

**Βραστήρας Φραγκλίνου – Βραστήρας Χειρός – Το πουλί που βουτάει**

Μια από τις λιγότερο γνωστές επιστημονικές προσφορές του διάσημου Benjamin Franklin (1706-1790) είναι η διάταξη της εικόνας 1 (Βραστήρας Φραγκλίνου - Franklin's palm glass). Αποτελείται<sup>1</sup> 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.



**Εικόνα 1:** Βραστήρας Φραγκλίνου.

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 υπήρχαν σε πολλά σχολεία κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, 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 2 (ο όρος «βραστήρας παλάμης» είναι ίσως αδόκιμος αλλά ελλείψει άλλου θα τον χρησιμοποιήσουμε). Ο σωλήνας είναι κατακόρυφος αλλά όχι ευθύγραμμος. Περιλαμβάνει κάποιες καμπύλες για λόγους αισθητικής. Η κάτω σφαίρα περιέχει πτητικό υγρό 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.

<sup>1</sup> Thomas P.Jones, *New conversations on chemistry*, Philadelphia, 1832, σ.79.



Εικόνα 2: Βραστήρας χειρός.

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 3 («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.



Εικόνα 3: Πουλί που βουτάει.

Η εξήγηση του φαινομένου<sup>2</sup> είναι αρκετά 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  $\mu\text{W}$ .<sup>3</sup>

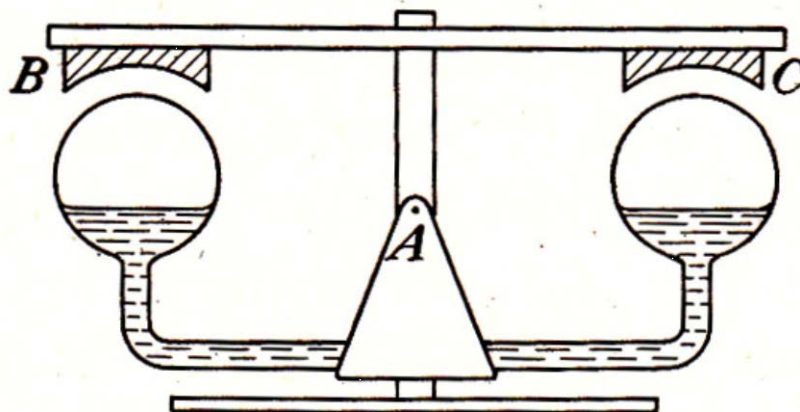
Αξίζει να σημειωθεί πως στις δύο διατάξεις που παρουσιάστηκαν για να ανέβει το υγρό στην πάνω σφαίρα πρέπει εκείνη να βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από την κάτω. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με αύξηση της θερμοκρασίας στην κάτω σφαίρα (βραστήρας παλάμης) είτε με μείωση της θερμοκρασίας στην πάνω σφαίρα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

Το «πουλί που βουτάει» βασίζεται στη θερμική μηχανή τύπου pulse-glass<sup>4</sup> της εικόνας 4 στην οποία ένας βραστήρας Φραγκλίνου 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 σε επαφή με το άλλο κομμάτι από βαμβάκι. Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται μέχρι τα κομμάτια από βαμβάκι να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος.

<sup>2</sup> Craig F. Bohren, *Clouds in a glass of beer*, New York, 2001, σ.15-19.

<sup>3</sup> Exploratorium teacher institute, *Exhibit-based energy teaching at the Exploratorium*, Ανασύρθηκε 13/12/2014 από: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/6421909>

<sup>4</sup> Richard Manliffe Sutton, *Demonstration experiments in physics*, New York, 1938, σ.216.



Εικόνα 4: Θερμική μηχανή τύπου pulse-glass.

Προφανώς, το «πουλί που βουτάει» είναι επίσης μία θερμική μηχανή<sup>5</sup> και ως τέτοια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διδασκαλία της αντίστοιχης έννοιας στη θερμοδυναμική. 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.

<sup>5</sup> Κ.Αλεξόπουλος, Δ.Μαρίνος, *Γενική φυσική, Θερμότητα*, Αθήνα, 1996, σ.129-130.