

Παναγιώτης Λάζος

Αρχές λειτουργίας και χρήση των διαφορικών θερμομέτρων στη διδακτική της φυσικής τον 19^ο αιώνα και σύγχρονες παραλλαγές τους.

Περίληψη

Η εξέλιξη της φυσικής οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη σχεδίαση, κατασκευή, χρήση και εξέλιξη των επιστημονικών οργάνων. Αυτά, με τη σειρά τους, χρησιμοποιούνται –συχνά σχεδόν αμέσως- στη διδακτική της φυσικής αποτελώντας ένα βασικό πυλώνα της εκπαίδευσης σε όλες τις βαθμίδες.

Μία ενδιαφέρουσα σειρά επιστημονικών οργάνων βασίζεται στις ελαστικές ιδιότητες των αερίων και ιδιαίτερα στην εξάρτησή τους από τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Η συγκεκριμένη εισήγηση, με αφορμή την παρουσία σχετικών οργάνων του 19^{ου} αιώνα και των αρχών του 20^{ου} αιώνα στα ελληνικά σχολεία της Κωνσταντινούπολης, καταδεικνύει τις αρχές λειτουργίας και την εκπαιδευτική χρήση των διαφορικών θερμομέτρων των Benjamin Thompson και John Leslie στη διδασκαλία εννοιών και φαινομένων σχετικών με τη θερμότητα σύμφωνα με διδακτικά εγχειρίδια φυσικής της εποχής.

Σήμερα, ο εκπαιδευτικός μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποιες διατάξεις-παιχνίδια χαμηλού κόστους που βασίζονται στις αρχές λειτουργίας των διαφορικών θερμομέτρων προσελκύοντας αποτελεσματικά το ενδιαφέρον των μαθητών. Θα παρουσιαστούν δύο σχετικές διατάξεις καθώς και κάποιες ιδέες για την χρήση τους στη διδασκαλία εννοιών της φυσικής.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

Διαφορικό θερμομέτρο, θερμική ακτινοβολία, Κωνσταντινούπολη, θερμικές μηχανές.

Θερμοσκόπια και θερμομέτρα που χρησιμοποιούν την ελαστικότητα του αέρα. Μια ιστορική ανασκόπηση.

Οι έννοιες του «ζεστού» και του «κρύου» είναι ανάμεσα στις πρώτες έννοιες που αντιλαμβάνεται ένας άνθρωπος από τη βρεφική κιόλας ηλικία. Ο δρόμος από τις συγκεκριμένες έννοιες μέχρι εκείνη της θερμοκρασίας υπήρξε μακρύς. Είναι χαρακτηριστικό πως η πρώτη προσπάθεια με στόχο τη μέτρηση της θερμοκρασίας πραγματοποιήθηκε μόλις το 1581 από τον Γαλιλαίο¹. Η διάταξη αποτελείται από μία γυάλινη σφαίρα με έναν σωλήνα στο κάτω μέρος της. Ο σωλήνας έχει το κάτω άκρο του ανοικτό και βυθισμένο σε ένα δοχείο με νερό. Αν ο αέρας εντός της σφαίρας θερμανθεί τότε η διαστολή του ωθεί το νερό στο σωλήνα σε χαμηλότερο επίπεδο. Αντίστροφα, η ψύξη της σφαίρας έχει σαν αποτέλεσμα την άνοδο του νερού στο σωλήνα. Η διάταξη είναι το πρώτο θερμομέτρο αν και σωστότερα πρέπει να αποκαλείται θερμοσκόπιο διότι δεν χρησιμεύει στη μέτρηση της θερμοκρασίας αλλά μόνο στην ποιοτική αντιμετώπισή της. Ωστόσο, σύντομα επισημάνθηκε πως η συγκεκριμένη διάταξη επηρεάζεται όχι μόνο από τη θερμοκρασία εντός της σφαίρας

¹ Isaak Asimov, *Το χρονικό των επιστημονικών ανακαλύψεων*, Ηράκλειο, 2005, σ.136.

αλλά και από την ατμοσφαιρική πίεση. Έγινε, λοιπόν, φανερό πως η αναζήτηση για πιο αξιόπιστα θερμοόμετρα έπρεπε να συνεχιστεί.

Το επόμενο βήμα στην κατασκευή θερμομέτρων τέτοιου τύπου υπήρξε ιδιαίτερα επεισοδιακό². Ο Sir John Leslie (1766-1832) και ο Benjamin Thomson, Count Rumford (1753-1814) κατασκευάζουν σχεδόν ταυτόχρονα (1803) δύο παρόμοια όργανα. Πρόκειται για τα πρώτα διαφορικά θερμοόμετρα. Η έντονη διαμάχη που ξέσπασε ανάμεσα στους δύο επιστήμονες για την πατρότητα του οργάνου έχει σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχει ακόμα και στην εποχή μας απόλυτη συμφωνία στη σχετική βιβλιογραφία για την ονομασία των οργάνων.

Η δομή των δύο θερμομέτρων είναι σχεδόν ίδια. Αποτελούνται³ από έναν γυάλινο σωλήνα σχήματος U τα δύο άκρα του οποίου καταλήγουν σε γυάλινες σφαίρες. Οι σφαίρες περιέχουν αέρα ενώ ο σωλήνας κάποιο υγρό. Ανάλογα τον κατασκευαστή το υγρό μπορεί να είναι υδράργυρος, οινόπνευμα ή νερό, ενώ ο Leslie χρησιμοποίησε θειικό οξύ χρωματισμένο κόκκινο⁴. Η όλη διάταξη είναι κλειστή και δεν επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα. Επίσης, υπάρχει κλίμακα θερμοκρασίας. Οι διαφορές ανάμεσα στα δύο θερμοόμετρα είναι πως στο θερμοόμετρο Leslie το οριζόντιο τμήμα του U είναι μικρό και η κλίμακα θερμοκρασίας βρίσκεται στο ένα κατακόρυφο σκέλος του (σε κάποιες παραλλαγές υπάρχει μία κλίμακα σε κάθε ένα από τα κάθετα σκέλη) ενώ στο θερμοόμετρο Rumford το οριζόντιο τμήμα του U είναι μεγαλύτερο ώστε να τοποθετείται όπισθεν του η κλίμακα⁵.

Αρχή λειτουργίας και χρήση στην πειραματική φυσική

Αν οι δύο σφαίρες έχουν ίσες θερμοκρασίες τότε η στάθμη του υγρού εντός του θερμομέτρου βρίσκεται στο σημείο 0 (μηδέν) της κλίμακας. Όταν αυξηθεί η θερμοκρασία σε κάποια από τις δύο σφαίρες τότε αυξάνεται η πίεση του αέρα που περιέχεται στη συγκεκριμένη σφαίρα. Η αύξηση της πίεσης έχει σαν αποτέλεσμα την υποχώρηση της στάθμης του υγρού στο συγκεκριμένο σκέλος και την ανάλογη άνοδό της στο άλλο σκέλος. Η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στη στάθμη του υγρού στα δύο σκέλη είναι ανάλογη της διαφοράς των πιέσεων των αερίων όγκων στις δύο σφαίρες, άρα ανάλογη και της διαφοράς των θερμοκρασιών τους. Σε αυτό το γεγονός οφείλεται η ονομασία Διαφορικό Θερμόμετρο. Είναι ένα θερμοόμετρο με το οποίο γίνεται μέτρηση της διαφοράς των θερμοκρασιών και όχι μέτρηση της θερμοκρασίας. Η κλίμακα (ή οι κλίμακες) είναι βαθμονομημένη με τέτοιο τρόπο ώστε να μετατρέπει την υψομετρική διαφορά των δύο σταθμών του υγρού σε διαφορά θερμοκρασίας.

Πρέπει να σημειωθεί πως στα θερμοόμετρα Rumford υπάρχει μόνο μια σταγόνα υδράργυρου η οποία βρίσκεται στη θέση 0 (μηδέν) της οριζόντιας κλίμακας όταν οι δύο σφαίρες έχουν ίσες θερμοκρασίες. Σε αντίθετη περίπτωση, η σταγόνα μετατοπίζεται στο οριζόντιο σκέλος λόγω της διαφοράς των πιέσεων στις δύο σφαίρες. Τελικά, ισορροπεί σε κάποιο σημείο από τη θέση του οποίου πάνω στην κλίμακα προσδιορίζεται η διαφορά των θερμοκρασιών των δύο σφαιρών.

Τα διαφορικά θερμοόμετρα χρησιμοποιήθηκαν ερευνητικά στη μελέτη της διάδοσης της θερμότητας με ακτινοβολία τις πρώτες δεκαετίες του 19^{ου} αιώνα. Η εφεύρεση της θερμοπύλης από τον Ιταλό φυσικό Leopoldo Nobili το 1835 τα έθεσε

² Sanborn C. Brown, *Men of Physics: Benjamin Thompson—Count Rumford*, Oxford, 1967.

³ Neill Arnott, *Elements of physics on Natural Philosophy, general and medical*, Philadelphia, 1856, σ.302.

⁴ John Leslie, *An experimental inquiry into the nature and propagation of heat*, London, 1804, σ.9.

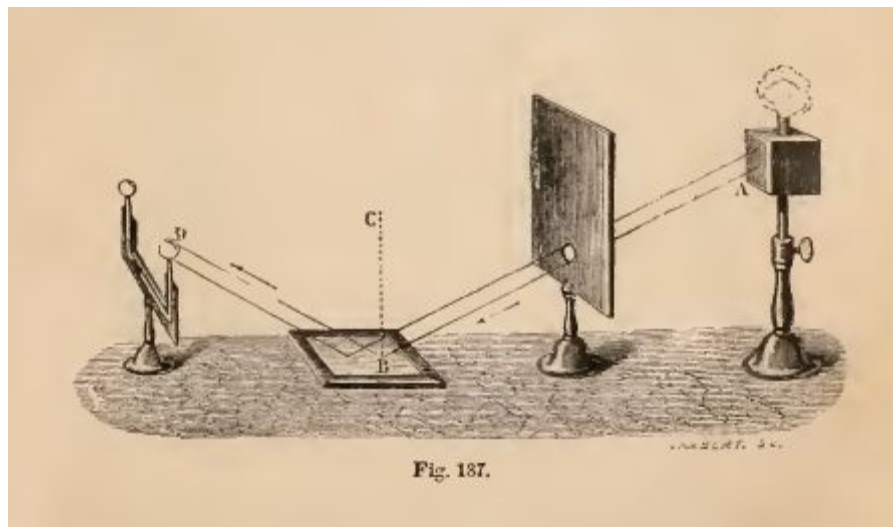
⁵ Gerald L'E. Turner, *Nineteenth-Century Scientific Instruments*, London, 1983, σ.113-115.

σταδιακά στο περιθώριο της έρευνας, αν και συνέχισαν να χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση χάρη στο χαμηλό κόστος και την εύληπτη λειτουργία τους.

Στις πειραματικές διατάξεις το διαφορικό θερμόμετρο συνδυαζόταν σχεδόν πάντα με ένα παραβολοειδές κάτοπτρο και έναν κύβο Leslie, έναν κοίλο μεταλλικό κύβο που στηρίζεται σε ξύλινη βάση. Η πάνω έδρα του κύβου είναι αφαιρούμενη ώστε να μπορεί να γεμίσει με ζεστό νερό, ενώ οι τέσσερις κατακόρυφες έδρες του μπορεί να είναι επικαλυμμένες από διαφορετικά υλικά ή και βαμμένες σε διαφορετικά χρώματα, συνήθως άσπρο, μαύρο και κόκκινο. Μετά την πάροδο κάποιου χρόνου από την τοποθέτηση του νερού εντός του κύβου, όλες οι έδρες αποκτούν την ίδια θερμοκρασία. Ο κύβος χρησιμεύει ως πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας (θερμική ακτινοβολία).

Ακολουθεί η περιγραφή τριών πειραμάτων που πραγματοποιούνται με τον παραπάνω εξοπλισμό. Τα δύο τελευταία είχαν προταθεί και εκτελεστεί από τον Leslie.

1. Τοποθετείται ένα πέτασμα ανάμεσα στον κύβο Leslie (A) και το διαφορικό θερμόμετρο (D) όπως στην εικόνα 1⁶. Το πέτασμα διαθέτει μια μικρή οπή. Ανάμεσα στο πέτασμα και το διαφορικό θερμόμετρο τοποθετείται μια ανακλαστική επιφάνεια (B). Η ακτινοβολία από τον κύβο διέρχεται από την οπή, ανακλάται στην επιφάνεια και κατευθύνεται προς το διαφορικό θερμόμετρο. Αναζητείται κατάλληλη θέση του θερμόμετρου ώστε η μία σφαίρα του να θερμαίνεται από την ανακλώμενη ακτινοβολία. Τότε, μπορεί να επιβεβαιωθεί πως τα επίπεδα CBD και CBA συμπίπτουν και πως η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης.



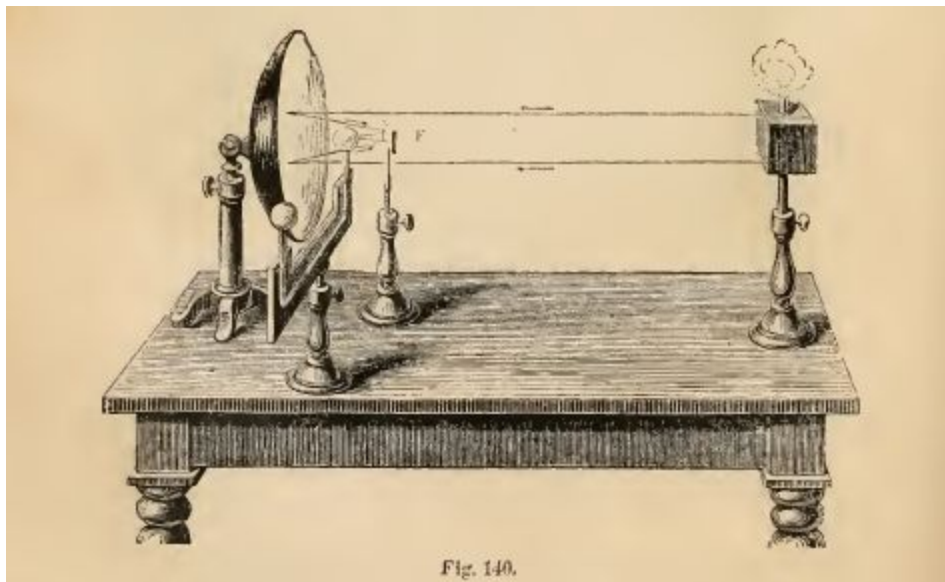
Εικόνα 1: Πειραματική διάταξη για τη μελέτη της ανάκλασης της θερμικής ακτινοβολίας.

2. Ο κύβος Leslie τοποθετείται απέναντι από παραβολοειδές κάτοπτρο και σε αρκετά μεγάλη απόσταση σε σχέση με την εστιακή απόσταση του κατόπτρου, το οποίο έχει την ιδιότητα να συγκεντρώνει στην εστία του τις παράλληλες ακτίνες που προσπίπτουν στην επιφάνειά του (εικόνα 2)⁷. Λίγο πριν την εστία τοποθετείται μικρή τετράγωνη επιφάνεια από κάποιο υλικό και με τέτοιο τρόπο ώστε η ακτινοβολία να

⁶ William G. Peck, *Introductory course of natural philosophy for the use of schools and academies. Edited form Ganot's Popular Physics*, New York, 1869, σ.198-199.

⁷ William G. Peck, *Introductory course of natural philosophy for the use of schools and academies. Edited form Ganot's Popular Physics*, New York, 1869, σ.202-203.

ανακλάται και να κατευθύνεται σε μια από τις σφαίρες του διαφορικού θερμόμετρου. Η σύγκριση των τιμών της θερμοκρασίας για επιφάνειες από διάφορα υλικά δίνει ένα μέτρο της ανακλαστικότητας των υλικών αυτών για την υπέρυθη ακτινοβολία.



Εικόνα 2: Πειραματική διάταξη για τη μελέτη της ανακλαστικότητας υλικών.

3. Ο κύβος Leslie τοποθετείται⁸ απέναντι από παραβολοειδές κάτοπτρο και σε αρκετά μεγάλη απόσταση σε σχέση με την εστιακή απόσταση του κατόπτρου, το οποίο έχει την ιδιότητα να συγκεντρώνει τις παράλληλες ακτίνες που προσπίπτουν πάνω του στην εστία του. Στην εστία τοποθετείται η μία σφαίρα του διαφορικού θερμόμετρου. Στη συνέχεια στρέφουμε προς το κάτοπτρο διαφορετική έδρα του κύβου κάθε φορά και καταγράφουμε τις τιμές της θερμοκρασίας στο θερμόμετρο. Το υλικό της έδρας στην οποία αντιστοιχεί η μεγαλύτερη θερμοκρασία είναι εκείνο με τον μεγαλύτερο συντελεστή εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας. Αναφέρεται πως ο συντελεστής μειώνεται με την εναλλαγή των εδρών ως εξής: έδρα με μαύρη επιφάνεια. έδρα καλυμμένη με χαρτί, έδρα καλυμμένη με γυαλί, έδρα από κασσίτερο.

Διαφορικά θερμόμετρα στα ελληνικά σχολεία της Κωνσταντινούπολης

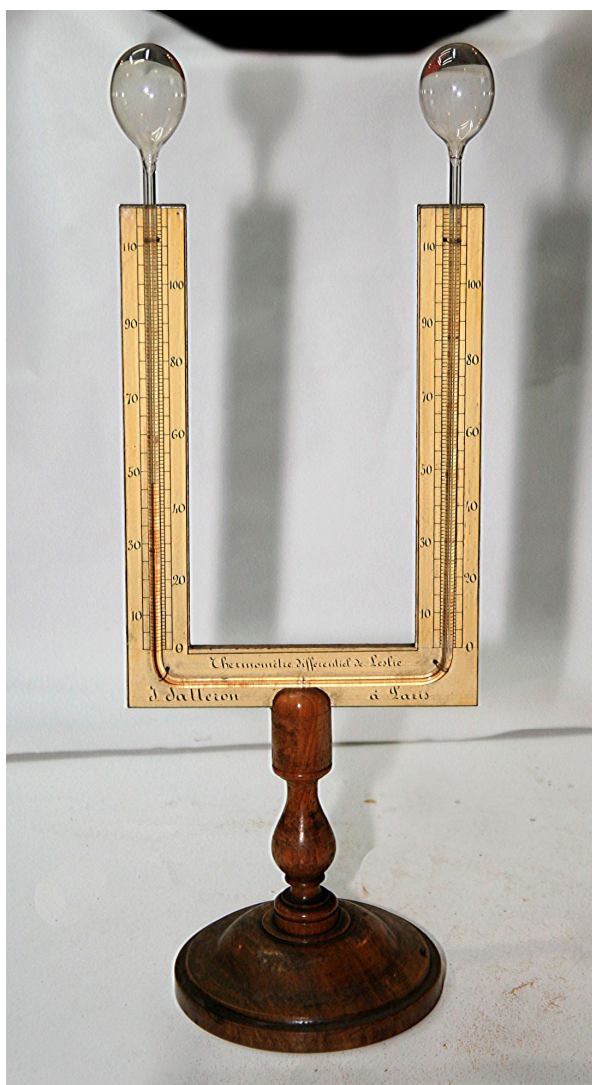
Το Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών ίδρυσε⁹ το Ελληνικό Αρχείο Επιστημονικών Οργάνων το 1997. Το αρχείο φιλοξενείται στην ιστοσελίδα www.hasi.gr και περιλαμβάνει φωτογραφίες και στοιχεία από επιστημονικά όργανα που ανήκουν σε πανεπιστήμια, σχολεία και ιδιωτικές συλλογές του ευρύτερου ελληνικού χώρου και έχουν κατασκευαστεί μέχρι το 1970. Ο συγγραφέας της εργασίας έχει πραγματοποιήσει την καταγραφή των σχετικών συλλογών στα ελληνικά σχολεία της Κωνσταντινούπολης που βρίσκονται σε λειτουργία (Μεγάλη του Γένους Σχολή, Ζωγράφειον Λύκειο και Ζάππειον Λύκειο) καθώς και στη Θεολογική Σχολή της Χάλκης.

⁸ Ibid, σ.204-205.

⁹ <http://hasi.gr/program>

Παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η ύπαρξη διαφορικών θερμομέτρων και συνοδευτικών οργάνων στα 2 από τα 4 ιδρύματα. Συγκεκριμένα στη Μεγάλη του Γένους Σχολή υπάρχει θερμοόμετρο Leslie κατασκευής J.Salleron (Γαλλία), κύβος Leslie και παραβολικά κάτοπτρα μεγάλων διαστάσεων που θυμίζουν έντονα τις σχετικές λιθογραφίες του Ganot¹⁰. Στο Ζάππειον σώζεται η κλίμακα και η βάση από διαφορικό θερμοόμετρο Leslie ενώ υπάρχουν κύβος Leslie και παραβολοειδή κάτοπτρα.

Τα παραπάνω ευρήματα αναδεικνύουν το ρόλο που έπαιξαν τα διαφορικά θερμοόμετρα στην πειραματική διδασκαλία της φυσικής και συγκεκριμένα της διάδοσης της θερμότητας με ακτινοβολία κατά τον 19^ο αιώνα.



Εικόνα 3: Διαφορικό θερμοόμετρο Leslie από την οργανοθήκη της Μεγάλης του Γένους Σχολής. Κατασκευαστής J.Salleron, Γαλλία.

Παιχνίδια που βασίζονται στις αρχές λειτουργίας των διαφορικών θερμομέτρων.

¹⁰ Adolphe Ganot, *Popular Natural Philosophy*, London, 1872, σ.208-209.

Μια από τις λιγότερο γνωστές επιστημονικές προσφορές του διάσημου Benjamin Franklin (1706-1790) είναι η διάταξη της εικόνας 4-α (Franklin's palm glass). Η δομή της θυμίζει έντονα το διαφορικό θερμόμετρο Leslie (ή για την ακρίβεια συμβαίνει το αντίστροφο, εφόσον πρόκειται για πρότερη διάταξη) και αποτελείται¹¹ από έναν γυάλινο σωλήνα σχήματος U που καταλήγει σε δύο σφαίρες. Στο εσωτερικό του υπάρχει αέρας και ποσότητα πτητικού υγρού όπως κάποια αλκοόλη ή -σε σύγχρονες κατασκευές- διχλωρομεθάνιο (το οποίο έχει σημείο ζέσεως τους 40,1 °C).

Αν τοποθετηθεί η μία σφαίρα στην παλάμη μας τότε το υγρό εντός της εξατμίζεται ταχέως με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση των ατμών του στη σφαίρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μεταφέρεται τμήμα των ατμών στην άλλη σφαίρα και να εμφανίζεται στο υγρό της αναταραχή που προσομοιάζει στον βρασμό χωρίς όμως να είναι. Τέτοιες διατάξεις βρέθηκαν και στα τρία σχολεία της Κωνσταντινούπολης, γεγονός που αναδεικνύει το πόσο δημοφιλείς και εντυπωσιακές είναι.

Μία σύγχρονη παραλλαγή της κατασκευής, που αποτελεί ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον παιχνίδι, είναι το λεγόμενο hand boiler της εικόνας 4-β (ο όρος «βραστήρας παλάμης» είναι ίσως αδόκιμος αλλά ελλείψει άλλου θα τον χρησιμοποιήσουμε). **Ζέον Φραγκλίνου** Ο σωλήνας είναι κατακόρυφος αλλά όχι ευθύγραμμος. Περιλαμβάνει κάποιες καμπύλες για λόγους αισθητικής. Η κάτω σφαίρα περιέχει διχλωρομεθάνιο και ο σωλήνας κατεβαίνει σχεδόν μέχρι τη βάση της. Αν αγγίζουμε την κάτω σφαίρα τότε το υγρό εξατμίζεται ταχέως και η πίεση των ατμών αυξάνεται με αποτέλεσμα το υγρό να ανεβαίνει μέσω του σωλήνα στην πάνω σφαίρα. Μόλις ανέβει όλο το υγρό, ανεβαίνει ποσότητα από τους ατμούς του και καταλήγει στην πάνω σφαίρα δημιουργώντας έντονη αναταραχή που θυμίζει βρασμό.

Η επίδειξη της διάταξης αποτελεί ένα θαυμάσιο έναυσμα για συζήτηση στα πλαίσια της διδασκαλίας για τη σχέση θερμοκρασίας και πίεσης ενός αερίου σε ένα δοχείο, για την εξάτμιση των υγρών αλλά και για τις ενεργειακές μετατροπές που λαμβάνουν χώρα στο φαινόμενο. Ειδικά σε μικρές ηλικίες η διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως παιχνίδι όπου οι μαθητές δοκιμάζουν να ανεβάσουν το υγρό στην πάνω σφαίρα όσο πιο γρήγορα μπορούν.

Μία πιο περίπλοκη παραλλαγή είναι το λεγόμενο dipping bird της εικόνας 4-γ («πουλί που βουτάει»). Πρόκειται, ουσιαστικά, για έναν βραστήρα παλάμης με δύο σημαντικές διαφορές. Πρώτον, η πάνω σφαίρα καλύπτεται από τσόχα, που για λόγους εμφάνισης προσομοιάζει σε κεφάλι πουλιού. Επίσης, ο σωλήνας είναι ευθύγραμμος και στηρίζεται μέσω μεταλλικού δακτυλίου με προεξοχές σε πλαστική βάση, έτσι ώστε η όλη διάταξη να μπορεί να περιστρέφεται κατακόρυφα γύρω από οριζόντιο άξονα. Η θέση του δακτυλίου ρυθμίζεται ώστε η διάταξη να ισορροπεί με το «κεφάλι» πάνω. Αν η τσόχα βραχεί τότε παρατηρούνται διαδοχικά άνοδος του υγρού στην πάνω σφαίρα, ανύψωση του κέντρου μάζας της διάταξης, απώλεια ισορροπίας, περιστροφή της διάταξης μέχρι την οριζόντια θέση (όπου υπάρχει «στοπ»), επιστροφή του υγρού στην κάτω σφαίρα και επάνοδος της διάταξης στην κατακόρυφη θέση. Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται όσο η τσόχα είναι υγρή. Αν μάλιστα τοποθετηθεί δοχείο με νερό σε τέτοια θέση ώστε να βρέχεται το «κεφάλι» σε κάθε πτώση του, τότε το φαινόμενο διαρκεί ώρες ή και μέρες μέχρι το επίπεδο του νερού στο ποτήρι να υποχωρήσει λόγω εξάτμισης.

¹¹ Thomas P. Jones, *New conversations on chemistry*, Philadelphia, 1832, σ.79.



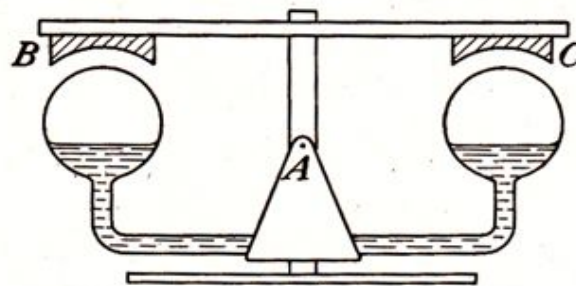
4α



4β



4γ



4δ

Εικόνα 4: α: Franklin's palm glass, β: Βραστήρας χειρός, γ: Πουλί που βουτάει, δ: Θερμική μηχανή τύπου pulse-glass.

Η εξήγηση του φαινομένου¹² είναι απλή. Η εξάτμιση του νερού στην τσόχα προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας στην πάνω σφαίρα και κατά συνέπεια μείωση της πίεσης των ατμών εντός του σωλήνα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την άνοδο του υγρού στην πάνω σφαίρα. Η ισχύς της διάταξης είναι περίπου $1 \mu W$.¹³

Αξίζει να σημειωθεί πως στις δύο διατάξεις που παρουσιάστηκαν για να ανέβει το υγρό στην πάνω σφαίρα πρέπει εκείνη να βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από την κάτω. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με αύξηση της θερμοκρασίας στην κάτω σφαίρα (βραστήρας παλάμης) είτε με μείωση της θερμοκρασίας στην πάνω σφαίρα («πουλί που βουτάει»).

Το «πουλί που βουτάει» βασίζεται στη θερμική μηχανή τύπου pulse-glass¹⁴ της εικόνας 4-δ στην οποία ένας Franklin's palm glass μπορεί να περιστρέφεται κατακόρυφα γύρω από οριζόντιο άξονα Α. Σε μικρή απόσταση πάνω από κάθε σφαίρα στερεώνονται κομμάτια από βαμβάκι βουτηγμένα σε παγωμένο νερό ή αιθέρα (Β και C). Αν μία από τις σφαίρες έρθει σε επαφή με το βαμβάκι τότε ψύχεται, η πίεση μειώνεται και εισέρχεται εντός της υγρό από την άλλη σφαίρα. Η μετατόπιση του υγρού προκαλεί περιστροφή της διάταξης με αποτέλεσμα η άλλη σφαίρα να έρθει

¹² Craig F.Bohren, *Clouds in a glass of beer*, New York, 2001, σ.15-19.

¹³ Exploratorium teacher institute, *Exhibit-based energy teaching at the Exploratorium*, Ανασύρθηκε 13/12/2014 από:<http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/6421909>

¹⁴ Richard Manliffe Sutton, *Demonstration experiments in physics*, New York, 1938, σ.216.

σε επαφή με το άλλο κομμάτι από βαμβάκι. Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται μέχρι τα κομμάτια από βαμβάκι να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Προφανώς, το «πουλί που βουτάει» είναι μία θερμική μηχανή¹⁵ και ως τέτοια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διδασκαλία της αντίστοιχης έννοιας στη θερμοδυναμική στη φυσική προσανατολισμού στη Β' τάξη του λυκείου. Το μέσο το οποίο υποβάλλεται σε κυκλική μεταβολή είναι το υγρό που περιέχει, η δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας είναι το περιβάλλον που έρχεται σε επαφή με την κάτω σφαίρα και η δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας είναι η πάνω σφαίρα. Η διατήρηση της ενέργειας σε συνδυασμό με την περιοδική κίνηση της διάταξης μπορούν να αποτελέσουν το σημείο έναρξης μιας δημιουργικής συζήτησης για τις αρχές λειτουργίας των θερμικών μηχανών.

Κλείνοντας, θα θέλαμε να τονίσουμε πως η χρήση παιχνιδιών στη διδασκαλία εννοιών της φυσικής είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος τόσο για να κεντρίσουμε το ενδιαφέρον των μαθητών όσο και για να αναδείξουμε τη σχέση φυσικής και φύσης, μια σχέση η οποία συχνά χάνεται μέσα στην ατελείωτη επίλυση ασκήσεων.

Βιβλιογραφία

H. R. Crane, What does the drinking bird know about jet lag, *The Physics Teacher* 27, 470 (1989).

R. Mentzer, The drinking bird. The little heat engine that could, *The Physics Teacher* 31, 126-127 (1993).

Jargodzki C. and Potter F. (2001), *Mad about physics. Braintwisters, paradoxes and curiosities*, John Wiley and Sons, Νέα Υόρκη. Σελ. 4,156.

¹⁵ Κ.Αλεξόπουλος, Δ.Μαρίνος, *Γενική φυσική, Θερμότητα*, Αθήνα, 1996, σ.129-130.