Open Schools Journal for Open Science

Vol 3, No 1 (2020)

Γιατί το μεταλλικό πόμολο μιας ξύλινης πόρτας μας φαίνεται ψυχρότερο από την πόρτα;

Γιώργος Γλεντής, Στέφανος Μπρκοβιτς, Βασίλειος Πρόνιος, Εμμανουέλα Σταμέλου, Παναγιώτης Δημητριάδης, Λαμπρινή Παπατσίμπα

doi: [10.12681/osj.22365](https://doi.org/10.12681/osj.22365)

To cite this article:

Γλεντής Γ., Μπρκοβιτς Σ., Πρόνιος Β., Σταμέλου Ε., Δημητριάδης Π., & Παπατσίμπα Λ. (2020). Γιατί το μεταλλικό πόμολο μιας ξύλινης πόρτας μας φαίνεται ψυχρότερο από την πόρτα;. *Open Schools Journal for Open Science*, *3*(1). https://doi.org/10.12681/osj.22365

Open Schools Journal for Open Science

Volume 4

Γιατί το μεταλλικό πόμολο μιας ξύλινης πόρτας μας φαίνεται ψυχρότερο από την πόρτα;

Γλεντής Γιώργος[1], Μπρκοβιτς Στέφανος[1], Πρόνιος Βασίλειος[1], Σταμέλου Εμμανουέλα[1], Παναγιώτης Δημητριάδης [2], Λαμπρινή Παπατσίμπα [2]

[1] 1ο Πειραματικό Σχολείο Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα, Ελλάδα
[2] Φυσικός, 1ο Πειραματικό Σχολείο Πανεπιστημίου Αθηνών, Αθήνα, Ελλάδα

Περίληψη

Σε αυτή την εργασία θα απαντήσουμε στο ερώτημα γιατί όταν ακουμπάμε το μεταλλικό πόμολο μιας ξύλινης πόρτας αισθανόμαστε ότι έχει μικρότερη θερμοκρασία από την πόρτα, παρότι και τα δύο σώματα έχουν την ίδια θερμοκρασία (του περιβάλλοντος). Θα ερμηνεύσουμε αυτό το φαινόμενο με τους νόμους της φυσικής. Αρχικά θα διερευνήσουμε τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμοκρασία θ που αποκτά η επιφάνεια επαφής δυο σωμάτων Α και Β διαφορετικής θερμοκρασίας θΑ και θΒ. Απλοποιώντας τη γεωμετρία του προβλήματος και συνδυάζοντας τους νόμους της θερμιδομετρίας και του Fourier για τη διάδοση της θερμότητα βρίσκουμε ότι η θερμοκρασία επαφής θ1 δίδεται από τη σχέση: $((\theta_A + \theta_B \cdot \Lambda))/(1+\Lambda)$ [1] . Η Λ είναι μια σταθερά που εξαρτάται από τις θερμικές ιδιότητες των δυο υλικών και θΑ>θΒ. Στη συνέχεια διερευνούμε την [1] για διάφορα υλικά.

Λέξεις κλειδιά

θερμική αγωγιμότητα, θερμιδομετρία, ειδική θερμότητα, συντελεστής θερμικής διάχυσης, πλακίδια προστασίας διαστημοπλοίων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα φαινόμενο της καθημερινής μας εμπειρίας είναι ότι όταν ακουμπάμε ένα μεταλλικό πόμολο και ένα ξύλινο της ίδιας θερμοκρασίας αισθανόμαστε ότι το μεταλλικό πόμολο έχει μικρότερη θερμοκρασία (είναι ψυχρότερο) από το ξύλινο. Πώς θα μπορούσαμε να εξηγήσουμε το φαινόμενο με τη βοήθεια της επιστήμης; Γνωρίζουμε ότι η αίσθηση του ζεστού ή του κρύου συνδέεται κυρίως με το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται από το αντικείμενο ή προς το αντικείμενο σε ορισμένο χρονικό διάστημα και όχι με την θερμοκρασία του αντικειμένου με το οποίο ερχόμαστε σε επαφή (Ν. Αντωνίου, Π. Δημητριάδης κ.ά.). Για να απαντήσουμε στο ερώτημα θα πρέπει να συνδυάσουμε το νόμο για την διάδοση της θερμότητας και το νόμο της θερμιδομετρίας για την απορρόφηση ή εκπομπή θερμικής ενέργειας. Θα απλοποιήσουμε το πρόβλημα έτσι ώστε να μπορούμε να το λύσουμε με τη χρήση των μαθηματικών του Γυμνασίου. Μας ενδιαφέρει να βρούμε τους παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται η θερμοκρασία στην επιφάνεια επαφής δύο παραλληλεπιπέδων διαφορετικής αρχικής θερμοκρασίας και όχι η πρόβλεψη της ακριβούς τιμής της.

Προβλήματα θερμικής αγωγιμότητας (διάδοσης της θερμικής ενέργειας) έχουν λυθεί από την εποχή του Fourier (1768-1830) *(*Fourier,1822*)*.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Νόμος θερμικής αγωγιμότητας

Θεωρούμε ότι θερμότητα μεταφέρεται από την επιφάνεια E_1 εμβαδού Α θερμοκρασίας θ_1 προς την επιφάνεια E_2 θερμοκρασίας θ_2 (στην κατεύθυνση xx΄) με $\theta_1>\theta_2$. Συμβολίζουμε το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται από την επιφάνεια E_1 στην E_2 με Q. (εικόνα 1). Αν μεταξύ των E_1 και E_2 υπάρχουν στερεά σώματα, ή υγρά ή αέρια που δεν κινούνται, τότε η θερμότητα Q (σε Joules) που μεταφέρεται κατά την κατεύθυνση xx΄ σε μήκος L και από διατομή εμβαδού Α σε χρονικό διάστημα Δt δίδεται από τη σχέση:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t \cdot A} = k \cdot \left(\frac{\theta_1 - \theta_1}{L}\right) \qquad (\mathbf{1}) \qquad \text{(Hugh D. Young, 1994)}$$

Η σχέση (1) αποτελεί στην πραγματικότητα τον ορισμό του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k του υλικού μέσω του οποίου μεταφέρεται η θερμότητα.

Νόμος θερμιδομετρίας

Εικόνα 1 Νόμος θερμικής αγωγιμότητας

Ο νόμος της θερμιδομετρίας περιγράφει τη σχέση που συνδέει τη μεταβολή της θερμοκρασίας ενός σώματος με το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται σε αυτό ή από αυτό.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta \qquad \mathbf{(2)} \qquad \text{(Αντωνίου κ.ά, 2011)}$$

Προσεγγίσεις – Παραδοχές

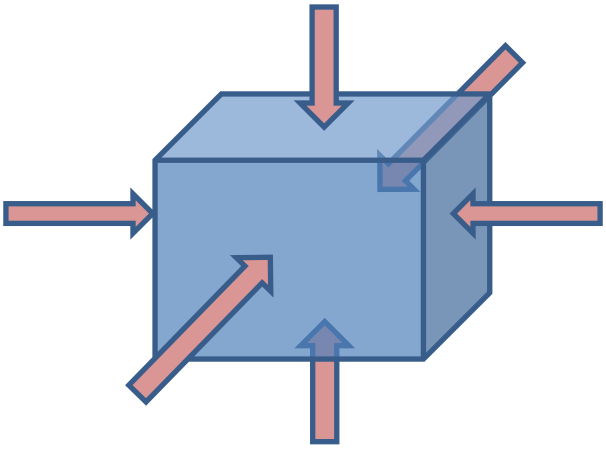
Αρχικά θα υπολογίσουμε το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται από το περιβάλλον θερμοκρασίας θ_π προς το εσωτερικό ενός κύβου ακμής μήκους L και αρχικής θερμοκρασίας $\theta_{αρχική}$. Στη συνέχεια θα προσδιορίσουμε την θερμοκρασία στην οποία φτάνει το εσωτερικό του (κέντρο) σε χρόνο τ. (Μπούρχα, κ.α,2013).

- Για λόγους απλοποίησης του μοντέλου θεωρούμε ότι ο κύβος αποτελείται από ένα ομοιογενές υλικό, με πυκνότητα ρ, ειδική θερμότητα c και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας k.

- Θεωρούμε ότι η θερμότητα μεταφέρεται προς το εσωτερικό και από τις έξι έδρες του κύβου.

Διάδοση θερμότητας στο εσωτερικό κύβου/μεταβολή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του

Τοποθετούμε τον κύβο σε περιβάλλον σταθερής θερμοκρασίας $\theta_\pi > \theta_{αρχική}$. Τότε θερμότητα Q μεταφέρεται από το περιβάλλον στο εσωτερικό του κύβου. Σε χρόνο τ η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κύβου αυξάνεται και φτάνει στο κέντρο του την τιμή θ. Η θερμότητα στο εσωτερικό του κύβου, μεταφέρεται με το μηχανισμό της θερμικής αγωγιμότητας που περιγράφεται από τη σχέση (1). Η θερμότητα Q μεταφέρεται από το περιβάλλον προς το εσωτερικό του κύβου και από τις 6 έδρες του. Η μεταφορά της θερμότητας από τις 6 έδρες του κύβου γίνεται με τον μηχανισμό που περιγράφουμε στην εικόνα 1 και εφαρμόζουμε την εξίσωση (1) για τις 6 έδρες με $A=L^2$ και για μήκος L/2. (εικόνα 2)



Εικόνα 2 Διάδοση θερμότητας στο εσωτερικό ενός κύβου ακμής L

Επομένως η εξίσωση για την θερμότητα Q που μεταφέρεται από το περιβάλλον του κύβου προς το εσωτερικό δίδεται από τη σχέση:

$$\mathrm{Q} = 6 \cdot \Delta\mathrm{Q}, \text{ όπου } \Delta\mathrm{Q} = \mathrm{k} \cdot \left(\frac{\theta\pi - \theta}{\frac{L}{2}}\right) \cdot \mathrm{A} \cdot \tau$$

Επομένως:

$$Q = 6 \cdot k \cdot \left(\frac{\theta\pi - \theta}{\frac{L}{2}}\right) \cdot L^2 \cdot \tau \quad \text{ή} \quad Q = 12 \cdot k \cdot (\theta\pi - \theta) \cdot L \cdot \tau \qquad (\mathbf{3})$$

Εφαρμόζουμε το νόμο της θερμιδομετρίας και την υπόθεση 1 ότι όλος ο κύβος απέκτησε θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Έτσι προκύπτει:

$$Q = M \cdot c \cdot (\theta_\pi - \theta_{αρχική}) \qquad (\mathbf{4})$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (3), (4) και λύνοντας ως προς τ, καταλήγουμε:

$$\tau = \left(\frac{1}{12}\right) \cdot \left(\frac{M \cdot c}{k \cdot L}\right) \cdot \left(\frac{\theta_\pi - \theta_{αρχική}}{\theta_\pi - \theta}\right)$$

ή αν αντικαταστήσουμε την μάζα με τη βοήθεια της πυκνότητας θα έχουμε:

$$\tau = \left(\frac{1}{12}\right) \cdot \left(\left(\frac{\rho \cdot c}{k}\right) \cdot L^2\right) \cdot \left(\frac{(\theta_\pi - \theta_{\alpha\rho\chi\iota\kappa\acute{\eta}})}{\theta_\pi - \theta}\right) \qquad (\mathbf{5})$$

Δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να ανέβει η θερμοκρασία στο κέντρο του κύβου σε μια ορισμένη τιμή, εξαρτάται:

- Από την αρχική ($\theta_{αρχική}$), τελική (θ) θερμοκρασία του κέντρου του κύβου και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος θ_π.
- Από την ποσότητα: $\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c}$ η οποία είναι μία από τις βασικές θερμοφυσικές ποσότητες και ονομάζεται Thermal diffusivity (Θερμική διάχυση) ***(***Hugh D. Young, 1994***).*** Η φυσική σημασία του α είναι ότι εκφράζει την ικανότητα (k) ενός υλικού να μεταδίδει την θερμότητα ως προς την ικανότητά του να συσσωρεύει θερμική ενέργεια ($\rho \cdot c$). Αυτή η ποσότητα είναι χαρακτηριστικό του υλικού από το οποίο αποτελείται ο κύβος.
- Στη περίπτωση μας έχουμε θεωρήσει κύβο οπότε προέκυψε ένας συντελεστής $\frac{1}{12}$. Αν είχαμε ένα σώμα σε σχήμα σφαίρας, τότε αυτός ο συντελεστής θα ήταν ίσος με $\frac{1}{\pi^2}$. Δηλαδή, ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σχήματος, μέσω του οποίου διαδίδεται η θερμότητα.
- Από τις διαστάσεις του κύβου (είναι ανάλογες του L^2).

Αντίστοιχο πρόβλημα έχει επιλυθεί από ((Charles D. H. Williams), όπου αντί κύβου έχουμε μια σφαίρα με ακτίνα R=L, χωρίς την υπόθεση 1. Οπότε για τον χρόνο που χρειάζεται για να φθάσει η θερμοκρασία στο κέντρο της σφαίρας , μέχρι την τιμή θ, προέκυψε η σχέση:

$$\tau = \frac{1}{\pi^2} \cdot \frac{\rho \cdot c}{k} \cdot L^2 \cdot In\left(0{,}76 \cdot \frac{\Theta_{\alpha\rho\chi\iota\kappa\acute{\eta}} - \Theta_\pi}{\Theta - \Theta_\pi}\right) \quad (\mathbf{6})$$

Παράγοντες που επηρεάζουν την μεταφορά θερμότητας και τη θερμοκρασία στο εσωτερικό ενός αντικειμένου

Γενικεύοντας τις σχέσεις (5), (6) μπορούμε να πούμε ότι ο χρόνος που απαιτείται για να φθάσει η θερμοκρασία στο εσωτερικό ενός σώματος σε μια συγκεκριμένη τιμή δίδεται από τη σχέση:

$$\tau = \gamma\varepsilon\omega \cdot \frac{L^2}{\alpha} \cdot f\left(\theta_\pi, \theta_{\alpha\rho\chi\iota\kappa\acute{\eta}}, \theta\right) \qquad (\mathbf{7})$$

Δηλαδή ο χρόνος τ εξαρτάται από 4 παράγοντες : μια αριθμητική σταθερά που προκύπτει από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σώματος (γεω), μια συνάρτηση αρχικής, τελικής θερμοκρασίας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος (f (θ_π , $\theta_{αρχική}$, θ), την απόσταση L που διεισδύει η θερμότητα στο εσωτερικό του αντικειμένου, το συντελεστή θερμικής διάχυσης ($\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c}$) του αντικειμένου, ο οποίος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υλικού, από το οποίο είναι φτιαγμένο το αντικείμενο.

Εκτίμηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια επαφής δυο αντικειμένων 1 και 2 με διαφορετικές θερμοφυσικές ιδιότητες και αρχικές θερμοκρασίες.

Θεωρούμε τα αντικείμενα 1 και 2 σε επαφή. Το αντικείμενο 1 έχει θερμοκρασία θ_1 και το 2 θ_2 με $\theta_1>\theta_2$. Ύστερα από χρόνο τ το σημείο επαφής αποκτά θερμοκρασία θ (θερμότητα μεταφέρεται μέσω του σημείου επαφής από το 1 στο 2 λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τους) με $\theta_1>\theta>\theta_2$. Ονομάζουμε α_1 το συντελεστή θερμικής διάχυσης του υλικού του αντικειμένου 1 $\left(a_1 = \frac{k_1}{\rho_1 \cdot c_1}\right)$ και α_2 τον συντελεστή θερμικής διάχυσης του υλικού του αντικειμένου 2 $\left(a_2 = \frac{k_2}{\rho_2 \cdot c_2}\right)$.

Υποθέτοντας ότι τα δυο αντικείμενα έχουν την ιδία γεωμετρία τότε από την (7) προκύπτει:

$$\frac{{L_1}^2}{a_1} = \frac{{L_2}^2}{a_2} \qquad (\mathbf{8})$$

Στον ίδιο χρόνο η θερμική ενέργεια άγεται από το 1 εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας (θ_1-θ) και μεταφέρεται στο αντικείμενο 2, με βάση τη διαφορά θερμοκρασίας (θ-θ_2). Υποθέτουμε ότι όλη η θερμική ενέργεια που άγεται από το αντικείμενο 1 στη μονάδα του χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας μεταφέρεται στο υλικό 2, δηλ. $\frac{\Delta Q_1}{\Delta t \cdot A_1} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t \cdot A_2}$ και από τη σχέση (1) προκύπτει:

$$k_1 \cdot \frac{\Theta_1 - \Theta}{L_1} = k_2 \cdot \frac{\Theta - \Theta_2}{L_2} \quad \mathbf{(9)} \quad \text{ή} \quad \frac{\Theta_1 - \Theta}{\Theta - \Theta_2} = \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{L_1}{L_2} \qquad \textbf{\textit{(10)}}$$

Συνδυάζουμε τη σχέση (8) και τη σχέση (10) και έχουμε:

$$\frac{\Theta_1 - \theta}{\Theta - \Theta_2} = \frac{k_2}{k_1} \cdot \sqrt{\frac{a_1}{a_2}} \qquad (\mathbf{11})$$

για να διευκολύνουμε τις πράξεις ονομάζουμε $\Lambda_{1,2}$ τη ρίζα στην εξίσωση (11) δηλαδή $\Lambda_{2/1} = \frac{k_2}{k_1} \cdot \sqrt{\frac{a_1}{a_2}}$ ή αντικαθιστώντας τα α_1, α_2 βρίσκουμε για το $\Lambda_{2/1} = \sqrt{\frac{k_2 \cdot \rho_2 \cdot c_2}{k_1 \cdot \rho_1 \cdot c_1}}$.

Λύνουμε την (11) ως προς θ οπότε βρίσκουμε ότι

$$\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2 \cdot \Lambda_{2/1}}{1 + \Lambda_{2/1}} \qquad (\mathbf{12})$$

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη σχέση (12) συμπεραίνουμε ότι η θερμοκρασία θ που αποκτά η επιφάνεια επαφής δυο υλικών εξαρτάται από τις θερμοκρασίες των υλικών αλλά και από της θερμικές ιδιότητές των υλικών από τα οποία αποτελούνται.

Ας δούμε τώρα πως με τη βοήθεια της σχέσης (12) μπορούμε να εξηγήσουμε γιατί το χειμώνα ακουμπώντας το χέρι μας στο σιδερένιο χερούλι της πόρτας το αισθανόμαστε κρύο ενώ το ξύλινο ζεστό. Ενώ το καλοκαίρι αντίθετο δηλαδή το σιδερένιο πόμολο μας φαίνεται ζεστό ενώ το ξύλινο δροσερό.

Τον χειμώνα η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλή, έστω 15°C οπότε το σιδερένιο και ξύλινο χερούλι έχουν την ίδια. Το χέρι μας έχει θερμοκρασία 37°C. Σε αυτή την περίπτωση το υλικό 1 είναι το δάκτυλό μας και το υλικό 2 είναι το χερούλι της πόρτας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ				
	χέρι (ιστός)	σίδερο	ξύλο	κεραμικά πλακίδια
ρ (kg/m^3)	1100	7870	600	2000
c (J/(°C·Kg)	3470	470	1800	0,39
k W/(m·°C)	0,61	73	0,12	1
$\rho \cdot c \cdot k$	2,3E+06	2,7E+08	1,3E+05	7,8E+02

Χρησιμοποιώντας τις τιμές από τον πίνακα 1 και τη σχέση (12), υπολογίζουμε την θερμοκρασία στην επιφάνεια επαφής χεριού–πόμολου τον χειμώνα με θερμοκρασία περιβάλλοντος 5°C και το καλοκαίρι με θερμοκρασία περιβάλλοντος 55 °C για σιδερένιο πόμολο και ξύλινο πόμολο και τη θερμοκρασία του χεριού 37 °C.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΥΠΟΛΟΓΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΕΠΑΦΗΣ		
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ °C	ΧΕΡΙ-ΞΥΛΙΝΟ ΠΟΜΟΛΟ °C	ΧΕΡΙ-ΣΙΔΕΡΕΝΙΟ ΠΟΜΟΛΟ °C
55	40	53
5	31	8

Από τις τιμές του πίνακα 2 παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία επαφής χεριού ξύλου είναι κοντά στη θερμοκρασία του χεριού, έτσι το ξύλο το χειμώνα μας φαίνεται ζεστό (μεγαλύτερη θερμοκρασία από το περιβάλλον) και το καλοκαίρι δροσερό (μικρότερη θερμοκρασία από το περιβάλλον). Αντίστοιχα για το μεταλλικό πόμολο βλέπουμε ότι η θερμοκρασία επαφής είναι κοντά στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος δηλ. τον χειμώνα μας φαίνεται ψυχρό (μικρή θερμοκρασία) και το καλοκαίρι ζεστό (μεγάλη θερμοκρασία).

Στη συνέχεια θέτουμε τα ερωτήματα: α) είναι δυνατόν να ακουμπήσουμε ένα κεραμικό πλακίδιο θερμοκρασίας 300 °C χωρίς να καούμε; Υπολογίζουμε την θερμοκρασία στην επιφάνεια επαφής του πλακιδίου και του χεριού και προκύπτει 42 °C. Δηλαδή μπορούμε να ακουμπήσουμε ένα καυτό κεραμικό πλακίδιο χωρίς να καούμε.

β) Μπορούμε να προφυλάξουμε το περιεχόμενο ενός σιδερένιου δοχείου από τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες όταν αυτό βρεθεί σε περιβάλλον με πολύ υψηλές θερμοκρασίες, πάνω από 800 °C. Ναι, αν καλύψουμε την επιφάνεια του με κεραμικά πλακίδια. Έστω ότι το δοχείο βρίσκεται σε περιβάλλον 800 °C, υπολογίζουμε την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην επιφάνεια επαφής των πλακιδίων και του σιδήρου, όταν η θερμοκρασία που επικρατεί στο εσωτερικό είναι 30 °C, βρίσκουμε ότι η θερμοκρασία στην επιφάνεια επαφής είναι 31 °C, δηλ. πολύ κοντά σε αυτή του εσωτερικού στο δοχείο. Με αντίστοιχο τρόπο γίνεται και η θερμική προστασία του εσωτερικού των διαστημικών λεωφορείων καθότι οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά η διάρκεια της κίνησης στην ατμόσφαιρα είναι πολύ μεγάλες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Williams C. (2009), *The Science of Boiling an Egg*, Univer. of Exeter, Physics and Astronomy, Διαδικτυακή Πηγή: http://newton.ex.ac.uk/teaching/CDHW/egg/#result,.
[2] Fourier, J. (1822) *Théorie analytique de la chaleur*(in French). Paris: Firmin Didot Père et Fils. OCLC 2688081.
[3] Young H.(1994) *Πανεπιστημιακή Φυσική*, Τόμος Α, Κεφ. 15, 8Η έκδοση, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ
[4] Αντωνίου Ν., Δημητριάδης Π., Καμπούρης Κ. Παπαμιχάλης Κ., Παπατσίμπα Λ., *Φυσική Β Γυμνασίου (Βιβλίο Μαθητή)*, ΥΠ.Ε.Π.Θ., Π.Ι., Δ ΕΚΔΟΣΗ ΑΘΗΝΑ
[5] Λυκούδης Π., Μακρή Δ., Παπατσίμπα Λ.,Πάγκαλος Σ., Τάνογλου Τ. (2008) *ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΦΥΣΙΚΗΣ ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ*, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Αθήνα
[6] Μπούρχα Ι., Νικολάου Σ. Φειδάκης Λ., *Πώς βράζει ένα αβγό; Παράγοντες που επηρεάζουν το χρόνο που απαιτείται για να βράσει ένα αβγό,*
[7] *www.pspa.eu/images/files/diakriseis-diagonismoi/phys2016/ergasia-acstac2016.pdf*
courses.arch.ntua.gr/fsr/143683/Eidiko_Thermika.pdf, θερμοφυσικες σταθερές)
[9] Ιδιότητες Ξύλου, Διαδικτυακή Πηγή:
http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/KSILO/xil_1_5t.htm