Γεωμετρική Ακουστική

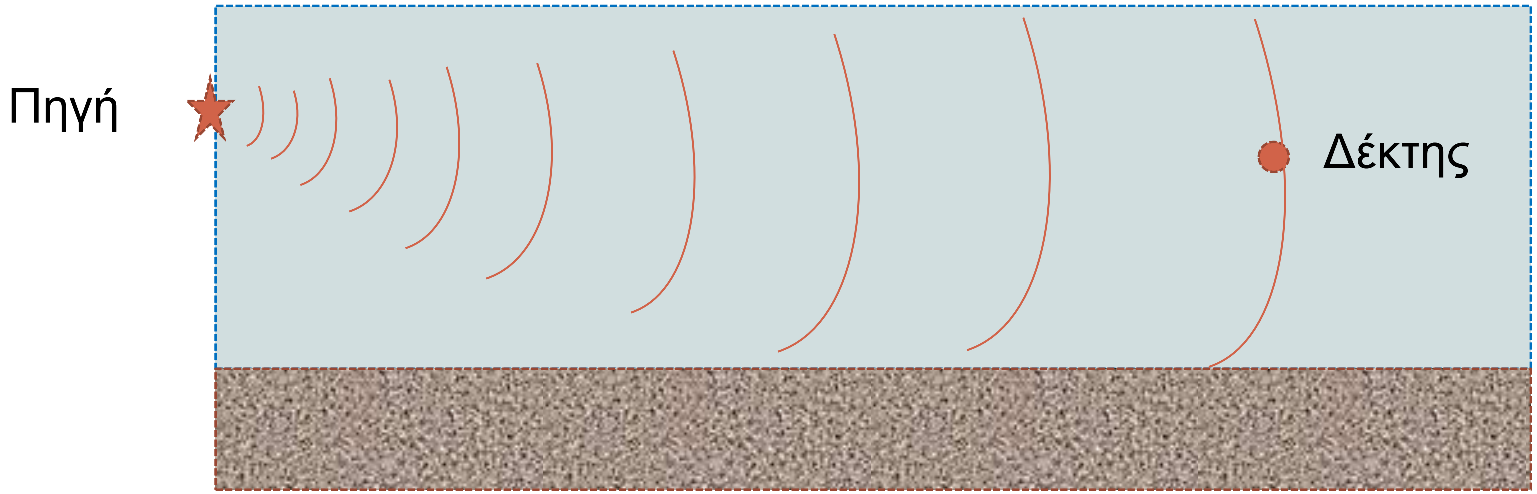
Ακουστικές Ακτίνες

Εισαγωγή στην Ακουστική Ωκεανογραφία

Μάθημα 8

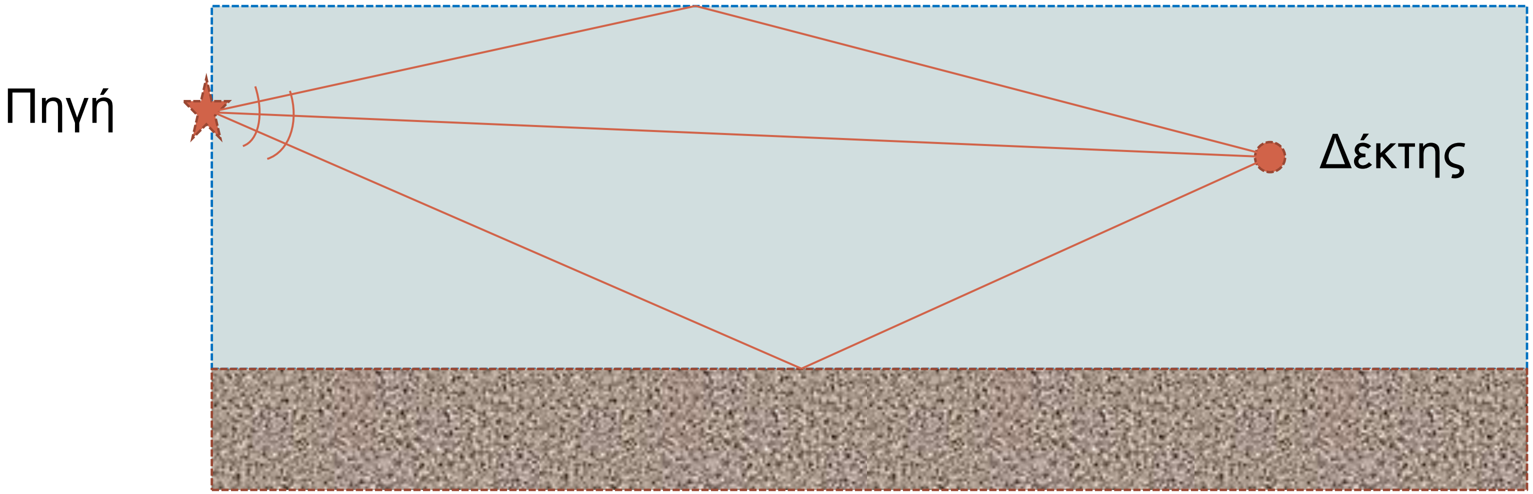
Πρόβλημα : Να υπολογιστεί το ακουστικό πεδίο (ένταση και χαρακτηριστικά) σε δεδομένη θέση μέσα σε ένα χωρίο, όταν είναι γνωστές οι παράμετροι του περιβάλλοντος, η θέση και το είδος της πηγής.

Στη θάλασσα (Δύο διαστάσεις) :



Πρόβλημα : Να υπολογιστεί το ακουστικό πεδίο (ένταση και χαρακτηριστικά) σε δεδομένη θέση μέσα σε ένα χωρίο, όταν είναι γνωστές οι παράμετροι του περιβάλλοντος, η θέση και το είδος της πηγής.

Στη θάλασσα (Δύο διαστάσεις) :



Κυματική Θεωρία (Wave Theory)

$$\nabla^2 p_1 - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 p_1}{\partial t^2} = -\frac{\partial Q_1}{\partial t}$$

Σταθερή πυκνότητα

Για αρμονική πηγή $e^{-i\omega t}$

$$\nabla^2 p(\vec{x}) + k(\vec{x})^2 p(\vec{x}) = A(\vec{x}_o)$$

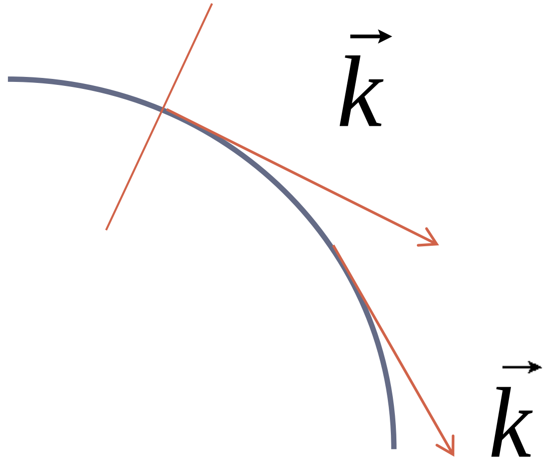
+ Οριακές συνθήκες

Ακριβής υπολογισμός του Ακουστικού Πεδίου

Θεωρία Ακτίνων (Ray Theory

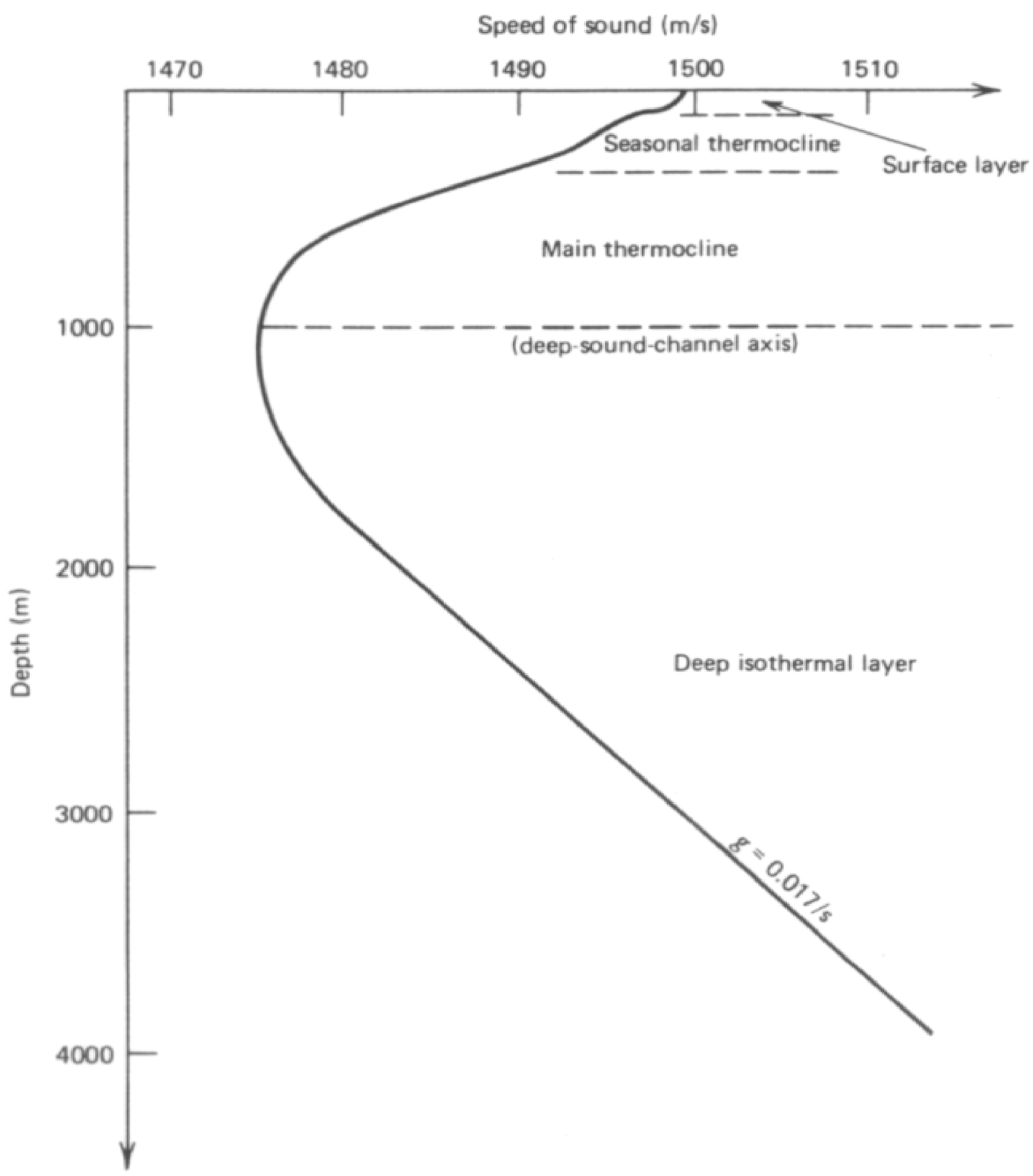
Προσεγγιστικός Υπολογισμός του Ακουστικού Πεδίου

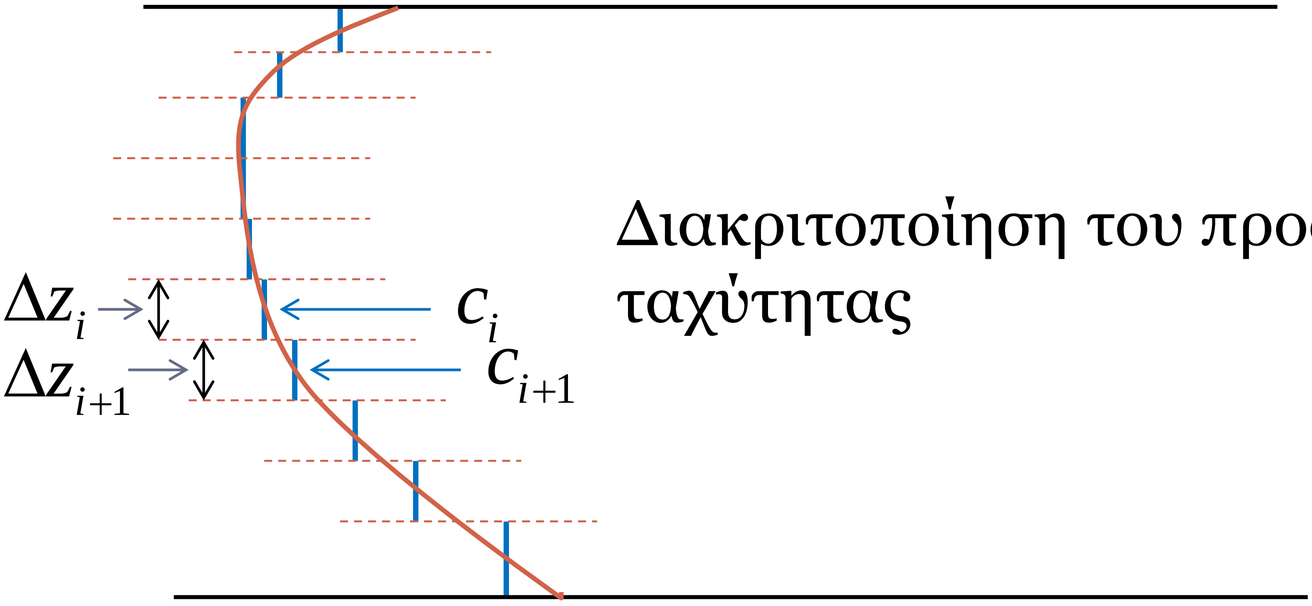
Ηχητική ακτίνα : Καμπύλη σε κάθε σημείο της οποίας, ο αριθμός κύματος είναι εφαπτόμενο διάνυσμα.



Υπόθεση: Επίπεδα κύματα.

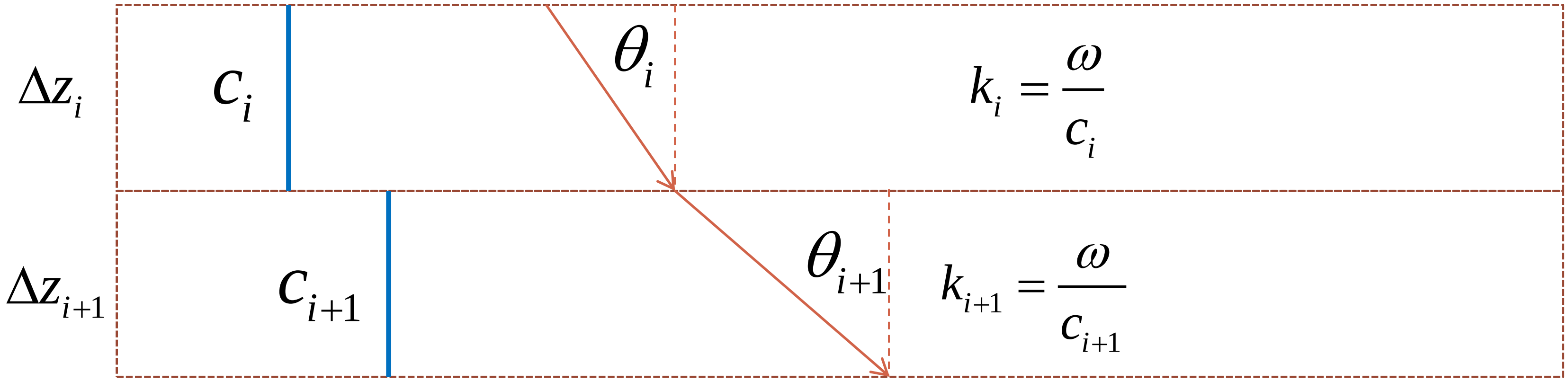
Υπόθεση: Μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης του ήχου μόνο με το βάθος


Speed of sound (m/s)
1470
1480
1490
1500
1510
Seasonal thermocline
Surface layer
Main thermocline
1000
(deep-sound-channel axis)
2000
Depth (m)
Deep isothermal layer
3000
g = 0.017/s
4000



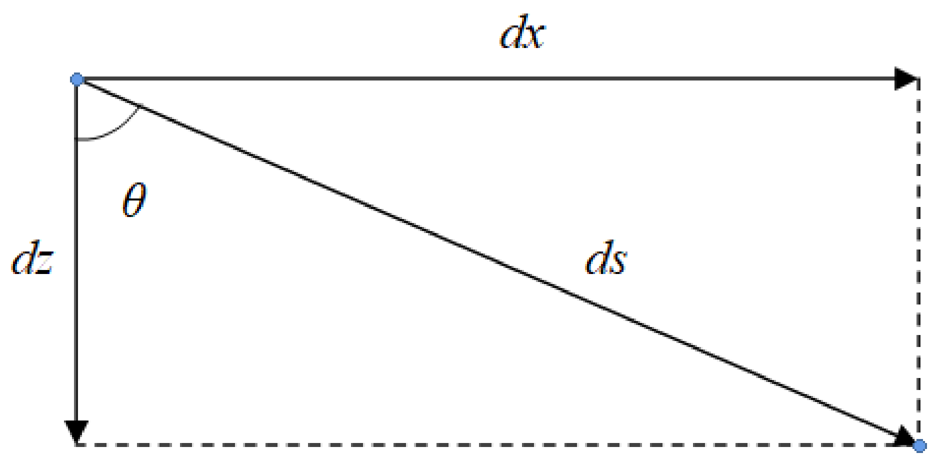
Διακριτοποίηση του προφίλ ταχύτητας

Παρακολουθούμε την ηχητική ακτίνα διαδιδόμενη σε μία διεύθυνση



Νόμος Snell

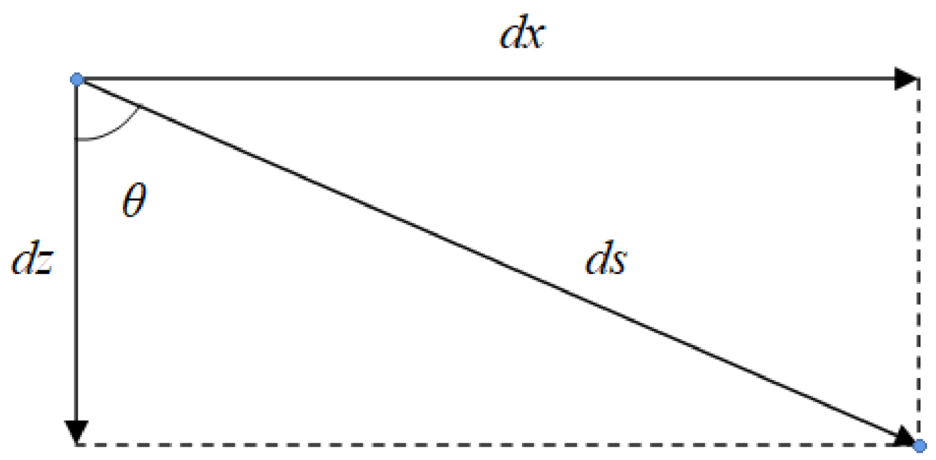
$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_{i+1}} = \frac{c_i}{c_{i+1}} \Rightarrow \frac{\sin\theta_i}{c_i} = \frac{\sin\theta_{i+1}}{c_{i+1}} = a$$



$$\frac{\sin\theta(z)}{c(z)} = a$$

$$ds = \frac{dz}{\cos\theta} \qquad dx = \tan\theta\, dz$$

$$dt = \frac{ds}{c(z)} = \frac{dz}{c(z)\cos\theta}$$

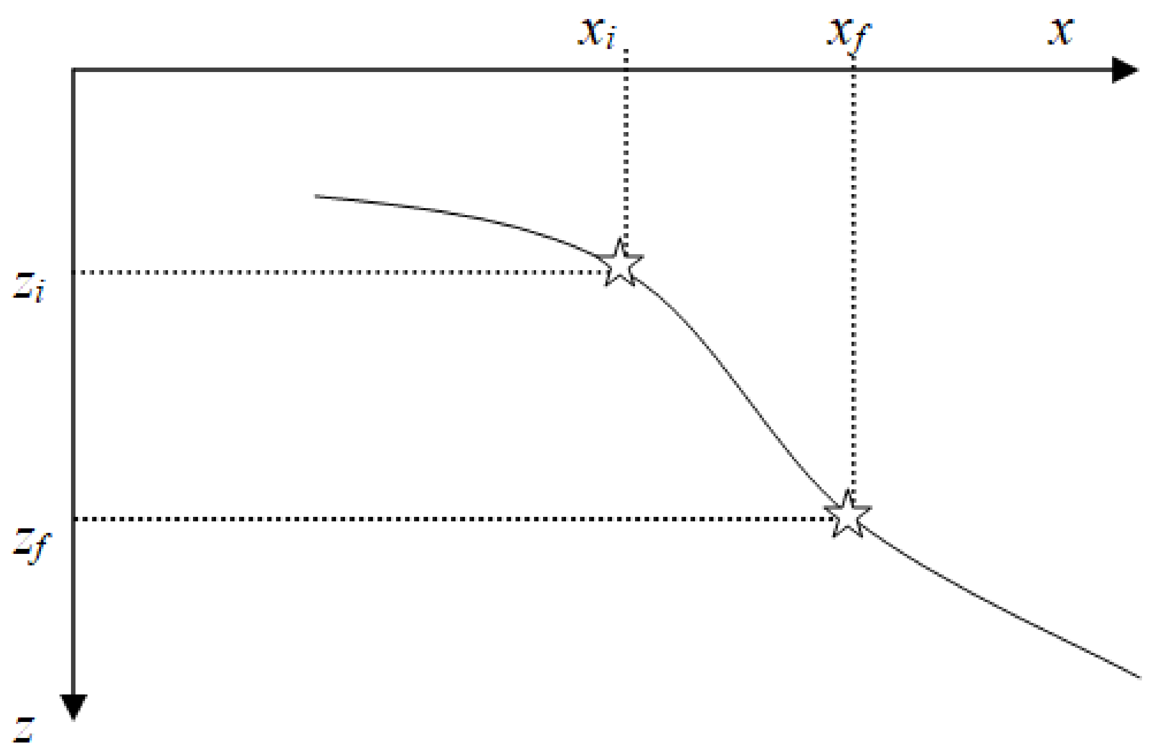


$$\sin\theta = ac(z)$$

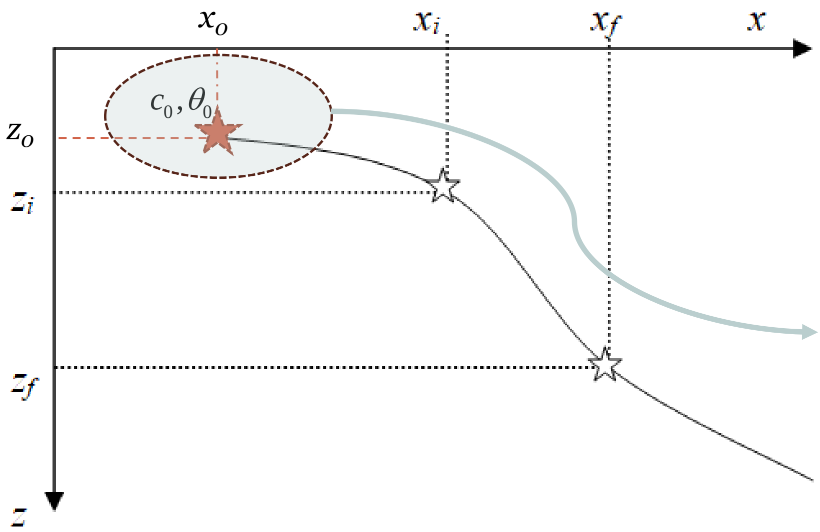
$$\theta = \theta(z)$$

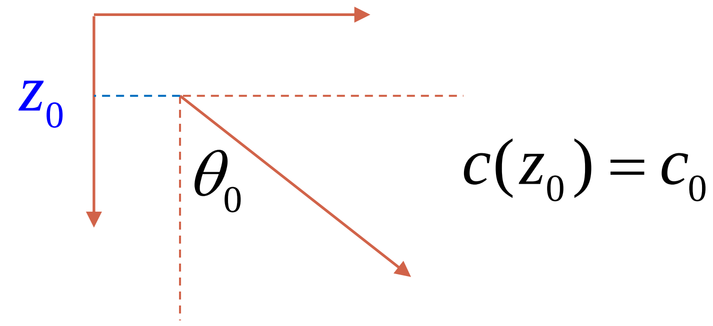
$$\cos\theta = [1 - a^2c^2(z)]^{1/2}$$

$$\tan\theta = ac(z)/[1 - a^2c^2(z)]^{1/2}$$



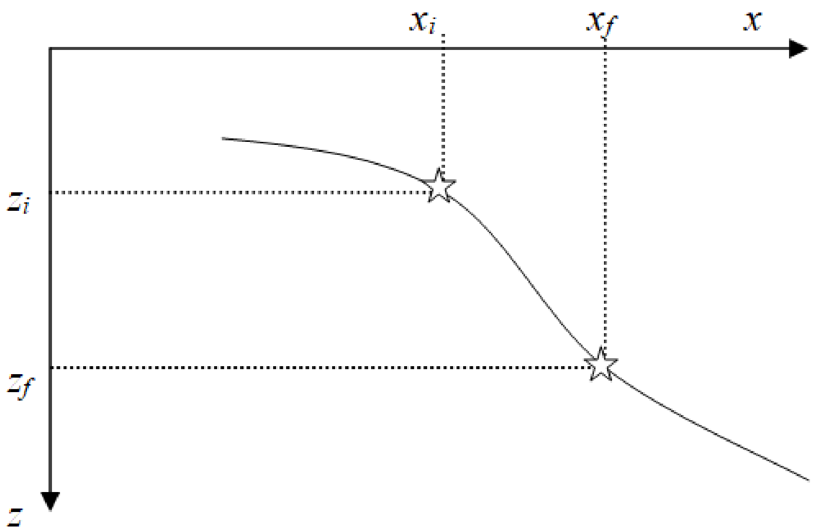
x_i
x_f
x
z_i
z_f
z





Κάθε ακτίνα που εκπέμπεται από την πηγή που βρίσκεται σε βάθος z_o στο οποίο η ταχύτητα είναι c_o και η γωνία εκπομπής είναι θ_o , χαρακτηρίζεται από το συντελεστή a για τον οποίο ισχύει :

$$\frac{\sin\theta_0}{c_0} = a$$



$$dx = \tan\theta\, dz$$

$$\tan\theta = ac(z)/[1-a^2c^2(z)]^{1/2}$$

$$dt = \frac{dz}{c(z)\cos\theta}$$

$$\cos\theta = [1-a^2c^2(z)]^{1/2}$$

$$x_f - x_i = \int_{x_i}^{x_f} dx = \int_{z_i}^{z_f} \frac{ac(z)dz}{[1-a^2c^2(z)]^{1/2}}$$

$$t_f - t_i = \int_{t_i}^{t_f} dt = \int_{z_i}^{z_f} \frac{dz}{c(z)[1-a^2c^2(z)]^{1/2}}$$

Υπάρχει βάθος στη θάλασσα που δεν φτάνει κάποια ακτίνα ;

Ας δούμε ένα παράδειγμα :

Ακτίνα ξεκινά τη διαδρομή της σε θάλασσα που στο βάθος εκπομπής χαρακτηρίζεται από ταχύτητα διάδοσης ήχου c_o=1510 m/sec με γωνία ως προς την κατακόρυφο $\theta_o = 75^o$ Θα φτάσει σε βάθος που η ταχύτητα διάδοσης είναι c=1580 m/sec ?

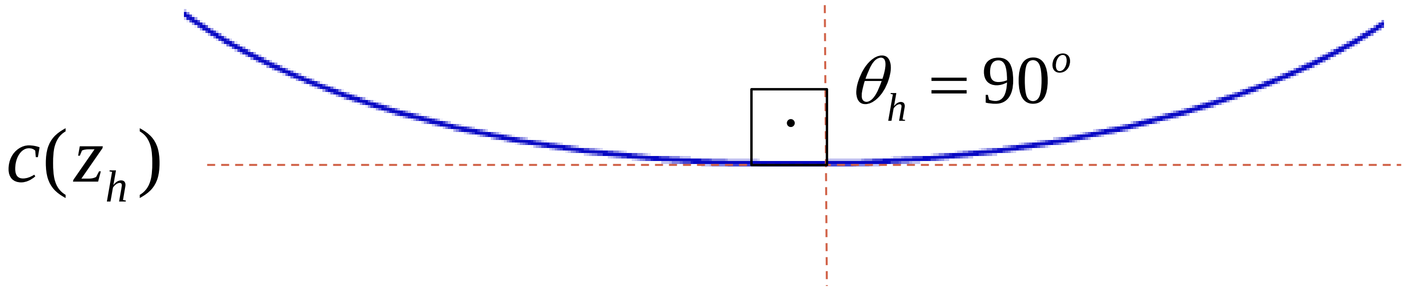
$$a = \frac{\sin\theta_0}{c_0} = \frac{\sin 75^o}{1510} = \frac{0.966}{1510} = 6.397\text{e-}4$$

$$\cos\theta = \sqrt{1 - a^2 c^2(z)} = \sqrt{-0.021}$$

Δεν υπάρχει πραγματική γωνία

Η ακτίνα έχει ξεκινήσει από βάθος z_i υπό γωνία θ_i

Οριζοντιοποίηση ακτίνας



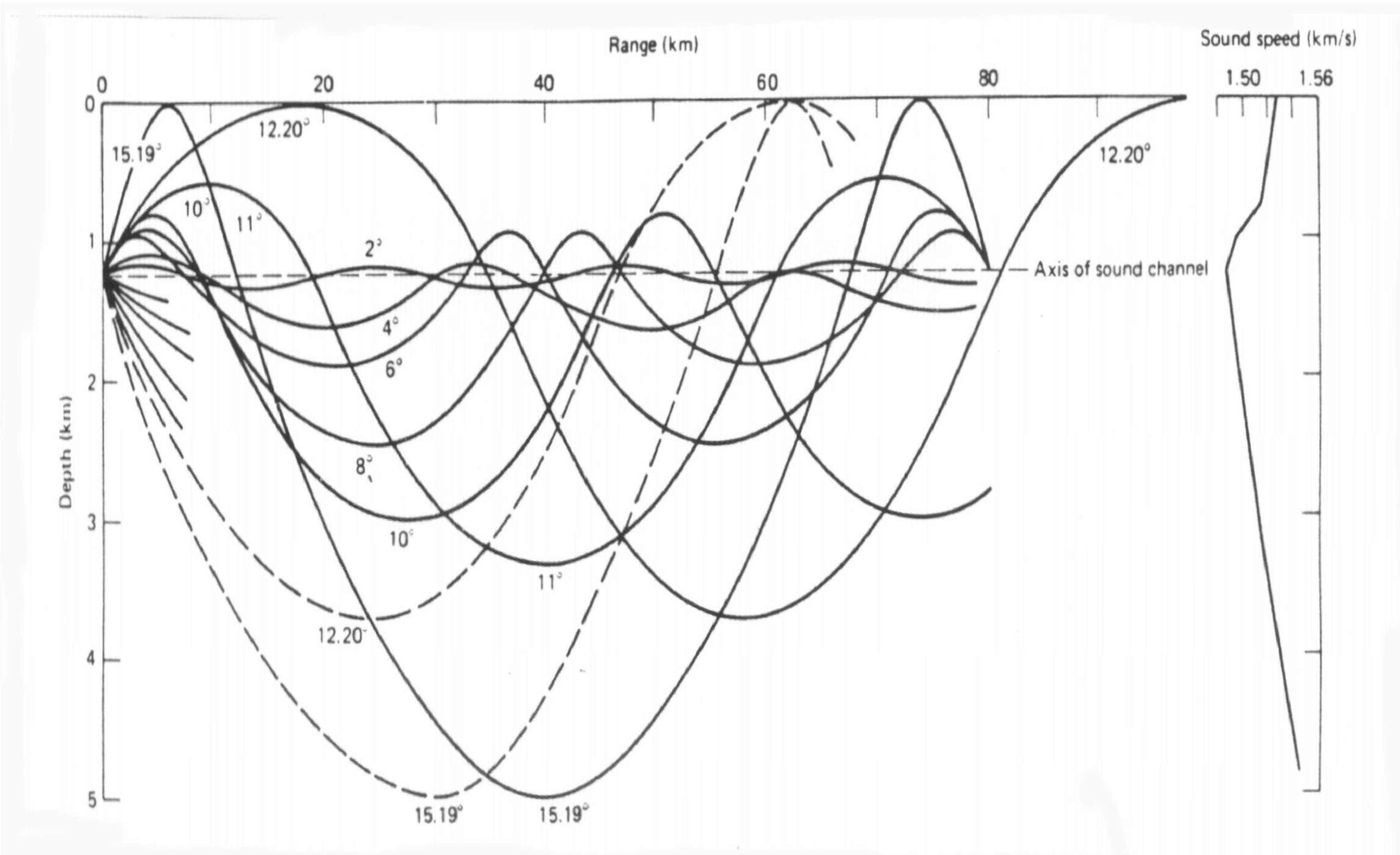
$$c(z_h) / \sin 90^0 = c(z_h) = c(z_i) / \sin \theta_i$$

$$c(z_i) < c(z_h)$$

Στο προηγούμενο παράδειγμα ποιο είναι το βάθος οριζοντιοποίησης ;

Το βάθος για το οποίο η ταχύτητα διάδοσης του ήχου είναι :

$$c(z_h) = c(z_0) / \sin\theta_0 = 1/\alpha = 1563.27$$


Range (km)
0
20
40
60
80
Sound speed (km/s)
1.50
1.56
Depth (km)
0
1
2
3
4
5
15.19°
12.20°
10°
11°
2°
4°
6°
8°
10°
11°
12.20°
15.19°
15.19°
12.20°
Axis of sound channel