

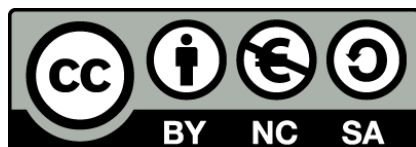


Φυσική Εικόνας & Ήχου Ι (Ε)

Ενότητα 2: Διάθλαση μέσω οπτικού πρίσματος - Υπολογισμός δείκτη διάθλασης

Αθανάσιος Αραβαντινός

Τμήμα Φωτογραφίας & Οπτικοακουστικών Τεχνών



Το περιεχόμενο του μαθήματος διατίθεται με άδεια Creative Commons εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



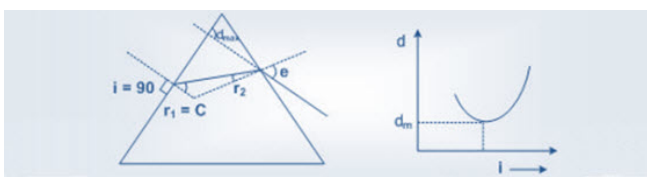
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

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.



1 Σκοπός

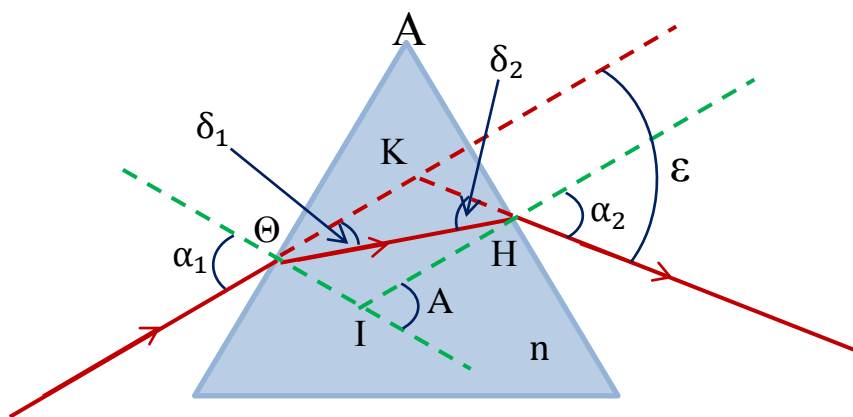
Ο δείκτης διάθλασης n ενός διαφανούς οπτικού μέσου είναι ένα ιδιαίτερο σημαντικό φυσικό μέγεθος στην οπτική. Ο δείκτης διάθλασης όχι μόνο μεταβάλλεται από υλικό σε υλικό αλλά έχει και σημαντική εξάρτηση από την συχνότητα του φωτός που χρησιμοποιείται.

Σε αυτή την άσκηση υπολογίζεται ο δείκτης διάθλασης διαφανούς οπτικού μέσου υπό μορφή πρίσματος χρησιμοποιώντας μονοχρωματική δέσμη Laser που εκπέμπει σε συγκεκριμένο, γνωστό μήκος κύματος. Η μέθοδος υπολογισμού του στηρίζεται στον πειραματικό προσδιορισμό της γωνίας ελαχίστης εκτροπής ϵ_{\min} σε πρίσμα γνωστής, θλαστικής γωνίας A .

2 Θεωρία

Πρίσμα ονομάζουμε κάθε διαφανές και ισότροπο μέσο που περιορίζεται από δυο ορικές επίπεδες επιφάνειες που σχηματίζουν γωνία A (η θλαστική γωνία του πρίσματος). Οι επίπεδες αυτές επιφάνειες καλούνται έδρες του πρίσματος, ενώ κάθε επίπεδο κάθετο στην ακμή του πρίσματος καλείται κύρια τομή αυτού.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η πορεία λεπτής φωτεινής δέσμης μονοχρωματικού φωτός που προσπίπτει στο σημείο Θ της πρώτης έδρας του πρίσματος υπό γωνία α_1 και αναδύεται στο σημείο H της άλλης έδρας υπό γωνία α_2 . Η συγκεκριμένη πορεία της φωτεινής αυτής δέσμης θεωρείται ότι βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο μιας κύριας τομής του πρίσματος.

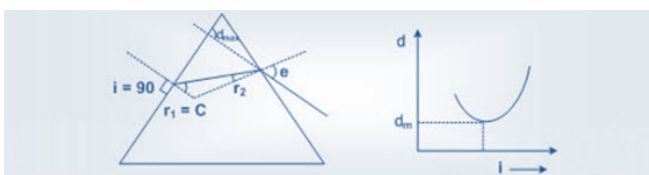


Σχήμα 1. Διάθλαση φωτεινής ακτίνας μέσω οπτικού πρίσματος.

Αν η εκτροπή που επιτυγχάνεται αντιστοιχεί σε γωνία ϵ για το πρίσμα με δείκτη διάθλασης n , τότε ισχύουν οι σχέσεις:

$$n = \frac{\eta\mu\alpha_1}{\eta\mu\delta_1} = \frac{\eta\mu\alpha_2}{\eta\mu\delta_2} \text{ και } A = \delta_1 + \delta_2 \text{ και } \epsilon = \alpha_1 + \alpha_2 - A$$

Η πρώτη από τις σχέσεις διατυπώνει την εφαρμογή του νόμου του Snell στα σημεία Θ , H



εισόδου, εξόδου από το πρίσμα, ενώ οι άλλες δυο οφείλουν την ύπαρξή τους στην γεωμετρία των τριγώνων ΙΘΗ και ΘΚΗ.

Η θεωρία αλλά και το πείραμα συμφωνούν ότι η γωνία εκτροπής ε εξαρτάται από:

1. Τον δείκτη διάθλασης n του υλικού του πρίσματος
2. Την θλαστική γωνία A και ακόμη
3. Μεταβάλλεται με την γωνία πρόσπτωσης α_1 ενώ λαμβάνει την ελάχιστη τιμή ϵ_{\min} όταν $\alpha_1 = \alpha_2 = (\alpha)$ και $\delta_1 = \delta_2 = (\delta)$ (θέση ελαχίστης εκτροπής).

Στην θέση της ελάχιστης εκτροπής μάλιστα αποδεικνύεται ότι ισχύουν οι σχέσεις:

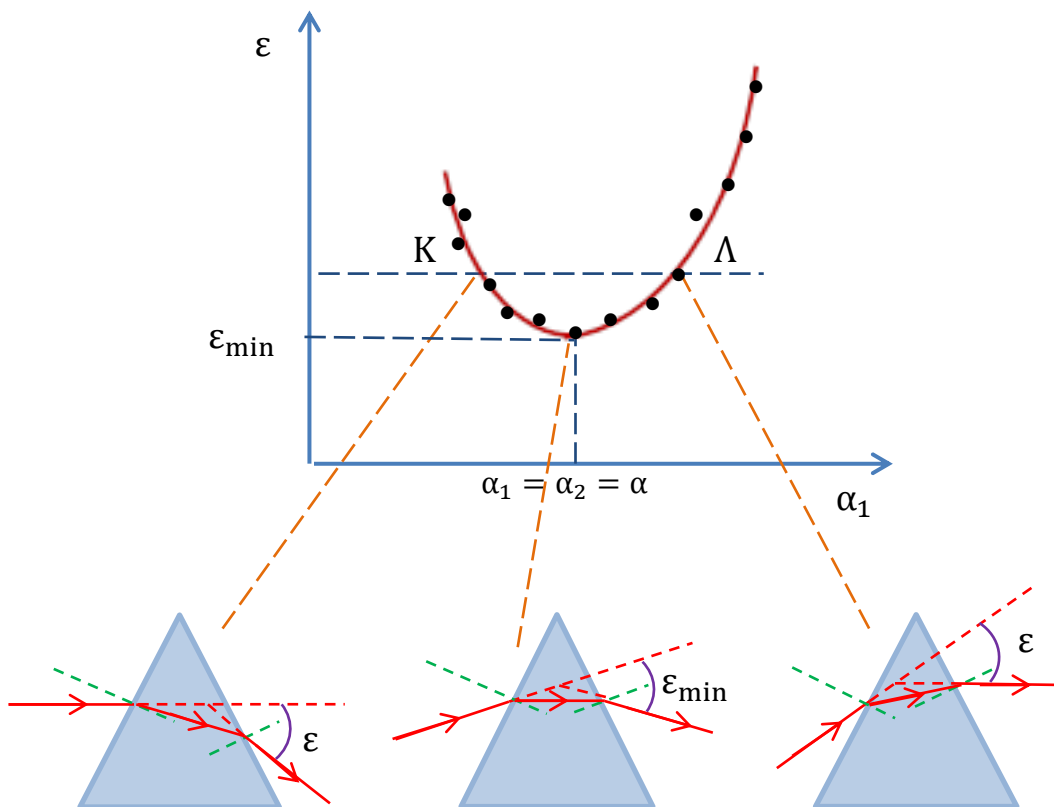
$$n = \frac{\eta\mu\alpha}{\eta\mu\delta}, \quad A = 2\delta \quad \text{και} \quad \epsilon_{\min} = 2\alpha - A$$

Εάν συνδυαστούν κατάλληλα οι παραπάνω σχέσεις, εύκολα φαίνεται ότι ο δείκτης διάθλασης n του πρίσματος ικανοποιεί τη σχέση:

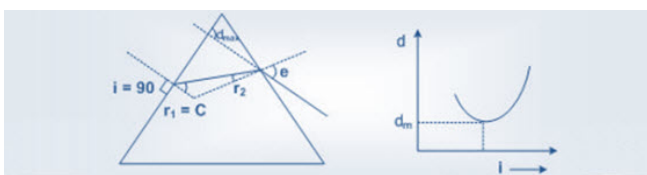
$$n = \frac{\eta\mu\left(\frac{\epsilon_{\min} + A}{2}\right)}{\eta\mu\left(\frac{A}{2}\right)}$$

Η τελευταία αυτή σχέση επιτρέπει την μέτρηση του δείκτη διάθλασης του υλικού ενός πρίσματος θλαστικής γωνίας A αρκεί βέβαια να μετρηθεί πειραματικά η γωνία ελάχιστης εκτροπής ϵ_{\min} .

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται διαγραμματικά η καμπύλη μεταβολής της γωνίας εκτροπής ϵ σε σχέση με την γωνία πρόσπτωσης α_1 .



Σχήμα 2. Μεταβολή της γωνίας εκτροπής σε σχέση με την γωνία πρόσπτωσης α_1 .

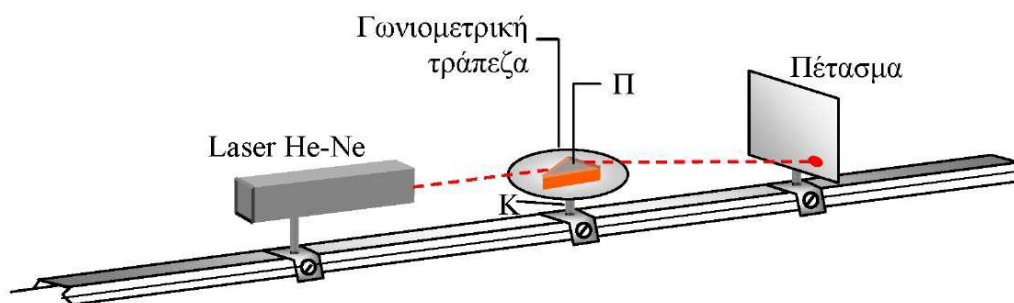


Παρατηρείται, από το προηγούμενο διάγραμμα, ότι υπάρχουν ζευγάρια διαφορετικών τιμών για την γωνία πρόσπτωσης α_1 τα οποία όμως αντιστοιχούν στην ίδια ακριβώς εκτροπή της μονοχρωματικής ακτίνας (ευθεία ΚΛ παράλληλη οριζόντιου άξονα α_1).

3 Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από μια οπτική τράπεζα επάνω στην οποία βρίσκονται η πηγή μονοχρωματικού φωτός (συσκευή δέσμης Laser), ο γωνιομετρικός κύκλος Γ στο κέντρο του οποίου βρίσκεται το πρίσμα Π γνωστής θλαστικής γωνίας καθώς και η κατακόρυφη οθόνη O (αδιαφανές επίπεδο πέτασμα).

Στην άσκηση αυτή χρησιμοποιούμε μονοχρωματικό φως διότι διαφορετικά θα είχαμε στο πρίσμα εκτός από την εκτροπή και ανάλυση του φωτός. Ως πηγή μονοχρωματικού φωτός χρησιμοποιούμε Laser He - Ne ή Ar που εκπέμπουν χαρακτηριστικό κόκκινο ή πράσινο φως αντίστοιχα μήκος κύματος περίπου 650 ή 520 nm. Η συσκευή Laser τροφοδοτείται από ειδική μονάδα τροφοδοσίας με κατάλληλο ομοαξονικό καλώδιο.



Σχήμα 3. Η πειραματική διάταξη.

Για την ασφάλεια των ασκουμένων προσοχή στα εξής :

1. Μην επεμβαίνετε καθόλου στη διάταξη του Laser. Για κάθε πιθανή ανωμαλία που διαπιστώνετε απευθυνθείτε άμεσα στο προσωπικό του εργαστηρίου.
2. Απαγορεύεται αυστηρά η έκθεση του οφθαλμού στην οπτική διαδρομή της δέσμης Laser είτε απ' ευθείας είτε μέσω ανακλάσεων.

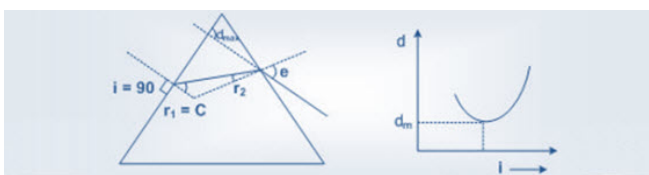
Για να μεταβάλλουμε επιλεκτικά την γωνία πρόσπτωσης α_1 ξεσφίγγουμε λιγάκι τον κοχλία K που στηρίζει οριζόντια τον γωνιομετρικό κύκλο με το πρίσμα χωρίς να πειραχθεί καθόλου η συσκευή Laser.

Η θέση της ακτίνας που προσπίπτει στο πρίσμα όπως άλλωστε και η τελικά αναδυόμενη διαβάζονται εύκολα επάνω στον γωνιομετρικό κύκλο στην περιφέρεια του οποίου υπάρχει η κατάλληλη χάραξη με ακρίβεια μοίρας.

Το εργαστήριο διαθέτει εκτός των δυο συσκευών Laser που προαναφέρθηκαν και ποικιλία πρισμάτων με διαφορετικές θλαστικές γωνίες. Η επιλογή της συσκευής του Laser, όπως και πρίσματος για την εκτέλεση της άσκησης είναι ευθύνη του υπεύθυνου καθηγητή ο οποίος και ενημερώνει την ασκούμενη ομάδα των σπουδαστών για τις τιμές του μήκους κύματος λ καθώς και της θλαστικής γωνίας A του πρίσματος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί.

4 Εργασίες

1. Τοποθετούμε οριζόντια το πρίσμα συγκεκριμένης θλαστικής γωνίας A (σύμφωνα με την υπόδειξη του υπεύθυνου καθηγητή) επάνω στον γωνιομετρικό κύκλο, έτσι ώστε



η κορυφή του να βρίσκεται περίπου στο κέντρο του κύκλου.

Σε όλες τις εργασίες που ακολουθούν η στενή δέσμη του Laser διατηρεί σταθερή και ακλόνητη την διεύθυνσή της.

2. Μεταβάλλουμε αυξάνοντας την γωνία προσπτώσεως α_1 και μετράμε κάθε φορά επακριβώς την αντίστοιχη γωνία αναδύσεως α_2 . Υπολογίζουμε έτσι κάθε φορά την γωνία εκτροπής ϵ για την οποία ισχύει η σχέση: $\epsilon = \alpha_1 + \alpha_2 - A$.

Συμπληρώνεται έτσι ο πίνακας μετρήσεων με 15 τουλάχιστον ανεξάρτητες διαφορετικές μετρήσεις.

Πίνακας Μετρήσεων - Υπολογισμών

α/α	α_1	α_2	$\epsilon = \alpha_1 + \alpha_2 - A$
1			
2			
3			
4			
5			
...			
15			

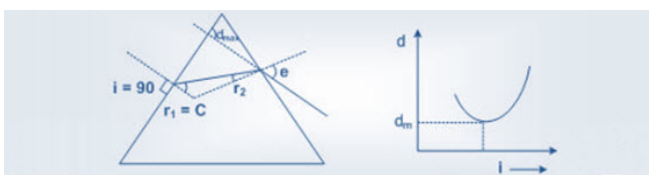
3. Να γίνει η γραφική παράσταση $\epsilon = f(\alpha_1)$, να χαραχθεί η αντίστοιχη ομαλή πειραματική καμπύλη και να προσδιοριστεί γραφικά η ελάχιστη τιμή της γωνίας εκτροπής ϵ_{\min} .
4. Μεταβάλλουμε με συνεχή, ομαλό τρόπο την γωνία α_1 και φέρνουμε το πρίσμα στην θέση της ελάχιστης εκτροπής. Σημειώνεται πως η θέση αυτή προσδιορίζεται από την σχολαστική παρατήρηση του φωτεινού ίχνους της δέσμης Laser στο κατακόρυφο πέτασμα. Συγκεκριμένα καθώς αυξάνεται η γωνία προσπτώσεως α_1 περιστρέφοντας το πρίσμα παρατηρείται μια ομόρροπη κίνηση του ίχνους της δέσμης με μια τάση επιβράδυνσης. Μάλιστα, σε κάποια συγκεκριμένη θέση το ίχνος αυτό σχεδόν ακινητοποιείται ενώ η περαιτέρω αύξηση της γωνίας προσπτώσεως δημιουργεί κίνηση του ίχνους σε αντίθετη όμως φορά από ότι προηγούμενα.

Η θέση του πρίσματος που αντιστοιχεί στο σχεδόν «ακινητοποιημένο» ίχνος στο κατακόρυφο πέτασμα είναι η ζητούμενη θέση της ελάχιστης εκτροπής. Τώρα το ϵ_{\min} υπολογίζεται από τις αντίστοιχες τιμές των γωνιών α_1 και α_2 .

5. Επαναλαμβάνουμε διαδοχικά την προηγούμενη εργασία οκτώ συνολικά ανεξάρτητες φορές με σκοπό τον υπολογισμό της μέσης τιμής για την γωνία ελάχιστης εκτροπής ϵ_{\min} . Συμπληρώνουμε τον πίνακα μετρήσεων που ακολουθεί και υπολογίζουμε το σφάλμα $\Delta\epsilon_{\min}$ της μέσης τιμής (σε ακτίνια).

Πίνακας Μετρήσεων - Υπολογισμών

α/α	α_1	α_2	ϵ_{\min}	$\bar{\epsilon}_{\min}$	$\Delta\epsilon_i$	$(\Delta\epsilon_i)^2$
1						
2						
3						



...						
8						

6. Να συγκριθούν η τιμή της ελάχιστης γωνίας εκτροπής ϵ_{\min} που βρέθηκε γραφικά (εργασία 3) με αυτή της μέσης τιμής του ακριβώς προηγούμενου πίνακα. Που μπορεί να οφείλεται η όποια, μικρή διαφορά παρουσιάζεται;

Ποια από τις τιμές που βρέθηκαν θεωρείτε ότι είναι η περισσότερο αξιόπιστη; Δηλαδή ποια μετρητική διαδικασία διαθέτει τα λιγότερα σφάλματα;

7. Να υπολογιστεί από την αντίστοιχη σχέση η τιμή του άγνωστου δείκτη διάθλασης n που χαρακτηρίζει το διαφανές υλικό του πρίσματος.
8. Πόσο είναι το σφάλμα δn στον υπολογισμό του δείκτη διάθλασης εάν θεωρηθεί ότι η θλαστική γωνία A είναι δεδομένη (χωρίς σφάλμα) ενώ αποδεικνύεται ότι ισχύει:

$$\delta n = \frac{n}{2} \left[\frac{\delta \epsilon_{\min}}{\epsilon \varphi \left(\frac{\epsilon_{\min} + A}{2} \right)} \right]$$

Με $\delta \epsilon_{\min}$ το αντίστοιχο σφάλμα της μέσης τιμής του πίνακα της ερώτησης 5.

Να γραφεί η έκφραση του τελικού αποτελέσματος υπό την μορφή: $n = \bar{n} \pm \delta n$.

9. Ποια είναι η ορική γωνία του υλικού για το συγκεκριμένο πρίσμα; Για ποια τιμή της θλαστικής γωνίας A το πρίσμα αυτό θα απέκλειε την τελική έξοδο της οποιασδήποτε προσπίπτουσας δέσμης από την δεύτερη έδρα του;

ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ: Το φαινόμενο της οπτικής διάθλασης, Πρίσματα, Δείκτης διάθλασης διαφανούς υλικού.

Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας

Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σημειώματα

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright TEI Αθήνας, Αθανάσιος Αραβαντινός. Αθανάσιος Αραβαντινός. «Φυσική Εικόνας & Ήχου Ι (Ε). Ενότητα 2: Διάθλαση μέσω οπτικού πρίσματος - Υπολογισμός δείκτη διάθλασης». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: ocp.teiath.gr.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό. Οι όροι χρήσης των έργων τρίτων επεξηγούνται στη διαφάνεια «Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων».

Τα έργα για τα οποία έχει ζητηθεί άδεια αναφέρονται στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



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

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

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

Επεξήγηση όρων χρήσης έργων τρίτων

©	Δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, παρά μόνο εάν ζητηθεί εκ νέου άδεια από το δημιουργό.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου και η δημιουργία παραγώγων αυτού με απλή αναφορά του δημιουργού.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-SA	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού, και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-ND	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η δημιουργία παραγώγων του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-SA	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού και διάθεση του έργου ή του παράγωγου αυτού με την ίδια άδεια. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου.
διαθέσιμο με άδεια CC-BY-NC-ND	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου με αναφορά του δημιουργού. Δεν επιτρέπεται η εμπορική χρήση του έργου και η δημιουργία παραγώγων του.
διαθέσιμο με άδεια CC0 Public Domain	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.
διαθέσιμο ως κοινό κτήμα	Επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου, η δημιουργία παραγώγων αυτού και η εμπορική του χρήση, χωρίς αναφορά του δημιουργού.
χωρίς σήμανση	Συνήθως δεν επιτρέπεται η επαναχρησιμοποίηση του έργου.

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.