

**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα**

**Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας**

Φυσική

**Ενότητα 1:** Η δομή της ύλης

Κωνσταντίνος Κουρκουτάς

Τμήμα Οδοντικής Τεχνολογίας

|  |  |
| --- | --- |
| Το περιεχόμενο του μαθήματος διατίθεται με άδεια Creative Commons εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά | 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 Η δομή της ύλης**

1. **Οι καταστάσεις της ύλης**

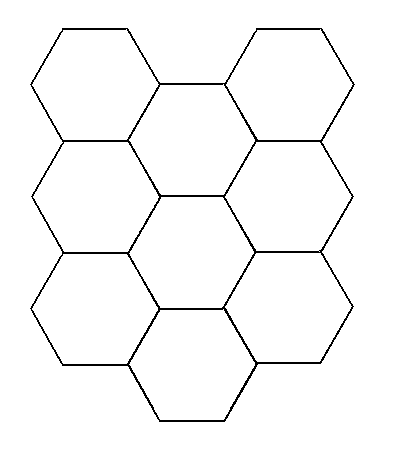
Είναι γνωστό ότι τα στοιχεία και οι ενώσεις τους απαντούν γενικά σε τρεις καταστάσεις. Αυτές είναι:

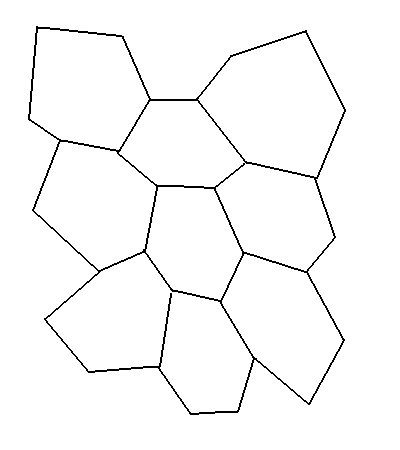
**Στερεά** (κρυσταλλικά, ή άμορφα)

**Υγρά**

**Αέρια**

Στα στερεά και τα υγρά, που είναι δύο καταστάσεις πυκνής δόμησης της ύλης, οι αποστάσεις μεταξύ των γειτονικών ατόμων, ή μορίων είναι της τάξης λίγων δεκάτων του νανομέτρου (). Σε κάθε κυβικό εκατοστό () στερεού, ή υγρού περιέχονται δηλαδή  άτομα, ή μόρια. Τα αέρια είναι η κατάσταση αραιής δόμησης της ύλης. Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και υπό πίεση μιας ατμόσφαιρας η μέση απόσταση μεταξύ των γειτονικών ατόμων, ή μορίων ενός αερίου είναι λίγα νανόμετρα, δηλαδή μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη εκείνης των στερεών και των υγρών. Αυτό αντιστοιχεί σε πυκνότητα  ατόμων, ή μορίων ανά κυβικό εκατοστό αερίου.



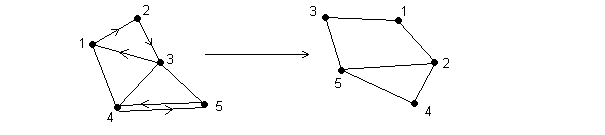


Στα στερεά οι σχετικές θέσεις των ατόμων είναι σταθερές. Κάθε άτομο έχει τους ίδιους γείτονες και στις ίδιες θέσεις γύρω του. Στα **κρυσταλλικά στερεά** οι θέσεις αυτές διατάσσονται στο χώρο βάσει ενός κανόνα και σχηματίζουν ένα πλέγμα όπως στο σχήμα 1-1. Διαπιστώνουμε ότι το **κρυσταλλικό πλέγμα** μπορεί να παραχθεί από την επανάληψη μιας **κρυσταλλικής κυψελίδας**. Για το κρυσταλλικό πλέγμα του σχήματος 1-1 η κυψελίδα αυτή μπορεί να είναι π.χ. ένα κανονικό εξάγωνο. Η χαρακτηριστική ιδιότητα των κρυσταλλικών στερεών είναι δηλαδή η **τάξη σε μεγάλη κλίμακα**. Παραδείγματα κρυσταλλικών στερεών είναι το διαμάντι και το χλωριούχο Νάτριο. Σημειώνουμε επίσης ότι η σύγχρονη ηλεκτρονική τεχνολογία βασίζεται στις ηλεκτρικές ιδιότητες μερικών κρυσταλλικών ημιαγωγών, κατά κύριο λόγο του Πυριτίου (Si) και του Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs).

Σε αντίθεση με τα κρυσταλλικά στερεά, τα **άμορφα** διαθέτουν **τάξη σε βραχεία κλίμακα**. Η περιοδικότητα σε μεγάλη έκταση, που είναι χαρακτηριστική της κρυσταλλικής κατάστασης, είναι πρακτικά ανύπαρκτη στα άμορφα, όμως τα άτομα τείνουν να καταλάβουν κάποιες τακτικές θέσεις, όπως στο σχήμα 1-2. Σημειώνουμε ότι και οι αποστάσεις μεταξύ των γειτονικών ατόμων δεν είναι σταθερές όπως στα κρυσταλλικά στερεά, αλλά κυμαίνονται γύρω από μια μέση τιμή. Τυπικό παράδειγμα άμορφου υλικού είναι το γυαλί.

Αν και σε πρώτη προσέγγιση θεωρούμε σταθερές τις θέσεις των ατόμων στα στερεά, θα πρέπει να έχουμε κατά νου, ότι στην πραγματικότητα τα άτομα δεν παραμένουν ακίνητα, αλλά εκτελούν ταλαντώσεις γύρω από αυτές τις πλεγματικές θέσεις με μέσο πλάτος, που αυξάνει με τη θερμοκρασία.





Η δομή των υγρών είναι παρόμοια με εκείνη των αμόρφων, όμως η εσωτερική ενέργεια είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να μπορούν τα μόρια να αλλάζουν θέσεις μεταξύ τους. Επίσης οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ τους δεν είναι σταθερές, αλλά μεταβάλλεται στα όρια κάποιας μικρής κλίμακας. Το σχήμα 2-1 αποδίδει μια περιορισμένη περιοχή ενός υγρού σε δύο διαδοχικά στιγμιότυπα. Βάσει του προτύπου αυτού, μπορούμε να χαρακτηρίσουμε τα άμορφα υλικά ως παγωμένα υγρά.

Μακροσκοπικά η κινητικότητα των μορίων των υγρών και η περιορισμένη μεταβολή των μεταξύ τους θέσεων και αποστάσεων εμφανίζεται ως **ρευστότητα**, που είναι η χαρακτηριστική ιδιότητα των ρευστών. Το αντίθετο της ρευστότητας είναι το **ιξώδες**. Κατανοούμε έτσι, γιατί λαμβάνουν τα υγρά το σχήμα του δοχείου μέσα στο οποίο περιέχονται.

Μερικά υγρά, που αποτελούνται από ευθύγραμμα μόρια μεγάλου μήκους, παρουσιάζουν κάποιες κρυσταλλικές ιδιότητες από την άποψη ότι τα μόριά τους έχουν σε μεγάλη έκταση την ίδιο διεύθυνση χωρίς να συνιστούν όμως κρυσταλλικό πλέγμα. Τα υλικά αυτά λέγονται **υγροί κρύσταλλοι**. Τα μόρια των υγρών κρυστάλλων προσανατολίζονται εύκολα όταν βρεθούν μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο και αλλάζουν οπτικές ιδιότητες. Επιτρέπουν δηλαδή ανάλογα με τον προσανατολισμό τους τη διέλευση, ή όχι του φωτός. Η ιδιότητα αυτή αξιοποιείται στα ενδεικτικά υγρού κρυστάλλου LCD (Liquid Crystal Display).

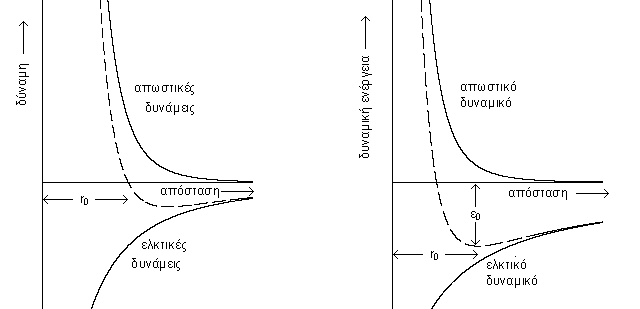
Τα αέρια έχουν απολύτως άτακτη δομή. Τα μόριά τους κινούνται χαοτικά με ταχύτητες, που μπορούν να λάβουν οποιαδήποτε τιμή, πλην όμως κατανέμονται γύρω από μια μέση τιμή, η οποία αυξάνει με τη θερμοκρασία, και τείνουν να καταλάβουν όσο το δυνατό μεγαλύτερο όγκο.

1. **2 Σχηματισμός και ταξινόμηση των στερεών**

Για να κατανοήσουμε τον τρόπο, με τον οποίο σχηματίζονται τα στερεά, πρέπει να λάβουμε υπ’ όψη, ότι μεταξύ των ατόμων, ή μορίων, ασκούνται δύο διαφορετικά είδη δυνάμεων: (1) ένα είδος ελκτικών δυνάμεων, που είναι οι **δυνάμεις συνοχής** και οι οποίες τείνουν να μειώσουν τη μεταξύ τους απόσταση και (2) ένα είδος απωστικών δυνάμεων, που εμποδίζει την προσέγγιση των ατόμων, ή μορίων πέραν ενός ορισμένου ορίου, η οποία οφείλεται στις δυνάμεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των πυρήνων και των εξωτερικών ηλεκτρονίων των δύο ατόμων. Και τα δύο είδη δυνάμεων τα αντιλαμβανόμαστε μακροσκοπικά από το γεγονός ότι τόσο για να επιμηκύνουμε, όσο και για να επιβραχύνουμε ένα στερεό σώμα, πρέπει να ασκήσουμε μεγάλες εξωτερικές δυνάμεις.

Οι δυνάμεις αυτές εξασθενούν με την απόσταση, όμως η εξασθένηση αυτή είναι πιο γρήγορη στις απωστικές δυνάμεις αφού στην αντίθετη περίπτωση θα ήταν αδύνατη η αυθόρμητη προσέγγιση των μορίων μεταξύ τους στο σχηματισμό του στερεού σώματος.

Στο σχήμα 4-1 εικονίζεται η εξάρτηση αυτών των δυνάμεων από την απόσταση μεταξύ δύο ατόμων, ή μορίων. Η συνισταμένη τους απεικονίζεται από τη στικτή γραμμή. Η απόσταση , όπου μηδενίζεται η συνισταμένη των δύο δυνάμεων είναι **η απόσταση ισορροπίας**. Εκεί η δυναμική ενέργεια γίνεται ελάχιστη. Στο σχήμα 4-2 εικονίζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα για τις δυναμικές ενέργειες. Η ενέργεια  στην απόσταση ισορροπίας είναι εκείνη, που απαιτείται για την απομάκρυνση δύο ατόμων, ή μορίων.



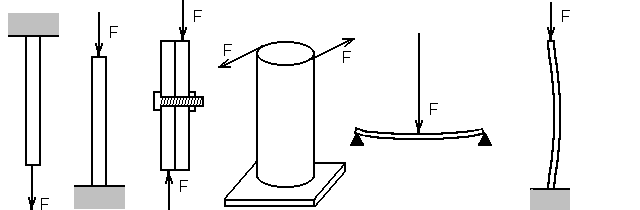
 

Η φύση των ελκτικών δυνάμεων είναι ηλεκτροστατική, όπως και στις απωστικές δυνάμεις, και εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται στο χώρο τα εξωτερικά ηλεκτρόνια. Οι φυσικές ιδιότητες των στερεών εξαρτώνται σημαντικά από το είδος των δυνάμεων συνοχής. Τυπικά διακρίνουμε τους εξής τύπους κρυσταλλικών στερεών σύμφωνα με το είδος των δυνάμεων συνοχής:

1. **Ιοντικοί κρύσταλλοι**. Στους ιοντικούς κρυστάλλους ένα, ή περισσότερα ηλεκτρόνια ατόμων μετάλλου μεταφέρονται στα άτομα αμετάλλου. Το NaCl συντίθεται από ιόντα  και . Στους ιοντικούς κρυστάλλους η δύναμη συνοχής οφείλεται κατά κύριο λόγο στις ηλεκτροστατικές δυνάμεις Coulomb μεταξύ των αντίθετα φορτισμένων ιόντων.
2. **Κρύσταλλοι σθένους**. Στους κρυστάλλους σθένους (π.χ. διαμάντι, SiC) τα γειτονικά άτομα συνεισφέρουν τα ηλεκτρόνια σθένους τους για να σχηματίσουν ισχυρούς ομοιοπολικούς δεσμούς. Χαρακτηριστικό των κρυστάλλων σθένους είναι η πολύ μεγάλη σκληρότητα και η χαμηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα.
3. **Μέταλλα**. Τα εξωτερικά ηλεκτρόνια των μετάλλων είναι ελεύθερα και κινούνται συλλογικά με μεγάλη ευκινησία σε όλον τον όγκο του μετάλλου σχηματίζοντας ένα ηλεκτρονικό ‘’ρευστό’’. Στο ‘’ρευστό’’ αυτό οφείλουν τα μέταλλα τη μεγάλη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητά τους. Οι ισχυρές δυνάμεις συνοχής οφείλονται στην ισχυρή ηλεκτροστατική έλξη μεταξύ των θετικών μεταλλικών ιόντων και του ενδιάμεσου αρνητικού ηλεκτρονικού ‘’ρευστού’’.
4. **Κρύσταλλοι van der Waals**. (Johann van der Waals, 1837-1923, Ολλανδός Φυσικός κάτοχος βραβείου Nobel, που διατύπωσε την κινητική θεωρία των υγρών).Τέτοιοι είναι οι κρύσταλλοι, που σχηματίζουν τα ευγενή αέρια όπως π.χ. το Αργόν σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, καθώς και αρκετές οργανικές ουσίες. Οι δυνάμεις συνοχής είναι **δυνάμεις van der Waals**, δηλαδή δυνάμεις προερχόμενες από αλληλεπιδράσεις μεταξύ διπόλων. Τα δίπολα αυτά σχηματίζονται από το θετικό πυρήνα των ατόμων και το στιγμιαίο κέντρο φορτίου των κινουμένων ηλεκτρονίων τους, ή και από μόνιμα διπολικά μόρια. Οι δυνάμεις van der Waals είναι πολύ ασθενείς και γι αυτό το λόγο τα αντίστοιχα υλικά έχουν χαμηλό σημείο τήξης και βρασμού.
5. Ποιο είναι το χαρακτηριστικό των κρυσταλλικών στερεών;
6. Τι ονομάζουμε τάξη σε βραχεία κλίμακα;
7. Ποιες είναι οι ομοιότητες και ποιες οι διαφορές ως προς τη δομή μεταξύ των αμόρφων και των υγρών;
8. Μεταξύ των ατόμων, ή των μορίων των στερεών ασκούνται συγχρόνως τόσο ελκτικές όσο και απωστικές δυνάμεις. Πώς αντιλαμβανόμαστε μακροσκοπικά την ύπαρξη των δυνάμεων αυτών;
9. Ποια είδη κρυστάλλων διακρίνουμε βάσει των δυνάμεων συνοχής; Ποια είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους;
10. **Μηχανικές ιδιότητες των στερεών**

**1.3.1 Καταπονήσεις και είδη παραμορφώσεων των στερεών**

Όπως αναφέραμε στην παράγραφο 1.2, μεταξύ των ατόμων, ή μορίων των στερεών ασκούνται συγχρόνως τόσο ελκτικές όσο και απωστικές δυνάμεις, οι οποίες τα συγκρατούν σε ορισμένες σχετικές μεταξύ τους αποστάσεις, όπου η δυναμική ενέργεια γίνεται ελάχιστη. Για να παραμορφώσουμε ένα στερεό σώμα, πρέπει να μεταβάλλουμε αυτές τις σχετικές αποστάσεις, επομένως πρέπει να ασκήσουμε εξωτερική δύναμη. Όταν ασκούμε σε ένα στερεό σώμα εξωτερική δύναμη, λέμε ότι το σώμα υφίσταται **καταπόνηση**. Ανάλογα με τον τρόπο, που καταπονείται το σώμα έχουμε τα αντίστοιχα είδη παραμορφώσεων. Οι δυνατές καταπονήσεις είναι ο **εφελκυσμός** και η **θλίψη**, η **διάτμηση**, η **στρέψη**, η **κάμψη** και ο **λυγισμός**.



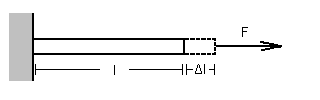
    

Στον εφελκυσμό (σχήμα 6-1) το σώμα τείνει να επιμηκυνθεί κατά τη διεύθυνση της δύναμης, ενώ στη θλίψη τείνει να επιβραχυνθεί κατά τη διεύθυνση της δύναμης. Εφελκυστικές δυνάμεις ασκούνται στα σκοινιά, στα συρματόσκοινα, στα καλώδια κλπ, ενώ οι κολώνες των κτηρίων δέχονται θλιπτικές δυνάμεις από τα υπερκείμενα βάρη. Στη διάτμηση ασκείται ένα ζεύγος αντιθέτων δυνάμεων. Διατμητικές δυνάμεις δέχονται π.χ. οι βίδες, που συγκρατούν κατακόρυφα ελάσματα, όπως στο παράδειγμα του σχήματος 6-2. Η στρέψη είναι ένα είδος διάτμησης, το οποίο τείνει να στρεβλώσει το σώμα (σχήμα 6-3). Δυνάμεις στρέψης δέχονται οι βίδες όταν τις βιδώνουμε, οι άξονες που μεταφέρουν την κίνηση στους τροχούς κλπ. Στην κάμψη το σώμα παραμορφώνεται κατά τη διεύθυνση της δύναμης και σχηματίζει τόξο, όπως στο σχήμα 6-4. Δυνάμεις κάμψης ασκούνται στα δοκάρια, στις γέφυρες, στους εξώστες κλπ. Στο λυγισμό (σχήμα 6-5) το σώμα παραμορφώνεται σε διεύθυνση κάθετη στην ασκούμενη δύναμη. Λυγισμό υφίστανται λεπτά στελέχη, ή στύλοι, που δέχονται μεγάλες δυνάμεις κατά τη διεύθυνση του άξονά τους.

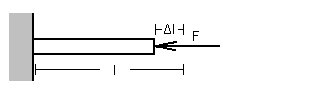
1. **Ελαστικές παραμορφώσεις**

Η παραμόρφωση λέγεται **ελαστική**, αν το σώμα επανέρχεται στην αρχική κατάστασή του μετά την άρση της δύναμης. Αν η παραμόρφωση παραμένει μετά την άρση της δύναμης, τότε λέγεται **πλαστική**. Ελαστική είναι η παραμόρφωση ενός ελατηρίου, που συμπιέζουμε. Αντίθετα η παραμόρφωση του υγρού πηλού, του στόκου κλπ είναι πλαστική. Σε μερικές περιπτώσεις το σώμα επανέρχεται τελείως μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Στις περιπτώσεις αυτές λέμε ότι το σώμα παρουσιάζει **ελαστική αδράνεια**.

1. **Εφελκυσμός και θλίψη. Ο νόμος του Hooke**





Στον εφελκυσμό το σώμα επιμη-κύνεται κατά τη διεύθυνση της δύναμης (σχήμα 7-1) και στη θλίψη επιβράχυνση, ή αρνητική επιμήκυνση κατά τη διεύθυν-ση της δύναμης (σχήμα 7-2) το πηλίκο της επιμήκυνσης  προς το αρχικό μη-κος  του σώματος είναι η:

**ανηγμένη επιμήκυνση**

 (7-1)

Το πηλίκο της δύναμης  προς το εμβαδόν της διατομής είναι η:

**τάση εφελκυσμού**  σε , ή  (7-2)

**Παράδειγμα 1-1**

Σε νήμα διαμέτρου  και μήκους  ασκείται εφελκυστική δύναμη . Το νήμα επιμηκύνεται κατά . Να υπολογιστούν: α) η ανηγμένη επιμήκυνση β) η τάση σε .

**Λύση**

α) 

β) 



Ο Άγγλος Φυσικός **Robert Hooke** (1655-1703) διατύπωσε πειραματικά ότι:

**Στις μικρές παραμορφώσεις η ανηγμένη επιμήκυνση είναι ανάλογη της ασκούμενης τάσης.**

**νόμος Hooke ** (8-1)

Η σταθερά αναλογίας Ε λέγεται **μέτρο ελαστικότητας**, ή **μέτρο του Young** από το όνομα του Άγγλου Φυσικού **Thomas Young** (1773-1829), ο οποίος δημοσίευσε πειραματικά δεδομένα για την τιμή του μέτρου ελαστικότητας σε διάφορα υλικά. Η μονάδα μέτρησης του μέτρου ελαστικότητας είναι , ή .

**Παράδειγμα 1-2**

Να υπολογιστεί το μέτρο ελαστικότητας του νήματος του παραδείγματος 1-1

**Λύση**

** **

**Παράδειγμα 1-3**

Το μέτρο ελαστικότητας του χαλκού είναι . Να υπολογίσετε τη δύναμη, που πρέπει να ασκήσουμε, ώστε να επιμηκύνουμε κατά  σύρμα διαμέτρου  και αρχικού μήκους .

**Λύση**







Στον πίνακα 1-1 περιέχονται οι μέσες τιμές του μέτρου ελαστικότητας μερικών υλικών. Παρατηρούμε ότι τα μέταλλα έχουν σημαντικά μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας από τα άλλα υλικά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1

|  |  |
| --- | --- |
| Υλικό | Ε |
| Μέταλλα  σίδηρος  χαλκός  αλουμίνιο  μαγνήσιο  Άλλα υλικά  ξύλο:  παράλληλα στις ίνες  κάθετα στις ίνες  καουτσούκ  εβονίτης  γρανίτης  μάρμαρο | 2,1⋅1011  1,3⋅1011  0,7⋅1011  0,45⋅1011  1,1-1,6⋅1010  0,5-1,1⋅1010  8⋅106  2,6⋅108  5⋅1010  4⋅1010 |

Θέτουμε στο νόμο του Hooke (εξίσωση 8-1) την τιμή  για την ανηγμένη επιμήκυνση και διαπιστώνουμε ότι:

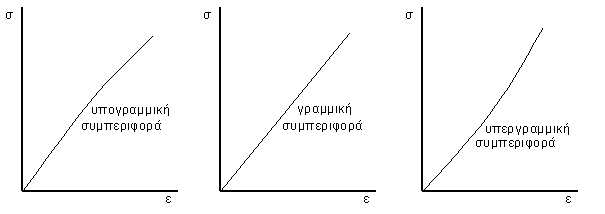
**Το μέτρο ελαστικότητας είναι ίσο με την τάση με την οποία πρέπει να τείνουμε το σώμα, για να διπλασιάσουμε το μήκος του.**

Στη διαπίστωση αυτή πρέπει να επισημάνουμε ότι με εξαίρεση λίγα υλικά, που διαθέτουν πολύ μεγάλη ελαστικότητα όπως το καουτσούκ, δεν είναι δυνατό να ασκήσουμε ποτέ τόσο μεγάλη τάση στα συνηθισμένα υλικά, γιατί θα σπάσουν πολύ πριν διπλασιαστεί το μήκος τους.

1. **Το διάγραμμα εφελκυσμού**

Ο νόμος του Hooke, δηλαδή η αναλογία μεταξύ της ανηγμένης επιμήκυνσης και της ασκούμενης τάσης ισχύει- όπως γνωρίσαμε- για μικρές παραμορφώσεις. Τα περισσότερα υλικά εξακολουθούν όμως να συμπεριφέρονται ελαστικά και για μεγαλύτερες παραμορφώσεις. Διακρίνουμε έτσι τρεις περιπτώσεις ελαστικής συμπεριφοράς.

Στην πρώτη περίπτωση, που αφορά υλικά όπως το χυτοσίδηρο, το χαλκό, το μπετόν, τις πέτρες κλπ, η περιοχή ισχύος του νόμου του Hooke είναι πολύ περιορισμένη συγκρινόμενη με όλο το εύρος της ελαστικής περιοχής, η δε ασκούμενη τάση είναι πρακτικά υπογραμμική συνάρτηση της ανηγμένης επιμήκυνσης όπως εικονίζεται στο σχήμα 10-1. Αντίθετα ο χάλυβας και τα ξύλα είναι υλικά, τα οποία ικανοποιούν το νόμο του Hooke σε ολόκληρο το εύρος της ελαστικής περιοχής. Στην περίπτωση αυτή η τάση είναι γραμμική συνάρτηση της επιμήκυνσης όπως στο σχήμα 10-2. Η Τρίτη περίπτωση αφορά λίγα υλικά όπως το καουτσούκ και το δέρμα. Η τάση είναι υπεργραμμική συνάρτηση της ανηγμένης επιμήκυνσης όπως εικονίζεται στο σχήμα 10-3.



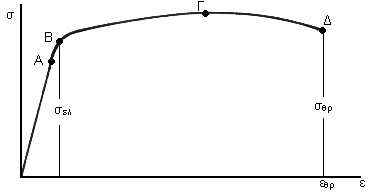
  

Πρέπει να σημειώσουμε ότι το μέτρο ελαστικότητας παραμένει σταθερό συναρτήσει της ανηγμένης επιμήκυνσης μόνο στα υλικά που ακολουθούν αυστηρά το νόμο του Hooke, δηλαδή στη δεύτερη περίπτωση, η δε τιμή του είναι ίση προς την κλίση της ευθείας . Στις δύο άλλες περιπτώσεις, δηλαδή στην υπογραμμική και την υπεργραμμική συμπεριφορά, το μέτρο ελαστικότητας εξαρτάται από την ανηγμένη επιμήκυνση, η δε τιμή του για μιαν ορισμένη ανηγμένη επιμήκυνση είναι ίση προς την κλίση της αντίστοιχης καμπύλης στο σημείο αυτό. Επομένως:

**Η τιμή του μέτρου ελαστικότητας εξαρτάται από την ανηγμένη επιμήκυνση είναι ίση προς την κλίση του διαγράμματος της ασκούμενης τάσης συναρτήσει της ανηγμένης επιμήκυνσης.**

Επίσης:

**Επειδή στα περισσότερα υλικά η μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας συναρτήσει της ανηγμένης επιμήκυνσης είναι σχετικά μικρή, λαμβάνουμε συνήθως ως τιμή του εκείνη, που αντιστοιχεί στο μέσον της ελαστικής περιοχής.**

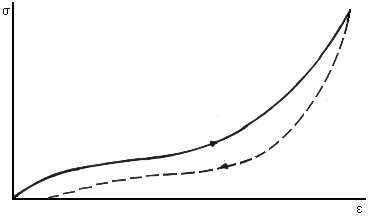




Αν η εφαρμοζόμενη τάση εφελκυσμού υπερβεί μιαν ορισμένη τιμή , που λέγεται **όριο ελαστικότητας**, τότε η παραμόρφωση γίνεται πλαστική. Το σώμα δεν επανέρχεται επομένως στις αρχικές διαστάσεις του μετά την άρση των ασκουμένων τάσεων. Περαιτέρω αύξηση της τάσης οδηγεί το υλικό σε θραύση. Η τιμή  της τάσης στην οποία θραύεται το υλικό, λέγεται **όριο θραύσης**. Στο σχήμα 11-1 εικονίζεται ένα διάγραμμα εφελκυσμού, που αφορά το χάλυβα. Στην περιοχή ΟΑ η συμπεριφορά είναι γραμμική σύμφωνα με το νόμο του Hooke, όμως η ελαστική περιοχή επεκτείνεται ως το σημείο Β. Η πλαστική συμπεριφορά οριοθετείται από τα σημεία Β και Γ. Εκεί το υλικό εφελκύεται πιο εύκολα. Η περιοχή ΓΔ λέγεται **περιοχή διαρροής** και χαρακτηρίζει το υλικό πριν τη θραύση. Η **επιμήκυνση θραύσης**  αντιστοιχεί στο καταληκτικό σημείο του διαγράμματος εφελκυσμού.

Σε μερικά υλικά, όπως στο γυαλί και τα κεραμικά, η επιμήκυνση θραύσης είναι μικρότερη από την επιμήκυνση, που αντιστοιχεί στο όριο ελαστικότητας. Αυτό σημαίνει ότι τα υλικά αυτά δε μπορούν να παραμορφωθούν πλαστικά, αφού θραύονται πριν εισέλθουν στην πλαστική περιοχή.

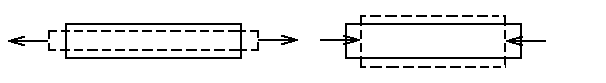
Όταν η παραμόρφωση περιορίζεται στην ελαστική περιοχή, τότε το διάγραμμα εφελκυσμού για την παραμόρφωση και την επαναφορά συμπίπτουν. Σε ορισμένα υλικά όμως όπως π.χ. στο κοινό λάστιχο αυτά τα δύο διαγράμματα δε συμπίπτουν. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **ελαστική υστέρηση**. Στο σχήμα 12-1 εικονίζεται ο βρόχος, που σχηματίζουν το διάγραμμα εφελκυσμού και το διάγραμμα επαναφοράς για το κοινό λάστιχο. Πρέπει να προσέξουμε το ιδιαίτερο σχήμα του διαγράμματος εφελκυσμού.





1. **Εγκάρσια συστολή και διαστολή στον εφελκυσμό και τη θλίψη. Συμπιεστότητα**

Όταν εφελκύουμε μια ράβδο, τότε εξ αιτίας της αύξησηςτου μήκους της συστέλλεται η εγκάρσια διατομή της όπως στο σχήμα 12-2. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **εγκάρσια συστολή**. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η ράβδος θλίβεται.(σχήμα 12-3). Εκεί παρατηρείται διαστολή της διατομής της ράβδου. Πρέπει να σημειώσουμε ότι για να σχεδιάσουμε το διάγραμμα εφελκυσμού ενός υλικού, λαμβάνουμε για την τάση την αρχική διατομή.



Μια ειδική περίπτωση θλίψης αποτελεί η ομοιόμορφη εξάσκηση πίεσης p σε όλη την επιφάνεια του σώματος. Η ελάττωση  του όγκου του σώματος δίνεται τότε από την εξίσωση:

**συστολή όγκου στη συμπίεση**  (13-1)

όπου: **συμπιεστότητα** σε  (μονάδα πίεσης)

Το αντίστροφο της συμπιεστότητας είναι το:

**μέτρο ελαστικότητας όγκου**  σε , ή  (13-2)

Μέσω του μέτρου ελαστικότητας όγκου λαμβάνουμε το νόμο του Hooke για τη συμπιεστότητα:

**νόμος Hooke για τη συμπιεστότητα**  (13-3)

1. **Θερμικές τάσεις**

Γνωρίζουμε ότι τα σώματα αυξάνουν κατά κανόνα τις διαστάσεις τους όταν θερμαίνονται. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **θερμική διαστολή** και ακολουθεί τον εξής νόμο:

**νόμος θερμικής διαστολής**  (13-4)

όπου: συντελεστής θερμικής διαστολής σε 

 μήκος της ράβδου σε θερμοκρασία  σε m, mm

αρχική και τελική θερμοκρασία σε 

μεταβολή του μήκους της ράβδου σε m, mm

Αν θερμάνουμε μια ράβδο, αλλά εμποδίσουμε τη διαστολή της πακτώνοντάς την π.χ. μεταξύ δύο τοίχων, τότε η ράβδος ασκεί στα σημεία στήριξής της δυνάμεις, που ονομάζονται **θερμικές τάσεις**. Οι δυνάμεις αυτές είναι ίσες με εκείνες, που θα έπρεπε να ασκήσουμε στη ράβδο, για να την επιβραχύνουμε από το μήκος, που θα είχε αν διαστελλόταν ελεύθερα, στο πραγματικό μήκος μεταξύ των στηριγμάτων της. Έτσι έχουμε για την ανηγμένη επιβράχυνση:

από το νόμο της θερμικής διαστολής:  (13-5)

και από το νόμο του Hooke :  (14-1)

Οπότε βρίσκουμε:

**θερμικές τάσεις**  (14-2)

Παρατηρούμε ότι οι θερμικές τάσεις είναι ανεξάρτητες από τις διαστάσεις του σώματος.

**Παράδειγμα 1-4**

Σιδερένιο δοκάρι με εμβαδόν διατομής  πακτώνεται σε θερμοκρασία  μεταξύ δύο τοίχων. Να υπολογίσετε τη δύναμη που θα ασκηθεί στους τοίχους σε θερμοκρασία . Δίνονται: μέτρο ελαστικότητας σιδήρου , συντελεστής θερμικής διαστολής σιδήρου .

**Λύση**

Εξίσωση14-2: 

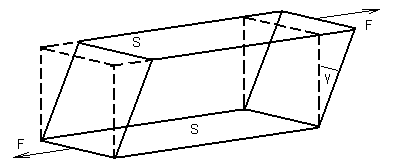




Η δύναμη αυτή είναι σχεδόν ίση με μισό τόννο.

1. **Διάτμηση**

Στη διάτμηση η παραμόρφωση εκφράζεται από τη **γωνία διάτμησης**  (σχήμα 14-1). Το πηλίκο της δύναμης F προς το εμβαδόν S της ολισθαίνουσας επιφάνειας είναι η:





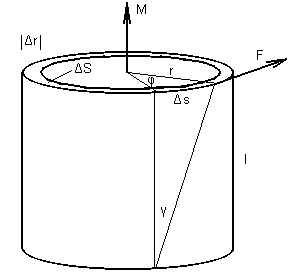
**τάση διάτμησης**  σε ,  (15-1)

Πειραματικά αποδεικνύεται ότι για μικρές παραμορφώσεις η γωνία διάτμησης είναι ανάλογη της τάσης διάτμησης:

**νόμος του Hooke για τη διάτμηση**  (15-2)

Η σταθερά αναλογίας G είναι το **μέτρο διάτμησης**. Μονάδα μέτρησης του μέτρου διάτμησης είναι , .

1. **Στρέψη**





Η στρέψη είναι ένα είδος διάτμησης. Αυτό φαίνεται και στο λεπτότοιχο κύλινδρο του σχήματος 15-1. Στη στρέψη η παραμόρφωση εκφράζεται από τη **γωνία στρέψης** . Η ολίσθηση  των σημείων της περιφέρειας είναι:

 (15-3)

Βρίσκουμε έτσι τη σχέση μεταξύ της γωνίας στρέψης  και της γωνίας διάτμησης 

 (15-4)

Αντικαθιστούμε στην εξίσωση αυτή τη γωνία διάτμησης  από την εξίσωση (15-1) και βρίσκουμε:



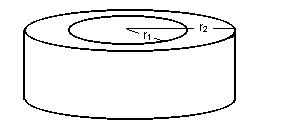
Γράφουμε τη δύναμη F συναρτήσει της **ροπής στρέψης** Μ:

 (15-5)

και λαμβάνουμε:

**νόμος στρέψης για λεπτότοιχο κύλινδρο**  (15-6)

Αν ο κύλινδρος έχει υπολογίσιμο πάχος, τότε πρέπει να λάβουμε υπ’ όψη την κατανομή του όγκου. Αυτό εκφράζεται μέσω της **πολικής ροπής αδρανείας** , η οποία βρίσκεται από τη διαμέριση του κυλίνδρου σε επάλληλους λεπτότοιχους κυλίνδρους και είναι ίση προς:





**πολική ροπή αδρανείας**  σε  (16-1)

Η πολική ροπή αδρανείας είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο μακριά από τον άξονα περιστροφής κατανέμεται ο όγκος του σώματος και υπολογίζεται με τη βοήθεια του ολοκληρωτικού λογισμού. Για το δακτύλιο του σχήματος 16-1 η πολική ροπή αδρανείας είναι:

**ροπή αδρανείας δακτυλίου**  (16-2)

και για ένα συμπαγή κύλινδρο ακτίνας r:

**ροπή αδρανείας κυλίνδρου**  (16-3)

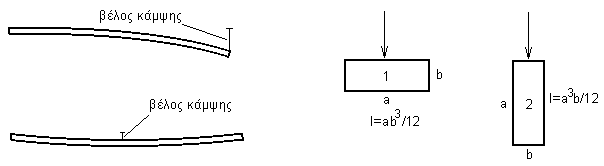
Με τη βοήθεια της πολικής ροπής αδρανείας λαμβάνουμε το νόμο της στρέψης:

**νόμος στρέψης**  (16-4)

Η εξίσωση αυτή είναι γνωστή και ισχύει για κάθε σώμα με πολική ροπή αδρανείας . Παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ροπή αδρανείας, τόσο δυσκολότερα συστρέφεται ένα σώμα.

1. **Κάμψη**

Το μέγεθος, που εκφράζει την παραμόρφωση στην κάμψη είναι το **βέλος κάμψης** (σχήμα 17-1). Το βέλος κάμψης εξαρτάται από το φορτίο και τον τρόπο στήριξης του σώματος, δηλαδή αν είναι πακτωμένο με ένα ελεύθερο άκρο, ή αν στηρίζεται ελεύθερα και στα δύο άκρα του κλπ. Σε κάθε περίπτωση όμως είναι αντιστρόφως ανάλογο της **επιφανειακής ροπής αδρανείας** Ι, η οποία εξαρτάται από την κατανομή του όγκου κατά τη διεύθυνση, κατά την οποία δρα η δύναμη. Στο σχήμα 17-1 σημειώνεται η επιφανειακή ροπή αδρανείας ενός δοκαριού με ορθογώνια διατομή για δυο διαφορετικές διευθύνσεις. Αντιλαμβανόμαστε έτσι γιατί είναι πολύ ευκολότερο να κάμψουμε μια σανίδα εύκολα κατά τον πρώτο τρόπο, όπως εικονίζεται στο σχήμα 17-2 παρά κατά το δεύτερο.



1. **Λυγισμός**

Στο λυγισμό (σχήμα 6-5) η ράβδος καταπονείται όπως και στη θλίψη από μια δύναμη κατά τη διεύθυνση του άξονά της. Αν ο λόγος του μήκους προς τη διατομή είναι μικρός, τότε η καταπόνηση είναι θλιπτική. Αν ο λόγος αυτός είναι μεγάλος, τότε η ράβδος έχει μεγάλη **λυγερότητα**και αντί να επιβραχυνθεί, λυγίζει, δηλαδή αποκλίνει πλευρικά.

1. **Σκληρότητα**

Η **σκληρότητα** είναι μια φυσική ιδιότητα, η οποία εκδηλώνεται ως αντίσταση, την οποία προβάλλει η επιφάνεια ενός υλικού, όταν επιχειρείται η διάσπασή της. Για τη μέτρηση της σκληρότητας υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ανάλογα με το είδος του υλικού.

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας των ορυκτών βασίζεται στην ιδιότητα των σκληρότερων υλικών να χαράσσουν μεν τα πιο μαλακά, αλλά να μην χαράσσονται από αυτά. Η **κλίμακα Mohs** είναι βαθμολογημένη κατά αύξουσα σκληρότητα από το 1 ως το 10. Σε κάθε βαθμό σκληρότητας αντιστοιχεί ένα ορυκτό, όπως στον πίνακα 1-2. Ο τάλκης είναι το μαλακότερο και το διαμάντι το σκληρότερο. Ένα υλικό π.χ. που χαράσσεται από το φθορίτη, αλλά δε χαράσσεται από τον ασβεστίτη, έχει σκληρότητα μεταξύ 3 και 4.

Εκτός από τη συγκριτική ορυκτολογική κλίμακα του Mohs η μέτρηση της σκληρότητας των υλικών βρίσκεται και από το βάθος διείσδυσης, ή τη διάμετρο της διανοιγόμενης οπής τυποποιημένων κώνων, ή σφαιριδίων, που πιέζονται στην ελεγχόμενη επιφάνεια υπό ορισμένο φορτίο.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-2

*(Σκληρομετρική κλίμακα* ***Mohs****)*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| βαθμός | ορυκτό | βαθμός | ορυκτό |
| 1  2  3  4  5 | Τάλκης  Γύψος  Ασβεστίτης  Φθορίτης  Απατίτης | 6  7  8  9  10 | Αστρίας  Χαλαζίας  Τοπάζιο  Κορούνδιο  Διαμάντι |

Στην κλίμακα **Brinell** η σκληρότητα σχετίζεται με τη διάμετρο της κοιλότητας που σχηματίζεται από τη διείσδυση ενός χαλύβδινου σφαιριδίου. Στην κλίμακα **Rockwell**, που αφορά κυρίως χάλυβες υψηλής αντοχής, η μέτρηση της σκληρότητας γίνεται άμεσα από το βάθος διείσδυσης χαλύβδινων σφαιριδίων. Η σκληρότητα ορισμένων υλικών, όπως π.χ. του βακελίτη, ή των σκληρυμένων ελαστικών μετριέται στην κλίμακα **Shore** και σχετίζεται με το ύψος αναπήδησης ενός ελαστικού σφαιριδίου.

1-1 Ποιο είναι το χαρακτηριστικό των κρυσταλλικών στερεών;

1-2 Τι ονομάζουμε τάξη σε βραχεία κλίμακα;

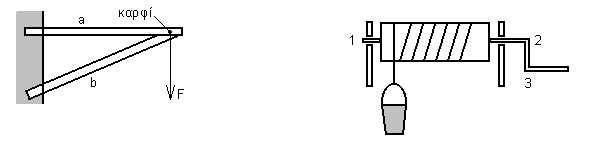
1-3 Ποιες είναι οι ομοιότητες και ποιες οι διαφορές ως προς τη δομή μεταξύ των αμόρφων και των υγρών;

1-4 Μεταξύ των ατόμων, ή μορίων των στερεών ασκούνται συγχρόνως ελκτικές και απωστικές δυνάμεις. Πώς αντιλαμβανόμαστε μακροσκοπικά την ύπαρξη των δυνάμεων αυτών;

1-5 Ποια είδη κρυστάλλων διακρίνουμε βάσει των δυνάμεων συνοχής; Ποια είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους;

1-6 Να εξετάσετε το είδος καταπόνησης των δύο δοκαριών a και b καθώς και του καρφιού του σχήματος 19-1.

1-7 Να εξετάσετε το είδος καταπόνησης του άξονα 1-2 του βαρούλκου και του τμήματος 2-3 της μανιβέλας του σχήματος 19-2.



1-8 Ένα ελατήριο είναι κατασκευασμένο από χαλύβδινο σύρμα. Τι είδους καταπόνηση δέχεται το σύρμα όταν συμπιέζουμε το ελατήριο;

1-9 Τι είναι η ελαστική αδράνεια και τι η ελαστική υστέρηση;

1-10 Ποια είναι η μονάδα μέτρησης της τάσης εφελκυσμού;

1-11 Τι είναι το μέτρο του Young και ποια είναι η φυσική σημασία του;

1-12 Σε μεταλλικό νήμα διαμέτρου  και μήκους  ασκείται εφελκυστική δύναμη . Το νήμα επιμηκύνεται κατά . Να υπολογιστούν: α) η ανηγμένη επιμήκυνση β) η τάση σε .

1-13 Από τα αποτελέσματα της άσκησης 1-12 να υπολογίσετε το μέτρο ελαστικότητας (μέτρο Young). Βάσει των δεδομένων του πίνακα 1-1, σελίδα 9 ποιο είναι το πιθανότερο υλικό κατασκευής του νήματος;

1-14 Θέλουμε να επιμηκύνουμε ράβδο από Αλουμίνιο εμβαδού διατομής  και μήκους  κατά . Να υπολογίσετε την απαιτούμενη δύναμη εφελκυσμού. Η τιμή του μέτρου ελαστικότητας να ληφθεί από τον πίνακα 1-1, σελίδα 9.

1-15 Η σχέση τάσης- ανηγμένης επιμήκυνσης ενός υλικού είναι υπογραμμική. Πώς εξαρτάται το μέτρο ελαστικότητας από την ανηγμένη επιμήκυνση;

1-16 Η σχέση τάσης- ανηγμένης επιμήκυνσης ενός υλικού είναι υπεργραμμική. Πότε είναι ευκολότερος ο εφελκυσμός του, όταν βρίσκεται στο φυσικό μήκος του, ή όταν έχει ήδη εφελκυθεί κατά τι;

1-17 Γιατί δε μπορούμε να αλλάξουμε το σχήμα ενός κεραμικού, ενώ μπορούμε να αλλάξουμε το σχήμα του σιδήρου, π.χ. με σφυρηλάτηση;

1-18 Στο σχήμα 12-1 εικονίζεται το διάγραμμα εφελκυσμού στην ελαστική υστέρηση. Τι εκπροσωπεί το εμβαδόν του σχηματιζόμενου βρόχου; Είναι δυνατό να διατρέχεται ο βρόχος υστέρησης κατά την αντίθετη φορά;

1-19 Χάλκινο σύρμα με εμβαδόν διατομής  στερεώνεται μεταξύ δύο σταθερών σημείων σε θερμοκρασία . Να υπολογίσετε τη δύναμη, που ασκεί το σύρμα στα σημεία στήριξής του σε θερμοκρασία . Δίνονται: Συντελεστής θερμικής διαστολής , μέτρο ελαστικότητας .

1-20 Δύο ράβδοι από σίδερο έχουν ίσες διατομές, αλλά διαφορετικά μήκη. Οι ράβδοι πακτώνωνται και στα δύο άκρα τους στην ίδια θερμοκρασία. Να εξετάσετε ποια από τις δύο ράβδους θα ασκήσει μεγαλύτερες θερμικές τάσεις, όταν μεταβληθεί η θερμοκρασία.

1-21 Ποια είναι η διαφορά μεταξύ μέτρου ελαστικότητας και μέτρου ελαστικότητας όγκου;

1-22 Ποιο είναι το χαρακτηριστικό μέγεθος στη διάτμηση;

1-23 Να εξηγήσετε πώς σχετίζεται η γωνία στρέψης με τη γωνία διάτμησης.

1-24 Από τι εξαρτάται η ροπή αδρανείας;

1-25 Σε ποιες μεθόδους βασίζεται η μέτρηση της σκληρότητας των υλικών;

|  |
| --- |
| **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. |

**Σημειώματα**

**Σημείωμα Αναφοράς**

Copyright ΤΕΙ Αθήνας, Κωνσταντίνος Κουρκουτάς, 2015. Κωνσταντίνος Κουρκουτάς. «Φυσική. Ενότητα 1: Η δομή της ύλης». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [ocp.teiath.gr](https://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».

[](file:///C:\Users\pantelis\Downloads\%5b1%5d%20http:\creativecommons.org\licenses\by-nc-sa\4.0\)

[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.