

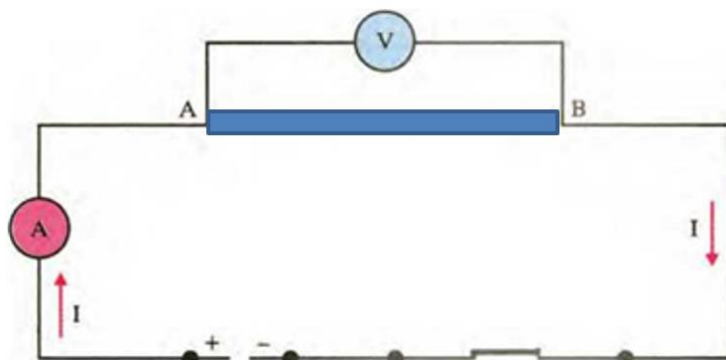
Φ7.1 (2.4) Αντίσταση - αγωγή

Θεωρούμε το κύκλωμα της εικόνας όπου τα όργανα θεωρούνται ιδανικά.

Με το **βολτόμετρο** μετράμε την **τάση** που εφαρμόζεται στα άκρα του μεταλλικού αγωγού AB.

Με το **αμπερόμετρο** μετράμε την **ένταση** του ρεύματος που τον διαρρέει.

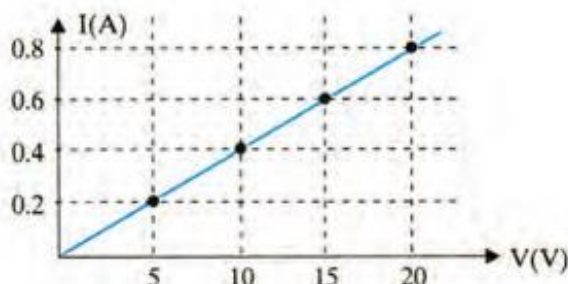
Μεταβάλλοντας την τιμή της **τάσης** V, παρατηρούμε ότι μεταβάλλεται η τιμή της **έντασης** I. Φροντίζουμε οι τιμές να είναι τέτοιες, ώστε να μη μεταβάλλεται η **θερμοκρασία** του αγωγού.



Για κάθε δίπολο όπως είναι οι λαμπτήρες, οι αντιστάτες, οι πυκνωτές, τα πηνία, οι ηλεκτρικές πηγές και άλλα στοιχεία υπάρχει μια συνάρτηση $I = f(V)$. Η γραφική της παράσταση λέγεται **χαρακτηριστική καμπύλη του δίπολου**. Η γνώση της μας βοηθάει στη διάκριση των δίπολων μεταξύ τους και στην πρόβλεψη της λειτουργίας τους, όταν τα συνδέσουμε σε κάποιο κύκλωμα.

Έχουμε τον παρακάτω **πίνακα τιμών** και την αντίστοιχη χαρακτηριστική καμπύλη του αγωγού:

V(V)	I(A)	V/I
0	0	-
5	0,2	25
10	0,4	25
15	0,6	25
20	0,8	25



- Παρατηρούμε ότι το πηλίκο V/I έχει **σταθερή τιμή για τον αγωγό** και ίση με 25.
- Σε οποιοδήποτε μεταλλικό αγωγό καταλήγουμε πάντα στο ίδιο συμπέρασμα, ότι **το πηλίκο V/I έχει σταθερή τιμή, χαρακτηριστική για τον κάθε αγωγό.**

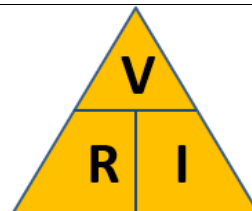
Αντίσταση R ενός **αγωγού** ονομάζουμε το μονόμετρο μέγεθος, που ισούται με το **πηλίκο της τάσης V**, που εφαρμόζεται στα άκρα του, προς την **ένταση του ρεύματος** που τον διαρρέει.

Στο **διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.)** μονάδα μέτρησης της αντίστασης είναι το **1Ω (Ohm)**.

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

1Ω (Ohm) είναι η **αντίσταση** ενός αγωγού, ο οποίος διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα **έντασης 1A**, όταν στα άκρα του εφαρμόζεται **τάση 1V**.

$$R = \frac{V}{I}$$



- Τι εκφράζει η αντίσταση ενός αγωγού;

Η αντίσταση ενός αγωγού εκφράζει τη **δυσκολία** που συναντά το ηλεκτρικό ρεύμα, όταν **διέρχεται μέσα απ' αυτόν**.

- Πού οφείλεται η αντίσταση των μεταλλικών αγωγών;

Η αντίσταση των μεταλλικών αγωγών οφείλεται στις «**συγκρούσεις**» των **ελεύθερων ηλεκτρονίων** με τα **θετικά ιόντα**.



Με τον όρο **αντίσταση** ή **ωμική αντίσταση** εκφράζουμε τη **δυσκολία** που συναντά το **ηλεκτρικό ρεύμα**, όταν διέρχεται μέσα από τον **μεταλλικό αγωγό**.

Ο ίδιος ο **μεταλλικός αγωγός** λέγεται **αντιστάτης**.

Όμως, πολλές φορές, για χάρη συντομίας, χρησιμοποιούμε τον όρο αντίσταση ή ωμική αντίσταση και **εννοούμε τον ίδιο το μεταλλικό αγωγό**.

Παραδείγματος χάρη, λέμε «**στα άκρα μιας αντίστασης 5Ω** » και εννοούμε «**στα άκρα ενός αντιστάτη, που έχει αντίσταση 5Ω** ».

Φ7.2 (2.4) Νόμος του Ohm για αντιστάτη

Ο **νόμος του Ohm** για αντιστάτη (μεταλλικό αγωγό) διατυπώνεται ως εξής:

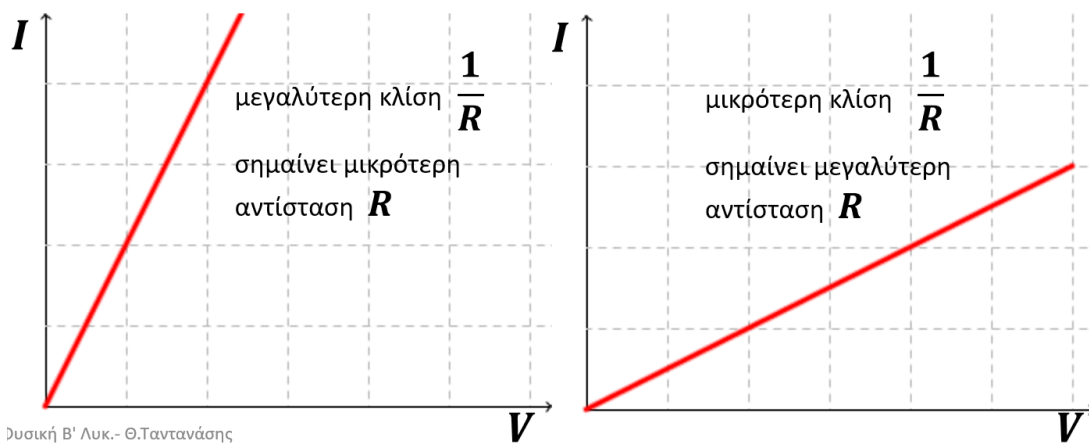
Η **ένταση** του ρεύματος που διαρρέει έναν **αντιστάτη (μεταλλικό αγωγό)** σταθερής θερμοκρασίας είναι **ανάλογη της τάσης** που εφαρμόζεται στα άκρα του.

$$I = \frac{V}{R}$$

Τονίζεται ότι ο **νόμος του Ohm** δεν είναι γενικός νόμος για όλους τους αγωγούς: Στις **λυχνίες αερίου**, στις **λυχνίες κενού**, στα **τρανζίστορ**, στους **ηλεκτρικούς κινητήρες** και σε άλλα ηλεκτρονικά στοιχεία **δεν ισχύει ο νόμος του Ohm**.

$$I = \frac{V}{R} \Rightarrow I = \frac{1}{R} \cdot V$$

Η **χαρακτηριστική καμπύλη του αντιστάτη**, δηλαδή η **γραφική παράσταση της έντασης του ρεύματος** ως συνάρτηση της **τάσης**, είναι **ευθεία με κλίση: $\frac{1}{R}$**



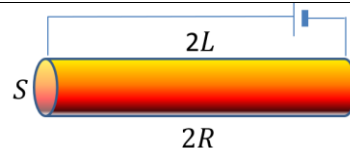
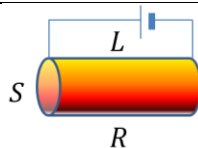
Παράδειγμα 1: Η τάση στα άκρα ενός μεταλλικού αγωγού είναι $V = 100V$ και η αντίσταση του $R = 10\Omega$. Να βρεθεί η ένταση I του ρεύματος που τον διαρρέει.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

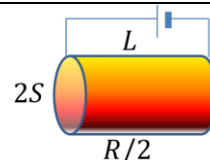
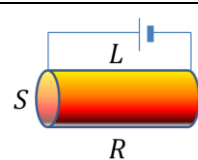
$$I = \frac{V}{R} \Rightarrow I = \frac{100}{10} = 10A$$

Φ7.3 (2.4) Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η αντίσταση ενός αντιστάτη

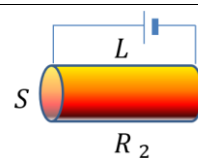
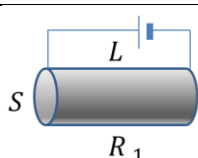
Η αντίσταση είναι ανάλογη του μήκους L του αγωγού. Αυτό είναι αναμενόμενο, γιατί όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του αγωγού, τόσο περισσότερες είναι οι συγκρούσεις των ελευθέρων ηλεκτρονίων με τα θετικά ιόντα, άρα τόσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση του αγωγού.



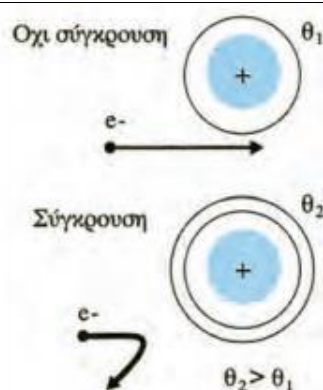
Η αντίσταση είναι αντιστρόφως ανάλογη της διατομής S του αγωγού. Αυτό είναι αναμενόμενο, γιατί όσο μεγαλύτερη είναι η διατομή του αγωγού, τόσο λιγότερες είναι οι συγκρούσεις των ελευθέρων ηλεκτρονίων με τα θετικά ιόντα, άρα τόσο μικρότερη είναι η αντίσταση του αγωγού.



Η αντίσταση εξαρτάται από το υλικό του αγωγού. ο σιδερένιος αγωγός έχει μεγαλύτερη αντίσταση από τον χάλκινο. Αυτό συμβαίνει γιατί το μεταλλικό πλέγμα του **χάλκινου** αγωγού είναι διαφορετικό από το μεταλλικό πλέγμα του **σιδερένιου** αγωγού, άρα και ο **αριθμός των συγκρούσεων** των ελευθέρων ηλεκτρονίων με τα θετικά ιόντα είναι διαφορετικός, άρα και η αντίσταση του αγωγού είναι διαφορετική.



Η αντίσταση εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αγωγού. Αν **θερμάνουμε** το μεταλλικό αγωγό, και μετρήσουμε την αντίστασή του και διαπιστώνουμε ότι αυτή **αυξάνεται**. Αυτό εξηγείται γιατί τα **θετικά ιόντα δεν είναι ακίνητα, αλλά ταλαντώνονται** γύρω από καθορισμένες θέσεις προς όλες τις κατευθύνσεις, με πλάτος που αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Η αύξηση του πλάτους της ταλάντωσης με τη θερμοκρασία αυξάνει τον αριθμό των συγκρούσεων των ελευθέρων ηλεκτρονίων με τα θετικά ιόντα, άρα και την αντίσταση του μεταλλικού αγωγού.

**Φ7.4 (2.4) Ειδική αντίσταση**

Το μέγεθος που εκφράζει ποσοτικά την εξάρτηση της αντίστασης ενός αγωγού από το **υλικό του αγωγού** και τη **θερμοκρασία** συμβολίζεται με ρ και ονομάζεται **ειδική αντίσταση του υλικού**.

Η μονάδα μέτρησής της στο S.I. είναι το $1\Omega \cdot m$

Η **αντίσταση R ενός αγωγού**, που έχει τη μορφή κυλινδρικού σύρματος:

- α) είναι **ανάλογη** του **μήκους L** του αγωγού,
- β) είναι **αντιστρόφως ανάλογη** του **εμβαδού S** της διατομής του αγωγού,
- γ) εξαρτάται από το **υλικό** του αγωγού και τη **θερμοκρασία** του.

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι τιμές των ειδικών αντιστάσεων διαφόρων υλικών σε $\Omega \cdot m$:

Ειδική αντίσταση (ρ) μερικών υλικών			
Υλικό	Ειδική αντίσταση (ρ) σε Ωm στους $20^\circ C$		
Μέταλλα		Χρωμονικελίνη (Ni, Fe, Cr, Mn)	$100 \cdot 10^{-8}$
Άργυρος	$1,6 \cdot 10^{-8}$	Μαγγανίνη (Cu, Mn, Ni)	$42 \cdot 10^{-8}$
Χαλκός	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Ημιαγωγοί	
Σίδηρος	$9,5 \cdot 10^{-8}$	Πυρίτιο	περίπου 1000
Υδράργυρος	$96 \cdot 10^{-8}$	Γερμάνιο	περίπου 0,5
Κράματα		Διηλεκτρικά	
Κοινοσταντήν (Cu, Ni)	$50 \cdot 10^{-8}$	Γυαλί	10^{12} ως 10^{15}
		Ξύλο	10^8 ως 10^{12}
		Ανθρώπινο σώμα	
		Πνεύμονας	20
		Λίπος	25
		Σκελετός	5

Από τον πίνακα φαίνεται ότι τη **μικρότερη ειδική αντίσταση** την έχει ο **άργυρος** και ο **χαλκός**. Γι' αυτό, τα σύρματα που χρησιμοποιούμε συνήθως είναι **χάλκινα**, αφού ο άργυρος είναι ακριβός. Με κριτήριο την τιμή της ειδικής αντίστασης τα υλικά κατατάσσονται σε **αγωγούς**, **ημιαγωγούς** και **μονωτές**.

Η **ειδική αντίσταση** ως **συνάρτηση της θερμοκρασίας** δίνεται από τη σχέση:

$$\rho_\theta = \rho_o \cdot (1 + \alpha \cdot \theta)$$

όπου ρ_o η ειδική αντίσταση σε θερμοκρασία $0^\circ C$, ρ_θ η ειδική αντίσταση σε $\theta^\circ C$ και α μια σταθερά που λέγεται **θερμικός συντελεστής ειδικής αντίστασης**.

Η σταθερά αυτή εξαρτάται από το **υλικό του αγωγού** και μετριέται σε $grad^{-1}$.

- Για τα **καθαρά μέταλλα** (π.χ. *Fe, Al, Cu, Ag*) είναι $\alpha > 0$, συνεπώς η **ειδική αντίσταση αυξάνεται**, όταν **αυξάνεται η θερμοκρασία**.
- Για το **γραφίτη** (*C*), τους **ημιαγωγούς** (*Ge, Si*) και τους **ηλεκτρολύτες** είναι $\alpha < 0$, συνεπώς, η **ειδική αντίσταση μειώνεται**, όταν **αυξάνεται η θερμοκρασία**.
- Για **ορισμένα κράματα**, όπως η **κοινοσταντήν** (*Cu, Ni*), η **μαγγανίνη** (*Cu, Mn, Ni*) και η **χρωμονικελίνη** (*Ni, Fe, Cr, Mn*) είναι $\alpha = 0$, συνεπώς η **ειδική αντίσταση είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας**.

Υλικό	Θερμικός συντελεστής α ($grad^{-1}$)
άργυρος	$3,8 \cdot 10^{-3}$
χαλκός	$3,9 \cdot 10^{-3}$
σίδηρος	$5 \cdot 10^{-3}$
κράματα	0
γραφίτης	$-0,5 \cdot 10^{-3}$

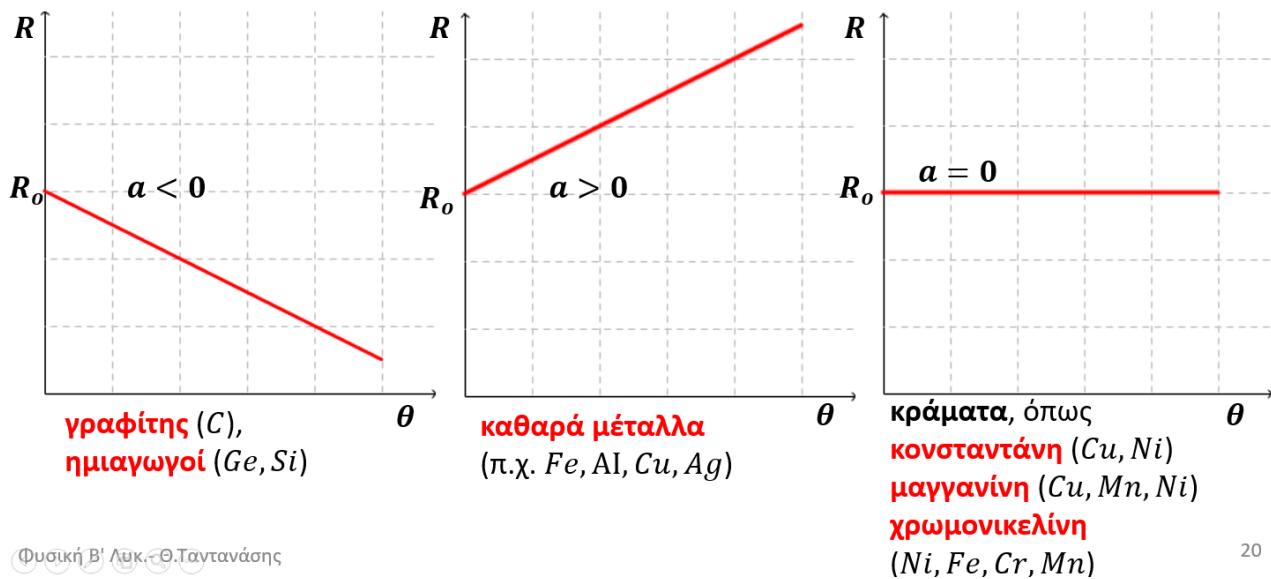
Έστω ότι θεωρούμε αμελητέα τη μεταβολή των **γεωμετρικών διαστάσεων** ενός αγωγού λόγω της **θερμικής διαστολής**.

Τότε η μεταβολή της αντίστασης του αγωγού με τη **θερμοκρασία** οφείλεται **αποκλειστικά στη μεταβολή της ειδικής του αντίστασης**. Άρα, ισχύει:

$$R_o = \rho_o \cdot \frac{L}{S} \quad R_\theta = \rho_\theta \cdot \frac{L}{S}$$

$$\frac{R_\theta}{R_o} = \frac{\rho_\theta}{\rho_o} = \frac{\rho_o \cdot (1 + \alpha \cdot \theta)}{\rho_o} \Rightarrow R_\theta = R_o \cdot (1 + \alpha \cdot \theta)$$

Εξάρτηση της **αντίστασης** από την **θερμοκρασία**:



Παράδειγμα 2: Ένας αγωγός έχει αντίσταση $R = 20\Omega$ σε θερμοκρασία $\theta = 20^\circ\text{C}$. Όταν ο αγωγός διαρρέεται από ρεύμα, η θερμοκρασία του σύρματος αυξάνεται σε $\theta' = 50^\circ\text{C}$. Να βρεθεί η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει, αν η τάση στα άκρα του είναι $V = 222,2\text{V}$. Δίνεται ο θερμικός συντελεστής αντίστασης του αγωγού $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{grad}^{-1}$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

$$R = R_0(1 + \alpha \cdot \theta) \quad \text{και} \quad R' = R_0(1 + \alpha \cdot \theta')$$

Διαιρούμε κατά μέλη:

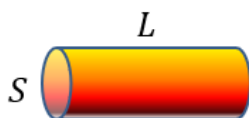
$$\frac{R'}{R} = \frac{1 + \alpha \cdot \theta'}{1 + \alpha \cdot \theta} \Rightarrow R' = \frac{R \cdot (1 + \alpha \cdot \theta')}{1 + \alpha \cdot \theta} \Rightarrow$$

$$R' = \frac{20 \cdot (1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot 50)}{1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \Rightarrow R' = 22,22\Omega$$

$$I = \frac{V}{R'} \Rightarrow I = \frac{222,2}{22,22} \Rightarrow I = 10\text{A}$$

Παράδειγμα 3: Ένα κυλινδρικό σύρμα έχει διάμετρο $\delta = 1\text{mm}$ και ειδική αντίσταση $\rho = 10^{-8}\Omega\text{m}$. Πόσο μήκος του σύρματος πρέπει να χρησιμοποιήσουμε για να έχουμε αντίσταση $R = 10\Omega$;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

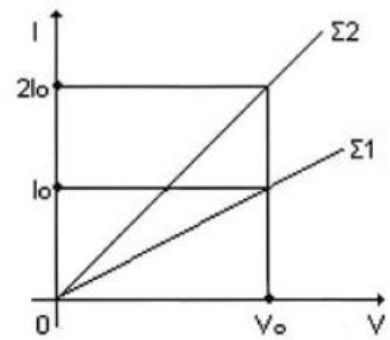


$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \Rightarrow L = \frac{R \cdot S}{\rho}$$

$$S = \pi \cdot r^2 = \frac{\pi \cdot \delta^2}{4} \Rightarrow S = 7,85 \cdot 10^{-7} \text{m}^2$$

$$L = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{10 \cdot 7,85 \cdot 10^{-7}}{10^{-8}} \Rightarrow L = 785\text{m}$$

ΑΣΚΗΣΗ Φ07.Α1 (4 βιβλίου): Στο παρακάτω διάγραμμα έχει παρασταθεί γραφικά η ένταση του ρεύματος I σε συνάρτηση με τη διαφορά δυναμικού V για δύο χάλκινα σύρματα Σ_1 και Σ_2 , που έχουν το ίδιο μήκος. Αν το εμβαδό διατομής του Σ_1 είναι $S_1 = 0,2\text{mm}^2$, να βρείτε το εμβαδό διατομής του Σ_2 .



ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

ΑΣΚΗΣΗ Φ07.Α2 (6 βιβλίου): Ένα σύρμα από λευκόχρυσο έχει μήκος $L=10\text{m}$ και μάζα $m = 3,6\text{g}$. Να βρείτε την αντίσταση του σύρματος, αν η πυκνότητα του λευκόχρυσου είναι $d = 21\text{g/cm}^3$ και η ειδική του αντίσταση $\rho = 9 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

ΑΣΚΗΣΗ Φ07.Α3 (7 βιβλίου): Ένα σύρμα από σίδηρο έχει αντίσταση $R = 40\Omega$ και μήκος $L=2\text{m}$. Λιώνουμε το σύρμα και φτιάχνουμε ένα άλλο, που θέλουμε να έχει αντίσταση $R' = 160\Omega$. Να βρείτε το μήκος του L' .

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

ΑΣΚΗΣΗ Φ07.A4 (8 βιβλίου): Σε ποια θερμοκρασία θ η τιμή της ειδικής αντίστασης του χαλκού γίνεται διπλάσια από την τιμή, που έχει σε $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; Ισχύει το ίδιο για όλους τους χάλκινους αγωγούς, ανεξάρτητα από τη μορφή και το μέγεθος τους; Ισχύει το ίδιο για αγωγούς, που είναι από διαφορετικό υλικό; Δίνεται ο θερμικός συντελεστής αντίστασης $\alpha_{\text{Cu}} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{grad}^{-1}$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

ΑΣΚΗΣΗ Φ07.A5 (9 βιβλίου): Στα άκρα ενός σύρματος εφαρμόζουμε σταθερή συνεχή τάση και διαπιστώνουμε ότι σε θερμοκρασία $\theta_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ η ένταση του ρεύματος, που διαρρέει το σύρμα είναι $I_1 = 2\text{ A}$, ενώ σε θερμοκρασία $\theta_2 = 2520\text{ }^{\circ}\text{C}$ η ένταση του ρεύματος είναι $I_2 = 1\text{ A}$. Να βρεθεί ο θερμικός συντελεστής αντίστασης του υλικού του σύρματος.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: