m/s}$$





**Σας ευχαριστώ για την προσοχή σας**

Ροές Υπολειμμάτων &  
Παράκτιες Πλημμύρες  
Διαλέξεις Αχιλλέα Σαμαρά

**Αχιλλέας Σαμαράς**

Επίκουρος Καθηγητής

Π.Μ.Σ. Δ.Υ.Κ. / 2021-2022

[achsamar@civil.duth.gr](mailto:achsamar@civil.duth.gr) • [www.achilleassamaras.com](http://www.achilleassamaras.com)







## Παραπομπή 1

- Υπολογισμός μήκους κύματος από την πεπλεγμένη εξίσωση

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right) \xrightarrow{L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi}} L = L_0 \cdot \tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right)$$

- επίλυση με επαναληπτική διαδικασία
  - Επίλυση με  $L = L_1 = L_0$  στο δεύτερο μέρος της εξίσωσης  $\Rightarrow L_2$
  - Έλεγχος σύγκλισης  $L_1$  και  $L_2$
  - Επανάληψη πρώτου βήματος με  $L = L_2$
  - Κ.Ο.Κ.



## Παραπομπή 1

- Υπολογισμός μήκους κύματος από την πεπλεγμένη εξίσωση

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right) \xrightarrow{L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi}} L = L_0 \cdot \tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right)$$

- επίλυση με πίνακες Wiegel

- Υπολογισμός  $d/L_0$
  - Εύρεση  $d/L \Rightarrow$  Υπολογισμός  $L$
- \* Έλεγχος ορθής χρήσης πινάκων με βάση την εξίσωση*

APPENDIX 1. TABLE OF FUNCTIONS OF  $d/L_0$

$d/L_0$	$d/L$	$2\pi d/L$	$\tanh \frac{2\pi d/L}{L}$	$\sinh \frac{2\pi d/L}{L}$	$\cosh \frac{2\pi d/L}{L}$	$K$	$4\pi d/L$	$\sinh \frac{4\pi d/L}{L}$	$\cosh \frac{4\pi d/L}{L}$	$n$	$C_c/C_0$	$H/H_0$	$M$
0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0		
.0001000	.003990	.02507	.02506	.02507	1.0003	.9997	.05014	.05016	1.001	.9998	.02506	4.467	7,855
.0002000	.005643	.03546	.03544	.03547	1.0006	.9994	.07091	.07097	1.003	.9996	.03543	3.757	3,928
.0003000	.006912	.04343	.04340	.04344	1.0009	.9991	.08686	.08697	1.004	.9994	.04338	3.395	2,620
.0004000	.007982	.05015	.05011	.05018	1.0013	.9987	.1003	.1005	1.005	.9992	.05007	3.160	1,965
.0005000	.008925	.05608	.05602	.05611	1.0016	.9984	.1122	.1124	1.006	.9990	.05596	2.980	1,570