



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Ηλεκτρομαγνητισμός - Οπτική - Σύγχρονη Φυσική

Ενότητα: Ηλεκτρομαγνητισμός

Βαρουτάς Δημήτρης  
Σχολή Θετικών Επιστημών  
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

## Χωρητικότητα και διηλεκτρικά

### Κυκλώματα και στοιχεία κυκλωμάτων

- Τα ηλεκτρικά κυκλώματα αποτελούν τη βάση για το μεγαλύτερο μέρος των συσκευών που χρησιμοποιούνται στην κοινωνία μας.
- Τα ηλεκτρικά κυκλώματα αποτελούνται από στοιχεία τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με σύρματα.
- Ένα τέτοιο στοιχείο κυκλώματος είναι ο πυκνωτής.
  - Σε επόμενα κεφάλαια θα δούμε και άλλα στοιχεία.

Εισαγωγή

### Πυκνωτές

- Οι πυκνωτές είναι διατάξεις οι οποίες αποθηκεύουν ηλεκτρικό φορτίο.
- Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται για παράδειγμα:
  - για τον συντονισμό της συχνότητας των δεκτών ραδιοφώνου,
  - ως φίλτρα σε κυκλώματα τροφοδοσίας,
  - για την εξάλειψη του σπινθηρισμού στα συστήματα ανάφλεξης των μηχανών των αυτοκινήτων,
  - ως συσκευές αποθήκευσης ενέργειας στα ηλεκτρονικά φλας των φωτογραφικών μηχανών.

Εισαγωγή

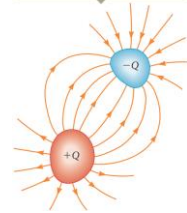
### Από τι αποτελείται ένας πυκνωτής

- Ο πυκνωτής αποτελείται από δύο αγωγούς.

- Οι αγωγοί αυτοί ονομάζονται πλάκες ή οπλισμοί.
- Όταν ο πυκνωτής είναι φορτισμένος, τότε οι οπλισμοί φέρουν ίσα και αντίθετα φορτία.

- Λόγω του φορτίου, μεταξύ των οπλισμών υπάρχει διαφορά δυναμικού.

Όταν ο πυκνωτής είναι φορτισμένος, οι αγωγοί του φέρουν ίσα και αντίθετα φορτία.



Ενότητα Η4.1

### Ορισμός της χωρητικότητας

• Η **χωρητικότητα**  $C$  ενός πυκνωτή ορίζεται ως ο λόγος της απόλυτης τιμής του φορτίου ενός από τους δύο αγωγούς προς την απόλυτη τιμή της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των αγωγών.

$$C \equiv \frac{Q}{\Delta V}$$

- Η μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας στο σύστημα SI είναι το **farad** (F).
- Το farad είναι μεγάλη μονάδα μέτρησης. Στην πράξη οι συνήθεις συσκευές έχουν χωρητικότητα της τάξης των microfarad ( $\mu\text{F}$ ) και των picofarad (pF).
- Η χωρητικότητα είναι πάντα θετική ποσότητα.
- Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή είναι σταθερή.
- Η χωρητικότητα αποτελεί ένα μέτρο του φορτίου που μπορεί να αποθηκεύσει ένας πυκνωτής.
  - Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή είναι η ποσότητα του φορτίου που μπορεί να αποθηκεύσει ο πυκνωτής ανά μονάδα διαφοράς δυναμικού.

Ενότητα Η4.1

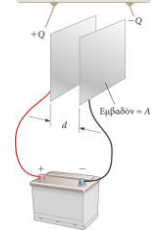
### Πυκνωτής με παράλληλους οπλισμ

- Κάθε οπλισμός συνδέεται με έναν από τους δύο πόλους μιας μπαταρίας.

- Η μπαταρία αποτελεί την πηγή της διαφοράς δυναμικού.

- Αν ο πυκνωτής είναι αρχικά αφόρτιστος, τότε μόλις γίνουν οι συνδέσεις, η μπαταρία θα δημιουργήσει ηλεκτρικό πεδίο στα σύρματα σύνδεσης.

Όταν ένας πυκνωτής συνδεθεί στους πόλους μιας μπαταρίας, μεταφέρονται ηλεκτρόνια από τον έναν οπλισμό στον άλλο μέσα των συρμάτων και οι οπλισμοί φορτίζονται.



Ενότητα Η4.1

### Πυκνωτής με παράλληλους οπλισμούς (συνέχεια)

- Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί μια δύναμη στα ηλεκτρόνια του σύρματος που βρίσκονται ακριβώς έξω από τους οπλισμούς.
- Η δύναμη αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να κινηθούν προς τον αρνητικό οπλισμό.
- Η μεταφορά συνεχίζεται μέχρι να φτάσει το σύστημα σε κατάσταση ισορροπίας.
  - \* Τότε ο οπλισμός, το σύρμα, και ο πόλος έχουν το ίδιο ηλεκτρικό δυναμικό.
- Μόλις επιτευχθεί αυτή η κατάσταση, παύει να υπάρχει πεδίο στο σύρμα, οπότε τα ηλεκτρόνια σταματούν να κινούνται.
- Ο οπλισμός είναι πλέον αρνητικά φορτισμένος.
- Παρόμοια διεργασία συμβαίνει και στον άλλο οπλισμό του πυκνωτή: μεταφέρονται ηλεκτρόνια από τον οπλισμό στο σύρμα, με αποτέλεσμα ο οπλισμός να φορτιστεί θετικά.
- Σε αυτή την τελική κατάσταση, η διαφορά δυναμικού μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή είναι η ίδια με εκείνη μεταξύ των πόλων της μπαταρίας.

Ενότητα H4.1

### Χωρητικότητα απομονωμένης σφαίρας

- Θεωρούμε έναν σφαιρικό φορτισμένο αγωγό με ακτίνα  $a$ .
  - Η σφαίρα θα έχει την ίδια χωρητικότητα με ένα αγώγιμο σφαιρικό κέλυφος, ομόκεντρο της αρχικής σφαίρας, με άπειρη ακτίνα.
  - Έστω ότι για το κέλυφος άπειρου μεγέθους  $V = 0$ .
- $$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{k_e Q / a - k_e Q / R} = 4\pi\epsilon_0 a$$
- Σημειώστε ότι η χωρητικότητα της σφαίρας είναι ανεξάρτητη τόσο του φορτίου όσο και του δυναμικού της.

Ενότητα H4.2

### Χωρητικότητα παράλληλων πλακών (επίπεδο πυκνωτή)

- Η πυκνότητα του φορτίου στις πλάκες είναι  $\sigma = Q / A$ .
  - \*  $A$  είναι το εμβαδόν της επιφάνειας κάθε πλάκα – οι πλάκες έχουν ίσα εμβαδά.
  - \*  $Q$  είναι το φορτίο που φέρει κάθε πλάκα – οι πλάκες έχουν φορτία ίσης απόλυτης τιμής και αντίθετου προσήμου.
- Το ηλεκτρικό πεδίο είναι ομογενές μεταξύ των πλακών και μηδενικό σε οποιοδήποτε άλλο σημείο.
- Η χωρητικότητα είναι ανάλογη του εμβαδού της επιφάνειας των πλακών και αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης των πλακών.

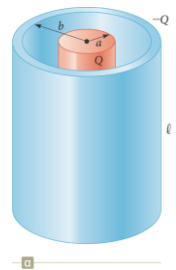
$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{Q}{Ed} = \frac{Q}{Qd / \epsilon_0 A} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

Ενότητα H4.2

### Χωρητικότητα κυλινδρικού πυκνωτή

- $\Delta V = -2k_e \lambda \ln(b/a)$
- $\lambda = Q / \ell$
- Η χωρητικότητα ισούται με:

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{\ell}{2k_e \ln(b/a)}$$



Ενότητα H4.2

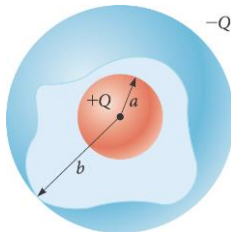
### Χωρητικότητα σφαιρικού πυκνωτή

- Η διαφορά δυναμικού ισούται με:

$$\Delta V = k_e Q \left( \frac{1}{b} - \frac{1}{a} \right)$$

- Η χωρητικότητα ισούται με:

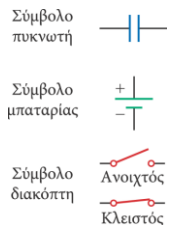
$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{ab}{k_e (b-a)}$$



Ενότητα H4.2

### Σύμβολα των στοιχείων ενός κυκλώματος

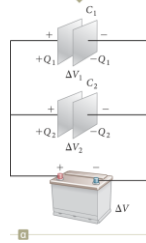
- Το διάγραμμα ενός κυκλώματος είναι μια απλουστευμένη αναπαράσταση του πραγματικού κυκλώματος.
- Παριστάνουμε τα διάφορα στοιχεία του κυκλώματος χρησιμοποιώντας σύμβολα.
- Παριστάνουμε τα σύρματα του κυκλώματος χρησιμοποιώντας γραμμές.
- Συμβολίζουμε τον θετικό πόλο της μπαταρίας με τη μεγαλύτερη από τις δύο γραμμές του συμβόλου της μπαταρίας.



Ενότητα H4.3

### Παράλληλη συνδεσμολογία πυκνωτών (1)

•Μόλις συνδεθεί η μπαταρία στο κύκλωμα, μεταφέρονται ηλεκτρόνια από τους αριστερούς οπλισμούς στους δεξιούς, μέσω της μπαταρίας, με αποτέλεσμα ο αριστερός οπλισμός να φορτιστεί θετικά και ο δεξιός οπλισμός να φορτιστεί αρνητικά.



Ενότητα H4.3

### Παράλληλη συνδεσμολογία πυκνωτών (2)

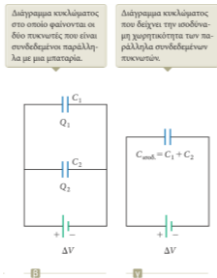
- Η ροή των ηλεκτρικών φορτίων σταματά όταν η τάση στα άκρα των πυκνωτών γίνει ίση με εκείνη της μπαταρίας.
- Στα άκρα των δύο πυκνωτών επικρατεί η ίδια διαφορά δυναμικού.
  - Και η διαφορά δυναμικού στα άκρα κάθε πυκνωτή είναι ίση με την τάση της μπαταρίας.
  - $\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$ 
    - Όπου  $\Delta V$  είναι η τάση μεταξύ των πόλων της μπαταρίας (πολική τάση).
- Όταν σταματήσει η ροή φορτίου, οι πυκνωτές έχουν φτάσει στη μέγιστη τιμή φορτίου που μπορούν να αποθηκεύσουν.
- Το συνολικό φορτίο ισούται με το άθροισμα των φορτίων κάθε πυκνωτή.
  - $Q_{\text{συν.}} = Q_1 + Q_2$

Ενότητα H4.3

### Παράλληλη συνδεσμολογία πυκνωτών (3)

• Οι παράλληλα συνδεδεμένοι πυκνωτές μπορούν να αντικατασταθούν με έναν άλλο πυκνωτή χωρητικότητας  $C_{\text{ισοδ.}}$ .

- Το αποτέλεσμα του ισοδύναμου πυκνωτή στο κύκλωμα πρέπει να είναι ακριβώς ίδιο με εκείνο της συνδεσμολογίας των δύο αρχικών πυκνωτών.



Ενότητα H4.3

### Παράλληλη συνδεσμολογία πυκνωτών (τελική διαφάνεια)

- $C_{\text{ισοδ.}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$
- Η ισοδύναμη χωρητικότητα μιας παράλληλης συνδεσμολογίας πυκνωτών είναι πάντα μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα κάθε επιμέρους πυκνωτή της συνδεσμολογίας.
  - Ουσιαστικά, συνδυάζονται οι επιφάνειες των οπλισμών των πυκνωτών.

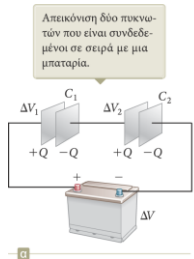
Ενότητα H4.3

### Συνδεσμολογία πυκνωτών σε σειρά (1)

•Μόλις συνδεθεί η μπαταρία στο κύκλωμα, μεταφέρονται ηλεκτρόνια από τον αριστερό οπλισμό του πυκνωτή  $C_1$  στον δεξιό οπλισμό του πυκνωτή  $C_2$  μέσω της μπαταρίας.

•Καθώς συσσωρεύεται αρνητικό φορτίο στον δεξιό οπλισμό του  $C_2$ , αντίστοιχη ποσότητα αρνητικού φορτίου εξωθείται από τον αριστερό οπλισμό του  $C_2$ , με αποτέλεσμα ο τελευταίος να αποκτήσει πλεονάζον θετικό φορτίο.

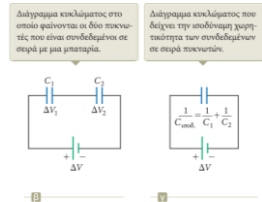
•Όλοι οι δεξιοί οπλισμοί φορτίζονται με φορτίο  $-Q$ , ενώ όλοι οι αριστεροί οπλισμοί με φορτίο  $+Q$ .



Ενότητα H4.3

### Συνδεσμολογία πυκνωτών σε σειρά (2)

- Οι πυκνωτές που είναι συνδεδεμένοι σε σειρά μπορούν να αντικατασταθούν από έναν ισοδύναμο πυκνωτή ο οποίος θα έχει το ίδιο αποτέλεσμα.
- Τα φορτία είναι παντού ίδια.
  - $Q_1 = Q_2 = Q$



Ενότητα H4.3

### Συνδεσμολογία πυκνωτών σε σειρά (τελική διαφάνεια)

• Το άθροισμα των διαφορών δυναμικού στα άκρα κάθε πυκνωτή ισούται με την τάση της μπαταρίας.

•  $\Delta V_{\text{συν}} = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \dots$

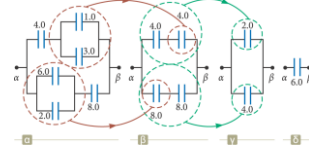
• Η ισοδύναμη χωρητικότητα είναι ίση με:

$$\frac{1}{C_{\text{ισοδ.}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

• Η ισοδύναμη χωρητικότητα μιας συνδεσμολογίας πυκνωτών σε σειρά είναι πάντα μικρότερη από τη χωρητικότητα κάθε επιμέρους πυκνωτή της συνδεσμολογίας.

Ενότητα H4.3

### Ισοδύναμη χωρητικότητα – Παράδειγμα



• Οι πυκνωτές με χωρητικότητες 1.0 μF και 3.0 μF είναι παράλληλα συνδεδεμένοι. Το ίδιο και οι πυκνωτές με χωρητικότητες 6.0 μF και 2.0 μF.

• Καθεμιά από αυτές τις παράλληλες συνδεσμολογίες είναι συνδεδεμένη σε σειρά με τον πυκνωτή που βρίσκεται δίπλα της.

• Οι δύο συνδεσμολογίες σε σειρά είναι παράλληλα συνδεδεμένες μεταξύ τους, οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε την τελική ισοδύναμη χωρητικότητα.

Ενότητα H4.3

### Ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή – Σύνοψη

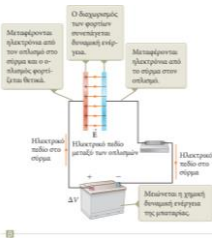
• Θεωρούμε το κύκλωμα ως ένα κλειστό σύστημα.

• Πριν κλείσουμε τον διακόπτη, η ενέργεια είναι αποθηκευμένη στην μπαταρία με τη μορφή χημικής ενέργειας.

• Μόλις κλείσουμε τον διακόπτη, η ενέργεια μετασχηματίζεται από χημική δυναμική ενέργεια σε ηλεκτρική δυναμική ενέργεια.

• Η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια οφείλεται στον διαχωρισμό των θετικών και των αρνητικών φορτίων στους οπλισμούς.

• Ο πυκνωτής μπορεί να περιγραφεί ως μια διάταξη στην οποία αποθηκεύεται τόσο ενέργεια όσο και φορτίο.



Ενότητα H4.4

### Ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή (2)

• Έστω ότι ο πυκνωτής φορτίζεται και, κάποια χρονική στιγμή, φέρει φορτίο  $q$ .

• Το έργο που απαιτείται για τη μεταφορά ενός φορτίου από τον έναν οπλισμό στον άλλο είναι:

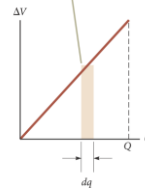
$$dW = \Delta V dq = \frac{q}{C} dq$$

• Το έργο που απαιτείται για τη μεταφορά του φορτίου ισούται με το εμβαδόν του σκιασμένου ορθογωνίου.

• Το συνολικό απαιτούμενο έργο είναι:

$$W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{Q^2}{2C}$$

Το έργο που απαιτείται για τη μεταφορά του φορτίου  $dq$  μέσω της διαφοράς δυναμικού  $\Delta V$  από τον ένα οπλισμό στον άλλο δίνεται κατά προσέγγιση από το εμβαδό του σκιασμένου ορθογωνίου.



Ενότητα H4.4

### Ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή (3)

• Το έργο που παράγεται κατά τη φόρτιση του πυκνωτή εμφανίζεται με τη μορφή της ηλεκτρικής δυναμικής ενέργειας  $U$  που αποθηκεύεται στον πυκνωτή:  $U = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} C(\Delta V)^2$

• Αυτό ισχύει για πυκνωτές οποιασδήποτε γεωμετρίας.

• Όσο αυξάνεται το φορτίο και η διαφορά δυναμικού, αυξάνεται και η ενέργεια που αποθηκεύεται στον πυκνωτή.

• Στην πράξη, η διαφορά δυναμικού μπορεί να φτάσει μέχρι μια μέγιστη τιμή – πέρα από αυτήν, προκαλείται εκφόρτιση μεταξύ των οπλισμών.

Ενότητα H4.4

### Ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή (τελική διαφάνεια)

• Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η ενέργεια ενός πυκνωτή αποθηκεύεται στο ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των οπλισμών του.

• Για έναν πυκνωτή με παράλληλους οπλισμούς, μπορούμε να εκφράσουμε την ενέργεια συναρτήσει του ηλεκτρικού πεδίου ως:

•  $U = \frac{1}{2}(\epsilon_0 A d) E^2$ .

• Επίσης, η ενέργεια μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει της πυκνότητας ενέργειας ως:

•  $u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$ .

Ενότητα H4.4

## Μερικές εφαρμογές των πυκνωτών

### \*Απινιδωτές

- Κατά την καρδιακή μαρμαρυγή, η καρδιά χτυπά πολύ γρήγορα και ακανόνιστα.
- Μπορεί όμως να επανέλθει στον κανονικό ρυθμό της με μια ταχεία εκφόρτιση ενέργειας.

\*Γενικά, οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται ως «αποθήκες ενέργειας» που μπορούν να φορτίζονται με αργό ρυθμό και μετά να εκφορτίζονται ταχέως, παρέχοντας μεγάλες ποσότητες ενέργειας με έναν σύντομο παλμό.

Ενότητα H4.4

## Πυκνωτές με διηλεκτρικά (1)

\*Τα διηλεκτρικά είναι μη αγώγιμα υλικά, τα οποία όταν τοποθετούνται μεταξύ των οπλισμών ενός πυκνωτή αυξάνουν τη χωρητικότητά του.

- Διηλεκτρικά υλικά είναι, μεταξύ άλλων, το καουτσούκ, το γυαλί, και το κηράχαρτο.

\*Όταν υπάρχει διηλεκτρικό υλικό μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή, η χωρητικότητά του γίνεται:

$$C = K C_0$$

- Η χωρητικότητα του πυκνωτή αυξάνεται κατά τον παράγοντα  $K$  όταν το διηλεκτρικό υλικό γεμίσει πλήρως τον χώρο μεταξύ των οπλισμών του.
- Το  $K$  είναι η διηλεκτρική σταθερά του υλικού.

\*Αν ο πυκνωτής παραμένει συνδεδεμένος με μια μπαταρία, τότε η τάση στα άκρα του υποχρεωτικά παραμένει η ίδια.

\*Αν ο πυκνωτής αποσυνδεθεί από τη μπαταρία, τότε αποτελεί απομονωμένο σύστημα και το φορτίο του παραμένει αμετάβλητο.

Ενότητα H4.5

## Πυκνωτές με διηλεκτρικά (2)

\*Για έναν επίπεδο πυκνωτή,  $C = K (\epsilon_0 A) / d$ .

\*Θεωρητικά, μειώνοντας πολύ την απόσταση  $d$  μπορούμε να αυξήσουμε σημαντικά τη χωρητικότητα του πυκνωτή.

\*Στην πράξη, υπάρχει ένα ελάχιστο όριο για την τιμή της απόστασης  $d$ .

- Η τιμή της απόστασης  $d$  περιορίζεται από την ηλεκτρική εκφόρτιση που μπορεί να συμβεί μέσω του διηλεκτρικού υλικού, το οποίο βρίσκεται μεταξύ των οπλισμών.

\*Για μια δεδομένη απόσταση  $d$ , η μέγιστη τάση που μπορεί να εφαρμοστεί στα άκρα ενός πυκνωτή χωρίς να προκληθεί εκφόρτιση (εκκένωση) εξαρτάται από τη **διηλεκτρική αντοχή** του διηλεκτρικού υλικού.

Ενότητα H4.5

## Πυκνωτές με διηλεκτρικά (τελική διαφάνεια)

\*Τα πλεονεκτήματα των διηλεκτρικών υλικών:

- Αυξάνουν τη χωρητικότητα.
- Αυξάνουν τη μέγιστη τάση λειτουργίας.
- Μπορεί να παρέχουν μηχανική στήριξη στους οπλισμούς.
  - Αυτό επιτρέπει τη μείωση της απόστασης μεταξύ των οπλισμών χωρίς να εφάπτονται.
  - Η απόσταση  $d$  μεταξύ των οπλισμών μειώνεται και η χωρητικότητα  $C$  αυξάνεται.

Ενότητα H4.5

## Τιμές διηλεκτρικής σταθεράς και διηλεκτρικής αντοχής για διάφορα υλικά

ΠΙΝΑΚΑΣ H4.1

Προσεγγιστικές τιμές διηλεκτρικής σταθεράς και διηλεκτρικής αντοχής για διάφορα υλικά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

Υλικό	Διηλεκτρική σταθερά $\kappa$	Διηλεκτρική αντοχή* ( $10^6$ V/m)
Αέρας (ξηρός)	1,000 59	3
Βακκίτης	4,9	24
Υψηλός χυλαλάς	3,78	8
Mylar	3,2	7
Καουτσούκ-νεοπρένο	6,7	12
Nylon	3,4	14
Χαρτί	3,7	16
Παράφινωμένο χαρτί	3,5	11
Πολυεστέραίο	2,56	24
Πολυβινυλοχλωρίδιο	3,4	40
Παράφινη	6	12
Γυαλί τύπου Pyrex	5,6	14
Έλασο οπλιστικής	2,5	15
Τιτανικό οξείδιο	233	8
Teflon	2,1	60
Κενό	1,000 00	—
Νερό	80	—

\*Η διηλεκτρική αντοχή είναι ίση με το μέγιστο ηλεκτρικό πεδίο που μπορεί να δημιουργηθεί σε ένα διηλεκτρικό υλικό χωρίς ηλεκτρική εκκένωση μέσω του υλικού. Αυτές οι τιμές εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την παλαιότητα προμήτων και κατασκευάζονται στα υλικά.

Ενότητα H4.5

## Τύποι πυκνωτών – Σωληνοειδείς πυκνωτές

\*Κατασκευάζονται από μεταλλικά φύλλα τοποθετημένα ανάμεσα σε λεπτά φύλλα από παραφινωμένο χαρτί ή από Mylar, που αποτελούν το διηλεκτρικό υλικό.

\*Οι στρώσεις μεταλλικών φύλλων και διηλεκτρικού υλικού συστρέφονται σε σχήμα κυλίνδρου και σχηματίζουν ένα μικρό «πακέτο», το οποίο είναι η τελική μορφή του πυκνωτή.



Ενότητα H4.5

### Τύποι πυκνωτών – Πυκνωτές με μονωτικό έλαιο

- Σε πυκνωτές υψηλής τάσης που αποτελείται από πολλές παράλληλες πλάκες, οι οποίες διαχωρίζονται με μονωτικό έλαιο.
- Αποτελούνται από έναν αριθμό διαδοχικών μεταλλικών πλακών εμβαπτισμένων σε έλαιο σιλικόνης.

Ενότητα H4.5

### Τύποι πυκνωτών – Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές

- Χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων φορτίου σε σχετικά χαμηλές τιμές τάσης.
- Το ηλεκτρολυτικό διάλυμα άγει τον ηλεκρισμό μέσω της κίνησης των ιόντων που περιέχει.
- Όταν εφαρμοστεί τάση μεταξύ του φύλλου και του ηλεκτρολύτη, τότε επάνω στο φύλλο σχηματίζεται μια λεπτή στρώση οξειδίου του μετάλλου.
- Η στρώση αυτή παίζει τον ρόλο του διηλεκτρικού υλικού.
- Οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές μπορούν να δώσουν πολύ μεγάλες τιμές χωρητικότητας, επειδή η στρώση του διηλεκτρικού είναι πολύ λεπτή και επομένως η απόσταση μεταξύ των οπλισμών πολύ μικρή.

Ενότητα H4.5

### Τύποι πυκνωτών – Μεταβλητοί πυκνωτές

- Ένας μεταβλητός πυκνωτής αποτελείται από δύο σειρές εναλλασσόμενων μεταλλικών πλακών.
- Η μία ομάδα πλακών είναι σταθερά στερεωμένη, ενώ η άλλη ομάδα πλακών μπορεί να κινηθεί.
- Το διηλεκτρικό υλικό είναι αέρας.
- Τέτοιοι πυκνωτές έχουν χωρητικότητα από 10 pF έως 500 pF.
- Χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα συντονισμού συχνότητας στο ραδιόφωνο.

Ενότητα H4.5

### Το ηλεκτρικό δίπολο (1)

- Το ηλεκτρικό δίπολο αποτελείται από δύο φορτία που έχουν ίση απόλυτη τιμή και αντίθετα πρόσημα.
- Η απόσταση μεταξύ των φορτίων είναι  $2a$ .
- Το διάνυσμα της **ηλεκτρικής διπολικής ροής**,  $\vec{p}$ , έχει κατεύθυνση από το φορτίο  $-q$  προς το φορτίο  $+q$ .

Ενότητα H4.6

### Το ηλεκτρικό δίπολο (2)

- Η ηλεκτρική διπολική ροπή έχει μέτρο  $p \equiv 2aq$ .
- Εστω ότι το δίπολο εισάγεται μέσα σε ένα ομογενές εξωτερικό πεδίο  $\vec{E}$ .
  - Το πεδίο επιδρά εξωτερικά στο δίπολο, δεν είναι το πεδίο που δημιουργεί το ίδιο το δίπολο.
- Εστω ότι το δίπολο σχηματίζει γωνία  $\theta$  με τη διεύθυνση του πεδίου.

Ενότητα H4.6

### Το ηλεκτρικό δίπολο (3)

- Κάθε φορτίο δέχεται δύναμη  $F = qE$ .
- Η συνισταμένη δύναμη που δέχεται το δίπολο ισούται με μηδέν.
- Οι δυνάμεις αυτές δημιουργούν στο δίπολο μια συνισταμένη ροπή.
- Το δίπολο συμπεριφέρεται σαν ακαμπτο σώμα υπό την επίδραση μιας συνισταμένης ροπής.

Ενότητα H4.6

## Το ηλεκτρικό δίπολο (τελική διαφάνεια)

- Το μέτρο της ροπής είναι:
  - $\tau = 2Fa \sin \theta = pE \sin \theta$
- Η ροπή μπορεί επίσης να εκφραστεί ως το εξωτερικό γινόμενο της διπολικής ροπής και του πεδίου:
  - $\tau = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$
- Το σύστημα διπόλου-εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένα ενεργειακά κλειστό σύστημα.
- Η δυναμική ενέργεια μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει του προσανατολισμού του διπόλου ως προς το πεδίο:
  - $U_f - U_i = pE(\cos \theta_f - \cos \theta_i) \rightarrow U = -pE \cos \theta$
- επειδή δεχόμαστε ότι  $\theta_i = 90^\circ$  και  $U_i = U_{90} = 0$ .
- Η σχέση αυτή γράφεται και σε μορφή εσωτερικού γινομένου:

Ενότητα H4.6

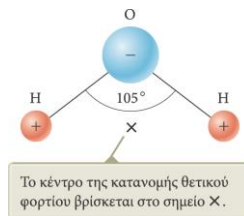
## Πολικά και μη πολικά μόρια

- Όταν η μέση θέση των αρνητικών φορτίων και η μέση θέση των θετικών φορτίων ενός μορίου δεν ταυτίζονται, τότε λέμε ότι το μόριο είναι **πολωμένο**.
- **Πολικά μόρια** ονομάζονται τα μόρια στα οποία η κατάσταση αυτή είναι μόνιμη.
- Τα μόρια που δεν είναι μόνιμως πολωμένα ονομάζονται **μη πολικά**.

Ενότητα H4.6

## Τα μόρια του νερού

- Το μόριο του νερού είναι ένα παράδειγμα πολικού μορίου.
- Το κέντρο του αρνητικού φορτίου βρίσκεται κοντά στο κέντρο του ατόμου του οξυγόνου.
- Στο σημείο x βρίσκεται το κέντρο της κατανομής του θετικού φορτίου.



Ενότητα H4.6

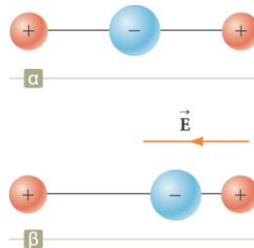
## Πολικά μόρια και δίπολα

- Οι μέσες θέσεις του θετικού φορτίου και του αρνητικού φορτίου συμπεριφέρονται σαν σημειακά φορτία.
- Επομένως, τα πολικά μόρια μπορούν να μοντελοποιηθούν ως ηλεκτρικά δίπολα.

Ενότητα H4.6

## Επαγόμενη πόλωση

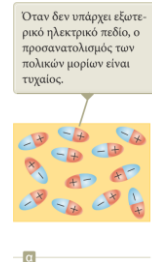
- Ένα γραμμικά συμμετρικό μόριο δεν έχει μόνιμη πόλωση (α).
- Αν το μόριο εισαχθεί μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο (β), τότε επάγεται πόλωση.
- Η επαγόμενη πόλωση κυριαρχεί στα περισσότερα υλικά που χρησιμοποιούνται στους πυκνωτές ως διηλεκτρικά.



Ενότητα H4.6

## Διηλεκτρικά υλικά – Εξέταση σε ατομικό επίπεδο (1)

- Τα μόρια που αποτελούν το διηλεκτρικό υλικό μοντελοποιούνται ως δίπολα.
- Όταν δεν υπάρχει εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, ο προσανατολισμός των μορίων είναι τυχαίος.

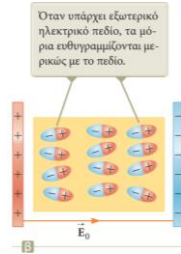


Ενότητα H4.7



## Διηλεκτρικά υλικά – Εξέταση σε ατομικό επίπεδο (2)

- Εφαρμόζεται ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο.
- Αναπτύσσεται ροπή στα μόρια.
- Τα μόρια ευθυγραμμίζονται μερικώς με το ηλεκτρικό πεδίο.
  - Ο βαθμός ευθυγράμμισης εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το μέτρο του πεδίου.
    - Γενικά, ο βαθμός ευθυγράμμισης αυξάνεται όταν μειώνεται η θερμοκρασία και όταν αυξάνεται το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου.



Ενότητα H4.7

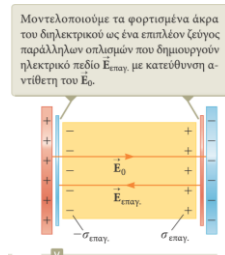
## Διηλεκτρικά υλικά – Εξέταση σε ατομικό επίπεδο (3)

- Αν τα μόρια του διηλεκτρικού υλικού είναι μη πολικά, τότε το ηλεκτρικό πεδίο προκαλεί διαχωρισμό των φορτίων.
- Έτσι αναπτύσσεται *επαγόμενη διπολική ροπή*.
- Τα μόρια συμπεριφέρονται σαν να ήταν πολικά μόρια.

Ενότητα H4.7

## Διηλεκτρικά υλικά – Εξέταση σε ατομικό επίπεδο (τελική διαφάνεια)

- Ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να πολώσει το διηλεκτρικό υλικό είτε τα μόρια του είναι πολικά είτε όχι.
- Τα φορτισμένα άκρα του διηλεκτρικού υλικού δρουν ως ένα δεύτερο ζεύγος οπλισμών, δημιουργώντας ένα επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο με κατεύθυνση αντίθετη εκείνης του αρχικού ηλεκτρικού πεδίου.

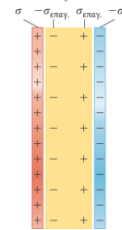


Ενότητα H4.7

## Επαγόμενο φορτίο και πεδίο

- Το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργούν οι οπλισμοί έχει κατεύθυνση προς τα δεξιά και πολώνει το διηλεκτρικό.
- Η τελική επίδραση στο διηλεκτρικό είναι η ανάπτυξη ενός επαγόμενου επιφανειακού φορτίου, το οποίο επάγει ένα ηλεκτρικό πεδίο.
- Αν το διηλεκτρικό αντικατασταθεί από έναν ηλεκτρικό αγωγό, τότε το συνολικό ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των οπλισμών θα είναι μηδενικό.

Η πυκνότητα επαγόμενου φορτίου  $\sigma_{\text{επαγ.}}$  στο διηλεκτρικό είναι *μικρότερη* από την πυκνότητα φορτίου  $\sigma$  των οπλισμών.



Ενότητα H4.7

Τέλος

Χωρητικότητα και διηλεκτρικά

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» 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.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Βαρουτάς Δημήτρης. «Ηλεκτρομαγνητισμός - Οπτική - Σύγχρονη Φυσική. Ηλεκτρομαγνητισμός». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/DI121/>.



# 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 και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους 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.



# 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.

