

Η έννοια της ενέργειας δια μέσου των αιώνων από τον Ηράκλειτο μέχρι τον Mayer μέσα από τις ζωές των πρωτοπόρων ιατρών, βιολόγων, χημικών και.... ελάχιστων φυσικών

Χαράλαμπος Κασωτάκης Φυσικός ,Πειραματικό Λύκειο Ρεθύμνου

- Αριστοτέλης

- Θεμελίωσε την ανατομία, την εμβρυολογία και τη φυσιολογία.
- Χρησιμοποίησε την παρατηρησιακή μέθοδο και την αφαιρετική λογική.

Η ιστορία αρχίζει με τον Αριστοτέλη (αν και τον όρο τον χρησιμοποίησε πρώτος ο Ηράκλειτος 535-450 π.χ.) που δίνει την πρώτη περιγραφή για τη ζωική θερμότητα σαν μια «εσωτερική φλόγα» που τροφοδοτείται από τον εισπνεόμενο αέρα και οι ατμοί της αποβάλλονται με τον εξερχόμενο αέρα. Αυτή η έννοια είναι περισσότερο κοντά στην σημερινή έννοια της ενέργειας στη Φυσική από όλες τις άλλες έννοιες του Αριστοτέλη.

Ας σημειωθεί ότι στο βιβλίο του Αριστοτέλη « Ηθικά Νικομάχεια» που πρωτοεμφανίζεται ο όρος « ενέργεια» έχει διαφορετική ερμηνεία από σύγχρονη έννοια του όρου που χρησιμοποίησε πρώτος ο Thomas Young στις διαλέξεις του το 1802 στη Βασιλική Εταιρία (Royal Society), αντί του όρου vis viva που χρησιμοποιούνταν μέχρι τότε(1)(2)(3).

Ὡστε ἡ τοῦ θεοῦ ἐνέργεια, μακαριότατη διαφέρουσα, θεωρητικὴ ἀν εἶη» Εμφανίζεται «Και ἐνὶ δὴ λόγῳ ἐκ τῶν ὁμοίων ἐνεργειῶν αἱ ἔξεις γίνονται. Διὸ δεῖ τὰς ἐνεργείας ποιάς ἀποδιδόναι· κατὰ γὰρ τὰς τῶν τοιοῦτων διαφορὰς ἀκολουθοῦσιν οἱ ἔξεις»

- Μετάφραση : Και με ένα λόγο λοιπόν από όμοιες ενέργειες διαμορφώνονται τα όμοια στοιχεία του χαρακτήρα μας. Γι' αυτό πρέπει να προσδίδουμε μια ορισμένη ποσότητα στις ενέργειες μας· γιατί σύμφωνα με τις διαφορές τους διαμορφώνονται και τα μόνιμα στοιχεία του χαρακτήρα μας.

Ο Αριστοτέλης λέει και για την «πρώτη ύλη» που την θεωρεί ως πηγή όλων των πραγμάτων όλων των εν ενεργεία όντων ... σύμφωνα με αυτόν η «πρώτη ύλη» εμπεριέχει μορφή «εν δυνάμει». Η μετάβαση από την «πρώτη ύλη» στη «μορφή» από το « εν δυνάμει εις το εν ενεργεία ον» είναι η φυσική συνέπεια της « μεταξύ τους υφιστάμενης αέναης κίνησης».

Αρα «Η Φυσική του Αριστοτέλη είναι στην πραγματικότητα μια ψευδοεπιστήμη από την οποία, μέσα σε δύο χιλιάδες χρόνια, δεν προήλθε ούτε μία ανακάλυψη ούτε μία εφεύρεση ούτε μία καινούρια ιδέα» γράφει ο Arthur Koestler στους «Υπνοβάτες» το 1960.18)

- Γαληνός 16)

► Συνέβαλλε στην καλύτερη κατανόηση πλήθους αντικειμένων όπως πέψη, νευρικοί παλμοί, σπονδυλική στήλη, σχηματισμός αίματος, αναπνοή, καρδιακοί παλμοί, ο πρώτος που κατάλαβε την αξία του σφυγμού και τον χρησιμοποίησε ως διαγνωστικό εργαλείο.

► Η συμβολή του Γαληνού συνιστάται στις παρατηρήσεις του σε ζώα(εκείνη την εποχή απαγορεύονταν οι παρατηρήσεις σε ανθρώπους) και όχι τόσες στις θεωρίες του που ήταν λανθασμένες όπως και όλων σχεδόν των φιλοσόφων της εποχής του.

Ο Γαληνός, πρώην γιατρός σε ρωμαϊκή σχολή μονομάχων, υποστήριξε ότι ο εισπνεόμενος αέρας ρέει από τους πνεύμονες προς την καρδιά όπου έρχεται σε επαφή με το αίμα που έχει ήδη σχηματιστεί από την τροφή με την πέψη σχηματίζοντας έτσι το « πνεύμα » που δίνει στο αίμα το λαμπρό κόκκινο χρώμα. Μετά μεταφέρεται το αίμα με τις αρτηρίες στο υπόλοιπο σώμα όπου και «καταναλώνεται από τους ιστούς» ενώ η φλέβες ανακυκλώνουν το αίμα από το ένα μέρος του σώματος σε ένα άλλο.

- Michael Serveto (1511-1557)

Ο πρώτος που περιέγραψε σωστά την κυκλοφορία του αίματος από την καρδιά στους πνεύμονες και αντίστροφα ήταν ο Michael Serveto γύρω στο 1550 όπως και ο Realdo Columbus (1516 – 1559) όπου όμως συνεχίζουν να πιστεύουν την άποψη του Γαληνού ότι το αίμα «καταναλώνεται στους ιστούς».

- William Harvey (1568 -1657)

Πριν το Harvey επικρατούσε η άποψη του Αριστοτέλη, στην οποία πίστευε αρχικά και ο ίδιος, ότι το αίμα περιέχει «ζωοποιό πνεύμα» που εμφυσούσε ζωή στα ζώα. Το 1628 τον προβληματίσε ο υπολογισμός ότι το αίμα σε μισή ώρα θα είχε εξαντληθεί αν θεωρούνταν η καρδιά ως αντλία. Με πειράματα και ένα απλό υπολογισμό ανακάλυψε πως το αίμα δεν «καταναλώνεται» στους ιστούς αλλά η καρδιά ήταν ένας μυς με μονόδρομες βαλβίδες που διοχετεύει το αίμα προς τα έξω με συστολή και ότι το ίδιο αίμα ρέει σε κύκλο από την καρδιά προς της αρτηρίες και από τις φλέβες πάλι πίσω στην καρδιά. Παρά τις προσεκτικές παρατηρήσεις του ο Harvey δεν κατάφερε να εξηγήσει πως το αίμα περνούσε από τις μικροσκοπικές αρτηρίες στις φλέβες. Το 1661 ο Marcello Malpighi (1628 – 1694) χρησιμοποιώντας ένα απλό μικροσκόπιο με μονό φακό παρατήρησε στους πνεύμονες ενός βατράχου το πέρασμα του αίματος από τα τριχοειδή αγγεία ολοκληρώνοντας έτσι την κυκλική διαδρομή της κυκλοφορία του αίματος.

- Francis Bacon (1561 – 1526)

Γράφει για αυτό που η αφή αντιλαμβάνεται ως ζεστό καλώντας το «θερμότητα». Για τον Μπέικον, η εύρεση της ουσίας ενός πράγματος ήταν μια απλή διαδικασία μείωσης καθώς και η χρήση της επαγωγικής συλλογιστικής. Κατά την εύρεση της αιτίας της «πρωτοφανούς φύσης», όπως η θερμότητα, πρέπει κανείς να απαριθμήσει όλες τις περιπτώσεις όπου βρίσκεται θερμότητα. Στη συνέχεια, πρέπει να καταρτιστεί ένας άλλος κατάλογος, μια λίστα με καταστάσεις που είναι παρόμοιες με εκείνες του πρώτου καταλόγου εκτός από την έλλειψη της θερμότητας. Ένας τρίτος κατάλογος παραθέτει καταστάσεις όπου η θερμότητα μπορεί να ποικίλει. Η «μορφή της φύσης», η αιτία, της θερμότητας πρέπει να είναι αυτό που είναι κοινό σε όλες τις εμφανίσεις του πρώτου πίνακα, που λείπει από όλες τις περιπτώσεις του δεύτερου πίνακα και διαφέρει ανάλογα με το βαθμό και στις περιπτώσεις του τρίτου πίνακα.¹³⁾

Στην πραγματεία του για τη θερμότητα που εμπεριέχεται στο *Novum Organon* αναφέρει ως μορφές θερμότητας τις ακτίνες του ήλιου, τη φωτιά, το ζεστό νερό και ζεστά υγρά γενικότερα, τα σώματα που έχουν τριφτεί απότομα και την ζωική θερμότητα που υπάρχει στο εσωτερικό των ζώων και π.χ. στα περιττώματα τους β.λ. Στο κεφάλαιο *Comparative Instances of Heat* γράφει ότι η ζωική θερμότητα αυξάνεται με π.χ. την κίνηση & άσκηση, πυρετό, πόνο, κρασί και διασκέδαση, κ.λ.π. (Να σημειωθεί ότι ο Machiavelli που έζησε τα έτη 1469-1537 είχε γράψει ότι η ενέργεια είναι βασικό γνώρισμα του Ηγεμόνα). Βέβαια γράφει και για απώλεια θερμοκρασίας από ένα ζεστό σώμα σε ένα κρύο καθώς η διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία και τη θερμότητα ξεκαθαρίστηκε το 1750. Όμως η έννοια πολύ απέχει από το να είναι ξεκάθαρη: γράφει για το «έγκαυμα» που προκαλεί ο πάγος στο δέρμα σαν μορφή θερμότητας ή το «κάψιμο» στη γλώσσα όταν τρώμε μια «καυτή» τροφή π.χ. μπαχαρικά, «έγκαυμα» από οξέα στο δέρμα κ.α.

- Descartes

Κλασικό παράδειγμα «ιατρομηχανικού» Η ζωική θερμότητα παράγεται με την τριβή ανάμεσα στα μέρη του σώματος.

- Paracelsus (1493 – 1541)

Κλασικό παράδειγμα «χημειομηχανικού» Η ζωική θερμότητα παράγεται με κάποιου είδους ζύμωσης (ανάλογα με αυτήν που μετατρέπει το μούστο σε κρασί) συγκεκριμένα από μια αντίδραση κάποιας αζωτούχου ουσίας που υπάρχει στον εισπνεόμενο αέρα με κάποιο θειούχο υλικό που υπάρχει στους ιστούς. Αντικατέστησε τα συστατικά που αποτελούν τον κόσμο του Αριστοτέλη: γη, πυρ, αήρ, και ύδωρ με θείο, υδράργυρο και άλας.

- Robert Hook (1635 – 1703).

Απέδειξε πειραματικά ότι υπάρχει ένα συστατικό του αέρα που καταναλώνεται απαραίτητα και στην καύση και στην αναπνοή. Στο πείραμα του με κλειστό δοχείο όπου είχε αφαιρεθεί με αντλία ο αέρας η φωτιά έσβηνε αμέσως, το ίδιο γρήγορα πέθαινε και ένα ποντίκι. Ο αέρας που έμενε στο δοχείο μετά το σβήσιμο των αναμμένων κάρβουνων δεν μπορούσε να

διατηρήσει τη φωτιά ή την ζωή ενός ζώου. Στο ίδιο δοχείο ένα ποντίκι ζούσε παραπάνω όταν υπήρχε αέρας, άρα ο θάνατος του δεν οφειλόνταν στην δημιουργία βλαβερού αερίου με την εκπνοή αλλά στην έλλειψη κάποιου ζωτικού αερίου. Τις απόψεις του συμμερίζονταν και ο Robert Boyle (1627 – 1703)

- John Mayow (1640 – 1679), Richard Lower(1651 -1659) (9)

Διατύπωσαν την υπόθεση ότι υπάρχει ένα συστατικό του αέρα (το ονόμασαν spiritus nitro-aereus) που απορροφάται από το αίμα στους πνεύμονες. Εκεί ενώνεται χημικά με κάποιες θειούχες ενώσεις και μέσα από μια αδιάκοπη ζύμωση δημιουργεί την «ενέργεια με μορφή θερμότητας» που μεταφέρεται μέσω του αίματος στους ιστούς. Σύμφωνα με τον Lower σε αυτή η χημική αντίδραση οφείλεται το ανοιχτό κόκκινο χρώμα των αρτηριών.

- Οι απόψεις αυτές του 17^{ου} αιώνα δεν επεκτάθηκαν στο πρώτο μισό του 18^{ου} αιώνα. Η μεγάλη επιτυχία των ιδεών του Νεύτωνα κέρδισε την ιατρομηχανική άποψη, έτσι οι φυσιολόγοι άρχισαν να πιστεύουν ότι η ζωική θερμότητα δεν οφειλόταν σε χημικές αντιδράσεις αλλά σε τριβές του αίματος με στενά τοιχώματα.

- Denis Papin (1647-1712)17)

Το 1690 ο Γάλλος γιατρός και φυσικός Denis Papin στην πραγματεία του « Ένας νέος τρόπος να πετύχουμε μεγάλη κινητική ισχύ με χαμηλό κόστος» χρησιμοποίησε τον όρο της *ενέργεια* σε μια κάπως σύγχρονη έννοια του όρου. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με Papin, η δυναμική προς τα κάτω κίνηση ενός εμβόλου, από την πίεση της ατμόσφαιρας, σε ένα κενό κύλινδρο, αφού εκκενωθεί από την ταχεία συμπίκνωση του ατμού, η οποία δημιουργείται έτσι ένα μερικό κενό, είναι ανάλογη προς μια ποσότητα ενέργειας. Με δικά του λόγια:

"Η γρήγορη συμπίκνωση του ατμού στην μηχανή(αντλία) δίνει την κίνηση που απαιτείται, η οποία είναι μια αύξηση ενέργειας σε αναλογία με το μέγεθος του σωλήνα. "

- Θεωρία φλογιστού

Από την άλλη η θεωρία του φλογιστού από την ελληνική λέξη *φλόγιστρον* (που σήμαινε εύφλεκτο) που προτάθηκε από τον Γιόχαν Γιοαχίμ Μπέχερ (1635-1682) και επεκτάθηκε από τον Georg Ennst Stahl (1660 – 1734). Η θεωρία αυτή έλεγε ότι υπήρχε μια «ουσία» το *φλογιστόν* που περιείχαν όλα τα εύφλεκτα σώματα και απελευθερωνόταν κατά την καύση της οργανικής ύλης και κατά τη θερμική επεξεργασία μετάλλων παρουσία αέρα. Με αυτόν τον τρόπο τα μέταλλα μετατρέπονταν στα αντίστοιχα, με τη σημερινή ορολογία, οξείδια. Ο άνθρωπος θεωρούνταν σχεδόν καθαρό φλογιστό και έτσι όταν καίγονταν ένα οξείδιο μετάλλου με άνθρακα το οξείδιο πίστευαν ότι επανακτούσε το φλογιστό του. Αν και ο Stahl γνώριζε ότι ένα οξείδιο μπορεί να είναι βαρύτερο από το αντίστοιχο μέταλλο προσπαθούσε το δικαιολογήσει αυτό με διάφορες εικασίες π.χ. θεωρώντας ότι το φλογιστό έχει αρνητικό βάρος. Η θεωρία αυτή ερμήνευε την καύση, οξείδωση, αποτέφρωση και αναπνοή δεν ήταν συμβατή με την ιδέα ενός συστατικού του αέρα που δεσμεύεται με το υλικό που οξειδώνεται (και επιπλέον προκαλεί την αύξηση του βάρους που παρατήρησαν οι Hook και Boyle στην οξείδωση των μετάλλων). Το χειρότερο για τη θεωρία του φλογιστού ήταν ότι ήταν σχεδόν σωστή με την έννοια ότι κάτι μεταβιβαζόταν από το θερμότερο στο ψυχρότερο σώμα αλλά ενέργεια και όχι ύλη.

- Robert Black (1728 – 1799) 5)

Ανήκει στους «ιατροχημικούς» εξ' αιτίας της σημασία που έδωσε στο ρόλο της Χημείας στα φάρμακα. Ο Black ανέλαβε την έδρα της Χημείας στο πανεπιστήμιο της Γλασκώβης (Glasgow) το 1756 όπου διαδέχτηκε το δάσκαλο του, επίσης «ιατροχημικό» William Cullen (1710 – 1790) που μόλις είχε φύγει για το πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου. Μετά από δέκα χρόνια ο Black ξαναδιαδέχτηκε το δάσκαλο του στο πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου.

Στις διαλέξεις του στη Γλασκώβη που διακρίνονταν για την καθαρότητα και τη σαφήνεια τους, ο Black έδινε κυρίως διαλέξεις και έγραψε μόνο τρία άρθρα), ο Black εξηγεί τις θεωρητικές και πειραματικές αποδείξεις που τον οδήγησαν στο διαχωρισμό για πρώτη φορά

στην ιστορία στη διαφορά ανάμεσα στην έννοιες θερμοκρασία και θερμότητα. Στο Black οφείλονται η κατανόηση της έννοιας θερμοχωρητικότητα και η κατανόηση και ονοματοδοσία των εννοιών «ειδική θερμότητα» ενός σώματος και «λανθάνουσα θερμότητα» για την ενέργεια που απορροφάται ή διαχέεται στις αλλαγές φάσης, π.χ. από στερεό σε υγρό, υπό σταθερή θερμοκρασία. Μέτρησε, με μεγάλο σφάλμα όμως, την λανθάνουσα θερμότητα τήξης του νερού. Για τη φύση της θερμότητας ο Black πιστεύει ότι πρόκειται για υλικό. Ο νεαρός βοηθός του James Watt θεωρούσε επίσης την θερμότητα σαν ένα υλικό που μπορεί να αντιδράσει χημικά με το νερό και να προσδώσει με αυτό τον τρόπο στον ατμό ελαστικότητα.

Ενώ τα χρόνια του Black υπήρχαν αξιόπιστα θερμόμετρα παρουσιάστηκε τώρα η ανάγκη για ένα εργαλείο για θερμιδομετρικές μετρήσεις. Το θερμιδόμετρο πάγου που χρησιμοποίησε πρώτη φορά ο Λαβουαζιέ (ο οποίος χρησιμοποίησε για πρώτη φορά και τον όρο «θερμιδόμετρο») και το θερμιδόμετρο ανάμειξης που χρησιμοποίησε ο Crawford αναπαριστούν την μετάβαση στην κατανόηση της άμεσης σχέσης ανάμεσα στη «ζωική θερμότητα» και την αναπνοή.

Σε σχέση με την αναπνοή είναι σημαντικό να επισημάνουμε άλλη μια συνεισφορά του Black. Στα πειράματα του το 1756 παρατήρησε ότι, κατά τη διάρκεια της οξειδωσης (ένωσης με οξυγόνο) όπως *magnesia alba* (Οξειδίο του μαγνησίου MgO , ονομάστηκε έτσι σαν το λευκό ορυκτό της μαγνησίας σε αντιδιαστολή με το *magnesia negra* ένα μαύρο ορυκτό που περιέχει αυτό που ονομάζεται σήμερα μαγγάνιο Mn με ονομασία από την Ελληνική περιοχή Μαγνησία) παραγόταν αυτό που αυτός ονόμασε «σταθερό» αέρα “fixed air” ένας «αέρας» πυκνότερος από τον ατμοσφαιρικό που δεν μπορούσε να διατηρήσει την καύση ή την αναπνοή στα ζώα. Το ίδιο αέριο με την ονομασία “gas silvestre” είχε παρατηρηθεί από τον Jan Baptista Van Helmont (1577 – 1644) στην καύση του ξύλου. Ο Black έδειξε ότι είχε την ίδια χημική σύσταση με τον «αέρα» της εκπνοής ή της καύσης ξυλοκάρβουνου καθώς έδειξε ότι όταν περνούσαν φυσαλίδες από τον αποβαλλόμενο αέρα και στις δύο διαδικασίες σε ένα ασβεστούχο υδατικό διάλυμα δημιουργούνταν με καθίζηση άλατα ανθρακικού ασβεστίου. Το ίδιο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε με το «ελαστικό υγρό» που παραγόταν από την αλκοολική ζύμωση. Βελτιωμένο ποσοτικά το πείραμα του Black θα χρησιμοποιηθεί από τον Λαβουαζιέ και από τον Crawford για να υπολογιστεί η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που εκπνέεται από τους ζωντανούς οργανισμούς.9)

- Antoine – Laurent Lavoisier (1743 – 1749)

▶ Απόρριψη θεωρίας φλογιστού, διατήρηση μάζας.

▶ Στη Χημεία κατανόηση βιολογικής και χημικής σημασίας του οξυγόνου και το ρόλο που παίζει στην καύση(1772), απόδειξη ότι το θείο είναι στοιχείο και όχι ένωση(1777), ονοματοδοσία οξυγόνου (1778) και υδρογόνου(1783), πρόβλεψη ύπαρξης του πυριτίου(1787) σωστή χρήση χημικής ισορροπίας, νέο σύστημα ονοματολογίας στα οξείδια, οξέα και άλατα, διάκριση απλών και σύνθετων σωμάτων, ανακάλυψη αζώτου, εφεύρεση του χημικού ζυγού και διαχωρισμός του νερού στα συστατικά του. Η θεωρία της καύσης με οξυγόνο του Λαβουαζιέ έγινε ενθουσιωδώς δεκτή στη Γαλλία αλλά αντιμετωπίστηκε αρχικά με επιφύλαξη στην Αγγλία.

Θερμιδική θεωρία

Κατά τη διάρκεια του 1773 ο Λαβουαζιέ έκανε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για το «fixed air» και επανέλαβε τα πειράματα των άλλων επιστημόνων πάνω σε αυτόν. Το 1774 εξέδωσε ένα βιβλίο με αυτό το θέμα με τίτλο *Opusculs physiques et chimiques* (δοκίμιο στη φυσική και τη χημεία). 6) Εκεί έκανε και την πρώτη του μελέτη πάνω στη δουλειά του Black που είχε κάνει πολλά πειράματα ανάμεσα σε αυτό που ονόμαζαν τότε «ήπιο αλκάλιο» (mild alkalie) π.χ. το άλας ανθρακικό ασβέστιο($CaCO_3$) και στην καυστική μορφή του αντίστοιχου οξειδίου π.χ. οξείδιο του ασβεστίου (CaO) που ονομαζόταν τότε «καυστικό αλκάλιο» (caustic alkalie). Έδειξε ότι το ανθρακικό ασβέστιο περιέχει επιπλέον «fixed air» (αυτό που ονομάζουμε σήμερα διοξείδιο του άνθρακα CO_2) που αποτελεί και συστατικό της ατμόσφαιρας. Επίσης ανακάλυψε ότι ο «fixed air» είναι το ίδιο με τον αέρα που σχηματίζεται όταν τα μεταλλικά οξείδια αντιδρούν με ξυλοκάρβουνο και πρότεινε ότι ο αέρας που ενώνεται με τα μέταλλα στην οξείδωση και αυξάνει το βάρος τους είναι ο «fixed air» του Black δηλαδή το διοξείδιο του άνθρακα όπως ονομάζεται σήμερα.

Όταν ο Priestley παρατήρησε το οξυγόνο το 1774, το ερμήνευσε ως «αποφλογιστικοποιημένο αέρα»: αέρα που από έλλειψη φλογιστού, ωθούσε υλικά πλούσια σε « ευφλεκτότητα» να καίγονται πιο έντονα. Ποιο γνωστή από την ανακάλυψη του «fixed air» είναι η ανακάλυψη, μεταξύ 1772 και 1774 του «αέρα της φωτιάς» (fire air) από τον σουηδό φαρμακοποιό Carl Wilhelm Scheele(1742 – 1786) και του «απαλλαγμένου από Φλογιστό» αέρα « dephlogisticated air” από τον Joseph Priestley (1733 – 1804). Ο Priestley, ερεύνησε τα αποτελέσματα του οξυγόνου στην αναπνοή παρατηρώντας πόσο «παράξενα εύκολη και ανάλαφρη» γινόταν η αναπνοή με αυτό. Η μέθοδος παραγωγής οξυγόνου με θέρμανση οξειδίων του υδραργύρου δεν ήταν νέα. Ο Scheele είχε κάνει το πείραμα πριν λίγα χρόνια. Ο Scheele ονόμασε το αέριο του «αέρα της φωτιάς» και ανακάλυψε ότι ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται από ένα μέρος «αέρα της φωτιάς» και τέσσερα μέρη «ανενεργού αέρα» που δεν αντιδρά.(αζώτου με τη σημερινή ορολογία)

Ο Priestley παρατήρησε ότι αυτός ο «αέρας» ευνοεί την οξείδωση, την καύση και την αναπνοή περισσότερο από τον κοινό αέρα. Η μεγάλη συνεισφορά του Λαβουαζιέ σε αυτή τη σχέση ήταν η απόρριψη της θεωρίας του φλογιστού (με τη συστηματική χρήση του ζυγού) και η ανακάλυψη ότι η καινούρια ουσία, που αυτός ονόμασε για πρώτη φορά στην ιστορία οξυγόνο, δεν χαρακτηριζόταν μόνο από την αέρια φάση του αλλά μπορούσε να συμμετέχει στη χημική σύνθεση και να συνεισφέρει στο βάρος υγρών και στερεών. Ο Λαβουαζιέ επίσης θεωρούσε την θερμότητα(ή θερμιδική) όπως την ονόμαζε, αυτός πρώτος χρησιμοποίησε σαν όρο την λέξη *θερμότητα*, σαν μια άφθαρτη ουσία και τη λανθάνουσα θερμότητα σαν μια προσωρινά αδρανή μορφή θερμότητας που μπορούσε όμως να ελευθερωθεί και να ανιχνευτεί από το θερμιδόμετρο.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι απόψεις για τη θερμότητα ως ουσία(αβαρής ή όχι) και ως είδος κίνησης π.χ. ταλάντωση θεωρούνταν σωστές αφού κανείς δεν είχε επισημάνει κάποια διαφορά ή αντίθεση σε αυτές.

Σε μια σειρά πειράματα που έγιναν σε ζώα στο εργαστήριο τα χρόνια 1776-7 ο Λαβουαζιέ σε συνεργασία με τον Pierre Simon de Laplace (1749-1824) επιβεβαίωσε ότι , κατά τη διάρκεια της αναπνοής καταναλώνεται οξυγόνο και εκπνέεται ο σταθερός αέρας « fixed air ”. Μετρώντας τα ποσά θερμότητας και «σταθερού» αέρα που παράγεται στην λειτουργία της αναπνοής, βρήκαν ότι ο λόγος τους ήταν , με ακρίβεια ανάλογος με τον αντίστοιχο από την καύση του κάρβουνου. Μια καλύτερη (αν και όχι απόλυτη) συμφωνία ανάμεσα στους δύο λόγους ανακαλύφθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε κεριό στη θέση του ξυλοκάρβουνου, το οποίο τους οδήγησε να υποθέσουν ότι η οξείδωση του υδρογόνου, με τη μορφή υδρατμών, δρούσε επίσης ανταγωνιστικά στην παραγωγή ζωικής θερμότητας. Υπέθεσαν επίσης ότι μια « αργής οξείδωσης » διαδικασία λάμβανε χώρα στους πνεύμονες με το απαιτούμενο υλικό (άνθρακας και υδρογόνο) να τροφοδοτείται συνεχώς από την τροφή.

- Τα ίδια χρόνια ο Adair Crawford (1748 – 1795) τον οποίο οι Λαβουαζιέ και Λαπλάς πρόλαβαν κατά ένα χρόνο στο να βρουν την ισοδυναμία ανάμεσα στην οξείδωση, καύση και αναπνοή έκανε παρόμοια πειράματα χρησιμοποιώντας θερμιδόμετρο ανάμειξης. Μετρώντας ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας με μορφή θερμότητας και διοξειδίου του άνθρακα διατηρώντας την θερμοκρασία του ζώου σταθερή, για να αποφύγουν ασυμφωνίες που είχαν λάβει χώρα στα πειράματα των Λαβουαζιέ και Λαπλάς και οφείλονταν στις διαφορετικές συνθήκες μέτρησης (στη θερμοκρασία τήξης του πάγου για τη θερμότητα και θερμοκρασία σωματίου για το «σταθερό» αέρα).

Σε συνεργασία με το νεαρό βοηθό του Armand Séguin (1767-1835) – ο οποίος δέχτηκε να γίνει μέχρι ανθρώπινο πειραματόζωο κουβαλώντας ένα βάρος 15 λιβρών σε ύψος 613 ποδιών – ο Λαβουαζιέ μέτρησε την αύξηση της συχνότητας αναπνοής και καρδιακού παλμού κάτω από σωματική προσπάθεια και συμπέρανε ότι η ποσότητα του εισπνεόμενου οξυγόνου είναι ανάλογη του βάρους που ανυψώθηκε. Αφού το «καύσιμο» προερχόταν από την τροφή μια κουραστική δουλειά απαιτούσε καλύτερη διατροφή. Αυτή είναι η πρώτη φορά που το ανθρώπινο έργο-μετρημένο σε ανυψωμένα βάρη- ακόμα και σε πνευματική προσπάθεια(π.χ. ενός φιλόσοφου που διαλογίζεται).

- Μια αληθινή επανάσταση έλαβε χώρα εδώ. Η αποδοχή της φυσικομηχανικής βάσης της αναπνοής (μια πρώην ζωτική λειτουργία) διαίρεσε την τότε επιστημονική κοινότητα. Απέναντι σε αυτούς που είχαν τέτοια υλιστική άποψη υπήρχαν φωνές από μαθηματικούς, φυσικούς, χημικούς και βιολόγους. Στον Γαλλοϊταλό μαθηματικός Joseph Louis Lagrange(1736-1813) χρεώνεται η υπόθεση ότι η διαδικασία της οξείδωσης που είναι υπεύθυνη για τη ζωική θερμότητα δεν λαμβάνει χώρα στους πνεύμονες αλλά το εισπνεόμενο οξυγόνο διαλύεται εξ’ ολοκλήρου στο αίμα και μεταφέρεται από το αίμα στα περισσότερα περιφερειακά μέρη του σώματος.9)

- Lassarò Spallanzani (1729-99)

Ο Ιταλός φυσιολόγος Lassarò Spallanzani, ένας ένθερμος υποστηρικτής της «πεφωτισμένης θεωρίας του Λαβουαζιέ» τα τελευταία χρόνια της δραστηριότητάς του έδειξε ότι οι βάτραχοι επιβίωσαν μετά την αφαίρεση των πνευμόνων τους αλλά όχι όταν το δέρμα τους είχε καλυφθεί με επίχρισμα (όπως βερνίκι) άρα υποδηλώνοντας κάποια αναπνοή. Ο Γερμανός ερευνητής και επιστήμονας Alexander von Humboldt(1769-1859) έκανε επίδειξη κατανάλωσης οξυγόνου από ένα μονωμένο μυϊκό ιστό. Προηγήθηκε λοιπόν των πειραμάτων των Liebig (1802-1873) που παρήγαγε διοξείδιο του άνθρακα από μυϊκές ίνες; περιβαλλόμενες από νερό(αντί για αίμα) και του Herman von Helmholtz με παραγωγή ενέργειας με μορφή θερμότητας από συσπάσεις (ηλεκτρικά διεγερμένων) μονωμένων μυών βατράχων. Απόρριψε την θεωρία της αυθόρμητης γένεσης, στην οποία πίστευαν πολλοί βιολόγοι της εποχής του. Δείχνοντας πως τα μικρόβια μπορούν να καταστραφούν με τη θέρμανση πρόβλεψε τη μέθοδο της παστερίωσης που βρήκε ο Pasteur το 1860.

Θερμικές μηχανές και θερμοδυναμική.

Από τα προϊστορικά χρόνια μηχανικό έργο παρέχόταν από τα ζώα και αργότερα από νερό και ανεμόμυλους. Το 18^ο αιώνα η ανάπτυξη των θερμικών μηχανών- που πρωτοχρησιμοποιήθηκαν για τα βγάσουν νερό από τα ορυχεία- άρχισαν τη βιομηχανική επανάσταση. Η δημιουργία τους από τους Savery, Newcomen, Smeaton και Watt δεν βασιζόταν στην πλήρη κατανόηση του τι γινόταν (όπως είδαμε η γνώμη του Βατ ήταν ότι ο ατμός αποκτούσε ελαστικότητα με χημική ένωση με τη θερμότητα). Η νέα επιστήμη της θερμοδυναμικής αφιερώθηκε θεμελιωδώς με αυτό το πρόβλημα. Μια συνεκτική περιγραφή ανάμεσα στη θερμότητα και το έργο έγινε δυνατή χάρις τη συνένωση του πρώτου και δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου. Παρά τον τρόπο παρουσίασης από τα σύγχρονα βιβλία ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος ανακαλύφθηκε νωρίτερα από τον πρώτο.

- Sadi Carnot(1796-1832)

Το μεγάλο θεωρητικό έργο του Carnot στόχευε στο να πετύχει τη μέγιστη δυνατή απόδοση των θερμικών μηχανών αποδεικνύοντας τα σημαντικά αποτελέσματα που ισχύουν ακόμα και σήμερα. Όμως η ανάλυση του βασίστηκε στη λανθασμένη αντίληψη ότι το μηχανικό έργο που παραγόταν από την ιδεατή μηχανή του οφείλονταν στην πτώση της θερμοκρασίας του νερού ή γενικότερα του «θερμικού υγρού» που απορροφούσε η μηχανή από τη δεξαμενή θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας και αποβαλλόταν στη δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας όπως π.χ. το μηχανικό έργο που παράγεται όταν πέφτει νερό από ένα υψηλότερο σε ένα χαμηλότερο επίπεδο. Πιστεύοντας στη θεωρία του φλογιστού, δεν αντιλήφθηκε τη διαφορά ανάμεσα στη θερμότητα και στο «θερμικό υγρό»: ενώ η ποσότητα του υγρού παραμένει σταθερή η θερμότητα μειώνεται κατά ένα ποσό ανάλογο του παραγόμενου έργου. Έτσι κατέληξε στο λανθασμένο συμπέρασμα ότι η θερμότητα διατηρείται αν και από τα γραπτά του προκύπτει ότι είχε κάποιες αμφιβολίες και ίσως είχε υποψιαστεί τη διατήρηση της ενέργειας. Η διατήρηση της ενέργειας όμως επικράτησε μετά το θάνατο του (πέθανε το 1823) το 1838, και χωρίς τη συμβολή του καθώς οι σημειώσεις του που αναφερόταν σε αυτήν δημοσιεύτηκαν από τον αδελφό του μόλις το 1878.

Ο Carnot έγραψε ένα μόνο βιβλίο *Réflexions sur la puissance motrice de feu* (σκέψεις για την κινητήρια δύναμη της φωτιάς) 7) που κυκλοφόρησε το 1824, σε μόλις εξακόσια αντίτυπα και με δικά του έξοδα, και, σχεδόν, αγνοήθηκε.

Emil Clapeyron (1799-1864)

Άλλος ένας μηχανικός και φυσικός. Το 1833 έπεσε τυχαία στα χέρια του το βιβλίο του Carnot(Ένα χρόνο μετά το θάνατο του Carnot και δέκα χρόνια μετά την έκδοση του βιβλίου του). Το 1834 εκδίδεται η έκθεση του *Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur* (μνημόνιο για την κινητική ισχύ της θερμότητας). Σε αυτήν ανέπτυξε περαιτέρω την εργασία του Carnot(που υποστήριζε την λανθασμένη θεωρία του φλογιστού) σχεδιάζοντας τον κύκλο Carnot σε ένα διάγραμμα που παρίστανε την πίεση του αερίου σε συνάρτηση με τον όγκο το

γνωστό μας διάγραμμα $P - V$ (που ονομάστηκε προς τιμήν του διάγραμμα Clapeyron) από το εμβαδόν του οποίου προκύπτει το έργο.

Επίσης ανέπτυξε περαιτέρω την έννοια αντιστρεπτή μεταβολή (που είχε ήδη εισάγει ο Carnot) και έκανε μια σαφέστερη διατύπωση της αρχής του Carnot που είναι γνωστή σήμερα σαν 2^{ος} θερμοδυναμικός νόμος.14)

- Julius Robert Von Mayer (1814-1878)

- ▶ Διατήρηση της ενέργειας, 1^{ος} θερμοδυναμικός νόμος
- ▶ Η αντίδραση οξείδωσης είναι η αντίδραση που αποτελεί τη βασική πηγή ενέργειας των ζωντανών οργανισμών.
- ▶ Τα φυτά μετατρέπουν τη φωτεινή ενέργεια σε χημική ενέργεια.
- ▶ $C_p = C_v + R$ (10)

Μόλις τελείωσε τις ιατρικές σπουδές του¹²⁾ ο Mayer μπήκε σε ένα πλοίο για ταξίδι στον Ινδικό ωκεανό. Κατά τη διάρκεια του τρίμηνου ταξιδιού του έκανε διάφορες παρατηρήσεις: Το θαλασσινό νερό ήταν πιο ζεστό μετά από μια καταιγίδα παρά όταν η θάλασσα ήταν ήρεμη, όταν οι επιβάτες αιμορραγούσαν παρατήρησε ότι το χρώμα του αίματος στις φλέβες τους ήταν ανοιχτότερο από αυτή στην πατρίδα του τη Γερμανία. Σαν οπαδός του Λαβουαζιέ αυτό σήμαινε γι' αυτόν ότι σε τροπικές θερμοκρασίες όπου απαιτείται λιγότερη θερμότητα για να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος ένα μικρότερο ποσό οξυγόνου καταναλώνονταν. Μετά αναρωτήθηκε σε ποιο βαθμό το φαινόμενο που αφορούσε σωματική προσπάθεια (π.χ. άρση βαρών) και συμπεράνε ότι στο ανθρώπινο σώμα που μπορεί να «παράγει» και θερμότητα και έργο η μια μορφή ενέργειας μπορεί να μετατραπεί στην άλλη. Αυτό έστρεψε το ενδιαφέρον του στις θερμικές μηχανές.

Η πρώτη προσπάθεια του Mayer για τη διατύπωση της διατήρησης της ενέργειας ήταν μια δημοσίευση που έστειλε στον *Annalen der Physik* του Johan Cristian Poggendorff. Ωστόσο επειδή ο Mayer δεν είχε προηγμένη κατάρτιση στη Φυσική η δημοσίευση είχε βασικά λάθη και δεν δημοσιεύθηκε. Ο Mayer όμως συνέχισε να υποστηρίζει την ιδέα της διατήρησης της ενέργειας διαφωνώντας με τον καθηγητή φυσικής Johan Gottlieb Nörremberg ο οποίος, αν και απέρριψε την ιδέα του έκανε πολύτιμες υποδείξεις για το πώς θα μπορούσε να αποδειχτεί πειραματικά π.χ. αν η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ενέργεια με μορφή θερμότητας τα νερό θα πρέπει να ζεσταίνεται με κινήσεις όπως η ταλάντωση.

Ο Mayer όχι μόνο το έκανε αλλά υπολόγισε και ποσοτικά το συντελεστή μετασχηματισμού υπολογίζοντας, πριν τον Joule, το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας.

Τα αποτελέσματα του δημοσιεύθηκαν το 1842 στην έκδοση του Μαΐου στο *Annalen der Chemie und Pharmacie* του Justus Von Liebig.

Στο βιβλιαράκι του που εκδόθηκε το 1845 με τίτλο « Η οργανική κίνηση σε σχέση με το μεταβολισμό» (*Die organische Bewegung im Zusammenhang mit dem Stoffwechsel*) υπολόγισε το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας: πρώτα σε 365 kgf·m/kcal και αργότερα σε 425 kgf·m/kcal με σημερινή τιμή 4.184 kJ/kcal (426.6 kgf·m/kcal) για την θερμοχημική θερμίδα. Η σχέση αυτή υποδηλώνει ότι, αν και το έργο και η θερμότητα είναι διαφορετικές μορφές ενέργειας, μπορούν να μετατραπούν το ένα στο άλλο και αποτελεί το βάση του 1^{ου} θερμοδυναμικού νόμου που οδήγησε αργότερα στη διατύπωση της διατήρησης της ενέργειας από τον Helmholtz το 1847.

Στη δημοσίευση του το 1845 « *Die organische Bewegung in Ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel* »(8) έγραψε ότι το μηχανικό έργο που παράγεται από μια ατμομηχανή προκύπτει από τη μετατροπή αυτού του μέρους της απορροφούμενης θερμότητας που δεν ελευθερώνεται στο περιβάλλον ενώ το υπόλοιπο « χάνεται » για μηχανικούς σκοπούς « for mechanical purposes ». Ήδη στη δημοσίευση του το 1842 « *Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur* » ο Mayer είχε γράψει σε φιλοσοφικό – μεταφυσικό επίπεδο ότι τα αποτελέσματα είναι ίσα με τις αιτίες τους « effects equal their causes » άρα δεν μπορούν να καταστραφούν αλλά είναι επιρρεπή στις αλλαγές.

Σύμφωνα με τον Mayer οι «δυνάμεις» είναι αιτίες που δεν μπορούν να καταστραφούν αλλά μετασχηματιστούν. Οι « δυνάμεις » που αναφέρονται στη δημοσίευση του 1842 είναι « κίνηση ή vis viva » , δύναμη πτώσης “ Fallkraft” που την έχει ένα ανυψωμένο βάρος (η σημερινή δυναμική ενέργεια) και η θερμότητα (αφού η κίνηση που χάνεται στην τριβή μετατρέπεται σε θερμότητα). Για να υπολογίσουμε την ποσότητα θερμότητας που αντιστοιχεί σε μια ορισμένη ποσότητα «κίνησης» ή « δύναμης πτώσης » στη δημοσίευση του 1845 η διαφορά ανάμεσα στην ειδική θερμότητα ενός αερίου υπό σταθερή πίεση C_p και υπό σταθερό

όγκο C_v είναι υπολογίσιμη. Χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα για τις C_p και C_v μπορούσε να υπολογίσει το λεγόμενο μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας. Επιπλέον θεωρώντας ότι η « δύναμη πτώσης», η « κίνηση», η θερμότητα, το φως ο ηλεκτρισμός και η « χημική διαφορά ανάμεσα στα σώματα» αντιπροσωπεύουν διαφορετικές όψεις του ίδιου αντικείμενου θεωρεί αυτό το αντικείμενο αδιάσπαστο ακόμα και αν γίνονται αλλαγές και γράφει « σε όλες τις φυσικές και χημικές διεργασίες η αρχική δύναμη παραμένει μια σταθερή ποσότητα». 9)

Η προσθήκη της « χημικής διαφοράς» στον κατάλογο των « δυνάμεων» έχει πολύ σημαντικές συνέπειες: του επιτρέπει να πει ότι οι ζωντανοί οργανισμοί παράγουν τη «δύναμη» τους από τις ηλιακές ακτίνες που αποθηκεύονται στα φυτά με χημικό τρόπο. Ο μεταβολισμός του φυτού « *Stoffwechsel* » προκαλεί τη μεταβολή. Στις δημοσιευμένες εργασίες του, που έγιναν ελάχιστα γνωστές ακόμα και στη Γερμανία, παρουσιάζονται σε πλήρη και οργανωμένη μορφή μόνο το 1851 (11) μετά από μια σφοδρή διαμάχη που ξεκίνησε το 1848 απέναντι στον Joule. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η διαμάχη αφορούσε μόνο την πρωτιά στο θέμα του μηχανικού ισοδύναμου της θερμότητας και όχι στο θέμα της διατήρησης της ενέργειας που δεν αναφέρεται στις εργασίες του Joule.9)

Ο Helmholtz, όπως και πολλοί από το επιστημονικό κατεστημένο της εποχής, αμφέβαλλε για τις γνώσεις φυσικής του Mayer. Το 1848 πέθαναν δύο παιδιά του Mayer και κλονίστηκε η ψυχική του υγεία. Έκανε απόπειρα αυτοκτονίας στις 18 Μαΐου του 1850 και κλείστηκε σε ψυχιατρείο. Μετά είχε κλονισμένη ψυχική υγεία και επανήλθε δειλά στην κοινωνική ζωή το 1860, εργαζόμενος σα γιατρός μέχρι το θάνατο του.

Αναφορές – Βιβλιογραφία

- 1) Στη δημοσίευση των εν λόγω διαλέξεων 1807, έγραψε, «Το προϊόν της μάζας ενός σώματος μέσα στο τετράγωνο της ταχύτητας της μπορεί σωστά να ονομαστεί ενέργεια» Ο Gustave-Gaspard Coriolis χρησιμοποίησε τον όρο «κινητική ενέργεια» το 1829 με τη σύγχρονη έννοια του όρου, και το 1853, ο William Rankine επινόησε τον όρο «δυναμική ενέργεια».
- 2) Smith, Crosbie (1998). *The Science of Energy - a Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain*. The University of Chicago Press. [ISBN 0-226-76420-6](#).
- 3) Thomas Young (1807). *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts*, p. 52.
- 4) Young T 1807 On collision *A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts* ed P Kelland (London: Taylor & Walton, 1845) pp 57–62 (<http://books.google.it/books?id=lyQEAAAQAAJ>)
- 5) Black J 1777 *Experiments Upon Magnesia Alba, Quicklime and Some Other Alkaline Substances* (Edinburgh: W. Creech) (http://books.google.it/books?id=bUVPtQ_uixEC)
- 6) Sèguin A and Lavoisier A L 1789 1er mémoire sur la respiration des animaux *Mémoires sur la Respiration des Animaux* ed A L Lavoisier (Paris: Gauthier-Villars 1920) pp 31–51 (<http://archive.org/stream/mmoiresurlere00lavo#>)
- 7) Carnot S 1824 *Rèflexions sur la Puissance Motrice du Feu* (Paris: Bachelier) Fox R 1986 (ed) *Reflexions on the Motive Power of Fire* (Manchester: Manchester University Press) (<http://books.google.it/books?id=tVzSAAAAIAAJ>)
- 8) Von Meyer J R 1845 Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel reprinted in Mayer J R 1867 *Die Mechanik der Wärme: Gesammelte Schriften* (Stuttgart: Cotta'schen Buchhandlung) pp 13–126 (http://books.google.it/books?id=Y4YEr8ci_oIC)
- 9) Frontali C 2014 History of physical terms: 'energy' *Phys. Educ.* **59** 564–73
- 10) Σε ομογενείς ουσίες, όχι μόνο σε ιδανικά αέρια η σχέση $C_p = C_v + R$ γράφεται ακριβέστερα $C_p = C_v + VT\beta^2/\alpha_T$ όπου V ο όγκος, T η απόλυτη θερμοκρασία, β ο συντελεστής θερμικής διαστολής και α_T η, πάντα θετική ισοθερμική συμπίεστότητα.
- 11) von Meyer J R 1851 *Bemerkungen über das mechanische Aequivalent der Wärme* (Heilbronn: Landherr JU) (<http://books.google.it/books?id=3Yg5AAAAcAAJ>)
- 12) Το 1837 ο Mayer συνελήφθη μαζί με άλλους φοιτητές να φορούν τα χρώματα (Couleur) ενός απαγορευμένου οργανισμού. Αυτό συνεπαγόταν ενός έτους αποβολή από το κολλέγιο και μια μικρή περίοδο φυλάκισης. Έτσι αναγκαστικά ο Mayer ταξίδεψε στην Ελβετία, τη Γαλλία και τις τότε Ολλανδικές Ινδίες.
- 13) <https://web.lemoyne.edu/giunta/bacon.html>
- 14) Επίσης έκανε ουσιαστικές επεκτάσεις στο έργο του Clausius. Είναι γνωστή σήμερα η σχέση Clausius – Clapeyron που χαρακτηρίζει την αλλαγή της φάσης ανάμεσα σε δύο φάσεις της ύλης. Ακόμα διατύπωσε ερωτήσεις για τις αλλαγές φάσης που αργότερα ονομάστηκαν προβλήματα Stefan. Από το άρθρο του Clapeyron ο William Thomson έμαθε και κατάλαβε τη σπουδαιότητα του έργου του Carnot.
- 15) https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_energy
- 16) Το βιβλίο των επιστημών, εκδ. Αλεξάνδρεια 2005. Μετάφραση του *the science book* Cassel & Co. England 2001
- 17) <http://www.eoht.info/page/Energy>
- 18) Ο Αμερικανός ιστορικός της φυσικής και της οικονομίας Philip Mirowski, ο οποίος έκανε πάνω από έξι χρόνια έρευνα σχετικά με την χρησιμοποιούμενη από φυσικούς έννοια της ενέργειας και διατήρησης της ενέργειας εξηγεί ότι ο Αριστοτέλης χρησιμοποίησε τη λέξη με διάφορες ερμηνείες: στην *ηθική του*, με την έννοια της «δραστηριότητας», σε αντίθεση με τη *Ρητορική του*, που έχει την έννοια της

λειτουργίας. Πρόσφατα ετυμολογικά λεξικά, δίνουν μια κατά Αριστοτέλη ετυμολογική προέλευση της "ενέργεια", στα *Μεταφυσικά* (350 π.χ.) περιγράφοντας τον όρο «ενέργεια» να σημαίνει πράξη ή «δραστηριότητα». Η παλαιότερη (Ηράκλειτος) χρήση του ελληνικού όρου «έργον» ή «ενεργός» σημαίνει «ενεργός, εργατικός», από το εν + έργον.

Εν ολίγοις, ο Αριστοτέλης χρησιμοποίησε τον όρο *Ενέργεια* να διευκρινίσει, κατά μία έννοια, τον ορισμό του «είναι» (*Δύναμη*) και πράξη (*Ενέργεια*).