3 Επίδραση της θερμότητας στην ύλη

Ως γνωστό η θερμότητα έχει σημαντική επίδραση στην ύλη. Κατά την θέρμανσή των μορίων της ύλης αυξάνεται η μέση ενέργειά τους. Αυτή η αύξηση μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές των μακροσκοπικών ιδιοτήτων της ύλης. Για παράδειγμα το ιξώδες ενός παχύρευστου υγρού όπως το λάδι, μπορεί να μειωθεί αισθητά με την θερμοκρασία. Ο πάγος τήκεται (λιώνει) και η ηλεκτρική αντίσταση αυξάνει κατά την θέρμανση των μεταλλικών αγωγών. Εδώ θα μελετήσουμε μόνο το ποσό της ενέργειας που απορροφούν διάφορα υλικά κατά την θέρμανσή τους.

3.1 Ειδική θερμότητα – Ορισμός θερμίδας

Από πολύ νωρίς στην ιστορία του ο άνθρωπος είχε έρθει σε επαφή με θερμικές διεργασίες. Απλά παραδείγματα είναι το μαγείρεμα, η καύση ξύλου για τις ανάγκες της θέρμανσής του, η κατασκευή εργαλείων από χύτευση μετάλλων κλπ. Διάφοροι μηχανικοί όπως ο Carnot, ο Joules και ο Watt επέδειξαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την κατανόηση της θερμοδυναμικής κατά την βιομηχανική επανάσταση του 18^{ου} αιώνα για την βελτίωση της απόδοσης των πρώτων ατμομηχανών οι οποίες ονομάστηκαν έτσι γιατί το αέριο που χρησιμοποιήθηκε μέσα στα πιστόνια των μηχανών ήταν ο ατμός του νερού. Η πηγή της θερμότητας ήταν η καύση του κάρβουνου. Αυτοί οι μηχανικοί συνειδητοποίησαν ότι κάποια φυσική ποσότητα μεταφέρεται από το θερμό κάρβουνο στο νερό για την μετατροπή του σε ατμό και της έδωσαν το όνομα θερμότητα αλλά δεν κατανόησαν αμέσως ότι η θερμότητα είναι μια άλλη μορφή ενέργειας. Για τον λόγο αυτό δεν χρησιμοποίησαν το Joule ως την μονάδα μέτρησής της αλλά της απέδωσαν μια εύκολη και πρακτική μονάδα, την θερμίδα cal. Η **θερμίδα** ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας Q που πρέπει να προσφερθεί σε νερό μάζας $m = 1\ g$ για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά $\Delta\theta = 1^0 C$ (ή ένα βαθμό Κέλβιν). Αργότερα που έγινε η σύνδεση μεταξύ θερμότητας και ενέργειας, οι Φυσικοί κατέληξαν πειραματικά στην αναλογία $1\ cal\ =\ 4{,}18\ J$.

Καταλαβαίνει κανείς ότι απαιτούνται $Q = 2$ θερμίδες για να αυξηθεί η θερμοκρασία ποσότητας νερού $m = 2$ g κατά $\Delta\theta = 1^0 C$. Ομοίως απαιτούνται $Q = 3$ θερμίδες για να αυξηθεί η θερμοκρασία ποσότητας νερού $m = 1\ g$ κατά $\Delta\theta = 3^0 C$. Επομένως για το **νερό** μπορούμε να γράψουμε ότι το κλάσμα

$$c = \frac{Q}{m\Delta\theta} \tag{3.1}$$

είναι σταθερό και ίσο με $1\ cal/g \cdot {}^0\ C$ (ή ίσο με $4.18\ J/g \cdot {}^0\ C$). Η παραπάνω ποσότητα c ονομάζεται ειδική θερμότητα του νερού και είναι μια πολύ χρήσιμη ποσότητα για τον προσδιορισμό μεταβολών θερμοκρασίας του νερού. Όλες οι ουσίες δεν θερμαίνονται το ίδιο δεδομένων των ίδιων συνθηκών θέρμανσης που σημαίνει ότι η κάθε ουσία έχει την δικιά της ειδική θερμότητα, όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακας 3-1.

Όπως θα δούμε στην περίπτωση των αερίων, η ειδική θερμότητα έχει διαφορετική τιμή όταν μετριέται υπό σταθερή πίεση από την τιμή υπό σταθερό όγκο. Στα υγρά και τα στερεά αυτό δεν έχει και τόση σημασία αφού ο όγκος τους δεν μεταβάλλεται αισθητά και έτσι ακόμα και οι μεταβολές υπό σταθερή πίεση μπορούν να θεωρηθούν προσεγγιστικά ότι είναι ταυτόχρονα και μεταβολές υπό σταθερό όγκο. Π.χ. τα μεν υγρά θεωρούνται ασυμπίεστα, τα δε στερεά εμφανίζουν ασήμαντες θερμικές διαστολές του όγκου της τάξης του 10^{-3} ανά βαθμό Κελσίου. Ο τρόπος όμως που μετριούνται οι περισσότερες ειδικές θερμότητες των στερεών και υγρών όπως αυτών που παρουσιάζονται στον Πίνακας 3-1, είναι σε ανοικτή ατμόσφαιρα και έτσι μπορούμε να θεωρήσουμε ότι είναι ειδικές θερμότητες υπό σταθερή πίεση 1 ατμόσφαιρας.

Πίνακας 3-1

Ουσία	$c\ (cal/gK)$
Χαλκός	0.0923
Ορείχαλκος	0.092
Χρυσός	0.0301
Μόλυβδος	0.0305
Ασήμι	0.0558
Υδράργυρος	0.033
Αλκοόλη	0.58
Νερό	1.00
Πάγος (-10 C)	0.49
Γυαλί	0.20

Στην παραπάνω ανάλυση έχει θεωρηθεί ότι η ειδική θερμότητα για τις περισσότερες ουσίες είναι ένας σταθερός αριθμός. Αυτό στην πράξη είναι σωστό γιατί όντως το c δεν μεταβάλλεται αισθητά σε σχετικά μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας. Παρόλα αυτά, εάν η θερμοκρασία παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές, μπορεί το c να είναι μια ασθενής συνάρτηση του T η οποία πρέπει να ληφθεί υπόψη. Σε αυτή την περίπτωση ο ορισμός της ειδικής θερμότητας είναι ο

$$c(T) = \frac{1}{m}\frac{dQ}{dT} \tag{3.2}$$

όπου τα dQ το απειροστό ποσό θερμότητας που πρέπει να δοθεί σε ένα σώμα μάζας m για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά ένα απειροστό ποσό dT. Για να βρούμε το ολικό ποσό θερμότητας Q που απορροφήθηκε κατά την θέρμανση του σώματος από θερμοκρασία T_1 έως T_2, λύνουμε την παραπάνω σχέση και έχουμε:

$$dQ = mc(T)dT \tag{3.3}$$

$$Q = m\int_{T_1}^{T_2} c(T)dT \tag{3.4}$$

<u>Παράδειγμα 1</u>. Νερό $20^0\ C$ ποσότητας $1\ kg$ αναμιγνύεται με νερό $50^0\ C$ ποσότητας $2\ kg$. Να βρεθεί η τελική θερμοκρασία του μίγματος.

<u>Λύση</u>. Το ζεστό με το κρύο νερό έρχονται σε θερμική επαφή και άρα το πρώτο θα συνεισφέρει ένα ποσό θερμότητας Q στο δεύτερο μέχρι να επέλθει θερμική ισορροπία. Από την (3.1) έχουμε

$$Q = cm_1 \Delta\theta_1 = cm_2 \Delta\theta_2 => \Delta\theta_1 = 2\Delta\theta_2$$

όπου $\Delta\theta_1 = \theta - 20$, $\Delta\theta_2 = 50 - \theta$ και θ η τελική θερμοκρασία του μίγματος. Λύνοντας έχουμε $\theta = 40^0\ C$.

Παράδειγμα 2. Πυρωμένο κομμάτι χαλκού 2 γραμμαρίων και θερμοκρασίας $900^0\ C$, εμβαπτίζεται ξαφνικά σε ποτήρι που περιέχει $50\ g$ νερό θερμοκρασίας $25^0\ C$. Να βρεθεί η τελική θερμοκρασία του νερού.

Λύση. Δουλεύουμε όπως στο προηγούμενο παράδειγμα χρησιμοποιώντας από τον Πίνακας 3-1 την ειδική θερμότητα του χαλκού $c_2 = 0{,}092\ \mathrm{cal/g \cdot K}$

$$Q = c_1 m_1 \Delta\theta_1 = c_2 m_2 \Delta\theta_2 => 1 \times 50 \times \Delta\theta_1 = 0{,}092 \times 2 \times \Delta\theta_2$$

όπου $\Delta\theta_1 = \theta - 25$, $\Delta\theta_2 = 900 - \theta$ και θ η τελική θερμοκρασία του νερού η οποία φυσικά ισούται και με την τελική θερμοκρασία του χάλκινου κομματιού αφού αυτό βρίσκεται σε ισορροπία με το νερό. Λύνοντας $\theta = 28.2^0\ C$. Βέβαια σε αυτό το παράδειγμα αγνοήσαμε το γεγονός ότι κάποιο μέρος του νερού στην επιφάνειά του θα εξατμιστεί ακαριαία κατά την είσοδο του χάλκινου κομματιού.

Παράδειγμα 3. Το πυρωμένο κομμάτι χαλκού του προηγούμενου παραδείγματος εμβαπτίζεται στην θάλασσα. Εξηγήστε τι συμβαίνει στην θάλασσα.

Λύση. Όπως και παραπάνω, το ζεστό πυρωμένο κομμάτι χαλκού θα χάσει ένα ποσό θερμότητας Q το οποίο θα κερδίσει η θάλασσα. Η θερμοκρασία της θάλασσας όμως δεν μεταβάλλεται! Αυτό γίνεται γιατί στην έκφραση

$$Q = c_1 m_1 \Delta\theta_1$$

η μάζα της θάλασσας m_1 είναι άπειρη και έτσι $\Delta\theta_1 = 0$ ώστε το Q να είναι πεπερασμένο. Το χάλκινο κομμάτι θα έρθει τελικά σε θερμική ισορροπία με την θάλασσα αποκτώντας την θερμοκρασία της. Σώματα όπως η θάλασσα που έχουν άπειρη μάζα, ονομάζονται **λουτρά θερμότητας** επειδή απορροφούν ή εκλύουν ποσά θερμότητας χωρίς να μεταβάλλεται αισθητά η θερμοκρασία τους. Έτσι ένας βολικός τρόπος για να κρατήσουμε ένα μικρό σύστημα σε σταθερή θερμοκρασία, είναι να το φέρουμε σε επαφή με ένα λουτρό θερμότητας.

3.2 Λανθάνουσα θερμότητα - Αλλαγές φάσης

Όπως προαναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, κατά την αλλαγή κάποιας φάσης της ύλης, η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή. Προφανώς η σχέση $Q = cm\Delta\theta$ οδηγεί σε λάθος αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση αφού $\Delta\theta = 0$ ενώ για να επιτύχουμε αλλαγή φάσης πρέπει να δώσουμε ή να αφαιρέσουμε ένα ποσό θερμότητας Q σε μια ουσία, π.χ. για να λιώσουμε πλήρως ένα κομμάτι πάγου. Σε αυτή την περίπτωση η παραπάνω σχέση δεν ισχύει γιατί το Q καταναλώνεται για το σπάσιμο των δεσμών μεταξύ των ατόμων του πάγου και όχι για την θέρμανσή του. Περιμένουμε ότι το ποσό θερμότητας που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε για την μεταβολή της φάσης μιας ουσίας να είναι ανάλογη της μάζας m της ουσίας. Για παράδειγμα, λιώνουμε πολύ ευκολότερα μια μικρή κουταλιά παγωτού από ότι ένα ολόκληρο οικογενειακό πακέτο παγωτού. Επίσης, λόγω της διαφορετικής φύσης της κάθε ουσίας, περιμένουμε κατά την αλλαγή φάσης να απαιτούνται διαφορετικά ποσά θερμότητας για διαφορετικές ουσίες της ίδιας μάζας. Για παράδειγμα είναι ευκολότερο να τήξουμε (λιώσουμε) στερεά με ασθενείς δεσμούς όπως τα πολυμερή από ότι τα μέταλλα όπως το ατσάλι. Το πείραμα δείχνει ότι η ποσότητα $L = Q/m$ η οποία ονομάζεται "**λανθάνουσα θερμότητα**" είναι χαρακτηριστική κάθε ουσίας σε μια συγκεκριμένη αλλαγή φάσης. Ο παρακάτω Πίνακας 3-2 παραθέτει τιμές του L για διάφορες περιπτώσεις. Για παράδειγμα απαιτούνται περίπου 80 θερμίδες ανά γραμμάριο για την τήξη του πάγου και περίπου 540 θερμίδες ανά γραμμάριο για την εξάτμιση του νερού.

Πίνακας 3-2

Ουσία	$T(^0\,C)$ **Τήξη**	$L(cal/g)$	$T(^0\,C)$ **Εξαέρωση**	$L(cal/g)$
Νερό	0	80,0	100	543
Αλουμίνιο	659	95,3	2327	2516
Χαλκός	1083	49,5	2595	1130
Αλκοόλη	-114	25,8	78	204
Υδρογόνο	-259	13,9	-253	109
Μόλυβδος	328	5,5	1750	205
Υδράργυρος	-39	2,6	357	70
Άζωτο	-210	6,2	-196	48
Οξυγόνο	-219	3,3	-183	51
Άργυρος	962	26,5	1950	563

Συνοψίζοντας κατά την θέρμανση μιας φάσης της ύλης ισχύει $Q = mc\Delta\theta$ ενώ κατά την αλλαγή φάσης ισχύει $Q = mL$.

Παράδειγμα 4. Πόσος χρόνος απαιτείται για να λιώσουμε κομμάτι πάγου 100 γραμμαρίων που μόλις βγάλαμε από καταψύκτη -5^0C και να το μετατρέψουμε σε νερό 20^0C με την βοήθεια "ηλεκτρικού ματιού»ζ ισχύος 100 W;.

Λύση. Πρέπει να προσφέρουμε στον πάγο τρία ποσά θερμότητας: Το Q_1 για την θέρμανσή του από -5^0C σε 0^0C, το Q_2 για την μετατροπή του σε νερό στους 0^0C, και το Q_3 για την θέρμανσή του από 0^0C σε 20^0C. Η ειδική θερμότητα του πάγου είναι $0.5\ cal/g \cdot K$ περίπου και έτσι $Q_1 = c_1 m\Delta\theta_1 = 0{,}5 \times 100 \times 5 = 250\ cal$. Η λανθάνουσα θερμότητα για την τήξη του πάγου είναι 80 cal/g και έτσι $Q_2 = mL_2 = 100 \times 80 = 8000$ cal. Η ειδική θερμότητα του νερού είναι $1\ cal/g \cdot K$ και έτσι $Q_3 = c_3 m\Delta\theta_3 = 1 \times 100 \times 20 = 2000\ cal$. Έτσι συνολικά πρέπει να προσφερθούν $Q = 250 + 8000 + 2000 = 10250\ cal$ ή 2440 J. Εξ' ορισμού η ισχύς είναι ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και έτσι απαιτούνται $2440\,J\ /\ 100\,W\ =$ 24,4 δευτερόλεπτα.

3.3 Θερμική Διαστολή

Όπως είδαμε, η προσφορά θερμότητας σε ένα σώμα οδηγεί είτε σε αύξηση της θερμοκρασίας του είτε σε αλλαγή φάσης. Στην πρώτη περίπτωση, ένα έμμεσο αποτέλεσμα της θέρμανσης είναι η "b", η αύξηση δηλαδή του όγκου με την μεταβολή (συνήθως αύξηση) της θερμοκρασίας. Το αντίστροφο φαινόμενο είναι η "θερμική συστολή", η μείωση δηλαδή του όγκου με τη μεταβολή (συνήθως μείωση) της θερμοκρασίας. Στα δε αέρια, η μεταβολή του όγκου μπορεί να είναι μεγάλη, και περιγράφεται από την καταστατική εξίσωση η οποία συνδέει τις τρεις μεταβλητές P, V και T, όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στα υγρά τα πράγματα είναι πιο πολύπλοκα και η μελέτη του φαινομένου είναι εκτός σκοπού του παρόντος συγγράμματος (ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει σε ειδικό κλάδο της μηχανικής ρευστών που ονομάζεται "Ρευστομηχανική"). Στα στερεά οι μεταβολές του όγκου είναι εξαιρετικά μικρές, πλην όμως σημαντικές για κατασκευαστικούς και τεχνολογικούς λόγους, και η μελέτη τους είναι σχετικά εύκολη. Είναι ευκολότερο να μελετήσουμε τη μια διάσταση πρώτα και να συζητήσουμε για μεταβολές του μήκους με τη θερμοκρασία. Θεωρήστε μια λεπτή ράβδο, με αμελητέα διατομή και μήκος L. Όταν η θερμοκρασία της αυξηθεί κατά $\Delta\theta$, τότε το μήκος της αυξάνει κατά ένα μικρό ποσό ΔL το οποίο δίνεται από την σχέση C

$$\Delta L = \alpha L \Delta\theta \qquad (3.5)$$

όπου ο συντελεστής α είναι χαρακτηριστικός του κάθε υλικού και ονομάζεται "**συντελεστής θερμικής διαστολής μήκους**", έχει μονάδες αντιστρόφου βαθμού C^0 και οι τιμές του για διάφορα συνήθη υλικά φαίνονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3-3

Ουσία	$\boldsymbol{\alpha\ (\times 10^{-6}/^0\ C)}$
Ορείχαλκος	19
Χάλυβας	11
Μόλυβδος	29
Γυαλί κοινό	9
Γυαλί Pyrex	3.2
Χαλαζίας	Πρακτικά μηδέν
Χαλκός	17
Invar(κράμα Fe-Ni)	0.9
Ψευδάργυρος	26
Μπετόν	12
Σίδηρος	12
Σκυρόδεμα	12

Παράδειγμα 5. Μια τσιμεντένια γέφυρα μήκους 25 m κτίζεται σε κάποια χώρα όπου οι θερμοκρασίες το καλοκαίρι φτάνουν τους 45 C^0 και το χειμώνα δεν πέφτουν κάτω από τους 5 C^0. Να υπολογισθεί το ελάχιστο μήκος του διάκενου που πρέπει να ανοιχθεί στο κέντρο της γέφυρας ώστε η θερμική συστολή να μην προκαλέσει φθορές σε αυτή.

Λύση. Εάν η μεταβολή του μήκους της γέφυρας είναι μεγαλύτερη από το μήκος του διάκενου, τα δυο κομμάτια της γέφυρας θα τείνουν να εξαπλωθούν το ένα εις βάρος του άλλου και πιθανόν να προκληθούν ζημιές. Το ελάχιστο λοιπόν μήκος του διάκενου πρέπει να είναι ίσο με την μεταβολή του μήκους που προβλέπεται λόγω θερμικής διαστολής στα δυο θερμοκρασιακά όρια. Από τον Πίνακα 3.3 έχουμε για το μπετόν $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ και έτσι:

$$\Delta L = 12 \times 10^{-6} \times 25 \times (45 - 5) = 12\, mm$$

Παράδειγμα 6. Ένας φοιτητής θέλει να τοποθετήσει ένα ορειχάλκινο κυλινδρικό πείρο διαμέτρου $1\ cm$ σε μια κυκλική οπή ενός μεταλλικού στελέχους από χαλκό (δείτε Εικόνα 3-1). Λόγω κατασκευαστικού λάθους, η οπή είναι κατά $0.01\ cm$ μικρότερη και έτσι ο φοιτητής σκέφτηκε να θερμάνει το στέλεχος έτσι ώστε η διάμετρος της οπής να γίνει κατά $0.02\ cm$ μεγαλύτερη και ο πείρος να περάσει εύκολα μέσα στην οπή αλλά και να σφηνώσει εκεί όταν το στέλεχος επανέλθει στην αρχική του θερμοκρασία. Εάν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι$25^0 C$, να βρεθεί η θερμοκρασία που πρέπει να θερμανθεί το στέλεχος και να σχολιασθεί εάν πρακτικώς μπορεί να υλοποιηθεί η ιδέα αυτή του φοιτητή.

Εικόνα 3-1

Λύση. Έστω $\Delta\theta = \theta - 25$ η μεταβολή της θερμοκρασίας του στελέχους. Μπορούμε να εφαρμόσουμε τη συστολή του μήκους στη διάμετρο της οπής, επομένως $L = 1\ cm$ και $\Delta L = 0.02\ cm$. Από τον Πίνακα 3.3 έχουμε για τον χαλκό $\alpha = 17 \times 10^{-6}$. Επομένως

$$\Delta\theta = \frac{\Delta L}{aL} => \theta - 25 = \frac{0.02}{17 \times 10^{-6} \times 1} => \theta = 25 + 1176 = 1231^0 C$$

Ενώ στην πράξη αυτή η θερμοκρασία μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια ειδικών φούρνων στο εργαστήριο, ο χαλκός τήκεται στους $1085^0 C$ και έτσι η ιδέα του φοιτητή δεν μπορεί να υλοποιηθεί

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω παραδείγματα αλλά και από τις τιμές του Πίνακα 3.3, οι μεταβολές του μήκους λόγω θερμικής διαστολής είναι μικρές οπότε τις λαμβάνουμε υπόψιν μόνο σε μεγάλες κατασκευές επειδή τότε είναι σημαντικές, όπως στην περίπτωση της γέφυρας παραπάνω.

Ας εξετάσουμε τώρα την διαστολή στις δυο διαστάσεις. Έστω μια ορθογώνια επιφάνεια ενός υλικού με διαστάσεις $L_1 \times L_2$. Μια μεταβολή της θερμοκρασίας κατά $\Delta\theta$ θα έχει ως αποτέλεσμα να αλλάξουν τα μήκη σε $L_1 + \Delta L_1$ και $L_2 + \Delta L_2$ αντίστοιχα, και άρα και το εμβαδό $A = L_1 L_2$ κατά ένα μικρό ποσό ΔA που δίνεται από την

$$\Delta A = (L_1 + \Delta L_1)(L_2 + \Delta L_2) - L_1 L_2 = L_1 \Delta L_2 + L_2 \Delta L_1 + \Delta L_1 \Delta L_2$$

Αφού οι μεταβολές του μήκους είναι μικρές, της τάξης του 10^{-5}, τότε το γινόμενο $\Delta L_1 \Delta L_2$ είναι πολύ μικρό (της τάξης του 10^{-10}) και μπορεί να αγνοηθεί. Επομένως

$$\Delta A \approx L_1 \Delta L_2 + L_2 \Delta L_1$$

Εάν το υλικό είναι ομοιογενές, τότε ο συντελεστής θερμικής διαστολής θα είναι ο ίδιος και για τις δυο διαστάσεις και έτσι

$$\Delta A \approx L_1(\alpha L_2 \Delta\theta) + L_2(\alpha L_1 \Delta\theta) = 2\alpha L_1 L_2 \Delta\theta$$

Άρα μπορούμε να γράψουμε μια σχέση για τη συστολή του εμβαδού παρόμοια με την Εξ. 3.5

$$\Delta A = \beta A \Delta\theta$$

όπου $\beta = 2\alpha$ είναι ο "**συντελεστής θερμικής διαστολής επιφάνειας**". Με την ίδια λογική, εάν ενδιαφερόμαστε για μεταβολές όγκου, τότε μπορούμε να πούμε ότι για ένα ομοιογενές υλικό ισχύει για την διαστολή του όγκου V ενός ομοιογενούς υλικού ότι

$$\Delta V = \gamma V \Delta\theta$$

όπου $\gamma = 3\alpha$ είναι ο "**συντελεστής θερμικής διαστολής όγκου**"

<u>Παράδειγμα 7</u>. Σε θερμοκρασία δωματίου 25^0C, ένα σφουγγάρι με διαστάσεις $12\,cm \times 5\,cm \times 2\,cm$ ζυγίζει $10\,g$ όταν είναι στεγνό και έχει πορωσιμότητα 9% (συνολικός όγκος πόρων δια όγκο σφουγγαριού). α) Εάν το εμβαπτίσουμε κουβά με νερό της ίδιας θερμοκρασίας, πόσο θα αυξηθεί η μάζα του εάν θεωρήσουμε ότι όλοι οι πόροι γεμίζουν τελείως με νερό; β) Πως θα αλλάξει το παραπάνω αποτέλεσμα εάν το νερό στον κουβά βρίσκεται σε θερμοκρασία 65^0C; Δίνεται ο συντελεστής θερμικής διαστολής μήκους του σφουγγαριού $0.2 \times 10^{-3}/C^0$

<u>Λύση</u>: α) Από τα δεδομένα ο όγκος του σφουγγαριού ισούται με

$$V = 12\,cm \times 5\,cm \times 2\,cm = 120\,cm^3$$

Ο όγκος v του παγιδευμένου νερού ισούται με τον όγκο των πόρων που είναι μόλις το 9% του παραπάνω όγκου, δηλαδή

$$v = 0.09 \times V = 10.8\,cm^3$$

Αφού η πυκνότητα του νερού είναι $\rho = 1\,g/m^3$ τότε το παγιδευμένο νερό θα ζυγίζει $10.8\,g$ και άρα το βάρος του σφουγγαριού σχεδόν διπλασιάζεται σε $10 + 10.8 = 20.8\,g$.

β) Ο συντελεστής θερμικής διαστολής όγκου ισούται με $\gamma = 3\alpha = 0.6 \times 10^{-3}/C^0$. Η σχετική μεταβολή του όγκου του σφουγγαριού μεταξύ των δυο θερμοκρασιών δίνεται από την

$$\frac{\Delta V}{V} = \gamma \Delta\theta = 0.6 \times 10^{-3} \times (65 - 25) = 24 \times 10^{-3}$$

δηλαδή 2.4 %. Αφού οι πόροι γεμίζουν πλήρως με νερό, αυτή θα είναι και η αύξηση της μάζας του νερού δηλαδή τώρα το σφουγγάρι θα ροφήσει

$$24 \times 10^{-3} \times 10.8 = 259 \times 10^{-3} \approx 0.26$$

περισσότερα γραμμάρια επομένως η νέα του μάζα θα είναι $10 + 10.8 + 0.26 = 21.06\,g$