ΜΙΧΑΗΛ Π. ΜΙΧΑΗΛ

<u>ΣΕΙΡΑ ΑΣΕΠ</u>

ΦΥΣΙΚΗ

ΓΝΩΣΤΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΕ04

ΤΟΜΟΣ Β΄

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ & ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ
ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕ ΠΛΗΡΕΙΣ ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

- ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ
- ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ
- ΥΠΕΡΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ
- ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2008

Τίτλος βιβλίου: Φυσική - Γνωστικό αντικείμενο φυσικών κατηγορία ΠΕ04
ΤΟΜΟΣ Β΄

Συγγραφέας: Μιχαήλ Π. Μιχαήλ

Copyright: © ANIKOUΛA
Θεσσαλονίκη 2008

ISBN: 978-960-516-036-4

Εκδόσεις

ANIKOUΛA
ΒΙΒΛΙΑ • ΕΚΔΟΣΕΙΣ

Κεντρική Διάθεση:
Δημητρίου Γούναρη 44,
Τηλ.: 2310-235297, Fax: 2310-265126, Θεσσαλονίκη
Εγνατία 148, Τηλ: 2310-239537, 54621 Θεσσαλονίκη
Εγνατία 156, Τηλ: 2310-861917, εντός Πανεπιστημίου Μακεδονίας, Θεσ/νίκη
e-mail: anikoula@otenet.gr

Στον πατέρα μου και στη μητέρα μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η προσπάθεια μου σε αυτόν τον δεύτερο τόμο έγινε έτσι ώστε να συμπληρωθούν οι ενότητες που απαιτούνται για τον διαγωνισμό του ΑΣΕΠ του κλάδου ΠΕ04.

Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στις ενότητες που αναφέρονται στην υπεραγωγιμότητα (Φαινόμενο Meissner - Εξίσωση London - Υπεραγωγοί τύπου I και τύπου II - Θεωρία BCS - ζεύγη Cooper - κβάντωση ροής - Φαινόμενο σήραγγας Josephson συνεχούς (dc) και εναλλασσόμενου ρεύματος (ac).

Επίσης και στις ενότητες που αναφέρονται στην ταξινόμηση των σωματιδίων (αδρόνια – μεσόνια – βαρυόνια – υπερόνια - παράξενα ή παράδοξα σωματίδια - λεπτόνια).

Τέλος οι ενότητες που αναφέρονται στην αρχή διατήρησης του βαρυονικού αριθμού στην παραξενιά-παραδοξότητα και στην αρχή διατήρησης των λεπτονικών αριθμών καθώς και στους Νόμους διατήρησης της Παραδοξότητας S, του Υπερφορτίου Y, του Ισοσπίν ή ισοτοπικού σπίν της Ομοτιμίας C, Ομοτιμίας T, Ομοτιμίας P (Parity) μπορούν να βοηθήσουν στην μελέτη για μια επιτυχημένη προετοιμασία.

Μιχαήλ Π. Μιχαήλ
Φυσικός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

§9.1 Μηδενικός Νόμος της Θερμοδυναμικής

1) Υπάρχει μια αριθμητική (βαθμωτή) καταστατική μεταβλητή η οποία ονομάζεται θερμοκρασία και η οποία είναι μια ιδιότητα όλων των θερμοδυναμικών συστημάτων, τέτοια ώστε η ισότητα θερμοκρασιών να είναι η αναγκαία και ικανή συνθήκη για την ύπαρξη θερμοδυναμικής ισορροπίας μεταξύ δυο συστημάτων ή μεταξύ δυο μερών ενός συστήματος.

- Κατά συνέπεια δυο συστήματα (σώματα) Α και Β που βρίσκονται σε θερμική ισορροπία με ένα τρίτο σώμα Γ είναι και μεταξύ τους σε θερμική ισορροπία.
- Στην κλίμακα Κέλβιν συμβολίζουμε τη θερμοκρασία με T. Επειδή η T είναι καταστατική μεταβλητή το dT είναι τέλειο διαφορικό. Σε αντίθεση με το έργο W που εξαρτάται από το είδος της μεταβολής. Άρα το W αποτελεί μια περίπτωση φυσικού μεγέθους που δεν αντιστοιχεί σε τέλειο διαφορικό. Έτσι θα χρησιμοποιούμε το σύμβολο $đW$ για το διαφορικό του, όπου το σύμβολο $đ$ σημαίνει πως δεν έχουμε τέλειο διαφορικό.
- Δυο συστήματα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία αν και μόνο αν, έχουν την ίδια θερμοκρασία.

§9.2 Θερμομετρικές Κλίμακες

α) Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας των σωμάτων χρησιμοποιούμε ιδιότητες αυτών (θερμομετρικές ιδιότητες) που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία.

Όπως π.χ ο όγκος ενός υγρού ή αερίου, η πίεση ενός αερίου με σταθερό ό-γκο η ηλεκτρική αντίσταση αγωγού, το μήκος μιας ράβδου (γραμμική διαστολή στερεών).

Οπότε ανάλογα και με την επιλογή της θερμομετρικής ιδιότητας ορίζεται και η αντίστοιχη θερμομετρική κλίμακα.

Μπορούμε έτσι να ορίσουμε αυθαίρετα όσες θερμομετρικές κλίμακες θέλουμε.

Κατάλληλη όμως θεωρείται μια θερμομετρική ιδιότητα τέτοια ώστε η θερμική ισορροπία να πραγματοποιείται γρήγορα και χωρίς τη δαπάνη μεγάλων ποσών ενέργειας.

β) Αν θεωρήσουμε λοιπόν ότι έχουμε μια θερμομετρική ιδιότητα x ώστε $x=f(\theta)$ και ότι η σχέση αυτής της θερμομετρικής ιδιότητας με τη θερμοκρασία είναι γραμμική, ώστε να εξασφαλίσουμε πως ίσες μεταβολές της θερμοκρασίας θ, αντιστοιχούν σε ίσες μεταβολές της x, τότε ισχύει $x=x_0+f'(\theta_0)(\theta-\theta_0)$, όπου $f'(\theta_0)$ είναι η σταθερή κλίση της ευθείας. Σε περίπτωση που η σχέση $x=f(\theta)$ δεν είναι γραμμική τότε προφανώς η κλίση $f'(\theta_0)$ δεν θα είναι σταθερή.

Γενικά όμως για να κατασκευάσουμε μια θερμομετρική κλίμακα θα πρέπει να βρούμε δυο τιμές της ιδιότητας x, έστω τις x_T και x_0, που να είναι σαφώς καθορισμένες για ις αντίστοιχες θερμοκρασίες έστω θ_T και θ_0.

Ένα τέτοιο σταθερό σημείο που χρησιμοποιείται για τη βαθμολόγηση της α-πόλυτης κλίμακας θερμοκρασιών είναι το τριπλό σημείο του νερού με μοναδικές συντεταγμένες 4,6mmHg (0,006 atm) και $0{,}01^0C$ ή 273,16K.

Τότε η προηγούμενη σχέση μπορεί να γραφτεί $x_T=x_0+f'(\theta_0)(\theta_T-\theta_0)\Rightarrow$

$\Rightarrow f'(\theta_0)=\dfrac{x_T-x_0}{\theta_T-\theta_0}$ ενώ για μια οποιαδήποτε τιμή της θερμομετρικής μας ι-διότητας x με $x\in[x_0,x_T]$ θα ισχύει γενικά $x=x_0+\dfrac{x_T-x_0}{\theta_T-\theta_0}(\theta-\theta_0)\Rightarrow$

$\Rightarrow x=x_0[1+\dfrac{1}{x_0}(\dfrac{x_T-x_0}{\theta_T-\theta_0})(\theta-\theta_0)]\Rightarrow x=x_0[1+\alpha(\theta-\theta_0)]$ όπου το $\alpha=\dfrac{\Delta x/x_0}{\Delta\theta}$ ονομάζεται **θερμικός συντελεστής** της ιδιότητας x.

Αν το α δεν είναι σταθερό τότε ισχύει γενικά $dx=x_0 a d\theta \Rightarrow \int_{x_0}^{x} dx = x_0 \int_{\theta_0}^{\theta} a d\theta \Rightarrow$

$\Rightarrow x=x_0[1+\int_{\theta_0}^{\theta} a d\theta]$.

γ) Κλίμακα Κέλβιν

Για σταθερό όγκο V η πίεση (θερμομετρική ιδιότητα) ενός αερίου (θερμομετρική ουσία) είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του.

Άρα ισχύει $\frac{P_2}{P_1}=\frac{T_2}{T_1}$ (1). Σε ένα λοιπόν θερμόμετρο σταθερού όγκου κάνουμε δυο μετρήσεις της πίεσης, τη μια φορά στο σημείο πάγου έστω θερμοκρασία T_1 και την άλλη στο σημείο ατμού (T_2).

Τότε αποδεικνύεται πειραματικά ότι $\frac{P_2}{P_1}=1{,}3661$ ή $T_2=1{,}3661T_1$. Αν όμως χωρίσουμε και το διάστημα T_2-T_1 σε 100 υποδιαιρέσεις τότε ισχύει και

$T_2-T_1=100 \Rightarrow T_2=T_1+100$. Άρα $T_1+100=1{,}3661T_1 \Rightarrow 0{,}3661T_1=100 \Rightarrow T_1=\frac{100}{0{,}3661}$

$\Rightarrow T_1=273{,}15$ K. Όμως η T_1 αντιστοιχεί στους 0^0C που είναι το σημείο πάγου. Δηλαδή δείξαμε ότι οι 0^0C αντιστοιχούν στους 273,15 βαθμούς της κλίμακας Κέλβιν. Επειδή ακόμη 1^0C αντιστοιχεί σε 1K (100 υποδιαιρέσεις έχουμε και στις δυο κλίμακες) θα ισχύει γενικά:

$$\boxed{T=273{,}15+\theta}$$

όπου θ είναι οι βαθμοί Κελσίου και T οι βαθμοί Κέλβιν.

Ακόμη γυρίζοντας στη σχέση (1) έχουμε $T_2=T_1\frac{P_2}{P_1}$ ή $T_2=273{,}15\frac{P_2}{P_1}$. Όμως έχει επικρατήσει το σταθερό σημείο για την βαθμολόγηση της απόλυτης κλίμακας Κέλβιν να θεωρείται το τριπλό σημείο του νερού που είναι $0{,}01^0C$, άρα και 273,16K οπότε θα έχουμε $T_2=273{,}16\frac{P_2}{P_{tr}}$, όπου πλέον P_{tr} είναι η πίεση του αερίου στο τριπλό σημείο.

Γενικά μπορούμα να γράψουμε $T=273{,}16\frac{x}{x_{tr}}$ (K) όπου x είναι μια οποιαδήποτε θερμομετρική ιδιότητα και x_{tr} είναι η τιμή της στο τριπλό σημείο.

- Αν π.χ η θερμομετρική ιδιότητα είναι το μήκος μιας στήλης υγρού μέσα σε γυάλινο σωλήνα τότε ισχύει $T=273{,}16\frac{\ell}{\ell_{tr}}$ όπου ℓ_{tr} είναι το μήκος της στήλης στο τριπλό σημείο.
- Αν πάλι η θερμομετρική ιδιότητα είναι η ηλεκτρική αντίσταση R ενός αγωγού τότε ισχύει $T=273{,}16\frac{R}{R_{tr}}$, όπου R_{tr} είναι η ωμική αντίσταση στο τριπλό σημείο κ.ο.κ.

δ) Κλίμακα (Φαρενάιτ) (^{0}F)

Η θερμοκρασία του τηκόμενου πάγου θεωρείται 32 ^{0}F και η θερμοκρασία των υδρατμών του νερού που βράζει 212 ^{0}F. Άρα οι 100 υποδιαιρέσεις της κλίμακας Κελσίου αντιστοιχούν σε 212-32=180 υποδιαιρέσεις της κλίμακας Φαρενάιτ.

100^0C αντιστοιχούν σε 180^0F
1^0C x;

x= 180/100=$\frac{9}{5}$ ^{0}F. δηλαδή ο 1^0C αντιστοιχεί σε $\frac{9}{5}$ ^{0}F ή αλλιώς ο 1^0F αντιστοιχεί σε $\frac{5}{9}$ ^0C.

Π.χ οι 30^0C αντιστοιχούν σε $30\frac{9}{5}$ ^{0}F και η ένδειξη στην κλίμακα Φαρενάιτ θα είναι $F=32+30\frac{9}{5}=86$ ^{0}F.

Γενικά για θ ^0C έχουμε:

$$\boxed{\mathbf{F=32+\frac{9}{5}\theta}}\ ^0F$$

ή $F-32=\frac{9}{5}\theta$ ή

$$\boxed{\mathbf{\theta=\frac{5}{9}(F-32)}}\ ^0C$$

Ασκήσεις – Προβλήματα:

218. Σε ένα θερμόμετρο αντιστάσεως η αντίστασή του στο τριπλό σημείο είναι R_{tr}=100 Ω. Πόση είναι η θερμοκρασία όταν η αντίστασή του είναι R=110Ω;

α) $\theta=27,3^0C$

β) T=383K

γ) $\theta=10^0C$

δ) T=283K.

Απάντηση:

Ισχύει $T=273,16\frac{R}{R_{tr}} \Rightarrow T=273,16\frac{110}{100} \Rightarrow$ T=300,476K ή T=273,15+θ

$\Rightarrow \theta=27,3\ ^0C$.

Άρα σωστή είναι η (α).

219. Οι θερμοκρασία στην οποία οι κλίμακες Fahrenheit και Celsius δείχνουν την ίδια ένδειξη είναι:

α) 32^0C

β) -40^0C

γ) 575^0C

δ) 18^0C.

Απάντηση:

Ισχύει $F=32+\frac{9}{5}\theta$ για $F=\theta \Rightarrow \theta=32+\frac{9}{5}\theta \Rightarrow -4/5\ \theta=320 \Rightarrow \theta=-40^0C$.

Άρα σωστή είναι η (β).

220. Οι θερμοκρασία στην οποία οι κλίμακες Fahrenheit και Kelvin δείχνουν την ίδια ένδειξη είναι:

α) 233K

β) 301K

γ) 574,6K

δ) καμία

Απάντηση:

Ισχύει F=32+ $\frac{9}{5}$θ. Όμως T=273,15+θ ή θ=T-273,15 άρα

F=32+$\frac{9}{5}$(T-273,15). Για F=T έχουμε T=32+$\frac{9}{5}$T-491,67 $\Rightarrow$ 4/5T =459,67

$\Rightarrow$ T=574,6 K.

Άρα σωστή είναι η (γ).

ε) Η θερμοδυναμική θερμομετρική κλίμακα.

Γνωρίζουμε πως σε μια θερμική μηχανή ο συντελεστής απόδοσής της είναι $e=\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}=1-\frac{Q_2}{Q_1}$. Q_1 και Q_2 είναι οι θερμότητες που προσφέρονται ισόθερμα και αντιστρεπτά από το περιβάλλον στο αέριο και από το αέριο στο περιβάλλον αντίστοιχα.

Στη μηχανή Carnot όμως ισχύει και $\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{T_2}{T_1}$. Από αυτή τη σχέση μπορούμε να ορίσουμε μια καινούργια θερμομετρική κλίμακα που ονομάζεται θερμοδυναμική θερμομετρική κλίμακα.

- Η προηγούμενη σχέση δεν εξαρτάται από το είδος του αερίου της μηχανής Carnot. Ακόμη αν θεωρήσουμε $T_1=T_{tr}$ δηλαδή ότι η T_1 είναι η θερμοκρασία του τριπλού σημείου του νερού άρα T_{tr} =273,16K τότε έχουμε γενικά $T=T_1\frac{Q_2}{Q_1}$ ή

$$\boxed{T=273{,}16\,\frac{Q}{Qtr}}\ K.$$

Ακόμη συμπεραίνουμε πως για Q=0 τότε και T=0 που σημαίνει πως όταν μια ισόθερμη αντιστρεπτή μεταβολή πραγματοποιείται στο απόλυτο μηδέν (T=0K) τότε και η θερμότητα Q που ανταλλάσσει το σύστημα με το περιβάλλον είναι μηδέν άρα και η εντροπία του συστήματος είναι μηδέν.

Αυτό όμως σημαίνει πως στο απόλυτο μηδέν μια ισόθερμη και μια αδιαβατική μεταβολή είναι ισοδύναμες.

Όμως το απόλυτο μηδέν είναι μια θεωρητική θερμοκρασία την οποία είναι αδύνατον να αποκτήσουμε με ένα πεπερασμένο αριθμό διεργασιών ψύξης οσοδήποτε ιδανικές **(3ος Θερμοδυναμικός Νόμος)**.

§9.3 Θερμική διαστολή στερεών και υγρών

Α) Γραμμική διαστολή (ράβδος)

Η μεταβολή του μήκους ενός κρυσταλλικού στερεού για μικρά ΔT είναι ανάλογη του αρχικού μήκους L_0 και ανάλογη της μεταβολής της θερμοκρασίας ΔT. Το α ονομάζεται συντελεστής γραμμικής διαστολής με

α (K^{-1} ή C^{-1} ή $grad^{-1}$).

Ο α εξαρτάται από το υλικό, αλλά και από την θερμοκρασία για αυτό και παίρνουμε μια μέση του τιμή για κάθε υλικό. Όταν η θερμοκρασία $T\rightarrow 0$ τότε και ο συντελεστής θερμικής διαστολής τείνει στο μηδέν.

Έτσι ισχύει:

$$\boxed{\Delta L = a\cdot L_0\cdot \Delta T}$$

ή $\Delta L = a\cdot L_0\cdot \Delta\theta$.

Η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφτεί και $L-L_0=a\cdot L_0\cdot \Delta T \Rightarrow$ **$L = L_0(1+a\cdot \Delta T)$**.

Β) Επιφανειακή διαστολή (πλάκα)

Για ισότροπα στερεά η σχετική μεταβολή του εμβαδού τους A δίνεται από τη σχέση:

$$\boxed{\Delta A = \beta\cdot A_0\cdot \Delta T}$$

Όπου β είναι ο συντελεστής επιφανειακής διαστολής του υλικού του στερεού.

Για μια τετράγωνη ομογενή και ισότροπη πλάκα πλευράς L ισχύει $A=L^2 \Rightarrow dA=2LdL$. Όμως $dL=aLdT$ άρα $dA=2L^2adT \Rightarrow dA=2aAdT$. Επειδή όμως ισχύει και $dA=\beta AdT$ συμπεραίνουμε ότι **β=2α**.

Ή διαφορετικά από την $L=L_0(1+a\cdot\Delta T)$ για τετράγωνη πλάκα με εμβαδόν $A_0=L_0^2$ για ΔΤ έχουμε $A=L^2 \Rightarrow A=L_0^2(1+a\cdot\Delta T)^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow A=A_0(1+a^2\cdot\Delta T^2+2a\Delta T)$. Για $a^2\approx 0$ (το α είναι πολύ μικρό) έχουμε $A=A_0(1+2a\Delta T)$ ή $\Delta A=\beta A_0\Delta T$.

Άρα ο συντελεστή επιφανειακής διαστολής (β) ισούται με το διπλάσιο του συντελεστή γραμμικής διαστολής (α).

Ισοδύναμα μπορούμε να γράψουμε $A=A_0(1+\beta\Delta T)$ ή $A=A_0(1+\beta\Delta\theta)$.

Γ) Κυβική διαστολή ή διαστολή όγκου.

Ισχύει η σχέση:

$$\boxed{\Delta V=\gamma V_0\Delta T}$$

(για ΔΤ μικρότερα των 100^0C), όπου γ είναι ο συντελεστής κυβικής διαστολής. Η ίδια σχέση ισχύει και για τη διαστολή των υγρών όπου τότε το γ εξαρτάται από τη φύση του υγρού.

Αν θεωρήσουμε έναν κύβο από ισότροπο υλικό στερεό ακμής L τότε ισχύει $V=L^3 \Rightarrow dV=3L^2dL$.

Ακόμη $dL=aL_0dT$. Για $L=L_0$ έχουμε $dV=3L_0^2aL_0dT \Rightarrow$

$dV=3L_0^3adT \Rightarrow dV=3aV_0dT$.

Όμως $dV=\gamma V_0dT$, οπότε προκύπτει **γ=3α**.

Δηλαδή ο συντελεστής κυβικής διαστολής ενός στερεού σώματος ισούται με το τριπλάσιο του συντελεστή γραμμικής διαστολής. Ακόμα $a=\frac{\beta}{2}$ άρα $\gamma=\frac{3\beta}{2}$ ή $\gamma=1,5\beta$.

Δ) Μεταβολή της πυκνότητας ενός στερεού με τη μεταβολή της θερμοκρασίας.

Ισχύει $\rho=\frac{m}{V}$ όμως και $\rho_0=\frac{m}{V_0}$ άρα $m=\rho_0 V_0=\rho V \Rightarrow \rho=\frac{\rho_0 V_0}{V} \Rightarrow \rho=\frac{\rho_0 V_0}{V_0(1+\gamma\Delta T)}$

$\Rightarrow \rho=\frac{\rho_0}{1+\gamma\Delta T}$.

♦ Η ίδια σχέση ισχύει και για την πυκνότητα των υγρών.

Ασκήσεις – Προβλήματα:

221. Μια ομογενής ράβδος σιδήρου μήκους 10m θερμαίνεται από $\theta_1=-10^0C$ σε $\theta_2=40^0C$. Αν $\alpha=12\cdot 10^{-6}$ $grad^{-1}$ τότε η επιμήκυνση της ράβδου είναι:

α) 3,6cm

β) 0,6m

γ) 0,6cm

δ) 0,36cm.

Απάντηση:

Ισχύει $\Delta L=\alpha\cdot L_0\cdot\Delta\theta$ άρα $\Delta L=10\cdot 12\cdot 10^{-6}\cdot 50 \Rightarrow \Delta L=6\cdot 10^{-3}m$ ή 0,6cm.

Σωστή είναι η (γ).

222. Μια ράβδος αλουμινίου έχει μήκος 40cm στους 20^0C. Τότε το μήκος της ράβδου στους 0^0C είναι: ($\alpha=25\cdot 10^{-6}$ $grad^{-1}$)

α) 20cm

β) 39,98cm

γ) 30cm

δ) 42cm.

Απάντηση:

$\Delta L=a \cdot L_0 \cdot \Delta\theta \Rightarrow L=L_0(1+a\Delta\theta)$. Όμως $\Delta\theta=\theta=20^0C$ άρα $L=L_0(1+a\theta) \Rightarrow 40=L_0(1+25\cdot10^{-6}\cdot20) \Rightarrow L_0= 39,98$ cm.

Σωστή είναι η (β).

223. Μια χάλκινη ορθογώνια πλάκα έχει στους 0^0C διαστάσεις 40cm και 50cm. Αν η πλάκα θερμανθεί από τους 10^0C στους 30^0C η αύξηση του εμβαδού της πλάκας θα είναι: Δίνεται ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του Cu ($a=25\cdot10^{-6}$ $grad^{-1}$)

α) $112mm^2$

β) $56mm^2$

γ) $168mm^2$

δ) $0,2m^2$.

Απάντηση:

Στους 0^0C είναι $A_0=0,4\cdot0,5=0,2m^2$. Τότε για $\Delta\theta=10-0=10\ ^0C$ είναι $\Delta A=\beta A_0\Delta T=\ 2aA_0\Delta T=28\cdot10^{-6}\cdot0,2\cdot10=56\cdot10^{-6}m^2$. Ακόμη για $\Delta\theta=30-0=30^0C$ είναι $\Delta A=\beta A_0\Delta T=28\cdot10^{-6}\cdot0,2\cdot30=168\cdot10^{-6}m^2$. Άρα από 10 – 30 ^0C είναι

$\Delta A'=168\cdot10^{-6}-56\cdot10^{-6}=112\cdot10^{-6}m^2$ ή $112mm^2$.

Σωστή είναι η (α).

224. Μια πλάκα από χάλυβα έχει τρύπα διαμέτρου 4cm στους 50^0C. Τότε η διάμετρος της τρύπας θα γίνει 3,99 cm στους:

(Δίνεται ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του χάλυβα $a=10^{-5}$ $grad^{-1}$).

α) 400^0C

β) 200^0C

γ) -200^0C

δ) -100^0C.