



Ακτομηχανική και λιμενικά έργα

Διάλεξη 4^η. Διαμόρφωση Κυματισμών στον
Παράκτιο Χώρο- Ρήχωση-Διάθλαση κυματισμών

Εύα Λουκογεωργάκη
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ακτομηχανική και Λιμενικά Έργα

7^ο Εξάμηνο

Κεφάλαιο 3: Διαμόρφωση Κυματισμών στον Παράκτιο Χώρο



<http://purewateroccasional.net/Images/oceanwaves4.jpg>

<http://www.azoomwithaview.com/wp-content/uploads/2014/04/Sea-Like-A-Painting-Hamnavoe-Lighthouse-900-AM.jpg>

<http://www.103fm.net/rough-seas-expected-this-weekend-around-tt/>



Γενικά – Εισαγωγή

- **Παράκτιος Χώρος:** Ύπαρξη πολύπλοκης βυθομετρίας, ύπαρξη τεχνικών έργων (π.χ. κυματοθραύστες), παρουσία «στερεού ορίου» ακτής (μικρή ή μεγάλη κλίση).
- **Διάδοση Κυματισμών στον Παράκτιο Χώρο:** Διαμόρφωση κυματισμών με πολύ διαφορετικό τρόπο από τις δισδιάστατες αναλυτικές μορφές (Κεφάλαιο 2).
- **Ποσοτική Περιγραφή Φαινομένων Διαμορφώσεως των Κυματισμών στον Παράκτιο Χώρο:**
Απλές ποσοτικές μέθοδοι βασισμένες είτε σε αναλυτικές λύσεις είτε σε πειραματικές διερευνήσεις.



<http://photoboy1002001.deviantart.com/art/Indian-Beach-Oregon-Coast-97071012>

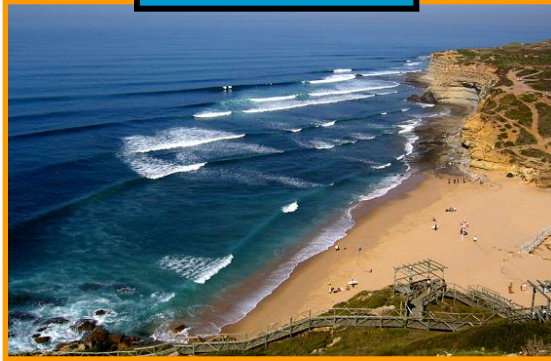
<http://www.fig.net/resources/publications/figpub/pub43/figpub43.asp>

<http://worldlywise.pbworks.com/w/page/15409213/Unit%201%20Section%20B%20-%20Managing%20coastal%20areas>

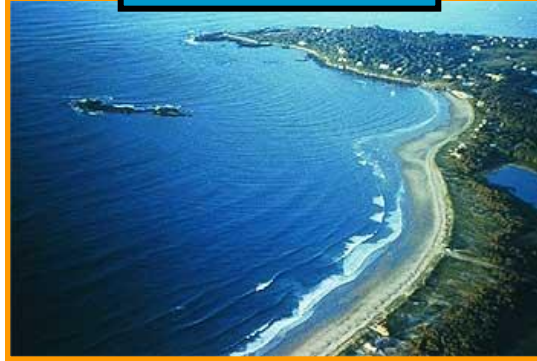


Φαινόμενα που Επιδρούν στη Διαμόρφωση Κυματισμών στον Παράκτιο Χώρο

Ρήχωση



Διάθλαση



Περίθλαση



Θραύση



Ανάκλαση



Αναρρίχηση

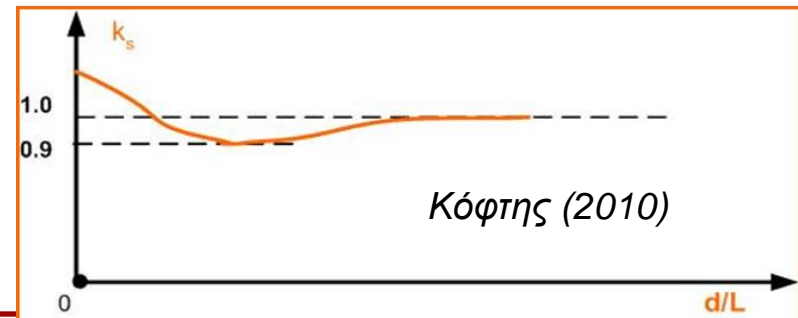
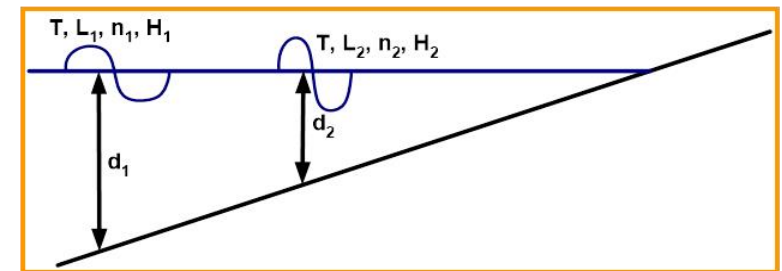
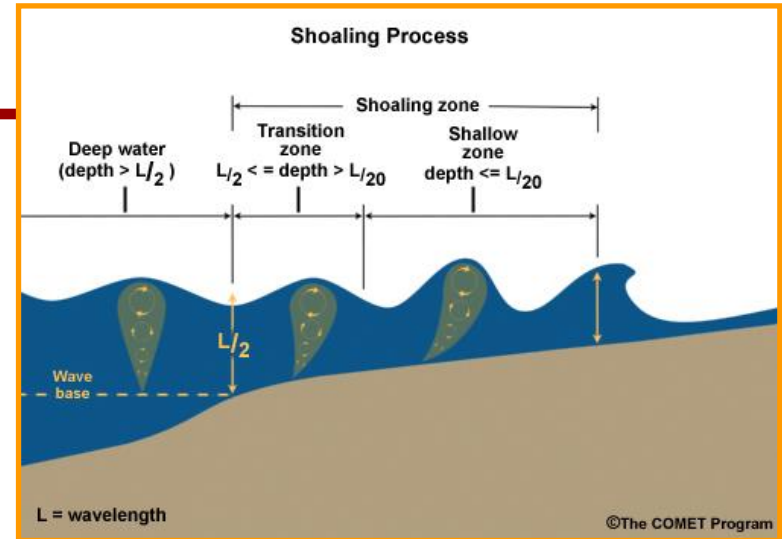


Ρήχωση (shoaling) (Από Κεφάλαιο 2...)

Ρήχωση: Μεταβολή ύψους κύματος λόγω μείωσης βάθους κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κυματισμού

Ποσοτική περιγραφή: Εφαρμογή διατηρήσεως ισχύος κυματισμού μεταξύ δύο διατομών σε διαφορετικά βάθη (αμελητέες απώλειες ενέργειας μεταξύ των διατομών) \Rightarrow **Συντελεστής Ρηχότητας (k_s)**

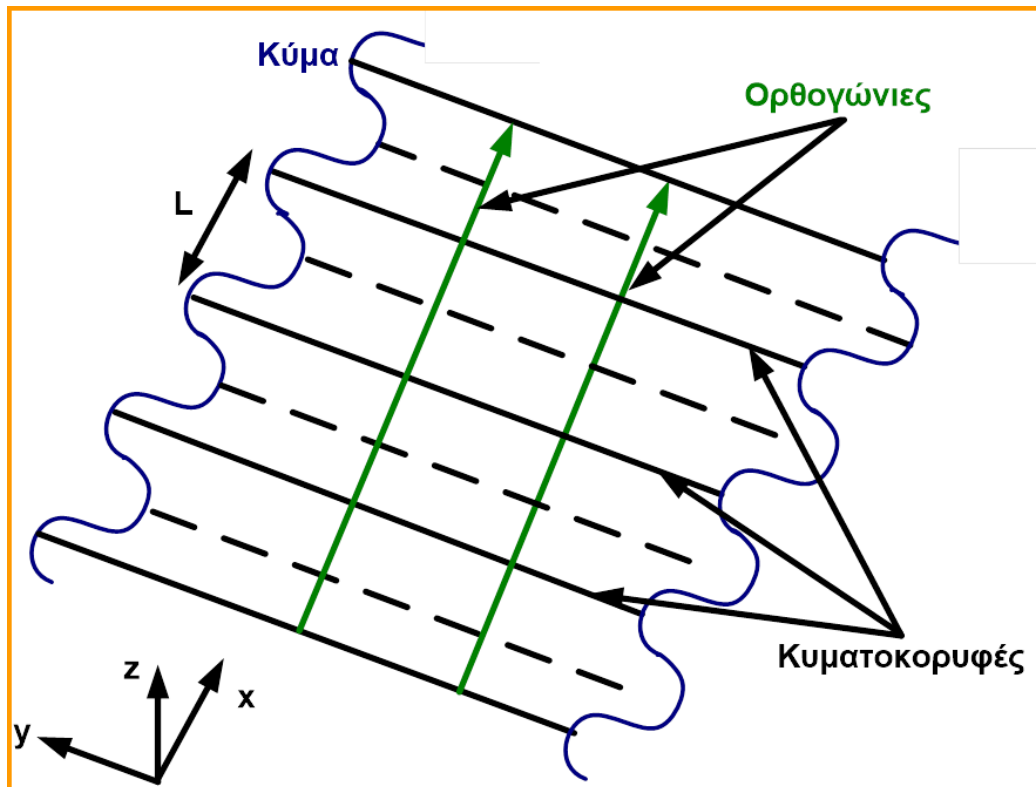
$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\frac{n_1 L_1}{n_2 L_2}} = k_s \Rightarrow H_2 = k_s H_1$$



Χαρακτηριστικά Κυματισμών σε 3D Χώρο

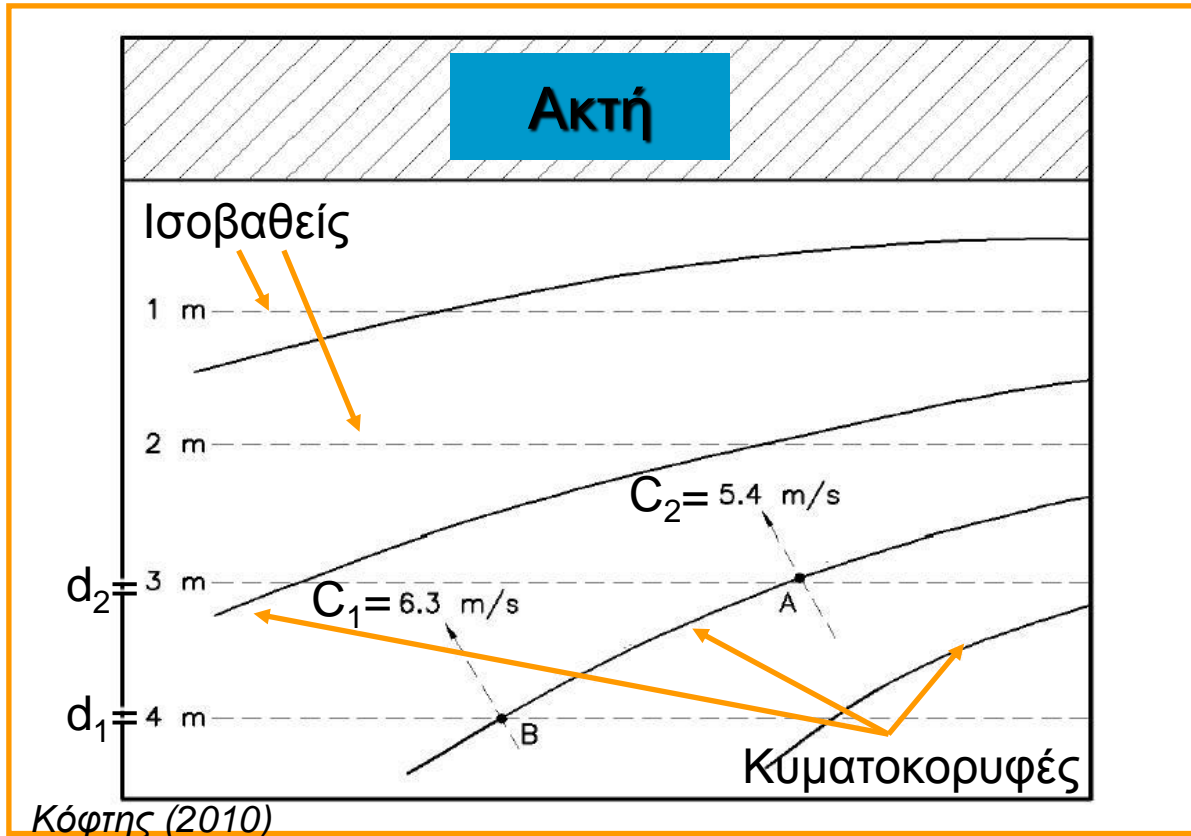
Κατά τη διάδοση των κυματισμών στον τρισδιάστατο χώρο διακρίνονται τα ακόλουθα χαρακτηριστικά τους:

1. *Κυματοκορυφές*
2. *Ορθογώνιες* (κάθετες στις κυματοκορυφές)



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (1)

- **Διάθλαση:** Χωρική διαφοροποίηση της ταχύτητας προωθήσεως (φασική ταχύτητα, C) ενός αρχικά δισδιάστατου κυματισμού λόγω της επίδρασης του βάθους της θαλάσσιας περιοχής, d στην ταχύτητα C

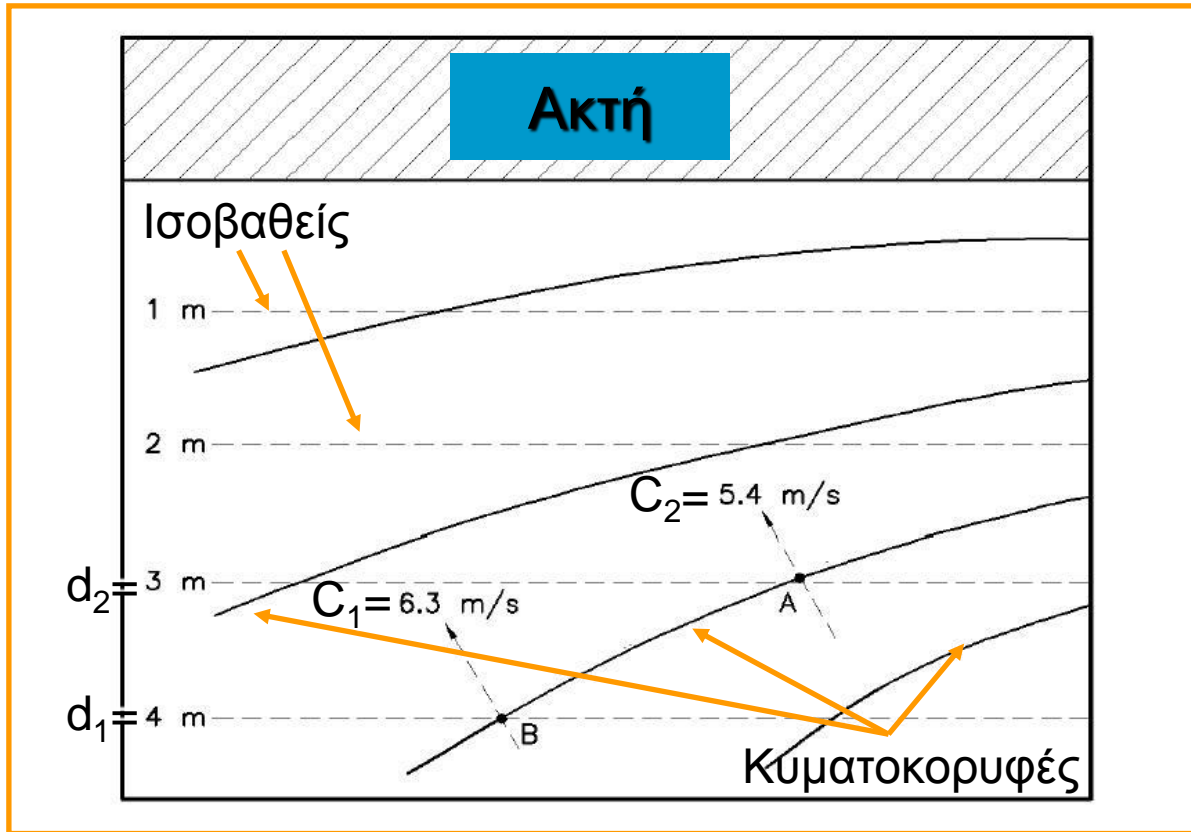


$C_1 > C_2 \Rightarrow$ Το σημείο B κινείται πιο γρήγορα από το A



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (1)

- **Διάθλαση:** Χωρική διαφοροποίηση της ταχύτητας προωθήσεως (φασική ταχύτητα, C) ενός αρχικά δισδιάστατου κυματισμού λόγω της επίδρασης του βάθους της θαλάσσιας περιοχής, d στην ταχύτητα C



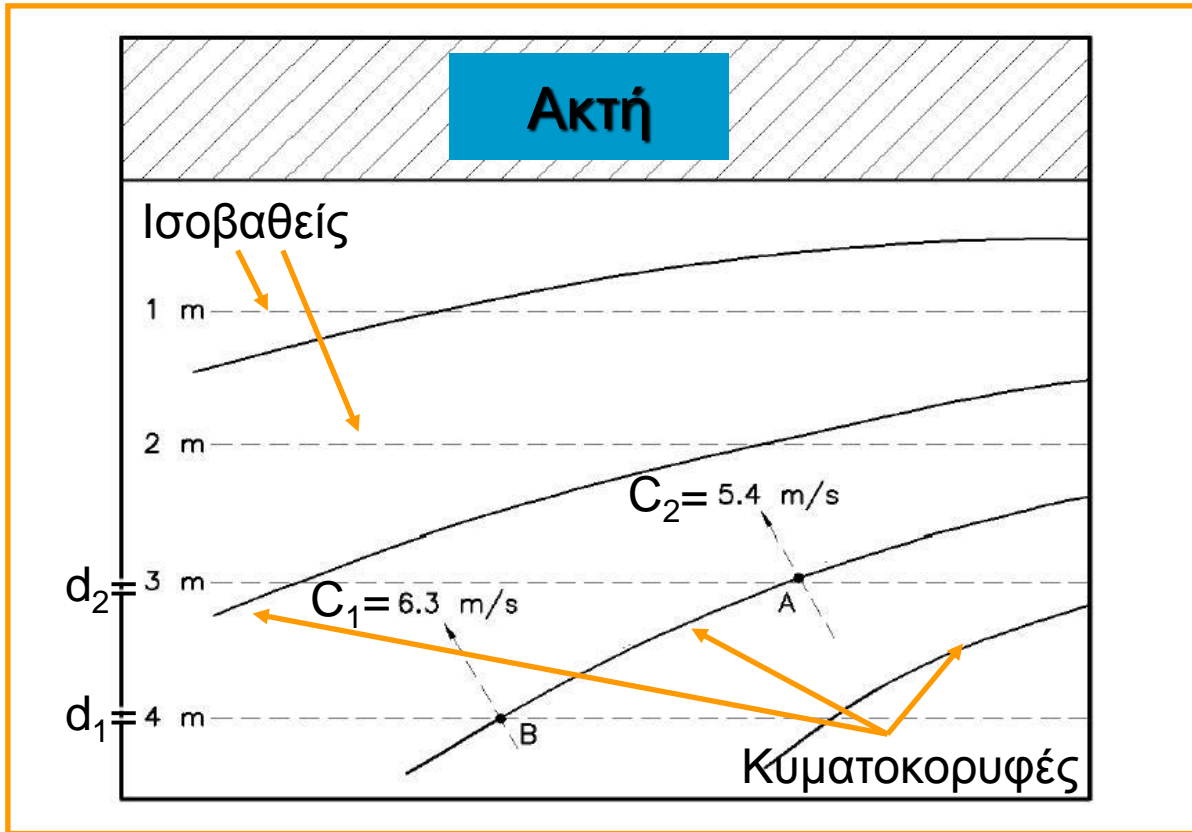
$C_1 > C_2 \Rightarrow$ Το σημείο B κινείται πιο γρήγορα από το A

Αποτέλεσμα διάθλασης

Καμπύλωση των αρχικά ευθύγραμμων κορυφογραμμών με τάση παραλληλισμού προς τις ισοβαθείς

Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (1)

• Διάθλαση: Χωρική διαφοροποίηση της ταχύτητας προώθησής (φασική ταχύτητα, C) ενός αρχικά δισδιάστατου κυματισμού λόγω της επίδρασης του βάθους της θαλάσσιας περιοχής, d στην ταχύτητα C



Αναγκαία συνθήκη για την εμφάνισή της: η λοξότητα της διάδοσης των κυμάτων σε σχέση με τις ισοβαθείς (πλάγια πρόσπτωση κυματισμών)

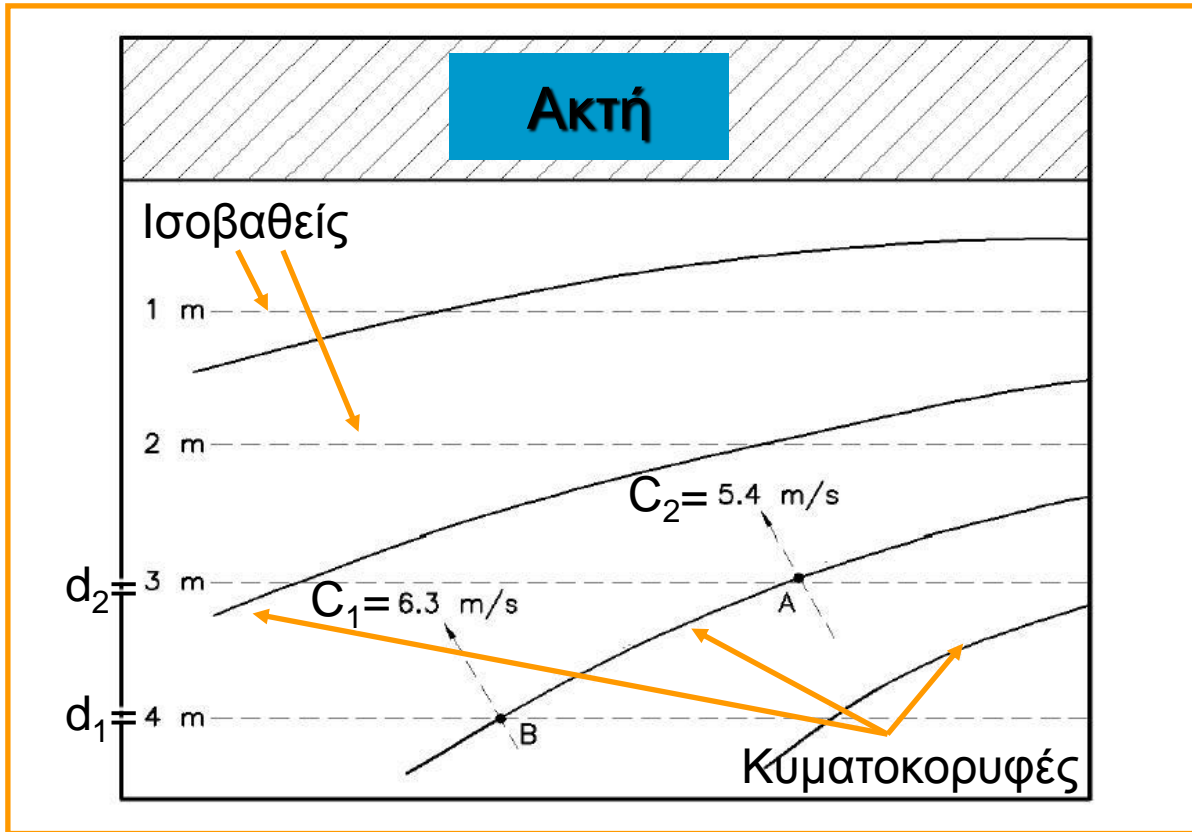
$C_1 > C_2 \Rightarrow$ Το σημείο B κινείται πιο γρήγορα από το A

Αποτέλεσμα διάθλασης

Καμπύλωση των αρχικά ευθύγραμμων κορυφογραμμών με τάση παραλληλισμού προς τις ισοβαθείς

Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (1)

- **Διάθλαση:** Χωρική διαφοροποίηση της ταχύτητας προωθήσεως (φασική ταχύτητα, C) ενός αρχικά δισδιάστατου κυματισμού λόγω της επίδρασης του βάθους της θαλάσσιας περιοχής, d στην ταχύτητα C



- Μόνο σε Ενδιάμεσα και Ρηχά Νερά ($d < L/2$)

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh(kd)$$

C εξαρτάται από d

- ΟΧΙ σε Βαθιά Νερά ($d > L/2$)

C_0 ΔΕΝ εξαρτάται από d

Αναγκαία συνθήκη για την εμφάνισή της: η λοξότητα της διάδοσης των κυμάτων σε σχέση με τις ισοβαθείς (πλάγια πρόσπτωση κυματισμών)

$C_1 > C_2 \Rightarrow$ Το σημείο B κινείται πιο γρήγορα από το A

Αποτέλεσμα διάθλασης

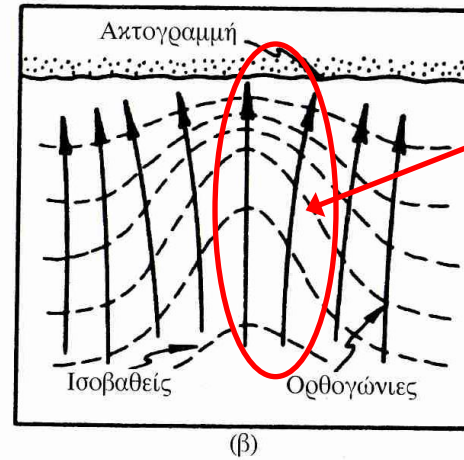
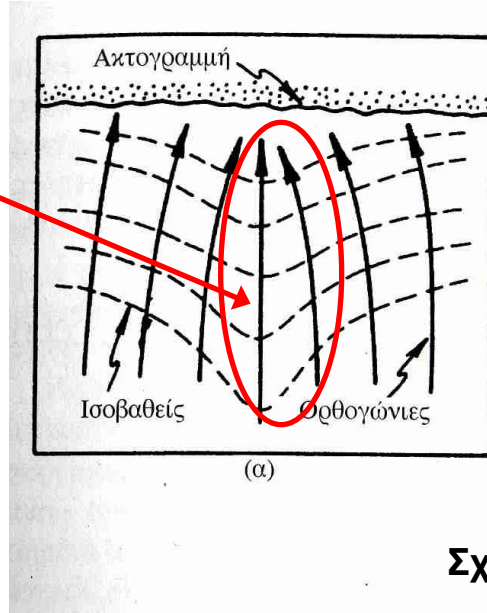
Καμπύλωση των αρχικά ευθύγραμμων κορυφογραμμών με τάση παραλληλισμού προς τις ισοβαθείς

Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (2)

Καμπύλωση των αρχικά ευθύγραμμων κορυφογραμμών με τάση παραλληλισμού προς τις ισοβαθείς



Σύγκλιση ή απόκλιση των ορθογωνίων



Απόκλιση

Διατήρηση κυματικής ενέργειας που περιέχεται στον «σωλήνα ροής» μεταξύ δύο ορθογωνίων (παραδοχή μη διάδοσης ενέργειας κατά μήκος κυματοκορυφών)



Πύκνωση ορθογωνίων
→ αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας
→ αύξηση του ύψους του κύματος

$$\bar{E} = \frac{\rho g H^2}{8}$$

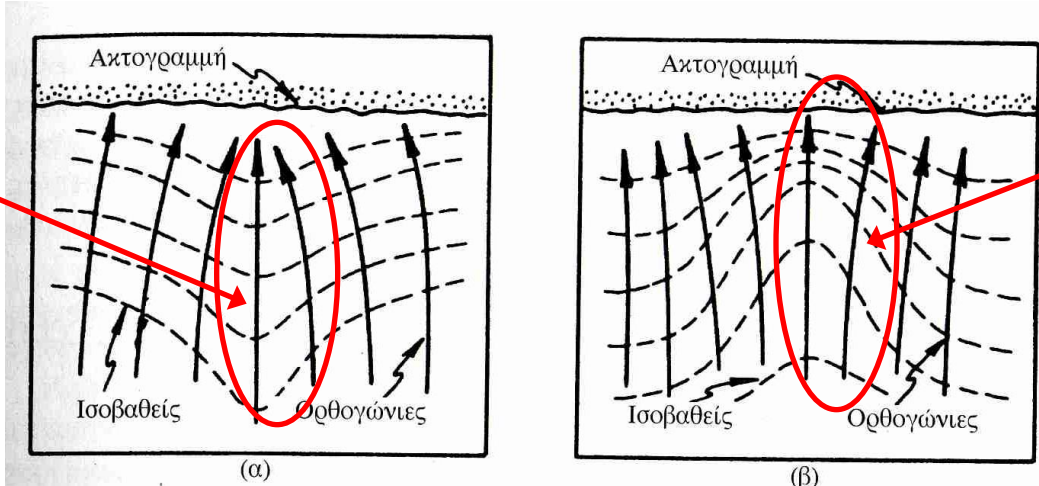
Σχήμα 3.1



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (2)

Καμπύλωση των αρχικά ευθύγραμμων κορυφογραμμών με τάση παραλληλισμού προς τις ισοβαθείς

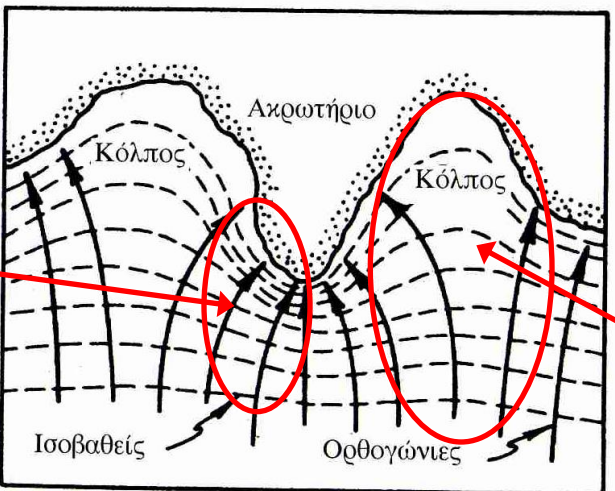
Σύγκλιση ή απόκλιση των ορθογωνίων



Σχήμα 3.1

Διατήρηση κυματικής ενέργειας που περιέχεται στον «σωλήνα ροής» μεταξύ δύο ορθογωνίων (παραδοχή μη διάδοσης ενέργειας κατά μήκος κυματοκορυφών)

Πύκνωση ορθογωνίων → αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας → αύξηση του ύψους του κύματος



Αύξηση ύψους κύματος σε ακρωτήριο (σύγκλιση ορθογωνίων)

Μείωση ύψους κύματος σε κόλπο (απόκλιση ορθογωνίων)

$$\bar{E} = \frac{\rho g H^2}{8}$$

Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (3)



Ακρωτήριο: Σύγκλιση
ορθογωνίων (αύξηση H)



Κόλπος: Απόκλιση
ορθογωνίων (μείωση H)



<http://marlimillerphoto.com/coastalE.html>

<http://www.slideshare.net/osthus/coasts-headlands-and-bays>

http://1.bp.blogspot.com/-0jnYcrbU9IY/Txl_m02q_ZI/AAAAAAAAA6s/GRvTjTYAFT8/s400/refraction2+copy.jpg



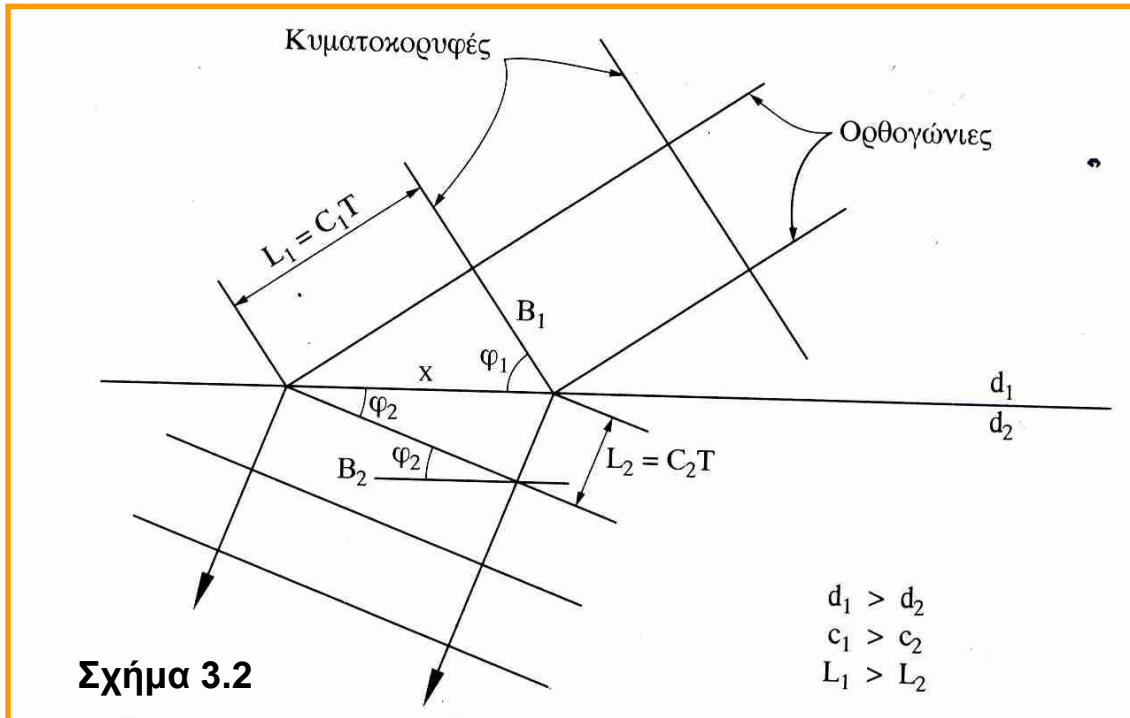
Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (4)

- **Ποσοτική περιγραφή:** Εφαρμογή νόμου Snell (οπτική διάθλαση) και Αρχής διατηρήσεως της ισχύος του κυματισμού στο εσωτερικό του «σωλήνα ροής» (μεταξύ δύο ορθογωνίων) \Rightarrow **Συντελεστής Διάθλασης (k_R)**



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (4)

Ποσοτική περιγραφή: Εφαρμογή νόμου Snell (οπτική διάθλαση) και Αρχής διατηρήσεως της ισχύος του κυματισμού στο εσωτερικό του «σωλήνα ροής» (μεταξύ δύο ορθογωνίων) \Rightarrow **Συντελεστής Διάθλασης (k_R)**



Σχήμα 3.2

ϕ_1 : γωνία που σχηματίζει η κυματοκορυφή με ισοβαθή στο d_1

B_1 : απόσταση μεταξύ των ορθογωνίων στο d_1

ϕ_2 : γωνία που σχηματίζει η κυματοκορυφή με ισοβαθή στο d_2 (μετά τη διάθλαση)

B_2 : απόσταση μεταξύ των ορθογωνίων στο d_2 (μετά τη διάθλαση)

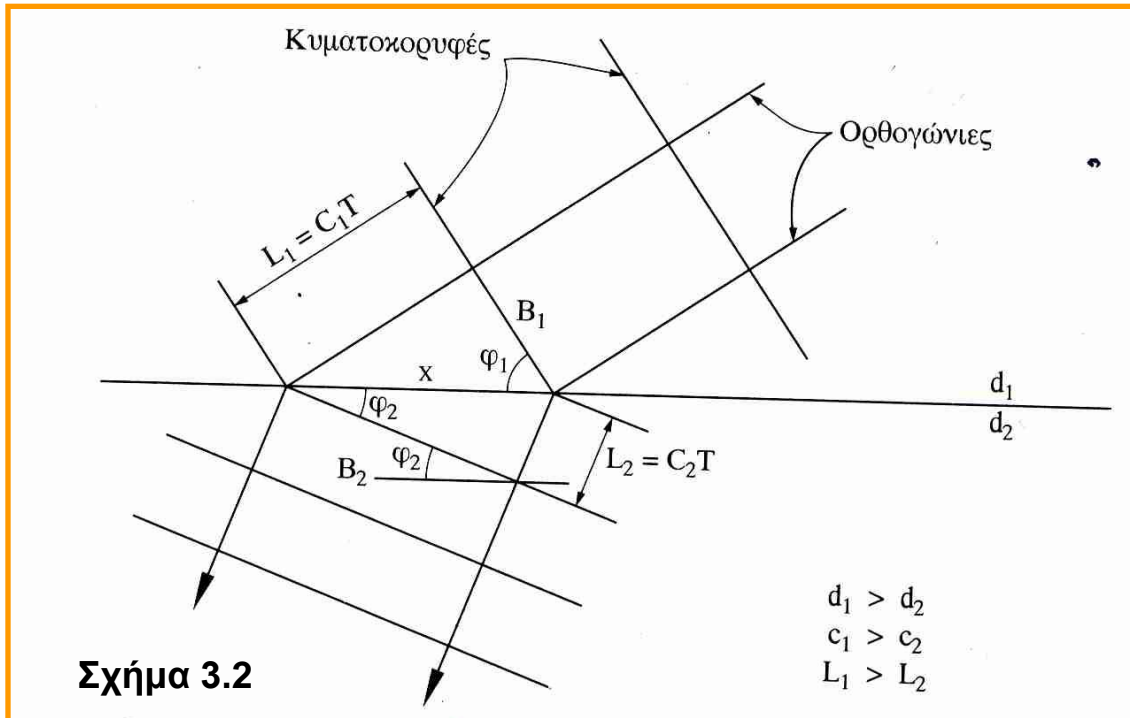
Νόμος Snell

$$\left. \begin{aligned} \sin(\phi_1) &= \frac{L_1}{x} = \frac{C_1 T}{x} \Rightarrow x = \frac{C_1 T}{\sin(\phi_1)} \\ \sin(\phi_2) &= \frac{L_2}{x} = \frac{C_2 T}{x} \Rightarrow x = \frac{C_2 T}{\sin(\phi_2)} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{C_1 T}{\sin(\phi_1)} = \frac{C_2 T}{\sin(\phi_2)} \Rightarrow \phi_2 = \arcsin\left(\frac{C_2}{C_1} \sin(\phi_1)\right) \quad (\text{Εξ. 3.1})$$



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (4)

Ποσοτική περιγραφή: Εφαρμογή νόμου Snell (οπτική διάθλαση) και Αρχής διατηρήσεως της ισχύος του κυματισμού στο εσωτερικό του «σωλήνα ροής» (μεταξύ δύο ορθογωνίων) \Leftrightarrow **Συντελεστής Διάθλασης (k_R)**



φ_1 : γωνία που σχηματίζει η κυματοκορυφή με ισοβαθή στο d_1

B_1 : απόσταση μεταξύ των ορθογωνίων στο d_1

φ_2 : γωνία που σχηματίζει η κυματοκορυφή με ισοβαθή στο d_2 (μετά τη διάθλαση)

B_2 : απόσταση μεταξύ των ορθογωνίων στο d_2 (μετά τη διάθλαση)

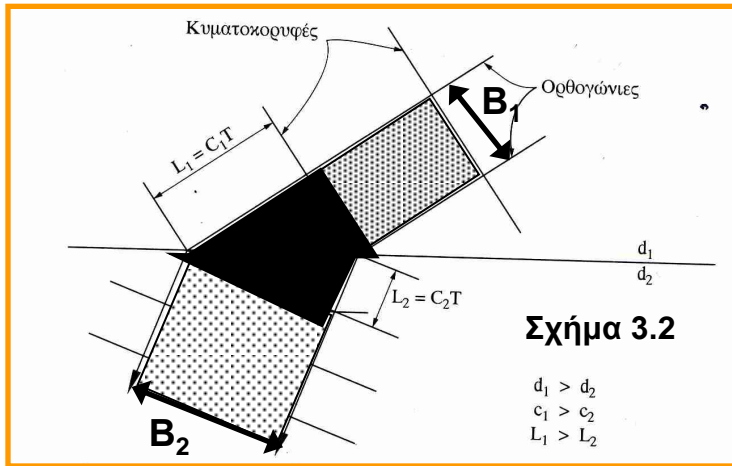
$$\left. \begin{aligned} \cos(\varphi_1) = \frac{B_1}{x} &\Rightarrow x = \frac{B_1}{\cos(\varphi_1)} \\ \cos(\varphi_2) = \frac{B_2}{x} &\Rightarrow x = \frac{B_2}{\cos(\varphi_2)} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{B_1}{\cos(\varphi_1)} = \frac{B_2}{\cos(\varphi_2)} \Rightarrow \frac{B_1}{B_2} = \frac{\cos(\varphi_1)}{\cos(\varphi_2)}$$

(Εξ. 3.2)



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (4)

- Ποσοτική περιγραφή:** Εφαρμογή νόμου Snell (οπτική διάθλαση) και Αρχής διατηρήσεως της ισχύος του κυματισμού στο εσωτερικό του «σωλήνα ροής» (μεταξύ δύο ορθογωνίων) \Rightarrow **Συντελεστής Διάθλασης (k_R)**

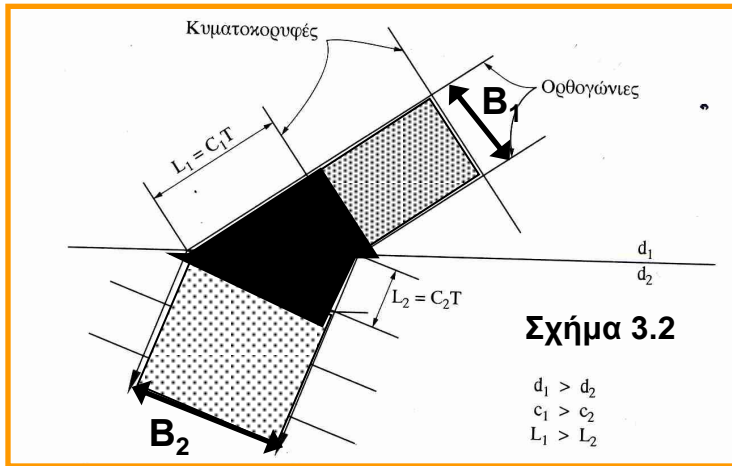


Αρχή διατηρήσεως της ισχύος του κυματισμού στο εσωτερικό του «σωλήνα ροής» που περιορίζεται μεταξύ δύο ορθογωνίων



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (4)

Ποσοτική περιγραφή: Εφαρμογή νόμου Snell (οπτική διάθλαση) και Αρχής διατηρήσεως της ισχύος του κυματισμού στο εσωτερικό του «σωλήνα ροής» (μεταξύ δύο ορθογωνίων) \Rightarrow **Συντελεστής Διάθλασης (k_R)**



Αρχή διατηρήσεως της ισχύος του κυματισμού στο εσωτερικό του «σωλήνα ροής» που περιορίζεται μεταξύ δύο ορθογωνίων

$$\left. \begin{aligned} P_1 B_1 &= P_2 B_2 \\ P &= \frac{E n}{T} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{E_1 n_1 B_1}{T} = \frac{E_2 n_2 B_2}{T} \Rightarrow E_1 n_1 B_1 = E_2 n_2 B_2$$

(Εξ. 2.29)

$$\frac{\rho g H_1^2 L_1}{8} n_1 B_1 = \frac{\rho g H_2^2 L_2}{8} n_2 B_2 \Rightarrow H_1^2 L_1 n_1 B_1 = H_2^2 L_2 n_2 B_2 \Rightarrow$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\frac{L_1 n_1}{L_2 n_2}} \sqrt{\frac{B_1}{B_2}} \Rightarrow \text{Συντελεστής Διάθλασης, } k_R$$

(Εξ. 3.3)

$$H_2 = k_s * k_R * H_1$$

Μεταβολή ύψους κύματος λόγω ρήξης και διάθλασης

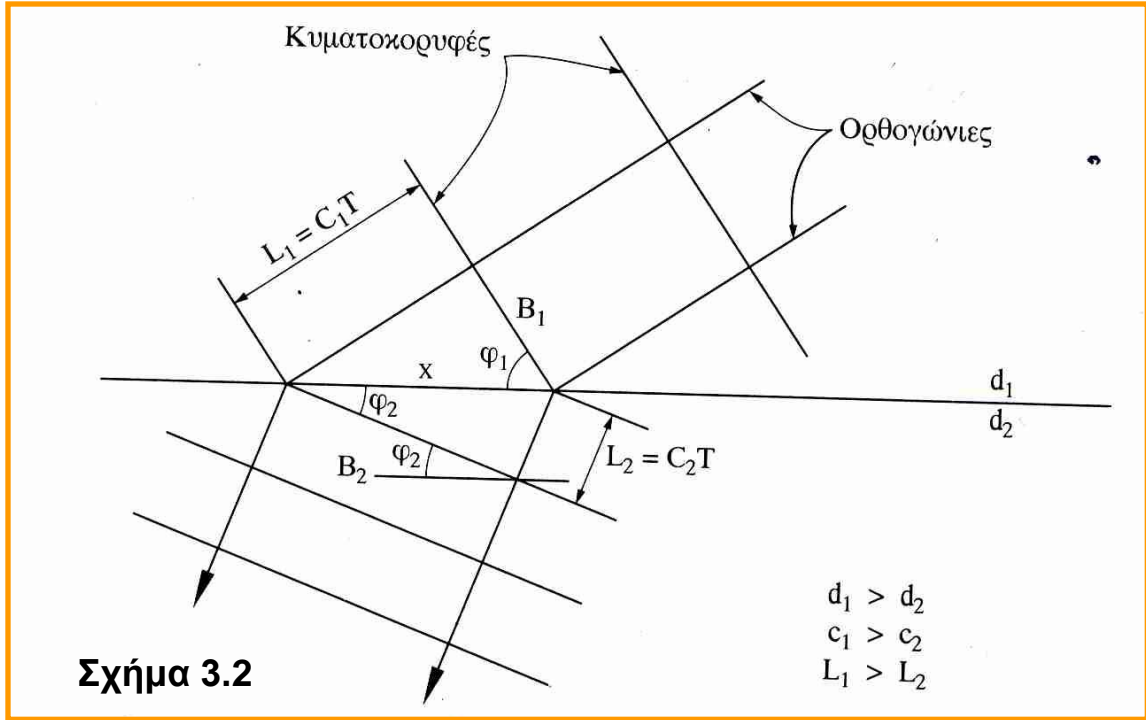
$$k_s = \sqrt{\frac{n_1 L_1}{n_2 L_2}}$$

Συντελεστής Ρηχότητας, k_s (Εξ. 2.34)



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (5)

Συντελεστής διάθλασης



Σχήμα 3.2

ϕ_1 : γωνία που σχηματίζει η κυματοκορυφή με ισοβαθή στο d_1
 \Rightarrow συνήθως γνωστή

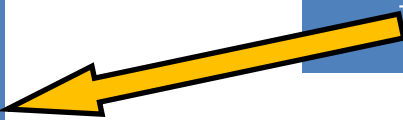
ϕ_2 : γωνία που σχηματίζει η κυματοκορυφή με ισοβαθή στο d_2
 (μετά τη διάθλαση) \Rightarrow Νόμος Snell



$$(3.1) \Rightarrow \phi_2 = \arcsin\left(\frac{C_2}{C_1} \sin(\phi_1)\right)$$

$$\Rightarrow \phi_2 = \arcsin\left(\frac{L_2}{L_1} \sin(\phi_1)\right)$$

$$k_R = \sqrt{\frac{B_1}{B_2}} \quad (3.2) \Rightarrow \frac{B_1}{B_2} = \frac{\cos(\phi_1)}{\cos(\phi_2)} \Rightarrow k_R = \sqrt{\frac{\cos(\phi_1)}{\cos(\phi_2)}}$$



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (6)

Υπολογισμός διάθλασης σε φυσική βυθομετρία

Στην περίπτωση παραλλήλων ισοβαθών (εμφανίζονται συχνά σε ευθύγραμμη γεωμετρία ακτής) η **διάθλαση** από τα **βαθιά νερά** σε ένα βάθος d_i περιγράφεται με πολισμό κατά μέλη των σχέσεων Snell μεταξύ διαδοχικών ισοβαθών

$$\frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_0} = \frac{L_1}{L_0}$$
$$\frac{\sin\varphi_2}{\sin\varphi_1} = \frac{L_2}{L_1}$$
$$\dots\dots$$
$$\frac{\sin\varphi_n}{\sin\varphi_{n-1}} = \frac{L_n}{L_{n-1}}$$
$$\frac{\sin\varphi_A}{\sin\varphi_n} = \frac{L_A}{L_n}$$

Από την περιοχή των βαθιών νερών (δείκτης 0) έως τη θέση A (βάθος d_A):

$$\frac{\sin\varphi_A}{\sin\varphi_0} = \frac{L_A}{L_0} \Rightarrow \varphi_A = \arcsin\left(\frac{L_A}{L_0} \cdot \sin\varphi_0\right)$$

Γωνία φ στη θέση A σε σχέση με γωνία φ στα βαθιά

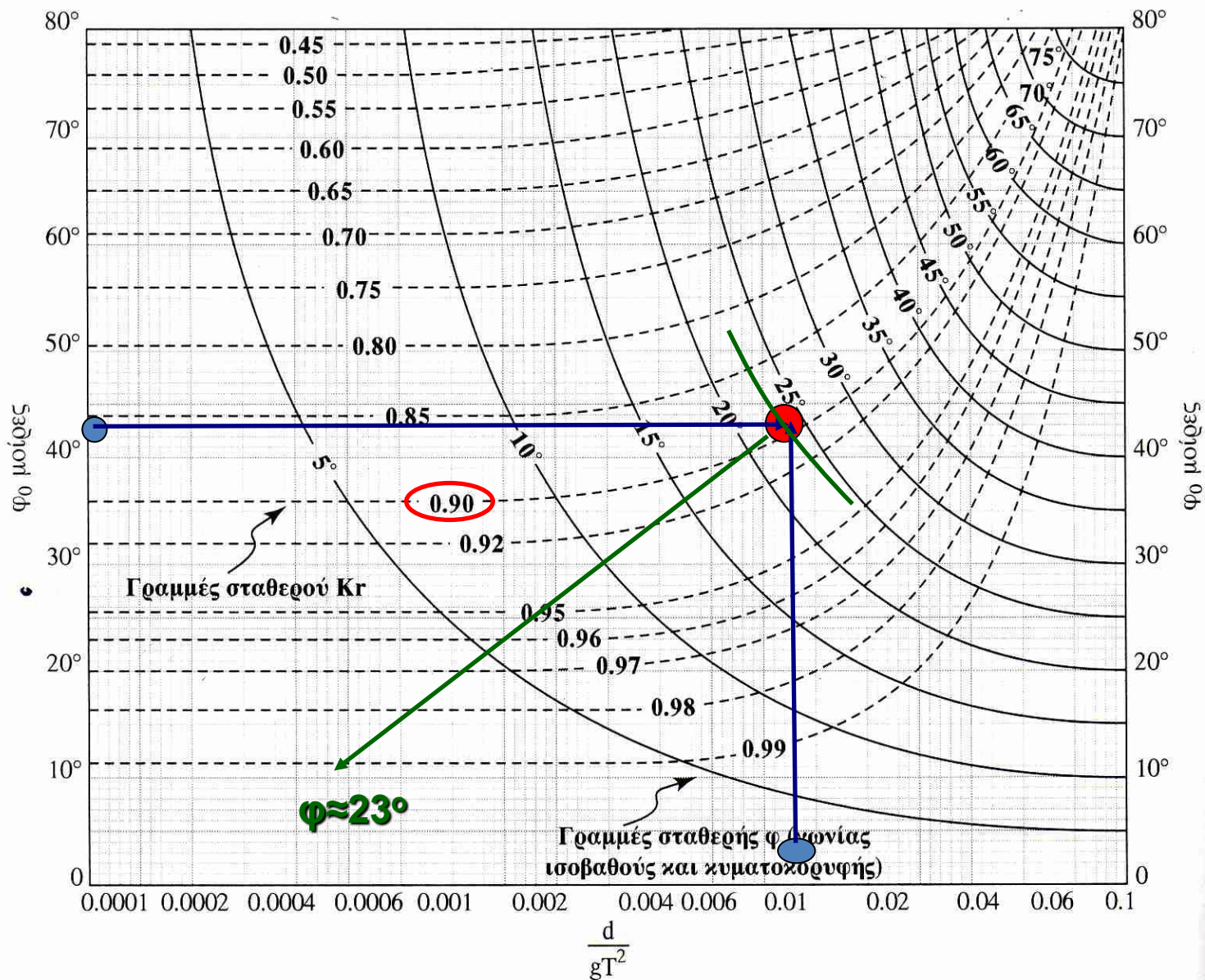
Ο συντελεστή διάθλασης μεταξύ της περιοχής των βαθιών νερών και της θέσης A θα είναι:

$$k_R = \sqrt{\frac{\cos\varphi_0}{\cos\varphi_A}}$$

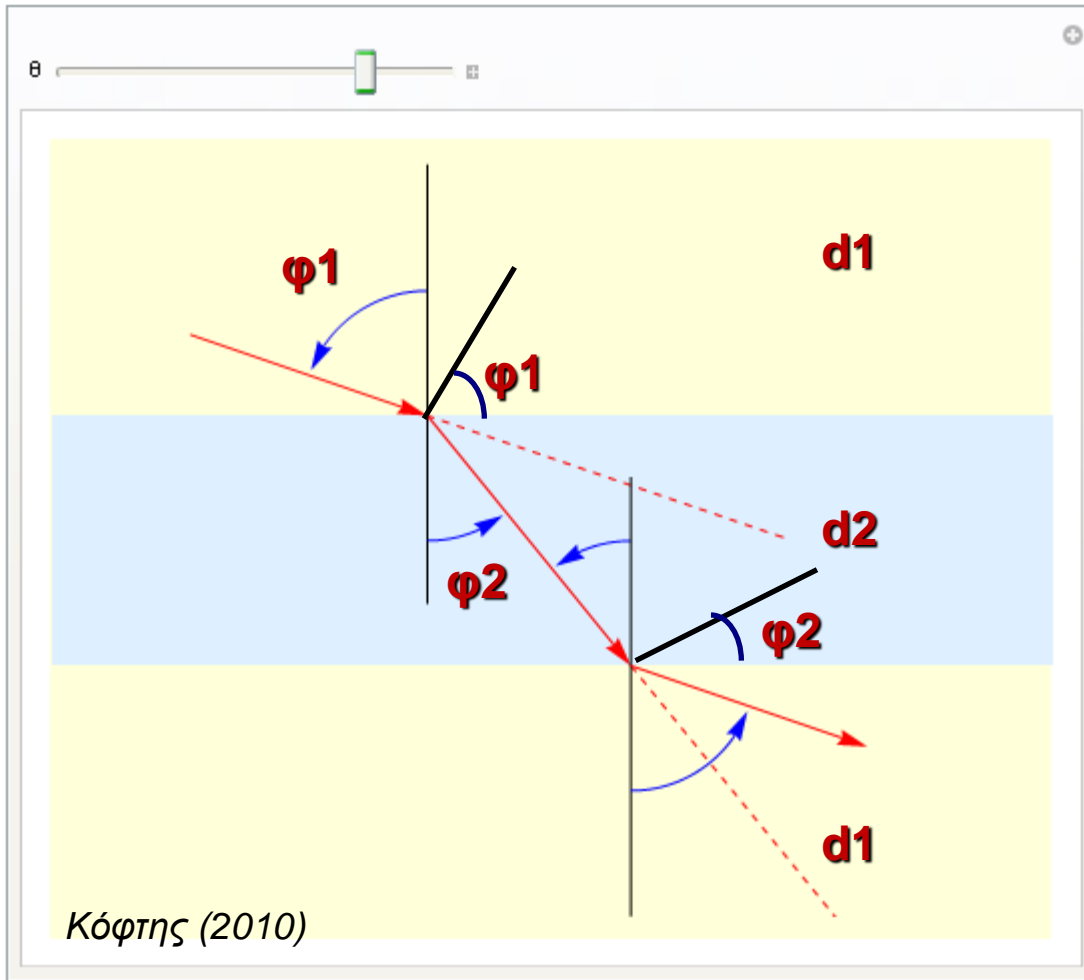


Διάθλαση Κυματισμών (Refraction) (6)

Σχήμα 3.4: Εύρεση ϕ_d και k_R για δεδομένο d και δεδομένο ϕ_0



Διάθλαση Κυματισμών (Refraction)



$$d_1 > d_2$$

$$C_1 > C_2$$

$$L_1 > L_2 \Rightarrow \text{Νομος Snell} \Rightarrow$$

$$\varphi_1 > \varphi_2 \Rightarrow \cos \varphi_1 < \cos \varphi_2$$

$$k_R = \sqrt{\frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}} < 1$$

$$H_2' = k_R H_1 < H_1$$

Μείωση βάθους



Μείωση ύψους κύματος λόγω διάθλασης



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

- Διαφάνεια 6

1. <http://www.surfertoday.com/surfing/7086-the-effects-of-shoaling-and-refraction-in-wave-height>
2. <http://quintessentiallyphysics.blogspot.gr/2012/07/physics-form-5-chapter-1-shape-of.html>
3. <http://texascoastgeology.com/misc/misc.html>
4. http://lchc.ucsd.edu/mca/Mail/xmcamail.2010_01.dir/jpg5n311ir6dD.jpg
5. <http://www.slideshare.net/cgharyati/12-reflection>



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λουκογεωργάκη Εύα.
«Ακτομηχανική και λιμενικά έργα. Διαμόρφωση Κυματισμών στον Παράκτιο
Χώρο-Ρήχωση-Διάθλαση κυματισμών». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014.

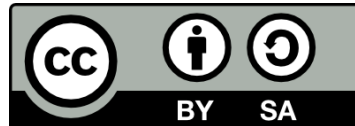
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS425/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

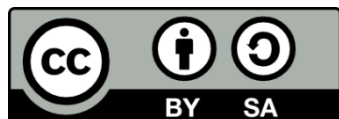
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: <Μαυρίδου Σοφία>
Θεσσαλονίκη, <Χειμερινό Εξάμηνο 2013-2014>



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

