

Ιστορικό υπόβαθρο - αναδρομή: Ενέργεια

Υπό την παιδαγωγική οπτική γωνία φαίνεται ότι υπάρχουν τρεις πλευρές οι οποίες σχετίζονται με τη διδασκαλία της ενέργειας στο Γυμνάσιο: Η ενέργεια ως έννοια μαζί με την έννοια της διατήρησης της ενέργειας, η ανανεώσιμη ενέργεια καθώς και η έννοια της αποδοτικότητας της ενέργειας. Ο στόχος αυτής της ιστορικής αναδρομής είναι να θέσει τις βάσεις για τη δημιουργία ιστοριών οι οποίες θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά ή και συνδυαστικά και θα βοηθήσουν τους δασκάλους να διδάξουν τις τρεις αυτές πλευρές.

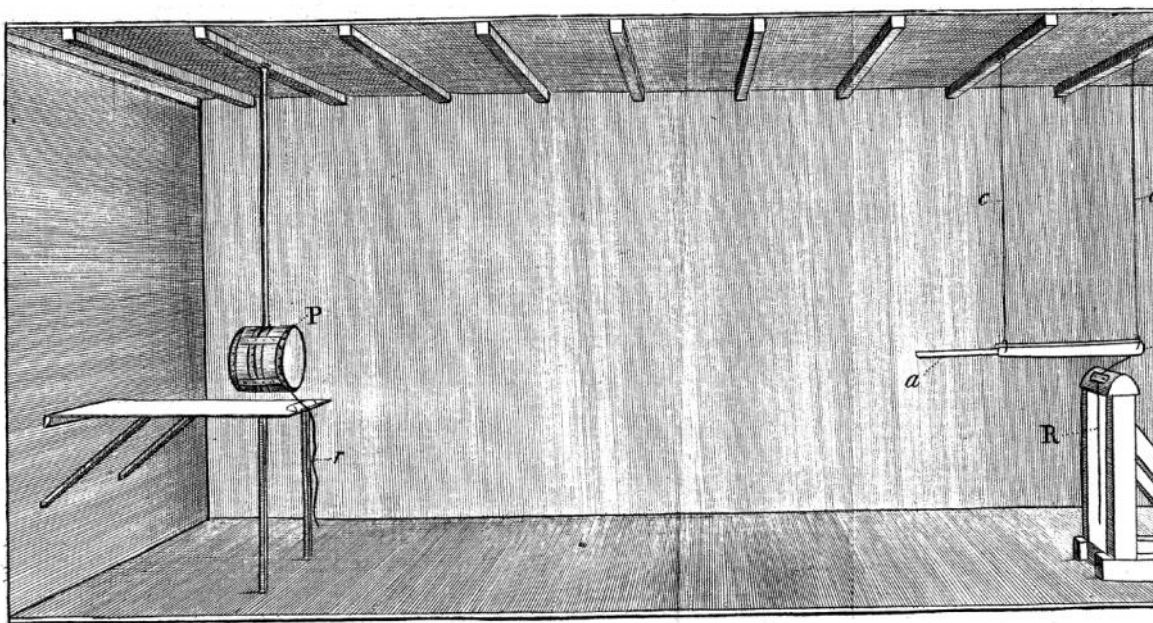
Ο ιστορικός και φιλόσοφος της επιστήμης Τόμας Κουν (Thomas Kuhn) υποστήριξε ότι μπορούμε να ξεχωρίσουμε έως δώδεκα ερευνητές, οι οποίοι συνέβαλαν στη θεμελίωση της αρχής διατήρησης της ενέργειας (Kuhn, 1959).

Ένας από αυτούς τους ερευνητές, ο Τζέιμς Πρέσκοτ Τζουλ (James Prescott Joule) μπορεί να θεωρηθεί ως κεντρικό πρόσωπο σε αυτή την αναδρομή. Ο Τζουλ, αποτελεί κεντρική φιγούρα καθώς, τουλάχιστον κατά την κοινή πεποίθηση, είναι αυτός που θεμελίωσε το μηχανικό ισοδύναμο της

και ο Γουίλιαμ Τόμσον (William Thomson) ο οποίος αργότερα πήρε τον τίτλο του λόρδου Κέλβιν (Kelvin).

Επίσης, ο Τζουλ δεν ξεκίνησε τη δουλειά του από το μηδέν αλλά στηρίχθηκε σημαντικά στο έργο του Μπέντζαμιν Τόμσον (Benjamin Thompson), γνωστού και ως κόμη Ράμφορντ (count Rumford) ο οποίος διεξήγαγε έρευνες πάνω στη θερμότητα στα τέλη του 18^{ου} και τις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Ωστόσο αυτοί οι ερευνητές είχαν σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό πρακτικούς σκοπούς απ' ότι ο

Fig. 12.



Εικ. 1: Το πείραμα του Ράμφορντ σχετικά με την ποιότητα του μπαρουτιού, (Thompson 1781)

θερμότητας. Ωστόσο μετά από μια προσεκτική μελέτη καθίσταται φανερό ότι δεν ήταν μόνο ο Τζουλ ο οποίος καθιέρωσε αυτή την αρχή, αλλά

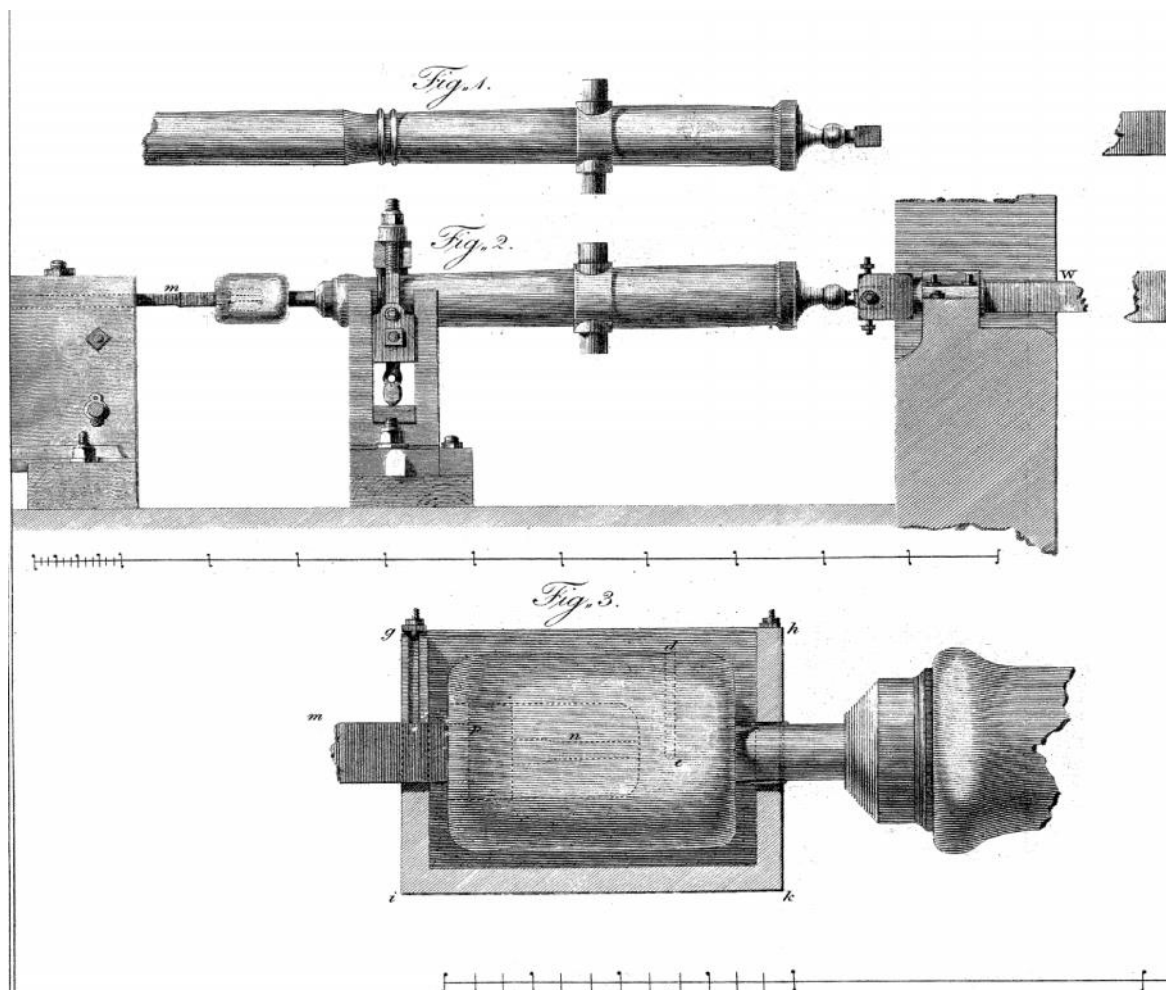
Τζουλ. Ως πρώτη σημαντική προσπάθεια για την ανακάλυψη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί η δουλειά του Γάλλου δασκάλου Ωγκουστίν Μουσώ (Augustin Mouchot), ο οποίος κατά τη δεκαετία του 1870 διεξήγαγε σημαντικές

έρευνες στη χρήση και εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας στο βιομηχανικό εξοπλισμό.

Ο κόμης Ράμφορντ και το έργο του πάνω στη θερμότητα.

Το έργο του κόμη Ράμφορντ πάνω στη θερμότητα καλύπτει ένα τεράστιο ερευνητικό πεδίο καθώς ο Ράμφορντ εργάστηκε πάνω στο αντικείμενο για περίπου 25 χρόνια. Η πρώτη του έρευνα πάνω

κανόνι θερμαινόταν περισσότερο όχι όταν εκτόξευε κάποιο βλήμα αλλά αντίθετα όταν το μπαρούτι εκρήγνυτο μέσα στην κάνη του. Όταν βρισκόταν στο Μόναχο και είχε την ευθύνη παραγωγής όπλων ο Ράμφορντ έκανε ακόμη μια παρατήρηση την οποία εξέλιξε σε πείραμα. Κατά τη διαδικασία διάνοιξης της κάνης του κανονιού το μέταλλο θερμαινόταν. Ο Ράμφορντ χρησιμοποίησε ένα ατσάλινο τρυπάνι με σκοπό να αυξήσει την



Εικ. 2 Το πείραμα διάνοιξης του κανονιού του Ράμφορντ (Thompson 1798).

στο αντικείμενο προέκυψε από τη στρατιωτική του εμπειρία: Ερεύνησε την ποιότητα του μπαρουτιού (Thompson, 1781). Για να το κάνει αυτό κρέμασε ένα κανόνι καθώς και ένα βαλιστικό εκρεμές. Το εύρος της ταλάντωσης του κανονιού μετά τη βολή αποτελούσε ένδειξη για την ποιότητα του μπαρουτιού.

Το πρώτο αυτό πείραμα δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντικό ή σχετικό με την έρευνα της θερμότητας. Ωστόσο ο Τόμσον επεσήμανε μια λεπτομέρεια η οποία αποδείχτηκε σημαντική: Παρατήρησε ότι το

παραγωγή της θερμότητας. Με αυτό τον τρόπο μπόρεσε να θερμάνει σε σημείο βρασμού το νερό (το οποίο είχε μάζα 26,58 λιβρών), το οποίο υπήρχε με σκοπό να ψύχεται το κανόνι (Thompson, 1798).

Παράλληλα ο Ράμφορντ έδειξε ότι η θερμοχωρητικότητα των μεταλλικών ρινισμάτων (πλακιδίων) τα οποία παράχθηκαν κατά τη διαδικασία της διάνοιξης της κάνης με το τρυπάνι δεν άλλαξε. Με βάση αυτά τα πειράματα ο Ράμφορντ έφτασε στο συμπέρασμα ότι η θερμότητα μπορεί να

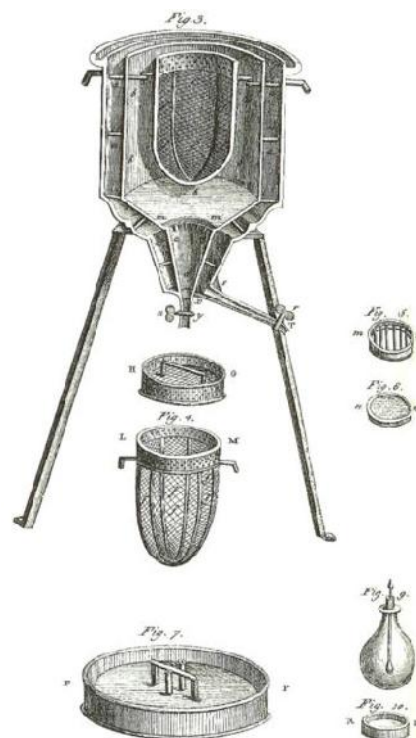
παραχθεί από το μηχανικό έργο σε απεριόριστες ποσότητες. Καθώς όμως η παραγωγή υλικών ουσιών δεν ήταν αποδεκτή σύμφωνα με τις αντιλήψεις της εποχής, οδηγήθηκε επίσης στο συμπέρασμα ότι η θερμότητα δεν αποτελεί ουσία, αλλά δεν είναι παρά η κίνηση των μικρότερων δυνατών σωματιδίων της ύλης.

Κατ' αυτόν τον τρόπο ήρθε σε αντιπαράθεση με την πλέον διαδεδομένη και κοινά αποδεκτή αντίληψη περί θερμότητας της εποχής. Το 1789 ο Γάλλος χημικός Αντουάν Λωράν ντε Λαβουαζιέ (Antoine- Laurent de Lavoisier) δημοσίευσε την περίφημη Στοιχειώδη Πραγματεία Περί Χημείας (Traité Élémentaire de Chimie) (Lavoisier 1789). Στη μονογραφία αυτή καθώς και σε μια σειρά από ερευνητικές - επιστημονικές δημοσιεύσεις ο Λαβουαζιέ χρησιμοποίησε τον όρο «θερμιδική» (caloric). Για το Λαβουαζιέ η θερμιδική ήταν μία από τις «απλές ουσίες που υπάρχει σε όλα τα βασίλεια της φύσης και η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως το στοιχείο των σωμάτων (Λαβουαζιέ 1790, p. 175). Αυτή η ουσία θεωρούνταν αβαρής και ως εκ τούτου μια εκ των αβαρών αδιάκριτων ρευστών. Άλλα αβαρή ρευστά ήταν η ύλη του φωτός (luminic σύμφωνα με την ονοματολογία του Λαβουαζιέ) ενώ υπήρχαν και ηλεκτρικά και μαγνητικά ρευστά. Η θερμιδική θεωρία θεωρούνταν ότι ήταν σε θέση να εξηγήσει και τα φαινόμενα που σχετίζονταν με τη θερμότητα. Παρά τις σημαντικές διαφορές που υπήρχαν ανάμεσα στο σύστημα του Λαβουαζιέ και σε αυτό των Μπέχερ (Becher) και Σταλ (Stahl), κάποιες ιδιότητες της θερμιδικής ήταν παρόμοιες με την παλαιότερη ουσία που έφερε το όνομα φλογιστόν. Αυτό το γεγονός έπαιξε ρόλο στο πρώτο όργανο που επέτρεψε τη μέτρηση της θερμότητας, το θερμιδόμετρο πάγου, να λάβει την ονομασία 'θερμιδόμετρο' (Roberts 1991, δες επίσης Beretta 2005).

Η σημασία του έργου του Λαβουαζιέ για το έργο του Ράμφορντ πάνω στην αρχή διατήρησης της ενέργειας δεν έγκειται τόσο στο γεγονός ότι το σύστημα του πρώτου ήταν η κοινά αποδεκτή θεωρία εκείνη την εποχή, κάτι το οποίο κατ' ουσία το έργο του Ράμφορντ δεν αμφισβήτησε, αλλά ακριβώς στο αντίθετο: Κατά το πρώτο τέταρτο του 19ου αιώνα η θερμότητα θεωρούνταν ως υλική ουσία την οποία οι περισσότεροι ερευνητές ταύτιζαν με το θερμιδικό του Λαβουαζιέ. Η σημασία

του έργου του Ράμφορντ έγκειται στην αντίληψη περί της αφθαρσίας των στοιχείων. Καθώς το θερμιδικό ήταν ένα από τα στοιχεία του Λαβουαζιέ (παρότι ήταν αβαρές ρευστό συμπεριλαμβανόταν στο σύστημά του ως στοιχείο όπως το οξυγόνο ή ο σίδηρος), ήταν εμφανές ότι η ουσία αυτή δεν μπορούσε ούτε να δημιουργηθεί ούτε να καταστραφεί. Συνεπώς η ιδέα της διατήρησης θεμελιώθηκε μέσω της θεωρίας της θερμότητας.

Εκτός από τα πειράματα του Ράμφορντ πάνω

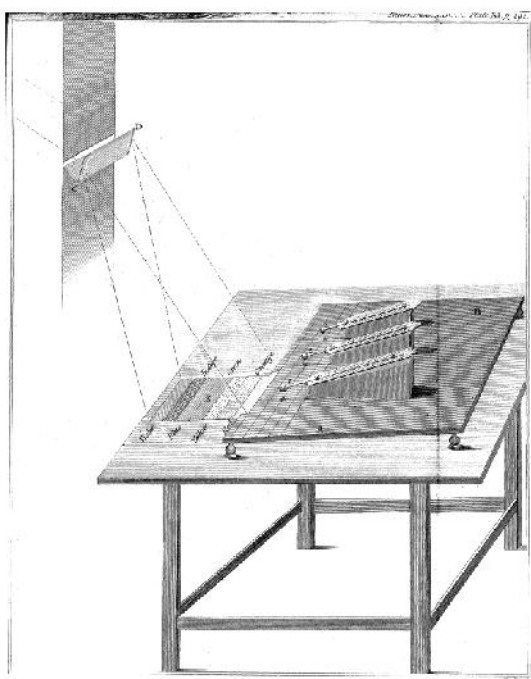


Εικ 3: Ο θερμιδομετρητής πάγου των Λαβουαζιέ και Λαπλάς (Lavoisier 1789), <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Ice-calorimeter.jpg>

στη διάνοιξη των κανονιών ακόμη δύο ερευνητικά εγχειρήματά του μπορούν να συσχετισθούν άμεσα με τη θεμελίωση της θεωρίας της θερμότητας: Αφενός η ανάλυση της θερμικής ακτινοβολίας. Το θέμα αυτό απασχόλησε τη φυσική φιλοσοφία στις αρχές του 19ου αιώνα όταν ο Γουίλιαμ Χέρσελ (William Herschel) (ο οποίος είναι κυρίως γνωστός για την ανακάλυψη του πλανήτη Ουρανού) ύστερα από μια σειρά μετρήσεων έφτασε στο συμπέρασμα ότι η ηλιακή ακτινοβολία δεν αποτελούνταν απλώς από φως, αλλά επίσης εμπεριείχε θερμική ακτινοβολία, η οποία μάλιστα έφτανε στη

μεγαλύτερή της ένταση πέρα από την κόκκινη ζώνη του ηλιακού φάσματος.¹

Αυτές οι «νέες ακτίνες» έγιναν αντικείμενο έρευνας για πολλούς ερευνητές, γνωστότερος των οποίων είναι ο Τζον Λέσλι (John Leslie), ο οποίος δημοσίευσε το 1804 μια μονογραφία πάνω στο θέμα. Ο Ράμφορντ επίσης δημοσίευσε το 1804 μια έρευνα στην οποία ανέλυε την ικανότητα διαφόρων υλικών να εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία². Αν και η έρευνα αυτή μπορεί να θεωρηθεί ως αυτοτελής, έχει πλευρές οι οποίες έχουν άμεση σχέση με το θέμα μας: Ήταν σχετική με τη βελτίωση της αποδοτικότητας των θερμαντικών σωμάτων (σόμπες, θερμάστρες κ.τ.λ.), ζήτημα το οποίο απασχόλησε το Ράμφορντ για δεκαετίες.

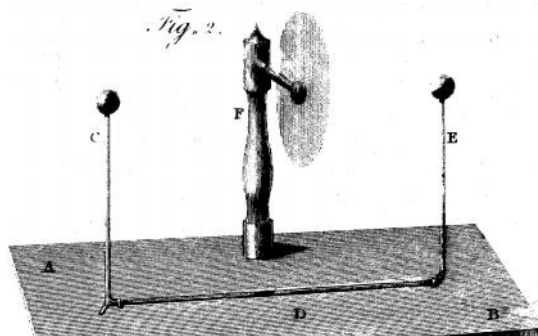


Εικ 4: Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποίησε ο Χέρσελ για την ανακάλυψη της θερμικής ακτινοβολίας, Herschel 1800

Ο Ράμφορντ κατασκεύασε ένα όργανο το οποίο ονόμασε θερμοσκόπιο. Το όργανο αυτό αποτελείται από ένα γυάλινο σωλήνα σε σχήμα U. Στα δύο άκρα του σωλήνα είναι τοποθετημένες κοίλες σφαίρες, οι οποίες εμπεριέχουν αέρα. Αυτές οι σφαίρες, οι οποίες ήταν φτιαγμένες από πολύ λεπτό γυαλί, είναι αμαυρωμένες.

¹ Υπόβαθρο αυτών των πειραμάτων υπήρξε το αίτημα να βρεθεί ποιο τμήμα του (ορατού) φάσματος μπορούσε να επηρεάσει πιο σημαντικά τους φακούς του τηλεσκοπίου λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του γυαλιού.

Λόγω της αμαύρωσης οι γυάλινες σφαίρες απορροφούν θερμική ακτινοβολία. Καθώς το γυαλί είναι πολύ λεπτό η θερμότητα που απορροφάται διοχετεύεται μέσα στη σφαίρα. Καθώς κλείνει ο σωλήνας λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, αυξάνεται και η πίεση. Κατά συνέπεια συμπεραίνουμε ότι η πίεση που υφίσταται και στα δύο άκρα του σωλήνα σχετίζεται με την απορροφηθείσα θερμική ακτινοβολία.

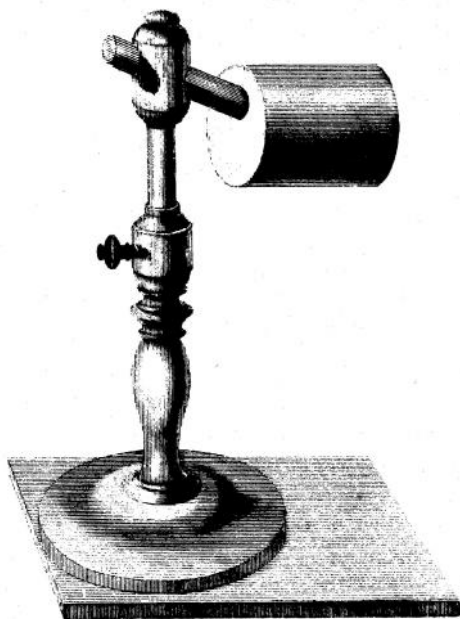


Εικ. 5: Το θερμοσκόπιο του Ράμφορντ, Thompson 1804

Στο μέσο του οριζόντιου μέρους του γυάλινου σωλήνα τοποθετείται μια σταγόνα οινοπνεύματος. Όταν διαφοροποιείται η πίεση ανάμεσα στα δύο άκρα, η σταγόνα κινείται προς το μέρος με τη χαμηλότερη πίεση. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι το αέριο με τη χαμηλότερη πίεση συμπιέζεται, ενώ το αέριο με την υψηλότερη πίεση διαστέλλεται μέχρι οι διαφορετικές τιμές της πίεσης που υπάρχουν στα δύο άκρα να εξισωθούν. Ένας χάλκινος δίσκος τοποθετείται μεταξύ των γυάλινων σφαιρών με τέτοιο τρόπο ώστε η θερμότητα που εκπέμπεται από την πηγή η οποία βρίσκεται σε ευθεία με τις σφαίρες, να επηρεάζει μόνο τη μία από αυτές.

Το θερμοσκόπιο τοποθετείται σε ένα ξύλινο πλαίσιο. Και στις δυο πλευρές του πηγές θερμότητας (μεταλλικά δοχεία με ζεστό νερό) τοποθετούνται σε εναλασσόμενες θέσεις (εγγύτερα και πιο μακριά) ως προς το θερμοσκόπιο. Στην αρχή του κάθε πειράματος αμφοτέρως οι πηγές θερμότητας τοποθετούνται σε ίση απόσταση (με το θερμοσκόπιο). Λόγω της απορρόφησης της θερμικής ακτινοβολίας και της συνεπαγόμενης διαφοράς πίεσης η σταγόνα του οινοπνεύματος αρχίζει να κινείται.

² Δες Leslie (1804) και Thompson (1804). Για μια επισκόπηση αυτών των ερευνών, δες Olson (1970).



Εικ. 6: Το θερμαντικό σώμα του Ράμφορντ, Thompson 1804.

Το πείραμα αυξάνει την απόσταση ανάμεσα στην ισχυρότερη πηγή θερμότητας και το θερμοσκόπιο, έως ότου η σταγόνα του οινοπνεύματος να ισορροπήσει στην αρχική της θέση. Η σύγκριση των αποστάσεων των δύο πηγών σε σχέση με το θερμοσκόπιο λειτουργεί ως ένδειξη των εκπομπών τους. Ο Ράμφορντ θεώρησε ως δεδομένο ότι η θερμότητα η οποία εκπέμπεται μειώνεται κατ' αναλογία του αντίστροφου τετραγώνου της απόστασης. Η σχέση αυτή η οποία είχε αποδειχθεί πρώτα από τον Ελβετό μαθηματικό Γιόχαν Χάινριχ Λάμπερτ (Johann Heinrich Lambert) αφορούσε τη μείωση της έντασης του φωτός σε σχέση με την απόσταση, εργασία με την οποία ο Ράμφορντ, λόγω του δικού του έργου πάνω στη φωτομετρία, ήταν εξοικωμένος. Η εξίσωση του Λάμπερτ φαινομενικά είχε εφαρμογή και στη θερμική ακτινοβολία.

Ωστόσο το αίτημα της βελτίωσης της αποδοτικότητας δεν περιοριζόταν για τον Ράμφορντ στη θερμική ακτινοβολία και στα θερμαντικά σώματα. Μια ακόμη έρευνα η οποία μπορεί να ιδωθεί μέσα στο ίδιο πλαίσιο ήταν αυτή που αφορούσε τις μονωτικές ιδιότητες διαφόρων υλικών. Αυτή η εργασία διεξήχθη στο Μόναχο, όταν ο Ράμφορντ ήταν υπουργός πολέμου και είχε μια ευρεία άποψη γύρω από τα στρατιωτικά ζητήματα. Ο στόχος του ήταν

να αναπτύξει το επιστημονικό πλαίσιο που θα του επέτρεπε να βρει το πλέον κατάλληλο υλικό για τις στολές του βαυαρικού στρατού. Ο στόχος ήταν να βρεθεί το υλικό που θα ήταν ιδανικό για μία στολή η οποία θα ήταν κατάλληλη για τους στρατιώτες τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι. Ο Ράμφορντ, όπως και στο πείραμα όπου ανέλυσε τη θερμική ακτινοβολία, χρησιμοποίησε μεταλλικά δοχεία ως πηγές θερμότητας. Αυτά τα δοχεία ήταν καλυμμένα με διάφορα υλικά ένδυσης. Ο Ράμφορντ τα γέμισε με ζεστό νερό και παρατήρησε ότι η θερμοκρασία του νερού έπεφτε. Με αυτή τη μέθοδο μπόρεσε να βρει τον πιο αποδοτικό τρόπο να μονώσει το ανθρώπινο σώμα.

Συνοψίζοντας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι το έργο του Ράμφορντ μπορεί να ιδωθεί ως η αφετηρία για την ανάπτυξη της επιστήμης της ενέργειας καθώς διεξήγαγε πειράματα τα οποία σχετίζονται με τη διαμόρφωση της αρχής διατήρησης της ενέργειας, αλλά και με ένα πεδίο το οποίο σήμερα αποκαλείται 'ενεργειακή αποδοτικότητα', ειδικά σε σχέση με τις ιδιότητες διαφόρων υλικών.

Η διαμόρφωση της αρχής της διατήρησης της ενέργειας

Ο Τζουλ ξεκίνησε τις έρευνές του αναλύοντας ηλεκτρικούς κινητήρες.³ Αυτή η δραστηριότητα σχετιζόταν άμεσα με την εργασία του στο ζυθοποιείο του πατέρα του όπου αρχικά χρησιμοποιούνταν μηχανές ατμού. Ωστόσο η εισαγωγή του ηλεκτρικού κινητήρα έφερε μαζί της δυνατότητες οι οποίες υπερέβαιναν κατά πολύ αυτές της μηχανής ατμού. Συνεπώς φαινομενικά ο στόχος του Τζουλ ήταν να κατασκευάσει μια οικονομική ηλεκτρομαγνητική μηχανή. Ο στόχος αυτός γίνεται φανερός από το παρακάτω απόσπασμα: «δεν έχω σχεδόν καμιά αμφιβολία ότι ο ηλεκτρομαγνητισμός θα αντικαταστήσει τον ατμό σε ό,τι αφορά την κίνηση των μηχανών ... η αποδοτικότητα (μιας μηχανής) θα βρίσκεται σε ευθεία αναλογία με την ποσότητα ηλεκτρισμού που χρειάζεται, ενώ το κόστος που απαιτείται για τη λειτουργία της μπορεί να μειωθεί επ' άπειρο» (Joule 1884, p. 14). Η ιδέα αυτή ενός «οικονομικού αεικίνητου» δεν βρίσκεται μόνο στα γραπτά του Τζουλ αλλά ήταν

³ Για την ιστορία των πρώτων ηλεκτρικών κινητήρων δεσ-
διαίτερα Schiffer (2008).

πεποίθηση μεταξύ πολλών φυσικών της εποχής.⁴ Ο Τζουλ τελικά κατέληξε στο συμπέρασμα (όπως και άλλοι ερευνητές) ότι ο ψευδάργυρος που προκαλεί την αντίδραση στο γαλβανικό στοιχείο της ηλεκτρομηχανής ήταν πιο ακριβός από τα καύσιμα τα οποία χρειαζόταν μια μηχανή ατμού για να παραγάγει το ίδιο έργο.

Τα επόμενα χρόνια, το αντικείμενο της έρευνας του Τζουλ ήταν η παραγωγή θερμότητας, είτε μέσω βολταϊκού ηλεκτρισμού, είτε μέσω μπαταριών, είτε μέσω της χημικής καύσης. Οι έρευνες αυτές ήταν ποσοτικές. Αφού ολοκλήρωσε αυτή την έρευνα ο Τζουλ στράφηκε σε νέο αντικείμενο: Το 1843, κατά τη διάρκεια της συνάντησης του Βρετανικού Ένωσης για την Πρόοδο της Επιστήμης (British Association for the Advancement of Science) παρουσίασε μια εργασία η οποία υπήρξε το έναυσμα για τη μεταγενέστερη επιτυχία του. Περιέγραψε το αντικείμενο των νέων ερευνών του ανακοινώνοντας «έχοντας αποδείξει ότι η θερμότητα παράγεται από τη μαγνητο-ηλεκτρική μηχανή και ότι μέσω της επαγωγικής ισχύος του μαγνητισμού μπορούμε να μειώσουμε ή να αυξήσουμε κατά βούληση τη θερμότητα που παράγεται από τις χημικές αλλαγές, το αίτημα το οποίο προέκυψε είναι να ανακαλυφθεί εάν υπάρχει μια σταθερή αναλογία ανάμεσα σε αυτή (τη θερμότητα) και τη μηχανική ισχύ η οποία κερδήθηκε ή χάθηκε» (Joule 1884, p. 149). Ο Τζουλ διεξήγαγε νέα πειράματα για να αποδείξει την ύπαρξη ενός μηχανικού ισοδύναμου της θερμότητας και να προσδιορίσει την μαθηματική του φόρμουλα. Μέσω μιας σειράς πειραμάτων προσδιόρισε το συντελεστή σε ftlb/BTU, ενώ σε μία δεύτερη σειρά πειραμάτων η οποία περιλήφθηκε στην ίδια δημοσίευση το αποτέλεσμα ήταν 770 ftlb/BTU.

Κοιτώντας τα αποτελέσματα που δημοσίευσε ο Τζουλ μπορούμε να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα για το θεωρητικό του υπόβαθρο. Τα ισοδύναμα τα οποία υπολόγισε σύμφωνα με τη δημοσίευσή του ήταν (σε ftlb/BTU): 896; 1001; 1040; 910; **1026; 587**; 742 (μέσος όρος πέντε πειραμάτων); 860 (μέσος όρος δύο πειραμάτων); 770. Τα αποτελέσματα που σημειώνονται με την έντονη γραφή

προέρχονται από πειράματα “τα οποία διεξήχθησαν με ακριβώς τον ίδιο τρόπο” (Joule 1884, p. 153). Θα ήταν παράτολμο να θεωρήσει κανείς τα αποτελέσματα αυτά ως απόδειξη για την ύπαρξη οποιουδήποτε ισοδύναμου. Με άλλα λόγια ο Τζουλ θα έπρεπε εξαρχής να πιστεύει στην ύπαρξη του μηχανικού ισοδύναμου της θερμότητας για να διατυπώσει το συγκεκριμένο συμπέρασμα βάσει των πειραματικών δεδομένων που διέθετε. Τα δεδομένα αυτά θα μπορούσαν επίσης να ερμηνευθούν ως ένδειξη του γεγονότος ότι η ποσότητα της θερμότητας η οποία παράγεται από ισοδύναμο μηχανικό έργο διαφέρει σημαντικά από το τελευταίο γεγονός που μπορεί να εξαρτάται από την ύπαρξη κάποιας άγνωστης ή αστάθμητης παραμέτρου. Ωστόσο, ο Τζουλ έφτασε στο συμπέρασμα ότι το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας υπάρχει και ότι οι αποκλίσεις στα πειραματικά του δεδομένα οφείλονταν στις περιορισμένες δυνατότητες των οργάνων μέτρησης που διέθετε: “Ομολογώ ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε κάποια από τα δεδομένα, αλλά, πιστεύω, όχι μεγαλύτερες από αυτές που θα μπορούσαν να λογικά να δικαιολογηθούν, ως οφειλόμενες σε πειραματικά λάθη” (Joule 1884, p. 156).

Παρόλο που ο Τζουλ αντιλαμβανόταν τις διαφορές στα πειραματικά του δεδομένα, ισχυριζόταν ότι είχε αποδείξει την ύπαρξη του μηχανικού ισοδύναμου της θερμότητας. Συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί εύλογο το συμπέρασμα ότι δεν κατέληξε στην πεποίθηση για την ύπαρξη του μηχανικού ισοδύναμου της θερμότητας βάσει των πειραματικών του δεδομένων, αλλά για κάποιους άλλους λόγους. Προς το τέλος της έρευνάς του πάνω στο αντικείμενο, ο ίδιος ο Τζουλ έδωσε εξήγηση αυτού του λόγου δηλώνοντας ότι ήταν “ικανοποιημένος ότι οι μεγάλοι παράγοντες της φύσης είναι, από τη βούληση του Δημιουργού, άφθαρτοι και ότι για οποιαδήποτε μηχανική δύναμη καταναλώνεται, αποκτάται ένα ακριβές ισοδύναμο θερμότητας” (Joule 1884, p. 158). Αυτή η δήλωση μας επιτρέπει να υποθέσουμε το θεωρητικό υπόβαθρο που καθοδηγούσε το Τζουλ στην προσπάθειά του

⁴ Αυτό δεν πρέπει να συγχέεται με το επιστημονικό αεικίνητο, σύγχυση στην οποία υπέπεσε π.χ ο Breger: “Προφανώς ο Τζουλ δεν είχε αντίρρηση επί της αρχής για τη δυνατότητα α-

νακάλυψης του αεικίνητου στην εποχή του· προφανώς πίστευε ότι “μία ανεξάντλητη πηγή ισχύος είναι επιτεύξιμη” (Breger 1982, p.194).

να προσδιορίσει το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας. Η ιδέα ότι οτιδήποτε μπορούσε να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί ήταν ασύμβατη με τη θεώρηση του Τζουλ για τη φύση. Είχε ενσωματώσει ως ιδέα την αρχή της διατήρησης, με τρόπο ο οποίος καθιστούσε αδύνατη την αποδοχή οποιασδήποτε εξαίρεσης από αυτή. Αλλά φαινομενικά υπήρχαν πολλές εξαιρέσεις, όπως για παράδειγμα η παραγωγή θερμότητας από τη μαγνητοηλεκτρική μηχανή. Συνεπώς, ήταν απαραίτητο για το Τζουλ να αναπτύξει μια καινούργια ιδέα, την ιδέα της ισοδύναμης μεταμόρφωσης αυτών που ονόμασε μεγάλους παράγοντες της φύσης. Η ιδέα αυτή, η ισοδύναμη μετατρέψιμότητα, ήταν το απαραίτητο θεωρητικό βήμα το οποίο επέτρεψε τη μετάβαση από την αρχή της διατήρησης της θερμότητας (ως θερμιδικής) υπό την έννοια του Λαβουαζιέ, στην αρχή της διατήρησης της ενέργειας.

Η εργασία που παρουσίασε ο Τζουλ το 1843 δεν συγκέντρωσε ιδιαίτερα την προσοχή του επιστημονικού κόσμου. Τα επόμενα χρόνια ο Τζουλ παρουσίασε αρκετές εργασίες στις οποίες περιέγραφε διάφορα πειράματα τα οποία διεξήγαγε με σκοπό να προσδιορίσει με ακρίβεια την τιμή του μηχανικού ισοδύναμου της θερμότητας. Δύο από αυτές τις εργασίες είναι αξιοσημείων για εντελώς διαφορετικούς λόγους. Η μία δημοσιεύτηκε στο περιοδικό «Φιλοσοφικές Ανταλλαγές» (Philosophical Transactions) το 1850 και είχε τίτλο «Περί του Μηχανικού ισοδύναμου της Θερμότητας» (On the Mechanical Equivalent of Heat). Στη δημοσίευση αυτή ο Τζουλ περιέγραψε επακριβώς τα πειράματά του με την περίφημη “τροχή με η φτερωτή”. Η δημοσίευση αυτή δεν περιείχε μόνο τον υπολογισμό του μηχανικού ισοδύναμου της θερμότητας και τα δεδομένα τα οποία ο Τζουλ εξήγαγε από τα πειράματά του αλλά και μία αναλυτική περιγραφή της πειραματικής του διάταξης. Επιπροσθέτως ο Τζουλ περιέγραφε τα πειράματά του σχετικά με την τριβή του ψευδάργυρου και του χυτοσίδηρου. Η δημοσίευση αυτού του άρθρου στις εγνωσμένους κύρους «Φιλοσοφικές ανταλλαγές» μπορεί να θεωρηθεί ως ισχυρή ένδειξη της αποδοχής του έργου του Τζουλ από τη βρετανική επιστημονική κοινότητα.

Το άλλο σημαντικό άρθρο παρουσιάστηκε από τον ίδιο τον Τζουλ στην ετήσια συνάντηση της Βρετανικής Εταιρείας. Όπως παρατήρησε και ο

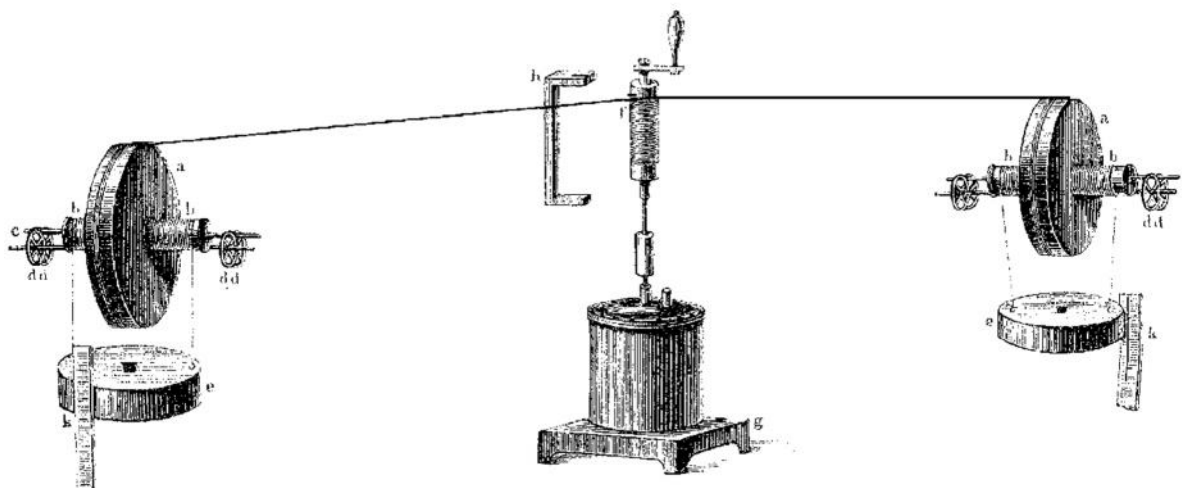
βιογράφος του Ντ. Κάρντγουελ (D. Cardwell): “Ο Τζουλ πίστευε ότι η εργασία του θα περνούσε απαρατήρητη εάν δεν σηκώνόταν ένας νεαρός άνδρας στο βάθος της αίθουσας να κάνει κάποιες εξαιρετικά εύστοχες ερωτήσεις οι οποίες ξεσήκωσαν το ενδιαφέρον του κοινού» (Cardwell 1989, p. 83). Αυτός ο νεαρός ήταν ο Γουίλιαμ Τόμσον, ο οποίος αργότερα έγινε γνωστός ως λόρδος Κέλβιν. Ήταν ένας από τους πρώτους επιστήμονες που απέκτησαν πραγματική επιρροή στην επιστημονική κοινότητα και ήταν ο πρώτος ο οποίος έδειξε πραγματικό ενδιαφέρον για τα πειραματικά αποτελέσματα του Τζουλ. Παρόλο που δεν συμφωνούσε αρχικά με τις ιδέες του Τζουλ, στη συνέχεια πείστηκε και όχι μόνο υποστήριξε τη θεωρία του Τζουλ, αλλά ξεκίνησε και μια εξαιρετικά επιτυχημένη συνεργασία μαζί του.

Ο Τόμσον ήταν διστακτικός ως προς τους πειραματικούς ισχυρισμούς του Τζουλ καθώς είχε λάβει μέρος της εκπαίδευσής του στη Γαλλία όπου ήρθε σ’ επαφή με το έργο του Βικτόρ Ρενώ (Victor Regnault) και του Σαντί Καρνό (Sadi Carnot). Ο τελευταίος είχε δείξει ότι το έργο μιας ατμομηχανής εξαρτάται από τη διαφορά της θερμοκρασίας. Κατά συνέπεια το έργο δεν θα μπορούσε να ισοδυναμεί με μια συγκεκριμένη ποσότητα θερμότητας, αλλά αντιθέτως θα έπρεπε να εξαρτάται από τις διαφορές της θερμοκρασίας. Χρειάστηκε να αναπτυχθεί η έννοια της ενεργειακής διασποράς (και κατ’ επέκταση της εντροπίας) ώστε τα ευρήματα του Τζουλ και του Καρνό να μην αλληλοαναιρούνται. Υπό μία έννοια ήταν αυτή η αντίθεση, συνοδευόμενη από την αυξανόμενη αποδοχή της έννοιας της ενέργειας η οποία έδωσε το έναυσμα για την περαιτέρω ανάπτυξη της έννοιας της ενέργειας. Μόνο κατά τη διάρκεια της συνεργασίας πείστηκε ο Τόμσον ότι τα αποτελέσματα του Τζουλ ήταν σωστά και σημαντικά και κατά συνέπεια βρήκε το κίνητρο να υποστηρίξει τον Τζουλ στην επιστημονική κοινότητα.

Αυτή η πλευρά είναι σχετική με την αποδοχή του έργου του Τζουλ από τη βρετανική επιστημονική κοινότητα: Το γεγονός ότι αγνοήθηκαν τα ευρήματά του μπορεί εν μέρει να εξηγηθεί από το γεγονός ότι ήταν ιδιοκτήτης ζυθοποιείου από το Μάντσεστερ. Παρόλο που το δεδομένο αυτό του εξασφάλιζε διαρκή και άφθονη χρηματοδότηση για τα πειράματά του (κάτι το οποίο θα συζητηθεί

στην επιστημονική κοινότητα. Συνεπώς η αποδοχή εκ μέρους του Τόμσον της εργασίας του Τζουλ την καθιστούσε έγκυρη στα μάτια της επιστημονικής κοινότητας συνολικά. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η υποστήριξη του Τόμσον ήταν αυτή που επέτρεψε την αναγνώριση της δουλειάς του Τζουλ.

Αλλά η αξία του έργου του Τζουλ δεν έγκειται



Εικ.7: Η πειραματική διάταξη του Τζουλ, Joule 1872

παρακάτω) του δημιουργούσε ένα ιδιόρρυθμο πρόβλημα: Πέρα από το γεγονός ότι εισήγαγε έννοιες οι οποίες ήταν δύσκολο να κατανοηθούν, η κοινωνική του θέση κατέστησε ακόμη πιο δυσχερή τη δυνατότητα αποδοχής της θεωρίας του. Δεν ήταν ένας εκπαιδευμένος επιστήμονας αλλά μάλλον ένας αστός ερασιτέχνης-λάτρης της επιστήμης, χωρίς επιστημονικό βιογραφικό ή ακαδημαϊκή θέση. Ενώ αυτός ήταν ο κρόνος κατά τον 18ο και κατά τις αρχές του 19ου αιώνα, στην εποχή του Τζουλ (στα μέσα του 19ου αιώνα) τα πράγματα είχαν αλλάξει. Η επιστήμη γινόταν όλο και πιο επαγγελματική στη Βρετανία, με αποτέλεσμα τον περιορισμό των επιστημονικών ζητημάτων στους επαγγελματίες επιστήμονες. Υπήρχαν βέβαια εξαιρέσεις με πιο σημαντική αυτή του Μάικλ Φαραντέϊ (Michael Faraday). Παρόλα αυτά η κοινωνική θέση του Τζουλ, όταν αυτός άρχισε να δημοσιεύει τις εργασίες του πάνω στο μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας ήταν οπωσδήποτε ένα ζήτημα. Από την άλλη πλευρά ο Γουίλιαμ Τόμσον ήταν ένας άριστα εκπαιδευμένος νεαρός, καθηγητής στο πανεπιστήμιο της Γλασκώβης ο οποίος, παρά την ηλικία του, είχε λόγω της θέσης του καταξιωθεί

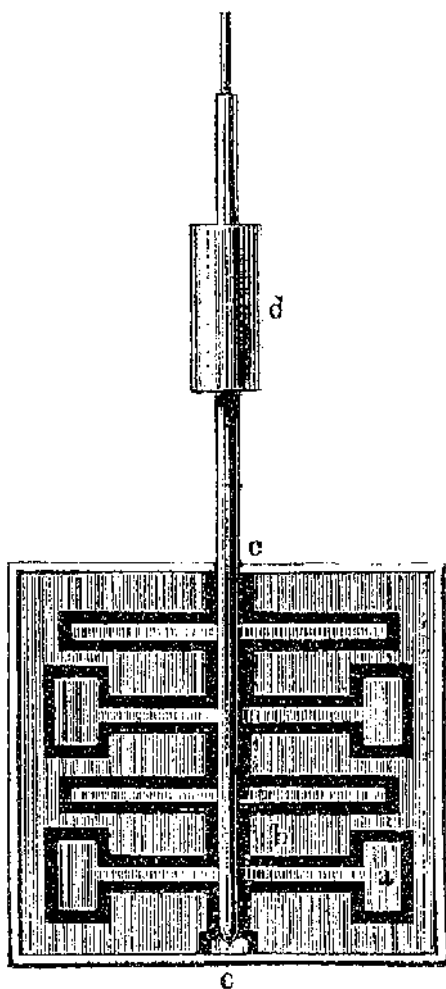
στην κοινωνική του θέση, αλλά στα πειράματά του τα οποία είναι αξιοθαύμαστα.

Ας δώσουμε μια σύντομη περιγραφή του πειράματος του σχήματος 7 με βάση το οποίο υπολόγισε το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας. Οι τροχαλίες κατασκευάστηκαν πράγματι τέλειες, ίσες μεταξύ τους.

αα είναι οι ξύλινες τροχαλίες. Έχουν διάμετρο ένα πόδι (30 εκ.) και 2 ίντσες πάχος (5 εκ.), bb, bb είναι οι κύλινδροι στους οποίους στηρίζονται οι άξονες των τροχαλιών.

Οι άξονες ενισχύθηκαν από ορειχάλκινες πλάκες οι οποίες ήταν ακουμπισμένες σε ένα βαρύ ξύλινο τραπέζι, το οποίο ο Τζουλ στερέωσε στον τοίχο του εργαστηρίου του. Τα βάρη e, e δέθηκαν στα άκρα ιμάντα από τους κύλινδρους bb, bb με λεπτούς ιμάντες, οι οποίοι συνδέονταν με τον κεντρικό περιστροφέα f της συσκευής τριβής. Η συσκευή αυτή αναπαρίσταται από το σχήμα 8 καθεώς και από το σχήμα 9 οριζοντίως. Αποτελούνταν από ένα ορειχάλκινο περύγιο - τροχό εξοπλισμένο με 8 σετ με 4 περιστρεφόμενους βραχίονες, καθέναν με, 4 σετ των 4, στατικά περύγια το

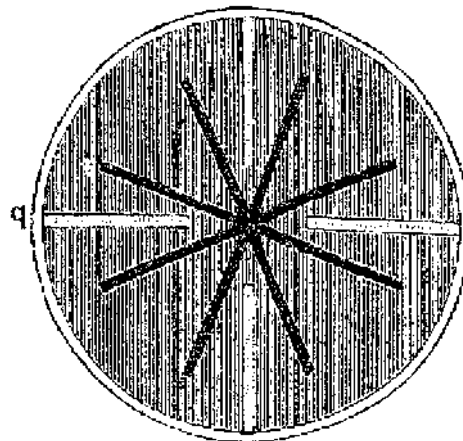
καθένα. Ο άξονας από χαλκό λειτουργούσε ελεύθερα και χωρίστηκε σε δύο μέρη για να αποφευχθεί οποιαδήποτε αγωγή θερμότητας προς αυτή την κατεύθυνση. Οι τροχοί με τα πτερύγια σταθερά τοποθετούνταν σε ένα δοχείο χαλκού με δύο τρύπες στο καπάκι, ένα για την εισαγωγή του άξονα και έναν για την εισαγωγή ενός θερμομέτρου. Κατά τη διάρκεια του πειράματος μία μεγάλη ξύλινη πλάκα συνδέθηκε στο τραπέζι για να αποφύγει όλες τις επιδράσεις της ακτινοβολίας της θερμότητας από τον πειραματιζόμενο προς το χάλκινο δοχείο με το νερό.



Εικ 8: Η συσκευή του Τζουλ – κάθετη τομή, Joule 1872

Κατά την αρχή του πειράματος, το δοχείο χωρητικότητας 6 λίτρων ήταν γεμάτο νερό. Όταν όλα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία, η θερμοκρασία του νερού, καθώς και το του δωματίου μετριέται, και το θερμομέτρο απομακρύνεται από το δοχείο. Στη συνέχεια τα βάρη 26 kg συνολικά, αφήνονται να πέσουν και ο μάντας που ήταν τυ-

λιγμένος στον άξονα f ξετυλίγεται. Τα βάρη κατεβαίνουν κατά 1 μέτρο, περιστρέφοντας αυτόν και μαζί του τη διάταξη με τα πτερύγια. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβανόταν είκοσι φορές ενώ απαιτούσε χρόνο 35 περίπου λεπτών για τις 20 πτώσεις των βαρών. Κάθε φορά που τα βάρη έπεφταν, ένας ειδικευμένος τεχνίτης τα ανύψωνε στο ίδιο σημείο, από το οποίο αφήνονταν να πέσουν. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Τζουλ, η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού ήταν περίπου 0.5 C ανά 20 πτώσεις των βαρών.



Εικ. 9: Η συσκευή του Τζουλ οριζόντια τομή, Joule 1872

Αναλύοντας αυτό το πείραμα παρουσιάζονται ορισμένες λεπτομέρειες που είναι αξιοσημείωτες και οι οποίες δείχνουν ότι ο Τζουλ είχε οργανώσει πολύ καλά το όλο εγχείρημα: Μπορούσε να χρησιμοποιήσει μερικούς από τους πιο ειδικευμένους τεχνίτες, οι οποίοι υπήρχαν σε μια βιομηχανική πόλη όπως το Μάντσεστερ. Ο κατασκευαστής οργάνων του, ο Τζων Μπέντζαμιν Ντάνσερ (John Benjamin Dancer) ήταν εξαιρετικά έμπειρος και ιδιαίτερα ικανός στο να κατασκευάζει εξαιρετικά ευαίσθητα θερμομέτρα: «Τα δύο θερμομέτρα που απέκτησε (ο Τζουλ) το 1844 ήταν, ισχυρίστηκε, τα πρώτα με ακρίβεια βαθμονομημένα θερμομέτρα στη Βρετανία» (Cardwell 1989 , σ. 234). Το θερμομέτρο το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να προσδιοριστεί η θερμοκρασία του νερού είχε μήκος 87 cm και βαθμονομημένη κλίμακα από το σημείο τήξης του πάγου έως περίπου τους 85 ° F (βλέπε, Ashworth 1930). Ο Τζουλ έγραψε ότι « η συνεχής μέτρηση με βοήθησε να διαβάσω με γυμνό μάτι το 1/ 20 της υποδιαίρεσης, αργότερα να διαβάσω κατ' εκτίμηση το 1/200 του ενός βαθμού Fahr» (Joule 1884 , σελ. 303). Σε τέτοιο βαθμό

ευαισθησίας το νερό του δοχείου απέχει πολύ από το να είναι σε μια σταθερή θερμοκρασία. Κατά συνέπεια, η διαδικασία προσδιορισμού αυτής της θερμοκρασίας δεν επιτυγχάνεται εύκολα. Αντί να περιμένουν έως ότου η στήλη του υδραργύρου του θερμομέτρου ηρεμήσει και στη συνέχεια να αναγνώσει τη θερμοκρασία ο διενεργών τη μέτρηση έπρεπε να βρει άλλους τρόπους για να καθορίσει πότε το θερμομέτρο και το νερό ήταν σε θερμική ισορροπία. Όπως αποδείχθηκε από τον Ζίμπουμ (Sibum), οι μετρήσεις της θερμοκρασίας ήταν μέρος της παρασκευής μύρας, έτσι ο διενεργών τις μετρήσεις είχε την αντίστοιχη εμπειρία για τη διενέργειά τους από την επαγγελματική του εμπειρία.

Υπάρχουν και άλλες πτυχές οι οποίες δείχνουν ότι αυτό το πείραμα ήταν ενσωματωμένο στην εμπειρία των ζυθοποιών. Ο Τζουλ χρησιμοποίησε ένα δοχείο χαλκού χωρίς μόνωση, ακόμη και αν το δωμάτιο δεν πρέπει να επηρεάζει τη θερμική κατάσταση του ύδατος με οποιοδήποτε τρόπο. Αυτό μπορεί να φαίνεται λίγο ασυνήθιστο, ιδίως όταν λάβει κανείς υπόψη ότι ο Τζουλ χρησιμοποίησε μια ξύλινη πλάκα για την προστασία του δοχείου από την ακτινοβολία του σώματος του πειραματιστή. Ωστόσο το δοχείο από χαλκό, είναι ένα σκεύος που χρησιμοποιούνταν κατά κόρον στη ζυθοποιία. Ο Τζουλ ήταν πολύ έμπειρος στον έλεγχο της θερμικής κατάστασης με ένα τέτοιο σκεύος – αντιθέτως δεν είχε την εμπειρία για να ελέγξει ένα αντίστοιχο το οποίο θα ήταν πλήρως μονωμένο.

Αλλά υπάρχουν και άλλα, “υλικά” χαρακτηριστικά του ζυθοποιείου του Μάντσεστερ που επέτρεψαν στον Τζουλ να πραγματοποιήσει το πείραμα του με επιτυχία. Χρειαζόταν ένα δωμάτιο με τεράστια θερμοχωρητικότητα -αλλιώς η θερμότητα που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα στην ανύψωση των βαρών θα επηρέαζε την θερμοκρασία του δωματίου και έτσι το πειραματικό αποτέλεσμα θα είχε αλλοιωθεί σημαντικά. Ένα τέτοιο δωμάτιο υπάρχει σε κάθε ζυθοποιείο: Είναι το κελάρι στο οποίο αποθηκεύεται η μύρα. Αυτό έχει τεράστια θερμοχωρητικότητα και για αυτό μία

σχεδόν ομοιόμορφη θερμοκρασία. Συνεπώς ήταν ένας χώρος με τις φυσικές ιδιότητες που ήταν αναγκαίες για την παραγωγή αξιόπιστων δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, ο Τζουλ χρειαζόταν έναν χώρο σαν αυτόν της ζυθοποιίας για να κάνει το έργο της ανύψωσης των βαρών. Αυτό απαιτεί ορισμένες δεξιότητες από τον πειραματιστή, όπως να είναι δυνατός, γρήγορος και έχοντας έλεγχο των κινήσεών του να κάνει αυτή τη δουλειά. Ο Τζουλ δεν ήταν σε φυσική κατάσταση να κάνει αυτό το έργο, άλλωστε ήταν ένας διακεκριμένος πολίτης και αυτή η εργασία δεν ανταποκρινόταν στην κοινωνική του θέση.⁵

Ξεκινώντας την έρευνα σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Στα μέσα του δέκατου ένατου αιώνα, η εκβιομηχάνιση προχωρούσε με μεγάλη ταχύτητα. Μία από τις παρενέργειες ήταν η ανάγκη να έχουν καύσιμα για τις ατμομηχανές οι οποίες αποτελούσαν την κεντρική πηγή ενέργειας στα εργοστάσια. Στη Γαλλία η ανάγκη αυτή άρχισε να δημιουργεί μείζον πρόβλημα καθώς τα κοιτάσματα άνθρακα της χώρας αποδείχθηκε ότι ήταν περιορισμένα· στην ουσία σχεδόν εξαντλημένα. Αυτό ήταν ακόμη ένα πρόβλημα, καθώς οι δυνητικές εισαγωγές θα μπορούσαν να προέλθουν μόνο από την Αγγλία - τον παραδοσιακό (οικονομικό) αντίπαλο της Γαλλίας. Κατά συνέπεια, η γαλλική κυβέρνηση υποσχέθηκε οικονομική στήριξη σε κάθε ερευνητή που θα πρότεινε βιώσιμες λύσεις για τον τερματισμό της εξάρτησης της Γαλλίας από τον αγγλικό άνθρακα.

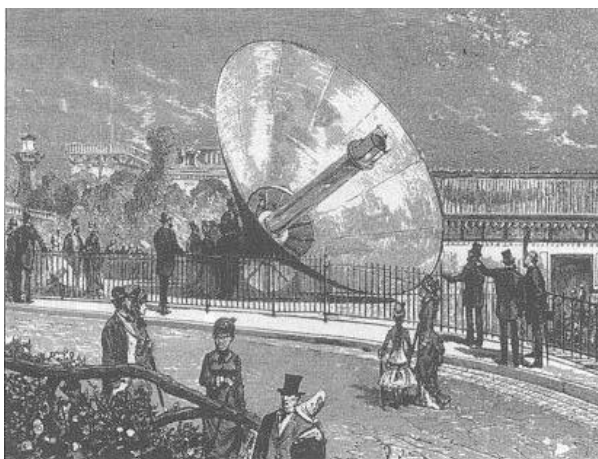
Αυτή ήταν η στιγμή που ο Γάλλος καθηγητής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης Ωγκουστίν Μουσώ (Augustin Mouchot) εισήλθε στο προσκήνιο. Ο Μουσώ πραγματοποίησε έναν συνδυασμό δύο συσκευών που ήταν γνωστός στο παρελθόν: Ένα μαυρισμένο κοίλο κύλινδρο που περιέχει νερό - μια παρόμοια συσκευή είχε χρησιμοποιηθεί πριν από το τέλος του δέκατου όγδοου αιώνα από τον Οράς Μπενεντίκτ ντε Σωσύρ (Horace Benedict de Saussure) για την πραγματοποίηση πειραμάτων

⁵ Επίσης ο Τζουλ δεν ανέφερε το άτομο το οποίο εκτελούσε το χειρωνακτικό έργο στα πειράματα τα οποία διεξήγαγε αμέσως μετά και τα οποία οδήγησαν στην ανακάλυψη του φαινομένου Τζουλ – Τόμσον (δες Sichau, 2000).

πάνω στη θερμική ακτινοβολία. Αυτό συνδυάστηκε με ένα κοίλο κάτοπτρο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να εστιάσει την ηλιακή ακτινοβολία πάνω στον κύλινδρο. Ήδη από το 1861, Μουσώ ήταν σε θέση να παράγει ατμό με τη συσκευή του. Τα επόμενα χρόνια, σκόπευε να βελτιώσει τη μηχανή για να γίνει πιο χρήσιμη για τεχνικούς σκοπούς. Οι προσπάθειες του ενισχύθηκαν οικονομικά από τη γαλλική κυβέρνηση.

Δύο ήταν τα άμεσα αποτελέσματα: Αφενός, ο Μουσώ ήταν σε θέση να αναπτύξει ηλιακά συστήματα μαγειρέματος, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ιδιαίτερα από το γαλλικό στρατό στις βόρειες αφρικανικές αποικίες τους. Οι συσκευές αυτές επέτρεπαν στους στρατιώτες να προετοιμάσουν ζεστά γεύματα χωρίς να παράγεται καπνός, μια λεπτομέρεια σημαντική από τη στρατιωτική οπτική γωνία. Οι κουζίνες χρησιμοποιήθηκαν μέχρι τον 20ο αιώνα.

Το άλλο αποτέλεσμα των προσπαθειών του Μουσώ ήταν μια ατμομηχανή που λειτουργούσε με ατμό που παράγεται από την ηλιακή συσκευή του. Ο Μουσώ επινόησε πολλές μηχανές, η μεγαλύτερη των οποίων παρουσιάστηκε στην παγκόσμια έκθεση του Παρισιού το 1878. Ο κωνικός καθρέφτης είχε διάμετρο περίπου πέντε μέτρα και ο κινητήρας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μηχανή εκτύπωσης, ενώ ήταν επίσης σε θέση να παράγει και πάγο.



Εικ. 10: Η συσκευή του Μουσώ η οποία παρουσιάστηκε στη διεθνή έκθεση του Παρισιού <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/66/Mouchot1878x.jpg>

Στον Μουσώ απονεμήθηκε το χρυσό μετάλλιο για αυτό το μηχανήμα. Ωστόσο, τα πράγματα άλ-

λαξαν και πάλι. Ένα σημαντικό πρόβλημα της μηχανής του Μουσώ ήταν το κάτοπτρο, το οποίο ήταν επικαλυμμένο μ' ένα στρώμα αργύρου. Αυτό έτεινε να οξειδώνεται, μειώνοντας έτσι την απόδοση της μηχανής ενώ παράλληλα καθιστούσε απαραίτητο το συνεχή καθαρισμό κατόπτρου. Ωστόσο, μια άλλη εξέλιξη αποδείχθηκε ακόμη πιο προβληματική για τον Μουσώ: Ανακαλύφθηκαν νέα κοιτάσματα άνθρακα στην ανατολική Γαλλία και ως εκ τούτου, η ανάγκη για την εξεύρεση μιας εναλλακτικής πηγής ενέργειας για τον κινητήρα ατμού δεν υπήρχε πια. Επιπλέον μια έκθεση ειδικών εμπειρογνομώνων της γαλλικής κυβέρνησης έκρινε μηχανή του Μουσώ οικονομικά ασύμφορη, με αποτέλεσμα η γαλλική κυβέρνηση να σταμάτησει να υποστηρίζει την έρευνα του οικονομικά. Αυτό έφερε το έργο του στο τέλος του.

Βιβλιογραφία

- Ashworth JR (1930): Joule's Thermometers in the Possession of the Manchester Literary and Philosophical Society (Journal of Scientific Instruments Vol 7, No. 11, London) pp 361 - 363.
- Ashworth JR (1931): A List of Apparatus now in Manchester which belonged to Dr. J.P. Joule, F.R.S., with Remarks on his M.S.S., Letters, and Autobiography. In: Manchester Memoirs Vol 75, No 8, 105.
- Beretta M. H. (2005). Lavoisier in Perspective. München, Deutsches Museum.
- Breger H (1982). Die Natur als arbeitende Maschine.
- Brown SC (1979): Benjamin Thomson, Count Rumford (MIT Press, Cambridge, Mass., London).
- Goldfarb SG (1977) Rumford's Theory of Heat: A Reassessment. In: British Journal for the History of Science Band 10:S. 25 - 36.
- Heering P (1992) On J.P. Joule's Determination of the Mechanical Equivalent of Heat. In: Hills, Skip (Ed.): The History and Philosophy of Science in Science Education Vol.1, Kingston, Ontario), pp 495-505.
- Herschel, W. (1800). Experiments on the Refrangibility of the invisible Rays of the Sun. Philosophical Transactions of the Royal Society 90, 284-292.
- Joule JP (1850): On the Mechanical Equivalent of Heat. Philosophical Transactions of the Royal Society of London 140, 61-82. Reprinted in Joule JP (1884): The Scientific Papers.
- Joule, JP (1872). Das mechanische Wärmeäquivalent. Braunschweig, Vieweg.
- Kuhn, TS (1959): Energy conservation as an example of simultaneous discovery. In: M. Clagett (ed.): Critical Problems

- in the History of Science. University of Wisconsin Press, Madison, 321 - 356.
- Leslie, J. (1804): An experimental inquiry into the nature and propagation of heat. London, Printed for J. Mawman.
- Mouchot, Augustin (1869), *La chaleur solaire et ses applications industrielles*. Paris.
- Olson RG (1970) Count Rumford, Sir John Leslie, and the Study of the Nature and Propagation of Heat at the Beginning of the Nineteenth Century. In: *Annals of Science* Band 26: 273 - 304.
- Roberts L. (1991). A Word and the World: The Significance of Naming the Calorimeter. *ISIS* 82: 198 - 222.
- Schiffer MB (2008): *Power struggles: scientific authority and the creation of practical electricity before Edison*. Cambridge, Mass., The MIT Press.
- Sibum HO (1995): Reworking the Mechanical Value of Heat: Instruments of Precision and Gestures of Accuracy in Early Victorian England. *Studies in the History and Philosophy of Science* 26, 73 - 106.
- Sichau C (2000): Die Joule-Thomson-Experimente: Anmerkungen zur Materialität eines Experiments. In: *NTM* 8:223-243.
- Smith C & Wise MN (1989): *Energy and Empire: A biographical study of Lord Kelvin* (Cambridge University Press, Cambridge - New York - Port Chester - Melbourne - Sydney
- Thompson, B (1781): New Experiments upon Gun-Powder, with Occasional Observations and Practical Inferences; To Which are Added, an Account of a New Method of Determining the Velocities of All Kinds of Military Projectiles, and the Description of a Very Accurate Eprouvette for Gun-Powder. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 71, 229-328
- Thompson, B. (1798). "An Inquiry concerning the Source of the Heat. Which is Excited by Friction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 88: 80-102.
- Thompson, B (1804): An Enquiry concerning the Nature of Heat, and the Mode of Its Communication. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 94, 77-182.

Κείμενο: Peter Heering

Μετάφραση στα ελληνικά: Σπύρος Κόκκοτας

Το ιστορικό Υπόβαθρο-Αναδρομή: Ενέργεια γράφηκε από τον Peter Heering με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (έργο: 518094-LLP-1-2011-1-GR-COMENIUS-CMP) και του Πανεπιστημίου του Φλένσμπουργκ της Γερμανίας. Η δημοσίευση αυτή αντανάκλα τις απόψεις του συγγραφέα και μόνον και η Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που αυτή περιέχει.