

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΑΚΤΙΝΟΜΕΤΡΟΥ Crookes

Το ακτινόμετρο είναι μια υπέροχη κατασκευή απλή και θαυματική. Δεν έχει ούτε καλώδια ούτε μαγνήτες ούτε φωτοστοιχεία υψηλής τεχνολογίας. Τίποτε από αυτά. Και όμως βάζοντάς το στον ήλιο το απολαμβάνεις να γυρίζει διαρκώς αθόρυβα και με χάρη. Η ιστορία αυτού του άρθρου ξεκινάει από τη στιγμή που θέλησα να κατασκευάσω ένα ακτινόμετρο. Έτσι ανέτρεξα στο internet για να βρω πληροφορίες για την κατασκευή του, μια διαδικασία που έχω κάνει αρκετές φορές. Για τη λειτουργία του δεν γινόταν λόγος αφού είχα την πεποίθηση ότι γνώριζα τη σωστή ερμηνεία, σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας της συσκευής. Με τις πληροφορίες όμως που άντλησα από το διαδικτυο βρέθηκα σε αρκετές εκπλήξεις. Διαπίστωσα ότι ούτε τη σωστή ερμηνεία κατείχα, ούτε και την κατασκευή μπορούσα να κάνω, τουλάχιστον με απλά μέσα. Ακόμη και ο ίδιος ο Crookes τυχαία μάλλον το κατασκεύασε, αφού όπως αναλύεται παρακάτω, η πρώτη ερμηνεία που έδωσε για τη λειτουργία της συσκευής του ήταν λανθασμένη. Σχετικά με την ερμηνεία λειτουργίας της συσκευής συναντάμε αναμειγμένα πρόσωπα που σημάδεψαν με το έργο τους τις Φυσικές Επιστήμες. Η ιστορία αρχίζει ως εξής.

Το 1873, ο διαπρεπής βικτοριανός πειραματιστής ο Sir William Crookes ερευνώντας την υπέρυθη ακτινοβολία και το στοιχείο θάλλιο, ανέπτυξε ένα ειδικό είδος ακτινομέτρου, ένα όργανο δηλαδή για τη μέτρηση της ακτινοβόλου ενέργειας της θερμότητας και του φωτός. Η συσκευή αυτή αποτελείται από έναν μύλο με τέσσερα πτερύγια, καθένα από τα οποία μαυρίζεται από τη μια πλευρά και ασημώνεται από την άλλη. Αυτά είναι συνδεδεμένα με τον άξονα ενός στροφέα που στηρίζεται κάθετα με μια βελόνα η οποία ακουμπάει σε ένα γυαλί, κατά τέτοιο τρόπο ώστε μπορεί να γυρίζει με ελάχιστη τριβή. Ο μηχανισμός είναι μέσα σε έναν σφαιρικό βολβό γυαλιού που έχει αντληθεί αέρας ώστε να δημιουργηθεί ένα σχετικά μικρό κενό 0,1torr.



Όταν το φως του ήλιου κτυπά το μύλο, τα πτερύγια γυρίζουν με τις μαύρες επιφάνειες να ωθούνται μακριά από το φως. Το Crookes θεώρησε ότι η πίεση της ακτινοβολίας ήταν αυτή που έσπρωχνε τον μύλο, όπως ακριβώς ο αέρας γυρίζει έναν ανεμόμυλο. Το έγγραφο με το οποίο περιγράφει την κατασκευή και την ερμηνεία λειτουργίας της συσκευής εξετάστηκε από τον James Clerk Maxwell ο οποίος αρχικά δέχτηκε ως σωστή την εξήγηση που έδωσε ο Crookes. Φαίνεται ότι Maxwell ενθουσιάστηκε τόσο πολύ που είδε μια συσκευή να αποδεικνύει την επίδραση της πίεσης ακτινοβολίας όπως προβλέπεται από τη θεωρία ηλεκτρομαγνητισμού του, ώστε να μην εξετάσει με λεπτομέρεια τον τρόπο λειτουργίας της συσκευής. Αλλά υπάρχει ένα πρόβλημα με αυτήν την εξήγηση. Το φως που πέφτει στην μαύρη επιφάνεια απορροφάται, ενώ αυτό που πέφτει στην ασημένια πλευρά ανακλάται. Έτσι η δύναμη που ασκείται στην ασημένια πλευρά θα πρέπει να είναι διπλάσια από αυτήν που ασκείται στην μαύρη αφού σύμφωνα με τους νόμους της κρούσης έχουμε διπλάσια μεταβολή της ορμής. Έτσι θα έπρεπε ο μύλος να γυρνάει ανάποδα.!!

Όταν διαπιστώθηκε αυτό το λάθος, δόθηκαν άλλες εξηγήσεις για την κίνηση του ακτινομέτρου και πάλι όμως λανθασμένες. Ήταν σαφές ότι η μαύρη πλευρά απορροφάει την υπέρυθη ακτινοβολία περισσότερο από την ασημένια πλευρά. Αυτό αναγκάζει τον αέρα να θερμανθεί στη μαύρη πλευρά. Μια απλοϊκή εξήγηση που δόθηκε, ήταν ότι στην μαύρη πλευρά όπου δημιουργείται αύξηση της θερμοκρασίας, δημιουργείται και αύξηση της πίεσης σε σχέση με την άλλη πλευρά που έχουμε χαμηλότερη θερμοκρασία. Η διαφορά των πιέσεων θέτει τον μύλο σε κίνηση. Ο Maxwell ανέλυσε αυτήν τη θεωρία προσεκτικά και διαπίστωσε και πάλι ένα δεύτερο λάθος. Ανακάλυψε ότι στην πραγματικότητα το θερμότερο αέριο θα επεκτεινόταν απλά κατά τέτοιο τρόπο ώστε δεν θα υπήρχε καμία συνιστώσα δύναμη από αυτήν την επίδραση. Θα είχαμε μόνο μια σταθερή ροή θερμότητας χωρίς να υπάρχει καμία διαφορά πίεσης. Έτσι η ερμηνεία αυτή είναι

λανθασμένη, αλλά ακόμη και η εγκυκλοπαίδεια Britannica δίνει αυτήν την λανθασμένη εξήγηση μέχρι σήμερα. Σαν παραλλαγή σε αυτό το θέμα, μερικές φορές λέγεται (Πανεπιστημιακή φυσική τόμος θερμότητα Κ. Αλεξόπουλου, αυτή που θεωρούσα και εγώ ως σωστή) ότι η κίνηση των καυτών μορίων στη μαύρη πλευρά του πτερυγίου παρέχει την ώθηση. Αυτό και πάλι δεν είναι σωστό. Θα ήταν σωστό μόνο εάν η μέση ελεύθερη διαδρομή μεταξύ των μοριακών συγκρούσεων ήταν τόσο μεγάλη όσο το δοχείο, αλλά στην πραγματικότητα και με το κενό που έχουμε, η ελεύθερη διαδρομή είναι μικρότερη από το ένα χιλιοστό.

Για να γίνει κατανοητό γιατί αυτές οι κοινές ερμηνείες είναι λάθος σκεφτείτε πρώτα μια απλούστερη διάταξη στην οποία ένα κυλινδρικό δοχείο που περιέχει αέριο κρατιέται ζεστό από τη μία πλευρά και κρύο στην άλλη. Εάν το αέριο συμπεριφερθεί σύμφωνα με το νόμο του ιδανικού αερίου, η πίεση πολύ γρήγορα θα εξισωθεί στο δοχείο και θα δημιουργηθεί μια σταθερή κλίση θερμοκρασίας κατά μήκος του δοχείου. Η πίεση θα είναι η ίδια σε όλες τις επιφάνειες και η συνολική δύναμη στο δοχείο θα είναι μηδέν. Η πυκνότητα θα ποικίλλει αντιστρόφως με τη θερμοκρασία κατά μήκος του δοχείου. Θα υπάρξει μια ροή της θερμότητας από το καυτό στο κρύο αλλά η δύναμη και στις δύο άκρες θα είναι η ίδια.. Οποιοσδήποτε μηχανισμό και να υποθέσετε, δεν θα έδινε συνολική δύναμη στο δοχείο αφού δεν θα υπήρχε σώμα να ασκηθεί η αντίδραση αυτής της δύναμης λόγω της αρχής δράσης αντίδρασης. Το ακτινόμετρο είναι λίγο πιο σύνθετο αλλά συμβαίνουν τα ίδια πράγματα.. Καμία συνολική δύναμη δεν μπορεί να παραχθεί από τις κανονικές δυνάμεις στις επιφάνειες των πτερυγίων επειδή η πίεση πολύ γρήγορα θα εξισωνόταν και θα είχαμε μια συνεχή ροή θερμότητας.

Μια άλλη λάθος ιδέα ήταν η θεωρία ότι η θερμότητα ατμοποιεί τα αέρια που διαλύθηκαν στο μαύρο επίστρωμα τα οποία διαρρέουν στη συνέχεια προς τα έξω. Αυτή η έξοδος των αερίων ωθεί τα πτερύγια σε κίνηση. Αυτή δεν είναι σωστή ερμηνεία αφού ο μύλος γυρίζει ακόμη και αν προηγηθεί κατάψυξη του ακτινομέτρου. Επιπλέον, εάν το αέριο αντληθεί ώστε να δημιουργηθεί ένα πολύ υψηλότερο κενό, τα πτερύγια σταματούν. Αυτό φανερώνει ότι ο έστω και λίγος αέρας που περιέχεται παίζει σημαντικό ρόλο στην περιστροφή του μύλου. Για παρόμοιους λόγους, η θεωρία ότι η περιστροφή δημιουργείται από τα ηλεκτρόνια που απομακρύνονται από τη φωτοηλεκτρική επίδραση αποκλείεται επίσης. Μια τελευταία ανακριβής εξήγηση που δίνεται μερικές φορές είναι ότι η θέρμανση οργανώνει τα ρεύματα μεταφοράς με μια τέτοια συνιστώσα που γυρίζει τα πτερύγια. Λανθασμένη και πάλι ερμηνεία. Η περιστροφή δεν μπορεί να εξηγηθεί με αυτόν τον τρόπο.

Η σωστή λύση στο πρόβλημα δόθηκε ποιοτικά από Osborne Reynolds, γνωστός για το "αριθμό Reynolds". Το 1879 ο Reynolds υπέβαλε μια εργασία στο Βασιλικό Ινστιτούτο στην οποία εξέταζε ένα φαινόμενο το οποίο κάλεσε "**θερμική εφίδρωση**", και το εφάρμοσε για την ερμηνεία της κίνησης του ακτινομέτρου. Ο Reynolds με τον όρο "θερμική εφίδρωση" εννοούσε τη ροή του αερίου μέσω των πορωδών πτερυγίων που προκαλείται από μια διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές των πτερυγίων. Εάν το αέριο έχει αρχικά την ίδια πίεση και από τις δύο πλευρές, υπάρχει μια ροή του αερίου από την πιο κρύα στην ζεστότερη πλευρά, με συνέπεια ν' αναπτύσσεται μια υψηλότερη πίεση στην πιο ζεστή πλευρά. Η σχέση που απέδειξε ο Reynolds γι' αυτό το φαινόμενο, είναι ότι ο λόγος των πιέσεων από τις δύο πλευρές είναι ίσος με την τετραγωνική ρίζα του λόγου των απολύτων θερμοκρασιών.

Εάν τα πτερύγια ενός ακτινομέτρου δεν είναι πορώδη το ακτινόμετρο και πάλι λειτουργεί λιγότερο όμως έντονα. Για την ερμηνεία επομένως, κάποιος πρέπει να στρέψει τώρα την προσοχή του όχι στις επιφάνειες των πτερυγίων, αλλά στις άκρες τους. Η επίδραση αυτή είναι γνωστή ως **θερμικός ερπυσμός** δεδομένου ότι αναγκάζει τα αραιά αέρια να σέρνονται κατά μήκος μιας επιφάνειας όπου υπάρχει μια κλίση θερμοκρασίας πηγαίνοντας από το ζεστό στο κρύο. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η λειτουργία του ακτινομέτρου οφείλεται σε δύο φαινόμενα. Στη θερμική εφίδρωση αφενός και στον θερμικό ερπυσμό αφετέρου.

Ο Maxwell εξέτασε το έγγραφο του Reynolds και έτσι ενημερώθηκε για την πρόταση ερμηνείας του Reynolds. Ο Maxwell έκανε αμέσως μια λεπτομερή μαθηματική ανάλυση του προβλήματος, και υπέβαλε την εργασία του, «για τις πιέσεις στα αραιά αέρια που προκύπτουν από τις ανισότητες της θερμοκρασίας» το 1879, λίγο πριν το θάνατό του. Στο έγγραφο δέχτηκε ότι η πρόταση του Reynolds σχετικά με την επίδραση στις άκρες των πτερυγίων είναι σωστή, αλλά επέκρινε τη μαθηματική επεξεργασία του Reynolds. Το έγγραφο βέβαια του Reynolds δεν είχε εμφανιστεί ακόμα (δημοσιεύθηκε 1881), και είναι γεγονός ότι ο Maxwell όχι μόνο εμφάνιζε πρώτο τον εαυτό του στην ερμηνεία λειτουργίας του ακτινομέτρου αλλά επέκρινε και μια εργασία του Reynolds η οποία ήταν αδημοσίευτη.! Ο Reynolds θέλησε να διαμαρτυρηθεί στο Βασιλικό Ινστιτούτο γι' αυτό, αλλά στο μεταξύ ο Maxwell πέθανε και μια τέτοια διαμαρτυρία δεν είχε πλέον νόημα.



Τελικά είναι δυνατό να μετρηθεί η πίεση ακτινοβολίας με μια παρόμοια συσκευή;. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πολύ καλύτερο κενό 10^{-6} torr, ώστε να αποφευχθούν τα φαινόμενα θερμικού ερπυσμού, καθώς και να ντυθούν τα πτερύγια με ένα αδρανές γυαλί για να αποτραπούν φαινόμενα θερμικής εφίδρωσης. Εάν γίνουν αυτά, τότε τα πτερύγια εκτρέπονται αντίθετα, όπως ακριβώς προβλέπει η ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell. Το πείραμα είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί, αλλά έγινε αρχικά επιτυχώς το 1901 από τον Pyotr Lebedev και αργότερα από τους Eeneest Nichols και Gordon Hull.

Αναφορές

Αρχικά έγγραφα από Maxwell και το Reynolds:

"για τις πιέσεις στα αραιά αέρια που προκύπτουν από τις ανισότητες της θερμοκρασίας" James Clerk Maxwell, Βασιλικό Ινστιτούτο Phil. Δια. (1879)

"Σε ορισμένες διαστατικές ιδιότητες του θέματος στο αεριώδες μέσο " Osborne Reynolds, Βασιλικό Ινστιτούτο Phil.Συνδιαλλαγή, PT 2, (1879)

Αρχικά έγγραφα για την ανίχνευση της πίεσης ακτινοβολίας:

P.N. Lebedev, ANN Phys. (Λειψία) 6:433 (1901)

E.F. Nichols και G.F. Hull, Phys περιστροφή 13:307 (1901)

Οι ιστορικές λεπτομέρειες λαμβάνονται από αυτές τις πηγές:

"Η μεγαλοφυΐα James Clerk Maxwell" από τον Keith J. Laidler σε Phys 13 ειδήσεις του Πανεπιστημίου του τμήματος Φυσικής του Βατερλώ

Μερικά χρήσιμα άρθρα για το ακτινόμετρο:

"Ακτινόμετρο Crookes και Otheoscope" Norman Heckenberg, δελτίο της επιστημονικής ακαδημίας οργάνων, 50, 40-42 (1996)

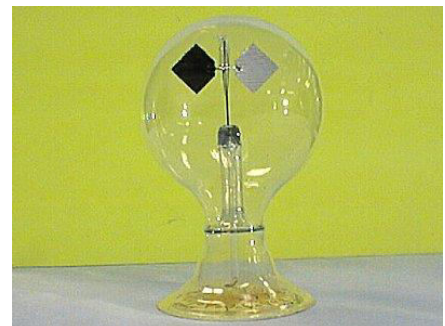
"Σχετικά με τη δράση του Crookes ραδιομέτρου" Gordon Φ. Hull, αμερικανικό Θ*ι. Phys., 16, 185-186 (1948)

"Το ακτινόμετρο και πώς δεν λειτουργεί" Arther E. Woodruff, ο δάσκαλος φυσικής 6, 358-363 (1968)

Γενικά βιβλία κειμένων:

"Φως", R. W. Ditchburn, Blackie & γιος (1954)

" Η κινητική θεωρία δηλητηριάζεται με αέρια", Kennard, McGrawHill (1938)



© Πάνος Μουρούζης