

Μέτρηση Θερμοκρασίας – Ειδική Θερμότητα μετάλλων

Σκοπός

Ο σκοπός αυτής της άσκησης είναι να προσδιοριστεί η ειδική θερμότητα (ή ειδική θερμοχωρητικότητα) μεταλλικού σώματος, μέσω μέτρησης θερμοκρασίας, και με βάση αυτήν να προσδιοριστεί η ταυτότητα του μετάλλου.

Περιγραφή

Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την μέτρηση της μεταβολής της θερμοκρασίας μιας γνωστής ποσότητας νερού περίπου 50 °C, όταν ένα μεταλλικό σώμα γνωστής μάζας και γνωστής αρχικής θερμοκρασίας τοποθετείται σε νερό. Η ακρίβεια του αισθητήρα θερμοκρασίας είναι μερικά εκατοστά του βαθμού. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τον προσδιορισμό της ειδικής θερμότητας με ακρίβεια 1-2 %. Ο περιορισμός της αρχικής θερμοκρασίας του νερού βελτιώνει την ακρίβεια (βλ. συζήτηση στο θεωρητικό υπόβαθρο) και ελαχιστοποιεί την πιθανότητα ατυχημάτων. Η αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της ειδικής θερμότητας θα εκτιμηθεί και θα εξεταστεί πώς αυτή επιδρά στην ταυτοποίηση του υλικού.

Θεωρητικό υπόβαθρο

Η ειδική θερμότητα c ενός υλικού είναι η ποσότητα θερμότητας που πρέπει να απορροφήσει η μονάδα μάζας του (1gr) προκειμένου να μεταβληθεί η θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό (Celsius ή Kelvin). Η ειδική θερμότητα του νερού, για παράδειγμα, είναι $c_{water} = 4.186 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$. Δηλαδή: 4.186 J θερμότητας απαιτούνται για την αύξηση της θερμοκρασίας 1 g νερού κατά 1 °C. Ισχύει ότι:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (1)$$

όπου Q είναι η θερμότητα που απαιτείται για την μεταβολή της θερμοκρασίας ΔT υλικού με ειδική θερμότητα c και μάζα m .

Εάν δεν υπάρχουν απώλειες προς το περιβάλλον, όταν προσθέτουμε ένα κρύο μέταλλο σε χλιαρό νερό, η θερμότητα που λαμβάνεται από το μέταλλο, Q_M , ισούται με τη θερμότητα που αποβάλλεται από το νερό, $-Q_w$, και έχουμε:

$$Q_M = -Q_w = c_M \cdot m_M \cdot \Delta T_M = -c_w \cdot m_w \cdot \Delta T_w \quad (2)$$

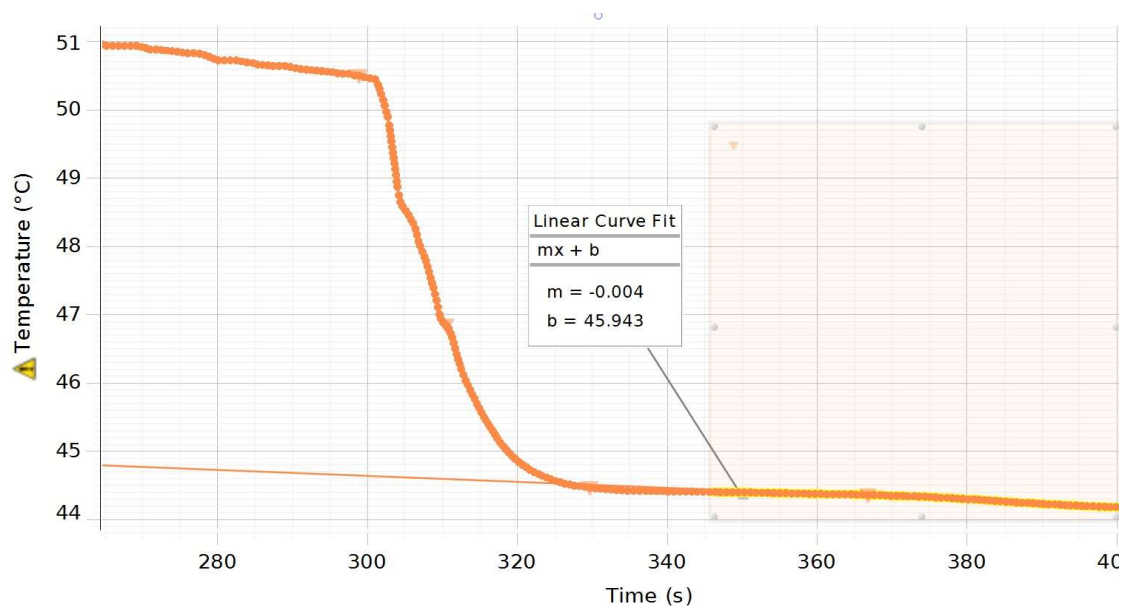
Επιλύοντας ως προς την ειδική θερμότητα του μετάλλου:

$$c_M = c_w \cdot (m_w / m_M) \cdot (-\Delta T_w / \Delta T_M) \quad (3)$$

Δεδομένου ότι η ειδική θερμότητα του νερού είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη των μετάλλων που μελετούμε, η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού θα είναι μικρή γεγονός που περιορίζει την ακρίβεια του πειραματικού προσδιορισμού. Για να μεγιστοποιήσουμε την ΔT_w , πρέπει να κρατήσουμε τη μάζα νερού όσο το δυνατόν

μικρότερη και την αρχική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του κρύου μετάλλου και του ζεστού νερού όσο το δυνατόν πιο μεγάλη. Ωστόσο, υπάρχει μια επιπλέον δυσκολία. Όταν το δοχείο του θερμιδόμετρου ανοίγει για να τοποθετηθεί το μέταλλο, ο κορεσμένος ατμός από το νερό χάνεται στον περιβάλλον (ο ατμός φαίνεται να ανέρχεται από το δοχείο). Για νερό 80 °C, αυτό σημαίνει πτώση της θερμοκρασίας περίπου 0,5 °C. Δεδομένου ότι η συνολική μεταβολή θερμοκρασίας του νερού είναι μόνο 5 °C περίπου, αυτό εισάγει ένα σοβαρό σφάλμα. Αυτό το σφάλμα μπορεί να περιοριστεί αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας νερό όχι θερμότερο από περίπου 50 °C.

Επιπλέον, το θερμιδόμετρο δεν είναι εντελώς απομονωμένο από το περιβάλλον. Αυτό φαίνεται παρακάτω, στο Σχήμα 1. Το καπάκι του θερμιδόμετρου είναι εκτός του δοχείου έως ότου το μεταλλικό δείγμα προστεθεί περίπου στα 301 s. Το θερμιδόμετρο στη συνέχεια καλύπτεται με το καπάκι και το σύστημα φτάνει σε ισορροπία στα 340 s. Κατά την διάρκεια αυτού του διαστήματος των 40 δευτερολέπτων, το νερό στο θερμιδόμετρο θα έχει κρυώσει κατά αρκετά δέκατα του βαθμού λόγω απωλειών προς το δωμάτιο. Αυτό διορθώνεται προσαρμόζοντας μια ευθεία γραμμή στα δεδομένα από 340 s έως 400 s. Χρησιμοποιούμε αυτήν την γραμμή και την προεκτείνουμε προς τα πίσω μέχρι τα 301 δευτερόλεπτα για να βρούμε την θερμοκρασία ισορροπίας που θα είχε υπήρχε αν η ισορροπία είχε συμβεί στιγμιαία, προτού συμβεί οποιαδήποτε απώλεια προς το δωμάτιο.



Σχήμα 1. Καμπύλη ψύξης για αλουμίνιο που προστίθεται σε ζεστό νερό.

Ρυθμίσεις

1. Ζυγίστε το φελιζολένιο (Styrofoam) θερμοδομετρικό δοχείο. Κάντε κλικ στο εικονίδιο αριθμομηχανή (Calculator) στην αριστερή πλευρά της οθόνης για να ανοίξετε την αριθμομηχανή. Στην πρώτη γραμμή, όπου λέει "m cal" = 20.8, αντικαταστήστε το 20.8 με τη μάζα σε γραμμάρια που μετρήσατε για το θερμοδομετρικό δοχείο.
2. Ζυγίστε κάθε ένα από τα μεταλλικά δείγματα με τα οποία θα πραγματοποιηθούν τα πειράματα. Προσέξτε ότι κάθε μέταλλο έχει 'σταμπαριστεί' με ένα γράμμα (A, B, C, D, E). Ανοίξτε την καρτέλα "Δεδομένα" και καταγράψτε τη μάζα μετάλλου (Metal Mass) στην γραμμή που αντιστοιχεί στο γράμμα του δείγματος.
3. Συνδέστε ένα νήμα 15 cm σε κάθε ένα από τα μεταλλικά δείγματα που θα μελετήσετε. Βυθίστε το μεταλλικό δείγμα σε λουτρό πάγου. Πρέπει ο πάγος να επιπλέει στο μπάνιο, αλλά να μην αγγίζει το μέταλλο. Αυτό θα επιτρέψει στο μέταλλο να έρθει σε μια καλά καθορισμένη θερμοκρασία περίπου 2 °C. Προσπαθήστε να κρατήσετε όσο το δυνατόν περισσότερο τμήμα από το νήμα έξω από το νερό (Σχήμα 2).
4. Θερμάνετε περίπου 500 ml νερού σε θερμοκρασία περίπου 55 °C, αλλά όχι περισσότερο.
5. Συνδέστε τον αισθητήρα θερμοκρασίας σε μία από τις εισόδους της συσκευής PASPORT 850 Universal Interface (Σχήμα 3).



Σχήμα 2. Λουτρό πάγου.

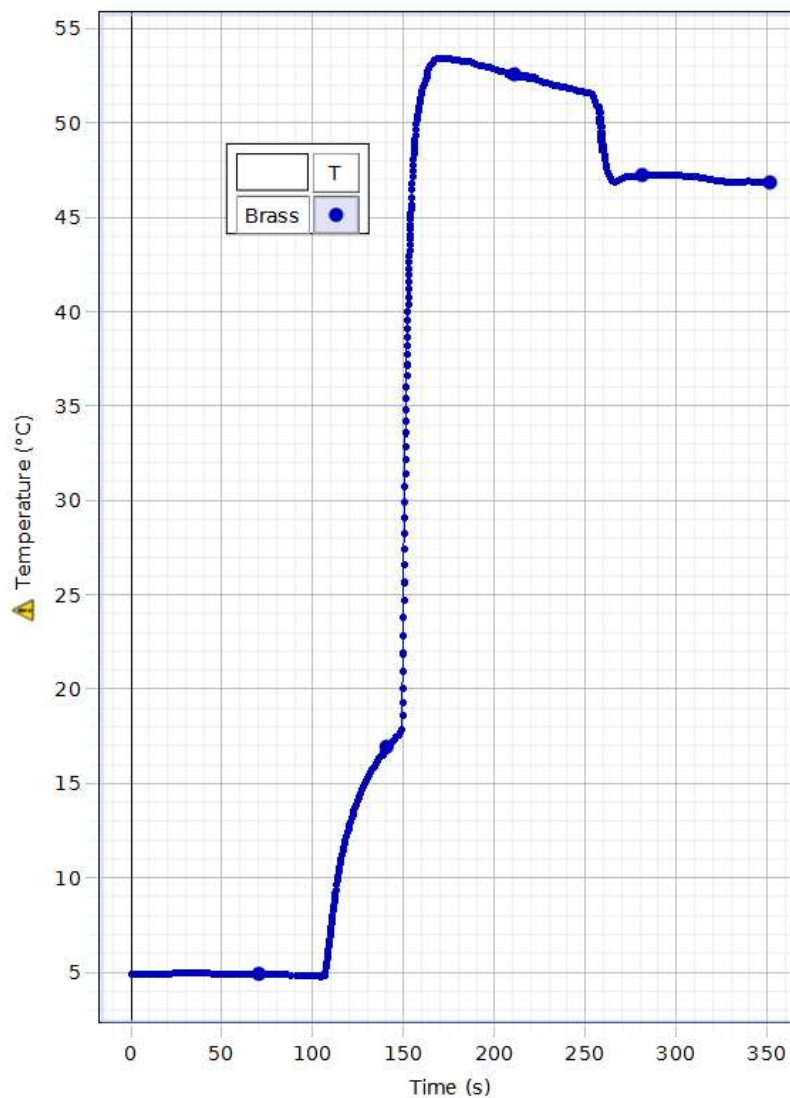


Σχήμα 3. Η διάταξη πριν την προσθήκη του μετάλλου.

Εκτέλεση της άσκησης

1. Τοποθετήστε το μεταλλικό άκρο του αισθητήρα θερμοκρασίας ώστε να είναι σε καλή επαφή με το μεταλλικό δείγμα που πρόκειται να μετρήσετε, ενώ το δείγμα πρέπει να βρίσκεται ακόμη στο λουτρό πάγου. Ο καλύτερος τρόπος για να το επιτύχετε αυτό είναι να πιέσετε απαλά το άκρο μέσα στην τρύπα του μετάλλου όπου δένεται το νήμα.

2. Κάντε κλικ στο εικονίδιο “Record”. Διατηρήστε το μεταλλικό άκρο του αισθητήρα σε επαφή με το μέταλλο για τουλάχιστον 60 δευτερόλεπτα έως ότου η ένδειξη παραμείνει σταθερή (Σχήμα 4). ΜΗΝ ΣΤΑΜΑΤΗΣΕΤΕ ΤΗΝ ΕΓΓΡΑΦΗ!






Σχήμα 4. Καταγραφή θερμοκρασίας σε σχέση με τον χρόνο.



3. Μεταφέρετε νερό από την δεξαμενή ζεστού νερού στον θερμοδομετρικό δοχείο. Εάν μελετάτε το δείγμα Β, χρησιμοποιήστε περίπου 125 ml νερού. Για όλες τις άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιήστε περίπου 90 ml νερού. Χρειαζόμαστε αρκετό νερό για να καλύψουμε το δείγμα, αλλά θα έχουμε καλύτερα αποτελέσματα εάν χρησιμοποιήσουμε όσο λιγότερο νερό μπορούμε.
4. Τοποθετήστε τον μεταλλικό άκρο του αισθητήρα θερμοκρασίας μέσα από την εξωτερική οπή στο καπάκι. Εισάγετε το μεταλλικό άκρο του αισθητήρα στο νερό, αλλά αφήστε το καπάκι πλάγια, ώστε να μην καλύπτει το θερμοδομετρικό δοχείο (Σχήμα 3).

5. Παρακολουθήστε την θερμοκρασία στο γράφημα. Μόλις φτάσει στην ισορροπία (περίπου 50 °C) αφήστε το να συνεχίσει για τουλάχιστον 60 s. ΜΗΝ ΣΤΑΜΑΤΗΣΕΤΕ ΤΗΝ ΕΓΓΡΑΦΗ!
6. Αυτό το μέρος του πειράματος πρέπει να γίνει γρήγορα! Χρησιμοποιώντας το νήμα, αφαιρέστε το μεταλλικό δείγμα από το λουτρό πάγου. ΜΗΝ ΑΓΓΙΖΕΤΕ ΤΟ ΜΕΤΑΛΛΟ ΜΕ ΤΑ ΧΕΡΙΑ ΣΑΣ! Χρησιμοποιώντας μια πετσέτα ή απορροφητικό χαρτί στεγνώστε γρήγορα το μέταλλο και στην συνέχεια με το νήμα τοποθετήστε το στο θερμοδομετρικό δοχείο, βάζοντας το μέταλλο ξαπλωτό ώστε να καλύπτεται εντελώς από το νερό. Κλείστε το δοχείο με το καπάκι αμέσως μετά.
7. Ανακατέψτε απαλά το νερό κουνώντας το δοχείο μέχρι να φτάσει σε ισορροπία. Αφήστε την εγγραφή να συνεχιστεί για τουλάχιστον 120 δευτερόλεπτα.
8. Σταματήστε την εγγραφή.
9. Κάντε κλικ στο εικονίδιο " Data Summary " στα αριστερά της σελίδας. Κάντε διπλό κλικ στον αριθμό 'εκτέλεσης' (Run) και πληκτρολογήστε Sample A (ή B ή ό,τι άλλο) για να ονομάσετε την συγκεκριμένη εκτέλεση. Κάντε ξανά κλικ στο εικονίδιο "Data Summary" για να το κλείσετε.
10. Αφαιρέστε το καπάκι και το μεταλλικό άκρο του αισθητήρα θερμοκρασίας από το θερμοδομετρικό δοχείο και προσπαθήστε να τινάξετε το νερό που είχε μείνει πάνω στον αισθητήρα με τέτοιο τρόπο ώστε να πέσει μέσα στο δοχείο. Βρείτε τη συνολική μάζα του δοχείου (χωρίς καπάκι) συν το μεταλλικό δείγμα συν το νερό και εισάγετε την στη στήλη " Total Mass " του πίνακα " Specific Heat Data " στην καρτέλα "Δεδομένα". Βεβαιωθείτε ότι εισάγετε στην γραμμή που αντιστοιχεί στο δείγμα του πειράματος σας με το κατάλληλο γράμμα .
11. Επαναλάβετε τα βήματα 1-10 για κάθε δείγμα που μελετάτε.

Συλλογή Δεδομένων - Επεξεργασία μετρήσεων

1. Ανοίξτε την καρτέλα "Γράφημα". Κάντε κλικ στο εικονίδιο "Εμφάνιση Δεδομένων" () και επιλέξτε μία από τις εκτελέσεις σας (για παράδειγμα Sample B).
2. Κάντε κλικ στο εικονίδιο "Επισήμανσης Δεδομένων" () . Σύρετε τις λαβές του πλαισίου επισήμανσης που εμφανίζεται και επιλέξτε τα δεδομένα όπου η θερμοκρασία του μεταλλικού άκρου του αισθητήρα ήταν σε επαφή με το μεταλλικό δείγμα μέσα στο λουτρό πάγου.
3. Κάντε κλικ στο κουμπί Scale to Fit () επάνω αριστερά. Αυτό θα προσαρμόσει την κλίμακα, ώστε αυτό το τμήμα από τα δεδομένα να γεμίσει την οθόνη. Πιθανά θα δείτε ότι η θερμοκρασία αλλάζει λίγο όταν την βλέπετε από αυτήν την κλίμακα. Αυτό δεν είναι κρίσιμο αφού τα αποτελέσματα δεν είναι πολύ ευαίσθητα σε αυτήν την τιμή και η γνώση της με ακρίβεια ενός δεκάτου του βαθμού ή κάπου τόσο είναι αρκετή. Διαβάστε την θερμοκρασία του μετάλλου την στιγμή που αφαιρέσατε το μέταλλο από το παγωμένο νερό.

Εισάγετε αυτήν την τιμή στην στήλη “Metal Temp” στην καρτέλα “Δεδομένα”. Βεβαιωθείτε ότι εισάγετε στη σειρά που αντιστοιχεί στο γράμμα του δείγματος σας. Στην συνέχεια επιστρέψτε στην καρτέλα “Γράφημα”.

4. Κάντε κλικ οπουδήποτε στο πλαίσιο επισήμανσης για να το επισημάνετε και στην συνέχεια, κάντε κλικ στο εικονίδιο “Delete Active Element” () για να διαγράψετε το πλαίσιο επισήμανσης. Κάντε κλικ στο εικονίδιο “Scale to Fit”. Θα πρέπει τώρα να βλέπετε ολόκληρο το γράφημα.
5. Κάντε κλικ στο εικονίδιο “Επισήμανση Δεδομένων”. Σύρετε τις λαβές του πλαισίου επισήμανσης για να επιλέξετε τα 10 s πριν τοποθετήσετε το μέταλλο και συμπεριλάβετε 10 δευτερόλεπτα αφού τοποθετήθηκε το μέταλλο. Κάντε κλικ στο εργαλείο “Scale to Fit”. Κάντε κλικ στο εικονίδιο “Delete Active Element” για να διαγράψετε το πλαίσιο επισήμανσης. Τώρα επαναλάβετε τη διαδικασία. Κάντε κλικ στο εικονίδιο “Επισήμανση Δεδομένων”. Σύρετε τις λαβές του πλαισίου επισήμανσης για να επιλέξετε το 1 s πριν τοποθετήσετε το μέταλλο και συμπεριλάβετε 1 δευτερόλεπτο αφού τοποθετήσατε το μέταλλο. Κάντε κλικ στο εργαλείο “Scale to Fit”. Κάντε κλικ στο εικονίδιο “Delete Active Element” για να διαγράψετε το πλαίσιο επισήμανσης. Τώρα θα πρέπει να μπορείτε να διαβάσετε τον χρόνο και την θερμοκρασία όταν το μέταλλο μπήκε στο νερό. Καταγράψτε την θερμοκρασία στο πλησιέστερο 1/100 του βαθμού και γράψτε την κάτω από την καρτέλα “Δεδομένα” στην στήλη “Water Temp” και την γραμμή για το δείγμα σας. Καταγράψτε την ώρα στο πλησιέστερο 0.1 του δευτερολέπτου.
6. Κάντε κλικ στο εργαλείο “Scale to Fit” για να επιστρέψετε στην προβολή πλήρους οθόνης. Κάντε κλικ στο εικονίδιο “Επισήμανση Δεδομένων”. Σύρετε τις λαβές του πλαισίου επισήμανσης για να επιλέξετε τα δεδομένα από λίγο πριν τοποθετήσετε το μέταλλο μέχρι το τέλος των δεδομένων. Κάντε κλικ στο εργαλείο “Scale to Fit”. Κάντε κλικ στο εικονίδιο “Delete Active Element” για να διαγράψετε το πλαίσιο επισήμανσης.
7. Κάντε κλικ στο εικονίδιο “Επισήμανση Δεδομένων”. Σύρετε τις λαβές του πλαισίου για να επιλέξετε τα δεδομένα από όπου το σύστημα έχει φτάσει στην ισορροπία μέχρι το τέλος των δεδομένων. Βεβαιωθείτε ότι οι άνω λαβές είναι ακριβώς πάνω από τη γραμμή. Κάντε κλικ στο μαύρο τρίγωνο στο εργαλείο “Curve Fit” () και επιλέξτε “Linear”. Κάντε κλικ κάπου έξω από το μαύρο κουτί.
8. Διαβάστε τη θερμοκρασία για την ευθεία γραμμή κατά την στιγμή που σημειώσατε στο βήμα 5 παραπάνω, όταν προστέθηκε το μέταλλο. Αυτή είναι η θερμοκρασία που θα είχε το σύστημα αν είχε επιτευχθεί ισορροπία πολύ γρήγορα, προτού χαθεί θερμότητα προς το περιβάλλον. Είναι χρήσιμο να επεκτείνετε την κατακόρυφη κλίμακα. Μετακινήστε τον κέρσορα-χέρι πάνω από έναν από τους αριθμούς στο κάτω μέρος της κατακόρυφης κλίμακας. Θα πρέπει να εμφανιστεί ένα ζευγάρι από βέλη. Κάντε κλικ και σύρετε προς τα πάνω μέχρι το εύρος της κατακόρυφης κλίμακας να είναι περίπου 1 βαθμός. Θα πρέπει τώρα να είστε σε θέση να διαβάσετε την θερμοκρασία όταν προστέθηκε το μέταλλο μέσα σε μερικά 1/100 του βαθμού. Καταγράψτε αυτήν την τιμή στην καρτέλα “Δεδομένα” στην στήλη “Equil. Temp” και στην αντίστοιχη γραμμή για το δείγμα σας.

9. Αβεβαιότητα: η αβεβαιότητα εδώ οφείλεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στην αβεβαιότητα προσδιορισμού της θερμοκρασίας ισορροπίας. Όταν εξετάζετε το γράφημα από το βήμα 8 παραπάνω, η θερμοκρασία μετά την ισορροπία πιθανώς δεν φαίνεται ευθεία όταν προβάλλεται σε αυτήν την κλίμακα. Ρυθμίστε τις λαβές του πλαισίου επισήμανσης για να επιλέξετε διαφορετικά τμήματα της καμπύλης μετά την ισορροπία και δείτε πώς αυτό θα επηρέαζε την τιμή που μετρήσατε στο βήμα 8. Από αυτό, εκτιμήστε την αβεβαιότητα στην μέτρηση της θερμοκρασίας ισορροπίας. Για παράδειγμα, μπορεί να πάρετε την υψηλότερη τιμή που βρίσκετε μείον τη χαμηλότερη τιμή και να διαιρέσετε δια δύο για να λάβετε μια εκτίμηση της αβεβαιότητας. Μπορείτε επίσης να αντικαταστήσετε την τιμή που μετρήσατε για την θερμοκρασία ισορροπίας στο βήμα 8 με την τιμή στο κέντρο του εύρους στο βήμα 9. Καταγράψτε την εκτίμησή σας για την αβεβαιότητα στην στήλη “ΔΤ” στην καρτέλα “Δεδομένα”.
10. Η μεταβολή της θερμοκρασίας του μεταλλικού δείγματος δίνεται στη στήλη “Del T Metal” στην καρτέλα “Δεδομένα”. Η αρνητική μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού δίνεται στη στήλη “-Del T Water”. Χρησιμοποιήστε τα δεδομένα του πίνακα “Specific Heat Data” στην καρτέλα “Δεδομένα” για να υπολογίσετε την ειδική θερμότητα c του μετάλλου χρησιμοποιώντας την Εξίσωση 3 από την καρτέλα “Θεωρητικό Υπόβαθρο”. Καταγράψτε την τιμή που υπολογίσατε στον πίνακα “Specific Heat” στην καρτέλα “Συμπεράσματα Α” στην γραμμή που αντιστοιχεί στο δείγμα σας.
11. Δεδομένου ότι η “-Del T Water” είναι μικρή, η αβεβαιότητα στην ειδική θερμότητα οφείλεται σχεδόν εξ ολοκλήρου σε αυτήν την μέτρηση και το ποσοστό (%) της αβεβαιότητας στην ειδική θερμότητα ισούται με το ποσοστό (%) της αβεβαιότητας στην “-Del T Water”. Ομοίως, η αβεβαιότητα στην “-Del T Water” οφείλεται σχεδόν πλήρως στην αβεβαιότητα στην “Equil. Temp.”, επομένως “ΔΤ”. Αυτό σημαίνει ότι:
- $$\delta c/c = \delta T / (-\text{Del T Water})$$
- Ή λύνοντας ως προς την αβεβαιότητα στην ειδική θερμότητα, δc , παίρνουμε :
- $$\delta c = c \cdot \delta T / (-\text{Del T Water}) \quad (4)$$
12. Χρησιμοποιήστε την Εξίσωση 4 για να υπολογίσετε την αβεβαιότητα στην ειδική θερμότητα και να την εισάγετε στην στήλη “ δc ” στην καρτέλα “Συμπεράσματα Α”.
13. Κάντε κλικ στο μαύρο τρίγωνο του “Curve Fit” και απενεργοποιήστε το “Linear”. Κάντε κλικ οπουδήποτε στο πλαίσιο επισήμανσης για να το επισημάνετε, στην συνέχεια κάντε κλικ στο εικονίδιο “Delete Active Element” για να καταργήσετε το πλαίσιο επισήμανσης. Κάντε κλικ στο εργαλείο “Scale to Fit” για να επιστρέψετε στην προβολή πλήρους σελίδας.
14. Επαναλάβετε τα βήματα 1-13 για καθένα από τα δείγματα που θα μελετήσετε.

Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

1. Ο πίνακας δείχνει ορισμένες ειδικές θερμότητες κοινών μετάλλων. Χρησιμοποιώντας μόνο τα αποτελέσματά σας για την ειδική θερμότητα, προσπαθήστε να προσδιορίσετε καθένα από τα μεταλλικά σας δείγματα. Εισάγετε την ονομασία των μετάλλων στην στήλη “Type of Metal” του πίνακα “Specific Heat” παραπάνω. Εάν υπάρχουν περισσότερες από μία πιθανότητες, εισάγετε και τις δύο. Εάν τίποτα δεν ταιριάζει εισάγετε "κανένα".
2. Γιατί είναι σημαντικό να εκτιμήσετε την αβεβαιότητα όταν κάνετε μια μέτρηση της ειδικής θερμότητας;
3. Γιατί είναι σημαντικό να είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού όσο μεγαλύτερη γίνεται;
Υπόδειξη: εξετάστε την Εξίσωση 4 από την καρτέλα “Ανάλυση”. Γιατί οι άλλες μετρήσεις δεν είναι τόσο σημαντικές;
4. Πώς σχετίζεται ειδική θερμότητα με το πόσο εύκολο είναι να μεταβληθεί η θερμοκρασία ενός υλικού;
5. Γιατί είναι σημαντικό η ειδική θερμότητα του νερού να είναι τόσο υψηλή;
Υπόδειξη: Από τι αποτελείται κυρίως η επιφάνεια της Γης;
6. Εάν όλες οι τιμές σας για την ειδική θερμότητα είναι πάρα πολύ χαμηλές, πώς θα το εξηγούσατε;