



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Ηλεκτρομαγνητισμός - Οπτική - Σύγχρονη Φυσική

Ενότητα: Ηλεκτρομαγνητισμός

Βαρουτάς Δημήτρης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Ρεύμα και αντίσταση

Ηλεκτρικό ρεύμα

- Το ηλεκτρικό ρεύμα εμπλέκεται στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές του ηλεκτρισμού.
 - Τα ηλεκτρικά φορτία κινούνται σε κάποια περιοχή του χώρου.
- Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε ένα νέο στοιχείο που χρησιμοποιείται στα ηλεκτρικά κυκλώματα, τον *αντιστάτη*.
- Σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να μεταφερθεί ενέργεια σε μια συσκευή που είναι συνδεδεμένη σε αυτό.
- Ο μηχανισμός μεταφοράς ενέργειας ονομάζεται ηλεκτρική μετάδοση και συμβολίζεται με T_{HM} .

Εισαγωγή

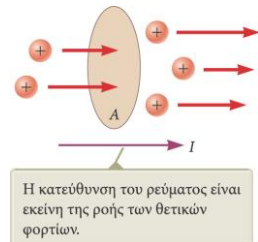
Ηλεκτρικό ρεύμα

- Το **ηλεκτρικό ρεύμα** είναι ο ρυθμός με τον οποίο διέρχεται ηλεκτρικό φορτίο από μια περιοχή του χώρου.
- Η μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού ρεύματος στο σύστημα SI είναι το **ampere (A)**.
 - $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$
- Το ηλεκτρικό ρεύμα συμβολίζεται με I .

Ενότητα Η5.1

Μέση τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος

- Έστω ότι ηλεκτρικά φορτία διέρχονται κάθετα από μια επιφάνεια εμβαδού A .
- Αν ΔQ είναι η ποσότητα του φορτίου που διέρχεται από την επιφάνεια εμβαδού A σε χρόνο Δt , τότε το μέσο ρεύμα είναι $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$.



Ενότητα Η5.1

Στιγμαία τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος

- Αν ο ρυθμός ροής του φορτίου μεταβάλλεται με τον χρόνο, τότε το στιγμιαίο ρεύμα, I , ορίζεται ως το όριο της τιμής του μέσου ρεύματος καθώς $\Delta t \rightarrow 0$.

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Ενότητα Η5.1

Η κατεύθυνση του ρεύματος

- Τα φορτισμένα σωματίδια που διέρχονται από την επιφάνεια μπορεί να είναι μόνο θετικά, μόνον αρνητικά, ή και τα δύο.
- Κατά σύμβαση, αποδίδουμε στο ρεύμα την κατεύθυνση της ροής των θετικών φορτίων.
- Στους συνηθισμένους αγωγούς, η κατεύθυνση του ρεύματος είναι αντίθετη της κατεύθυνσης της ροής των ηλεκτρονίων.
- Συνηθίζουμε να αναφερόμαστε στα κινούμενα φορτία ως *φορείς φορτίου*.

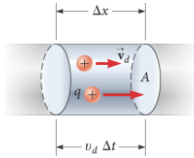
Ενότητα Η5.1

Ρεύμα και μέτρο ταχύτητας ολίσθησης

*Έστω ότι από έναν κυλινδρικό αγωγό με διατομή εμβαδού A διέρχονται φορτισμένα σωματίδια.

* n είναι ο αριθμός των κινούμενων φορέων φορτίου ανά μονάδα όγκου.

* $nA\Delta x$ είναι ο συνολικός αριθμός των φορέων φορτίου σε ένα στοιχειώδες τμήμα του αγωγού.



Ενότητα Η5.1

Ρεύμα και μέτρο ταχύτητας ολίσθησης (συνέχεια)

*Το συνολικό φορτίο ισούται με το γινόμενο του αριθμού των φορέων φορτίου επί το φορτίο κάθε φορέα, q .

$$\Delta Q = (nA\Delta x)q$$

*Έστω ότι οι φορείς φορτίου κινούνται με ταχύτητα παράλληλη στον άξονα του κυλίνδρου έτσι ώστε να μετακινούνται κατά μήκος του άξονα x .

*Αν v_d είναι το μέτρο της ταχύτητας με την οποία κινούνται οι φορείς φορτίου, τότε:

$$v_d = \Delta x / \Delta t \text{ και } \Delta x = v_d \Delta t$$

*Η σχέση αυτή μπορεί να γραφτεί: $\Delta Q = (nA v_d \Delta t)q$

*Τέλος, το μέσο ρεύμα είναι: $I_{\text{μέσο}} = \Delta Q / \Delta t = nq v_d A$

*Όπου v_d είναι μια μέση τιμή του μέτρου της ταχύτητας των φορέων φορτίου, που ονομάζεται **μέτρο ταχύτητας ολίσθησης**.

Ενότητα Η5.1

Κίνηση των φορέων φορτίου σε αγωγό (1)

*Όταν στα άκρα ενός αγωγού εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού, τότε δημιουργείται σε αυτόν ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο ασκεί μια ηλεκτρική δύναμη στα ηλεκτρόνια.

*Η κίνηση των ηλεκτρονίων δεν είναι πλέον τυχαία.

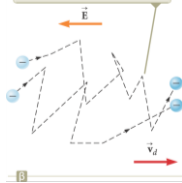
*Οι μαύρες τεθλασμένες γραμμές παριστάνουν την κίνηση των φορέων φορτίου μέσα σε έναν αγωγό όταν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο.

- Το μέτρο της ταχύτητας ολίσθησης είναι μικρό.

*Οι απότομες αλλαγές κατεύθυνσης οφείλονται στις συγκρούσεις των φορέων φορτίου.

*Η κατεύθυνση της συνισταμένης κίνησης των ηλεκτρονίων είναι αντίθετη από την κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου.

Το πεδίο αλλάζει την τυχαία κίνηση των φορέων φορτίου, ώστε η ταχύτητα ολίσθησής τους είναι αντίθετη της κατεύθυνσης του ηλεκτρικού πεδίου.



Ενότητα Η5.1

Κίνηση των φορέων φορτίου σε αγωγό (2)

*Όταν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο, παρά τις συγκρούσεις που συμβαίνουν, οι φορείς φορτίου κινούνται αργά κατά μήκος του αγωγού με ταχύτητα ολίσθησης:

*Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί δυνάμεις στα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας που υπάρχουν στο σύρμα.

*Οι δυνάμεις αυτές αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια να κινηθούν και να δημιουργήσουν ρεύμα στο σύρμα.

Ενότητα Η5.1

Κίνηση των φορέων φορτίου σε αγωγό (τελική διαφάνεια)

*Τα ηλεκτρόνια υπάρχουν ήδη στο σύρμα.

*Η κίνηση των ηλεκτρονίων οφείλεται στο ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργεί η μπαταρία.

*Η μπαταρία δεν παρέχει ηλεκτρόνια, αλλά απλά δημιουργεί το ηλεκτρικό πεδίο.

Ενότητα Η5.1

Ταχύτητα ολίσθησης – Παράδειγμα

*Θεωρούμε ένα χάλκινο σύρμα – κάθε άτομο χαλκού συνεισφέρει ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο στο ρεύμα.

*Η ταχύτητα ολίσθησης των ηλεκτρονίων σε ένα χάλκινο σύρμα διαμέτρου 0.205 cm, το οποίο φέρει ρεύμα 10.0 A, είναι:

$$2.23 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

- Αυτή είναι η συνηθισμένη τάξη μεγέθους της ταχύτητας ολίσθησης.

Ενότητα Η5.1

Πυκνότητα ρεύματος

- J είναι η **πυκνότητα του ρεύματος** σε έναν αγωγό.
- Ορίζεται ως το ρεύμα ανά μονάδα επιφάνειας.
 - $J \equiv I / A = nq\mathbf{v}_d$
 - Η σχέση αυτή ισχύει μόνο αν η πυκνότητα του ρεύματος είναι ομοιόμορφη και μόνο αν η διατομή με εμβαδό A είναι κάθετη στη διεύθυνση του ρεύματος.
- Η μονάδες μέτρησης της πυκνότητας ρεύματος, J , στο σύστημα SI είναι τα A/m^2 .
- Η πυκνότητα του ρεύματος έχει τη φορά των θετικών φορέων φορτίου.

Ενότητα Η5.2

Αγωγιμότητα

- Όταν στα άκρα ενός αγωγού υπάρχει διαφορά δυναμικού, τότε δημιουργούνται σε αυτόν ηλεκτρικό ρεύμα με συγκεκριμένη πυκνότητα και ηλεκτρικό πεδίο.
- Σε μερικά υλικά, η πυκνότητα του ρεύματος είναι ανάλογη του ηλεκτρικού πεδίου.
- Η σταθερά αναλογίας, σ , ονομάζεται **ειδική αγωγιμότητα** του αγωγού.

Ενότητα Η5.2

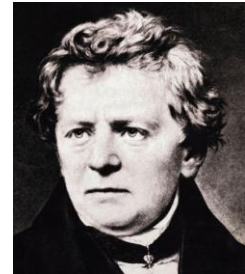
Ο νόμος του Ohm

- Σύμφωνα με τον **νόμο του Ohm**, σε πολλά υλικά ο λόγος της πυκνότητας ρεύματος προς το ηλεκτρικό πεδίο ισούται με μια σταθερή τιμή σ ανεξάρτητη του ηλεκτρικού πεδίου που παράγει το ρεύμα.
 - Τα περισσότερα μέταλλα ακολουθούν τον νόμο του Ohm.
 - Ο νόμος του Ohm μπορεί να εκφραστεί με τη μαθηματική σχέση $J = \sigma E$.
 - Τα υλικά που ακολουθούν τον νόμο του Ohm ονομάζονται **ωμικά**.
 - Δεν ακολουθούν όλα τα υλικά τον νόμο του Ohm.
 - Τα υλικά που δεν ακολουθούν τον νόμο του Ohm ονομάζονται **μη ωμικά**.
- Ο νόμος του Ohm δεν είναι θεμελιώδης φυσική αρχή.
- Ο νόμος του Ohm είναι μια εμπειρική σχέση, που ισχύει μόνο για ορισμένα υλικά.

Ενότητα Η5.2

Georg Simon Ohm

- 1789–1854
- Γερμανός φυσικός
- Διατύπωσε την έννοια της αντίστασης.
- Ανακάλυψε τη σχέση αναλογίας που είναι πλέον γνωστή ως νόμος του Ohm.



Ενότητα Η5.2

Αντίσταση

- Το ρεύμα που διαρρέει έναν αγωγό είναι ανάλογο της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του.
- Η σταθερά αναλογίας ονομάζεται **αντίσταση** του αγωγού.

$$R \equiv \frac{\Delta V}{I}$$
- Η μονάδα μέτρησης της αντίστασης στο σύστημα SI είναι το ohm (Ω).
 - $1 \Omega = 1 \text{ V} / \text{A}$
- Η αντίσταση ενός κυκλώματος οφείλεται στις συγκρούσεις των ηλεκτρονίων, που δημιουργούν το ρεύμα, με τα άτομα του αγωγού.

Ενότητα Η5.2

Αντιστάτες

- Για τον έλεγχο του ρεύματος στα διάφορα μέρη ενός κυκλώματος, χρησιμοποιούνται στοιχεία με συγκεκριμένη ηλεκτρική αντίσταση, οι **αντιστάτες**.
- Η χρήση μεμονωμένων αυτόνομων αντιστάτων είναι πολύ διαδεδομένη.
 - Αντιστάτες ενσωματώνονται, μεταξύ άλλων, σε πλακέτες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.
- Η ηλεκτρική αντίσταση ενός αντιστάτη σημειώνεται με έγχρωμες λωρίδες.
 - Οι πρώτες δύο λωρίδες δίνουν τα δύο πρώτα ψηφία της αντίστασης.
 - Η τρίτη λωρίδα αντιστοιχεί στη δεκαδική δύναμη του πολλαπλασιαστή της αντίστασης.
 - Η τελευταία λωρίδα αντιστοιχεί στην αναγή της αντίστασης.

Οι λωρίδες αυτών των αντιστατών έχουν χρώμα πορτοκαλί, λευκό, καφέ και χρυσό.



Ενότητα Η5.2

Χρωματική κωδικοποίηση αντιστατών

ΠΙΝΑΚΑΣ Η5.1		Χρωματική κωδικοποίηση αντιστατών	
Χρώμα	Αριθμός	Πολλαπλασιαστής	Ανοχή
Μαύρο	0	1	
Καφέ	1	10 ¹	
Κόκκινο	2	10 ²	
Πορτοκαλί	3	10 ³	
Κίτρινο	4	10 ⁴	
Πράσινο	5	10 ⁵	
Μπλε	6	10 ⁶	
Μωβ	7	10 ⁷	
Γκρι	8	10 ⁸	
Λευκό	9	10 ⁹	
Χρυσό		10 ⁻¹	5%
Ασημένιο		10 ⁻²	10%
Χωρίς χρώμα			20%

Ενότητα Η5.2

Χρωματική κωδικοποίηση της αντίστασης ενός αντιστάτη – Παράδειγμα



- Το κόκκινο χρώμα (= 2) και το μπλε χρώμα (= 6) δίνουν τα δύο πρώτα ψηφία: 26
- Το πράσινο χρώμα (= 5) δίνει τη δεκαδική δύναμη του πολλαπλασιαστή της αντίστασης: 10⁵
- Άρα, η αντίσταση του αντιστάτη είναι 26 x 10⁵ Ω (ή 2.6 ΜΩ).
- Η ανοχή της αντίστασης είναι 10% (ασημί χρώμα = 10%) ή 2.6 x 10⁵ Ω.

Ενότητα Η5.2

Ειδική αντίσταση

- Το αντίστροφο της ειδικής αγωγιμότητας είναι η **ειδική αντίσταση**:
 $\rho = 1 / \sigma$
- Η μονάδες μέτρησης της ειδικής αντίστασης στο σύστημα SI είναι τα ohm-μέτρα (Ω · m).
- Η αντίσταση συνδέεται με την ειδική αντίσταση μέσω της σχέσης:

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

Ενότητα Η5.2

Τιμές ειδικής αντίστασης

ΠΙΝΑΚΑΣ Η5.2 Τιμές ειδικής αντίστασης και θερμοκρασιακοί συντελεστές ειδικής αντίστασης για διάφορα υλικά¹

Υλικό	Ειδική αντίσταση ² (Ω · m)	Θερμοκρασιακός
		συντελεστής ³ α(°C) ⁻¹
Αργύρος	1.59 × 10 ⁻⁸	3.8 × 10 ⁻³
Χαλκός	1.7 × 10 ⁻⁸	3.9 × 10 ⁻³
Χρυσός	2.44 × 10 ⁻⁸	3.4 × 10 ⁻³
Αργίλιο	2.82 × 10 ⁻⁸	3.9 × 10 ⁻³
Βολφράμιο	5.6 × 10 ⁻⁸	4.5 × 10 ⁻³
Σίδηρος	10 × 10 ⁻⁸	5.0 × 10 ⁻³
Λαυκόχρυσος	11 × 10 ⁻⁸	3.92 × 10 ⁻³
Μολύβδος	22 × 10 ⁻⁸	3.9 × 10 ⁻³
Χρωμιοακίνη ⁴	1.00 × 10 ⁻⁷	0.4 × 10 ⁻³
Ανθρακός	3.5 × 10 ⁻⁷	-0.3 × 10 ⁻³
Γράφιτο	0.16	-48 × 10 ⁻³
Παράτιο ⁵	2.3 × 10 ⁹	-75 × 10 ⁻³
Γυάλι	10 ¹⁰ έως 10 ¹⁴	
Σκληρό καυστικό υλικό	~ 10 ¹¹	
Σελήνιος (πτητικό)	75 × 10 ⁸	

¹Όλες οι τιμές αφορούν για θερμοκρασία 20°C. Θεωρούμε ότι τα στοιχεία του πίνακα δεν περιέχουν κρούστα.
²Δείτε την Ενότητα Η5.4.
³Το κριτήριο κλίσης βασίζεται στο χρησιμοποιούμενο σύστημα σε θερμοκρασία σταθερά. Η ειδική αντίσταση της χρωμιοακίνης εξαρτάται από τη σύστασή της και κυμαίνεται μεταξύ 1.00 × 10⁻⁷ και 1.50 × 10⁻⁷ Ω · m.
⁴Η ειδική αντίσταση του παλιού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την καθαρότητα του. Σε περίπτωση κρούστα με άλλα άτομα, η τιμή αυτή μπορεί να διαφέρει κατά αρκετές τάξεις μεγέθους.

Ενότητα Η5.2

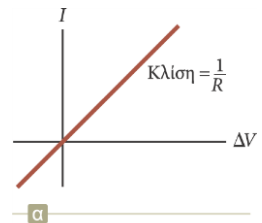
Αντίσταση και ειδική αντίσταση – Σύνοψη

- Κάθε ωμικό υλικό έχει μια χαρακτηριστική τιμή ειδικής αντίστασης, που εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού και από τη θερμοκρασία του.
 - Η ειδική αντίσταση είναι ιδιότητα του υλικού.
- Η αντίσταση ενός υλικού εξαρτάται τόσο από τη γεωμετρία του όσο και από την ειδική αντίστασή του.
 - Η αντίσταση είναι ιδιότητα του σώματος.
- Ένας ιδανικός αγωγός θα είχε μηδενική ειδική αντίσταση.
- Ένας ιδανικός μονωτής θα είχε άπειρη ειδική αντίσταση.

Ενότητα Η5.2

Ωμικό υλικό - Γράφημα

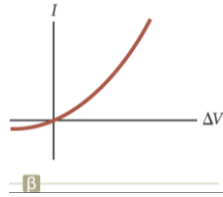
- Ένα ωμικό υλικό.
- Η αντίσταση είναι σταθερή για ένα μεγάλο εύρος τιμών της τάσης.
- Η σχέση μεταξύ ρεύματος και τάσης είναι γραμμική.
- Η κλίση συνδέεται με την αντίσταση.



Ενότητα Η5.2

Μη ωμικό υλικό - Γράφημα

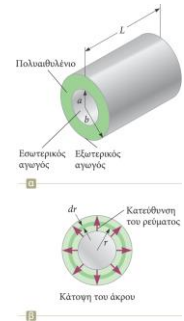
- Στα μη ωμικά υλικά, η αντίσταση μεταβάλλεται με την τάση ή με το ρεύμα.
- Η σχέση που συνδέει ρεύμα και τάση δεν είναι γραμμική.
- Παράδειγμα μη ωμικής διάταξης αποτελεί η διόδος ημιαγωγού.



Ενότητα Η5.2

Ακτινική αντίσταση σύρματος - Παράδειγμα

- Έστω ότι το υλικό μεταξύ των αγωγών αποτελείται από ομόκεντρα στοιχειώδη τμήματα πάχους dr .
- Η αντίσταση του κοίλου κυλίνδρου είναι $dR = \frac{\rho}{2\pi L} dr$



Ενότητα Η5.2

Ακτινική αντίσταση σύρματος - Παράδειγμα (συνέχεια)

- Η συνολική αντίσταση σε ολόκληρο το πάχος του υλικού είναι: $R = \int_a^b dR = \frac{\rho}{2\pi L} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$

- Αυτή είναι η ακτινική αντίσταση του σύρματος.
- Η τιμή αυτή είναι αρκετά υψηλή, κάτι που είναι επιθυμητό, επειδή θέλουμε το ρεύμα να διαρρέει το καλώδιο κατά το μήκος του και όχι να διαφεύγει ακτινικά.

Ενότητα Η5.2

Μοντέλο ηλεκτρικής αγωγιμότητας (1)

- Θεωρούμε ότι ο αγωγός αποτελείται από μια κανονική διάταξη ατόμων και από ένα σύνολο ελεύθερων ηλεκτρονίων.
 - Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συχνά ονομάζονται *ηλεκτρόνια αγωγιμότητας*.
 - Αυτά τα ηλεκτρόνια απελευθερώνονται μόλις τα άτομα συμπτυκνωθούν και σχηματίσουν ένα στερεό υλικό.
- Όταν δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο, η κίνηση των ηλεκτρονίων αγωγιμότητας είναι τυχαία.
 - Το μέτρο της ταχύτητάς τους είναι της τάξης των 10^6 m/s.

Ενότητα Η5.3

Μοντέλο ηλεκτρικής αγωγιμότητας (2)

- Όταν εφαρμόζεται ηλεκτρικό πεδίο, τα ηλεκτρόνια αγωγιμότητας αποκτούν ταχύτητα ολίσθησης.
- Παραδοχές:
 - Η κίνηση κάθε ηλεκτρονίου μετά από μια σύγκρουση δεν εξαρτάται από την κίνησή του πριν τη σύγκρουση.
 - Η πλεονάζουσα ενέργεια που αποκτούν τα ηλεκτρόνια στο ηλεκτρικό πεδίο μεταφέρεται στα άτομα του αγωγού μέσω των συγκρούσεων μεταξύ ηλεκτρονίων και ατόμων.
 - Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του αγωγού.

Ενότητα Η5.3

Μοντέλο ηλεκτρικής αγωγιμότητας - Υπολογισμός ταχύτητας ολίσθησης (3)

- Η δύναμη που δέχεται ένα ηλεκτρόνιο είναι: $\vec{F} = q\vec{E}$
- Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα, η επιτάχυνση είναι: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{q\vec{E}}{m_e}$
- Εφαρμόζουμε τις εξισώσεις κίνησης: $\vec{v}_f = \vec{v}_i + \vec{a}t = \vec{v}_i + \frac{q\vec{E}}{m_e}t$
- Εφόσον οι αρχικές ταχύτητες είναι τυχαίες, η μέση τιμή τους είναι ίση με μηδέν.

Ενότητα Η5.3

Μοντέλο ηλεκτρικής αγωγιμότητας (4)

• Έστω τ το μέσο χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών συγκρούσεων.

• Η μέση τιμή της τελικής ταχύτητας ισούται με την ταχύτητα ολισθησης: $v_d = \frac{qE}{m_e} \tau$

• Μπορούμε να συνδέσουμε την παραπάνω εξίσωση με την πυκνότητα του ρεύματος: $J = nq v_d = (nq^2 E / m_e) \tau$

- Όπου n είναι το πλήθος των φορέων φορτίου ανά μονάδα όγκου.

Ενότητα H5.3

Μοντέλο ηλεκτρικής αγωγιμότητας (τελική διαφάνεια)

• Χρησιμοποιώντας τον νόμο του Ohm, μπορούμε να βρούμε σχέσεις για την ειδική αγωγιμότητα και την ειδική αντίσταση ενός αγωγού:

$$\sigma = \frac{nq^2 \tau}{m_e} \quad \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m_e}{nq^2 \tau}$$

• Σημειώστε ότι, σύμφωνα με αυτό το κλασικό μοντέλο, η ειδική αγωγιμότητα και η ειδική αντίσταση δεν εξαρτώνται από την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.

- Πρόκειται για ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα των αγωγών που υπακούουν στον νόμο του Ohm.

Ενότητα H5.3

Αντίσταση και θερμοκρασία

• Εντός ενός περιορισμένου εύρους θερμοκρασιών, η ειδική αντίσταση ενός αγωγού μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά με τη θερμοκρασία σύμφωνα με τη σχέση:

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

- ρ_0 είναι η ειδική αντίσταση σε κάποια θερμοκρασία αναφοράς T_0 .
- Ως θερμοκρασία αναφοράς, T_0 θεωρούμε συνήθως τους 20°C.
- α είναι ο **θερμοκρασιακός συντελεστής της ειδικής αντίστασης**.
- Η μονάδα μέτρησης του συντελεστή α στο σύστημα SI είναι $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

• Μπορούμε να εκφράσουμε τον θερμοκρασιακό συντελεστή της ειδικής αντίστασης ως εξής:

$$\alpha = \frac{1}{\rho_0} \frac{\Delta \rho}{\Delta T}$$

Ενότητα H5.4

Μεταβολή της αντίστασης συναρτήσει της θερμοκρασίας

• Εφόσον η αντίσταση ενός αγωγού σταθερής διατομής είναι ανάλογη της ειδικής αντίστασης, μπορούμε να βρούμε πώς επηρεάζεται η αντίσταση από τη θερμοκρασία.

$$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

• Η χρήση αυτής της ιδιότητας επιτρέπει τη λήψη μετρήσεων ακριβείας της θερμοκρασίας με την προσεκτική παρακολούθηση της αντίστασης ενός ηλεκτρόδιου από συγκεκριμένο υλικό.

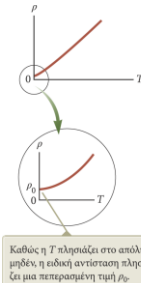
Ενότητα H5.4

Αντίσταση και θερμοκρασία – Γράφημα

• Σε ορισμένα μέταλλα, η ειδική αντίσταση είναι σχεδόν ανάλογη της θερμοκρασίας.

• Σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, πάντα υπάρχει μια μη γραμμική περιοχή στο γράφημα.

• Καθώς η θερμοκρασία τείνει στο απόλυτο μηδέν, συνήθως η ειδική αντίσταση προσεγγίζει μια πεπερασμένη τιμή.



Ενότητα H5.4

Υπολειμματική ειδική αντίσταση

• Η υπολειμματική ειδική αντίσταση κοντά στο απόλυτο μηδέν είναι αποτέλεσμα κυρίως των συγκρούσεων των ηλεκτρονίων με προσμίξεις και ατέλειες του μετάλλου.

• Η ειδική αντίσταση στις υψηλές θερμοκρασίες οφείλεται κυρίως στις συγκρούσεις μεταξύ των ηλεκτρονίων και των ατόμων του μετάλλου.

- Αυτό αντιστοιχεί στη γραμμική περιοχή του γραφήματος.

Ενότητα H5.4

Ημιαγωγοί

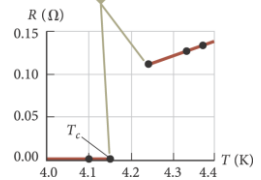
- Οι ημιαγωγοί είναι υλικά των οποίων η ειδική αντίσταση μειώνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία.
- Το α είναι αρνητικό.
- Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται η πυκνότητα των φορέων φορτίου.

Ενότητα H5.4

Υπεραγωγοί

- Οι υπεραγωγοί είναι μια κατηγορία μετάλλων και ενώσεων των οποίων η αντίσταση μειώνεται στο μηδέν όταν η θερμοκρασία τους πέσει κάτω από μια ορισμένη τιμή T_c .
 - Η θερμοκρασία T_c ονομάζεται **κρίσιμη θερμοκρασία**.
- Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες της T_c , το γράφημα μοιάζει με εκείνο ενός απλού μετάλλου, αλλά στη θερμοκρασία T_c μηδενίζεται απότομα.

Στη θερμοκρασία T_c , η οποία για τον υδράργυρο είναι 4.15 K, η αντίσταση πέφτει στο μηδέν δημιουργώντας ασυνέχεια στο γράφημα.



Ενότητα H5.5

Υπεραγωγοί (συνέχεια)

- Η τιμή της κρίσιμης θερμοκρασίας T_c εξαρτάται από:
 - τη χημική σύσταση
 - την πίεση
 - τη μοριακή δομή
- Από τη στιγμή που δημιουργηθεί ρεύμα σε έναν υπεραγωγό, τότε το ρεύμα αυτό παραμένει χωρίς να απαιτείται η εφαρμογή εξωτερικής τάσης.
 - Επειδή $R = 0$.

Ενότητα H5.5

Εφαρμογές των υπεραγωγών

- Μια σημαντική εφαρμογή των υπεραγωγών είναι ο υπεραγωγίμος μαγνήτης.
- Το μέτρο του μαγνητικού πεδίου ενός υπεραγωγίμου μαγνήτη είναι περίπου δεκαπλάσιο από εκείνο που παράγει ένας απλός ηλεκτρομαγνήτης.
- Οι υπεραγωγίμοι μαγνήτες έχουν προταθεί ως μέσα αποθήκευσης ενέργειας.
- Χρησιμοποιούνται σε ιατρικούς μαγνητικούς τομογράφους.

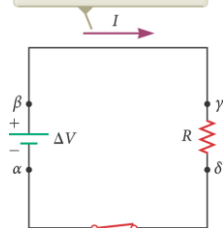


Ενότητα H5.5

Ηλεκτρική ισχύς (1)

- Θεωρούμε το κύκλωμα της εικόνας.
- Ως σύστημα θεωρούμε ολόκληρο το κύκλωμα.
 - Καθώς ένα φορτίο μετακινείται από το σημείο α στο β , η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του συστήματος αυξάνεται κατά $Q\Delta V$.
 - Η χημική ενέργεια της μπαταρίας πρέπει να μειωθεί κατά το ίδιο ποσό.
 - Αυτή η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια μετασχηματίζεται σε εσωτερική ενέργεια στον αντιστάτη.
 - Αντιστοιχεί στην αύξηση της ταλάντωσης των ατόμων του αντιστάτη.

Η ενεργός ροή του θετικού φορτίου έχει δεξιόστροφη φορά.



Ενότητα H5.6

Ηλεκτρική ισχύς (2)

- Υπό κανονικές συνθήκες, ο αντιστάτης περιβάλλεται από ατμοσφαιρικό αέρα, οπότε η αύξηση της θερμοκρασίας του αντιστάτη θα προκαλέσει μεταφορά ενέργειας στον αέρα μέσω θερμότητας.
- Επιπλέον, ο αντιστάτης εκπέμπει θερμική ακτινοβολία.
- Έπειτα από ένα χρονικό διάστημα, η θερμοκρασία του αντιστάτη θα σταθεροποιηθεί.
 - Τότε, η εισροή ενέργειας από την μπαταρία εξισορροπείται από την απώλεια ενέργειας από τον αντιστάτη μέσω θερμότητας και ακτινοβολίας.
- Ο ρυθμός μείωσης της δυναμικής ενέργειας του συστήματος, καθώς το φορτίο διέρχεται από τον αντιστάτη, ισούται με τον ρυθμό αύξησης της εσωτερικής ενέργειας του αντιστάτη.
- Επομένως, η **ισχύς** είναι ο ρυθμός με τον οποίο αποδίδεται ενέργεια στον αντιστάτη.

Ενότητα H5.6

Ηλεκτρική ισχύς (τελική διαφάνεια)

- Η ισχύς δίνεται από την εξίσωση $P = I \Delta V$.
- Εφαρμόζοντας τον νόμο του Ohm μπορούμε να βρούμε εναλλακτικές σχέσεις: $P = I^2 R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$.

• Μονάδες: I σε A, R σε Ω , ΔV σε V, και P σε W.

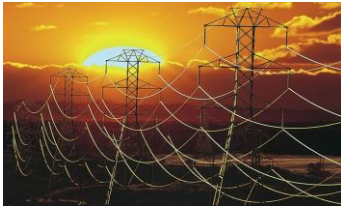
Ενότητα Η5.6

Τελευταίες επισημάνσεις σχετικά με το ηλεκτρικό ρεύμα

- Κάθε ηλεκτρόνιο κινείται στο κύκλωμα με την ταχύτητα ολίσθησης.
 - Ένα ηλεκτρόνιο μπορεί να χρειαστεί ώρες για να διατρέξει ολόκληρο το κύκλωμα.
- Το ρεύμα είναι το ίδιο σε κάθε σημείο του κυκλώματος.
 - Σε κανένα σημείο του κυκλώματος δεν «καταναλώνεται» ρεύμα.
- Τα φορτία ακολουθούν την ίδια «περιστροφική» ροή σε όλα τα σημεία του κυκλώματος.

Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

- Οι γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας έχουν αντίσταση.
- Η επιχείρηση ηλεκτρισμού μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας υψηλή τάση και μικρές τιμές ρεύματος, έτσι ώστε να ελαχιστοποιεί τις απώλειες.



Τέλος

Ρεύμα και αντίσταση

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.

