



Ιστορία Φυσικών Επιστημών

Εαρινό εξάμηνο 2014

Φαίδρα Παπανελοπούλου

<http://eclass.uoa.gr/courses/PHS222/>

Η σημασία της Επιστημονικής Επανάστασης του 16^{ου} και 17^{ου} αιώνα

- Η φυσική φιλοσοφία διαφοροποιείται από τη φιλοσοφία και αυτονομείται από τη θεολογία.
- Ρήξη με την αριστοτελική παράδοση όπως αυτή διαμορφώθηκε στη διάρκεια του Μεσαίωνα.
 - Ήδη από το 15^ο αι. συνυπάρχουν ο νεο-πλατωνισμός, οι πυθαγόρειες ιδέες και η ερμητική παράδοση.
 - Το ρεύμα του ουμανισμού δίνει έμφαση στην εκπαίδευση, στην καλλιέργεια της κριτικής και στην ενίσχυση της προσωπικής αυτονομίας και ανεξαρτησίας στη σκέψη, συμβάλλοντας στη βαθμιαία ανατροπή του σχολαστικισμού.

Η σημασία της Επιστημονικής Επανάστασης του 16^{ου} και 17^{ου} αιώνα

- Διαμόρφωση ενός νέου τρόπου σκέψης χωρίς την ανακάλυψη νέων φαινομένων και την εφεύρεση νέων οργάνων (πχ. ηλιοκεντρισμός πριν την ανακάλυψη του τηλεσκοπίου).
- Κριτική
 - στα οντολογικά στοιχεία του αριστοτελισμού
 - στα μεθοδολογικά στοιχεία του σχολαστικισμού
 - στην ερμηνεία των φυσικών φαινομένων με αποκλειστικό κριτήριο τις γραφές
- Αναζήτηση νόμων της φύσης (αντί για γενεσιουργές αιτίες των φαινομένων)
- Η περιγραφή των φαινομένων θα πρέπει να γίνεται με την ακριβή γλώσσα των μαθηματικών.
- Σχεδιασμός πειραμάτων για ακριβείς μετρήσεις, αντί για επιδείξεις φαινομένων προκειμένου να εντοπιστούν τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά.

Η σημασία της Επιστημονικής Επανάστασης του 16^{ου} και 17^{ου} αιώνα

Πειραματισμός

- Οχι μόνο για «επιβεβαίωση» ή «διάψευση» θεωριών, αλλά και για την πραγματοποίηση ακριβών μετρήσεων που αναδεικνύουν νέα φαινόμενα, νέα χαρακτηριστικά γνωστών φαινομένων κτλ.
- Σημασία των αριθμών στην πειραματικό πεδία (ορισμός ενός «αντικειμενικού» πεδίου)
- Δημόσιος χαρακτήρας πειραματικής διαδικασίας (απευθύνεται σε «πολλούς» και προσκαλεί «πολλούς» να εμπλακούν σε ανάλογες διαδικασίες)
- Ο δημόσιος χαρακτήρας διαμορφώνει τους όρους και τους κανόνες επίλυσης διαφωνιών και συμβάλλει στη δημιουργία του πλαισίου συναίνεσης της επιστημονικής κοινότητας.
- Η πειραματική πρακτική εισάγει εκτός από γνωσιοθεωρητικά χαρακτηριστικά, και έναν κοινωνικό ρόλο (συναίνεση).

18^{ος} αιώνας- Πειραματική Φυσική

- Στο τέλος του Διαφωτισμού, η πειραματική φυσική σήμαινε τη χρήση ποσοτικής, πειραματικής μεθόδου για την ανακάλυψη των νόμων που κυβερνούν τον ανόργανο κόσμο.
- Η φυσική στον Αριστοτέλη δεν είχε να κάνει με πειράματα, ποσοτικά μεγέθη, ούτε περιοριζόταν στον ανόργανο κόσμο (ο πειραματισμός είναι σχεδόν άγνωστος κατά την αρχαιότητα).
- Μια πειραματική παράδοση εμφανίζεται στην Ευρώπη κατά την Αναγέννηση («φυσική μαγεία»).
- Υπάρχει μια παράδοση εφαρμοσμένων μαθηματικών (μικτά μαθηματικά)
- Τον 17^ο αιώνα η φυσική αποτελεί τμήμα της θεωρητικής φιλοσοφίας (διδασκαλία στα λατινικά), ενώ τα μαθηματικά αποτελούν πρακτικό αντικείμενο με στρατιωτικές εφαρμογές (διδασκαλία στην καθομιλουμένη)

Jean d'Alembert

«Η χρήση της μαθηματικής γνώσης δεν είναι λιγότερο σημαντική στη μελέτη των γήινων σωμάτων που μας περιβάλλουν [απότι η αστρονομία]. Όλες οι ιδιότητες που παρατηρούμε στα σώματα αυτά έχουν σχέσεις μεταξύ τους τις οποίες μπορούμε περισσότερο ή λιγότερο να τις προσεγγίσουμε. Η γνώση ή η ανακάλυψη αυτών των σχέσεων είναι σχεδόν πάντα το μόνο αντικείμενο που μας επιτρέπεται να κατακτήσουμε και, συνεπώς, το μόνο που θα έπρεπε να προτείνουμε στους εαυτούς μας»

«Προλεγόμενα», Encyclopédie

Τα μαθηματικά ήταν θεμελιώδη για όλη τη φυσική, και η πειραματική φυσική είχε αξία μόνο στο μέτρο που οι νόμοι της μπορούσαν να γίνουν ποσοτικοί.

Η σημασία των μαθηματικών για την πειραματική φυσική ήταν αντικείμενο διαμάχης σε όλη τη διάρκεια του 18^{ου} αιώνα.

Διαμάχη για την «ισορροπία» μεταξύ μαθηματικών και πειραμάτων

- Μαθηματικοί
 - Πειραματική φυσική έχει αξία μόνο στο μέτρο που οι νόμοι της μπορούσαν να ποσοτικοποιηθούν.
 - Τα πειράματα που δεν ποσοτικοποιούνται είναι διασκεδαστικά τεχνάσματα
- Πειραματικοί Φυσικοί
 - Τα μαθηματικά οδηγούν τον επιστήμονα μακριά από τη φύση και του εμπνέουν μια ψεύτικη εμπιστοσύνη στις αφηρημένες μορφές.
- Και τα δύο ήταν βασικά για την απόκτηση γνώσης και θεωρούνταν ότι και τα δύο βρίσκονταν στη δικαιοδοσία της λογικής.
- Ο Βολταίρος υποστήριζε στις *Φιλοσοφικές επιστολές* του ότι η γνώση για τον φυσικό κόσμο δεν μπορούσε να αποκτηθεί από πρώτες αρχές χωρίς προσφυγή στο πείραμα.
- Η λογική υπαγόρευε μια ενδιάμεση πορεία που θα συνδύαζε πείραμα και ποσοτική μέτρηση, ώστε να είναι δυνατός ένας σταθερός έλεγχος της θεωρίας.

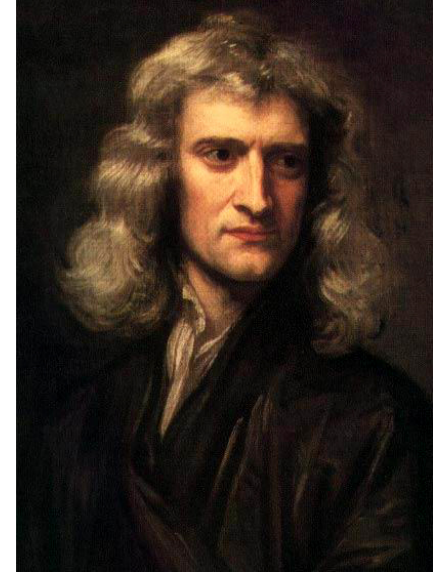
Πειραματιστές 17^{ου} αιώνα



Edmé Mariotte
(~1620-1648)



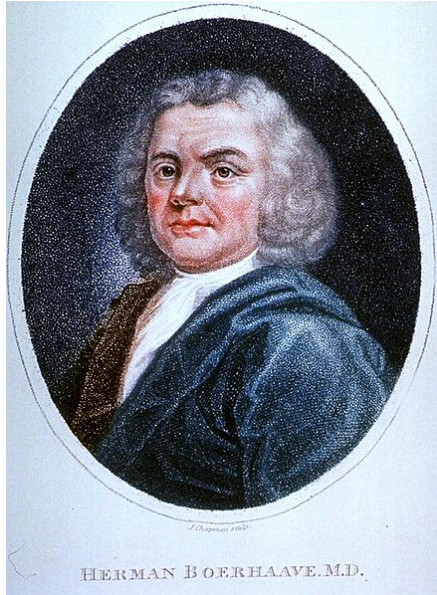
Robert Boyle
(1627-1691)



Isaac Newton
(1642- 1727)

Συνδυασμός
πειράματος και
μαθηματικών.
Οπτική (1704)

Ολλανδοί πειραματιστές



Herman Boerhaave
(1668-1738)



Willem Jacob 's Gravesande
(1688 –1742)



Pieter van Musschenbroek
(1692 –1761)

Το έργο των Ολλανδών φυσικών επαναπροσδιόρισε τη φυσική κάνοντάς την πειραματική και περιορίζοντάς την σ'αυτό που σήμερα αναγνωρίζουμε ως φυσική επιστήμη.

Από το 1720 και έπειτα, η πειραματική φυσική περιλάμβανε συνήθως τη μελέτη της θερμότητας, του φωτός, του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού, και απέκλειε την ανατομία, τη φυσική ιστορία και τη χημεία.

- Θερμότητα
- Φως
- Ηλεκτρισμός
- Μαγνητισμός

Οι νέες πειραματικές συσκευές αρχικά «ανακαλύπτουν» και δεν μετρούν φαινόμενα.

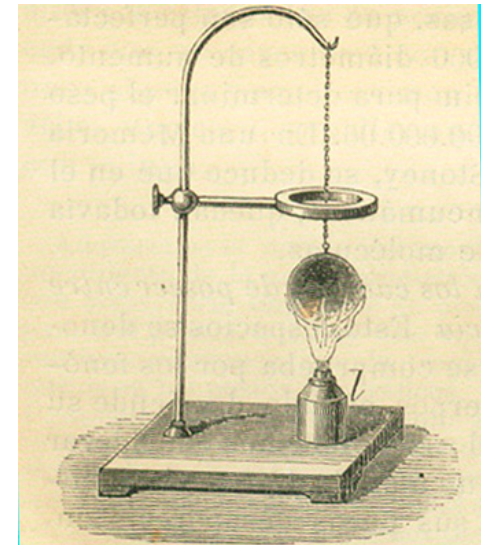
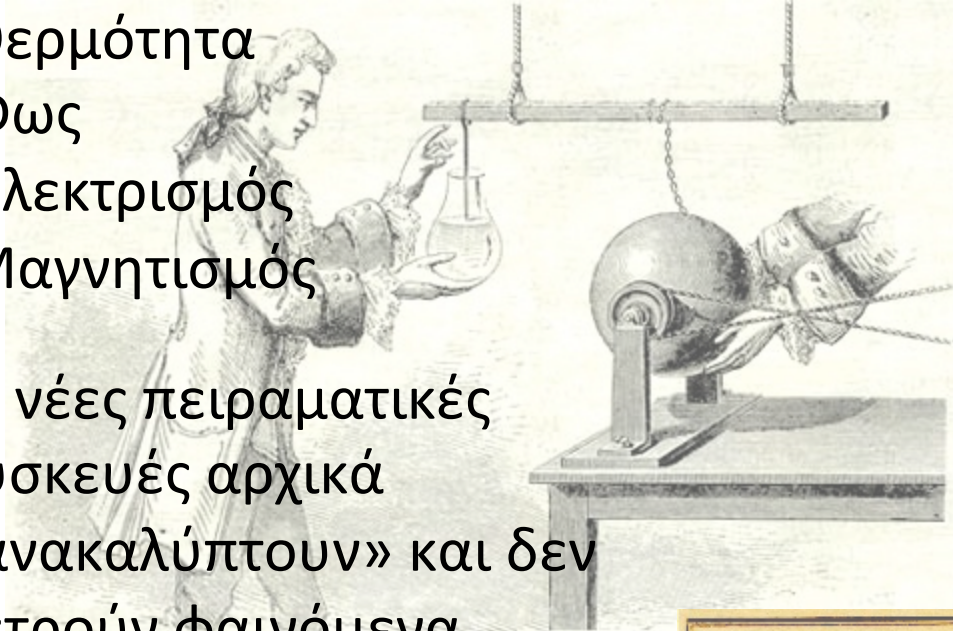
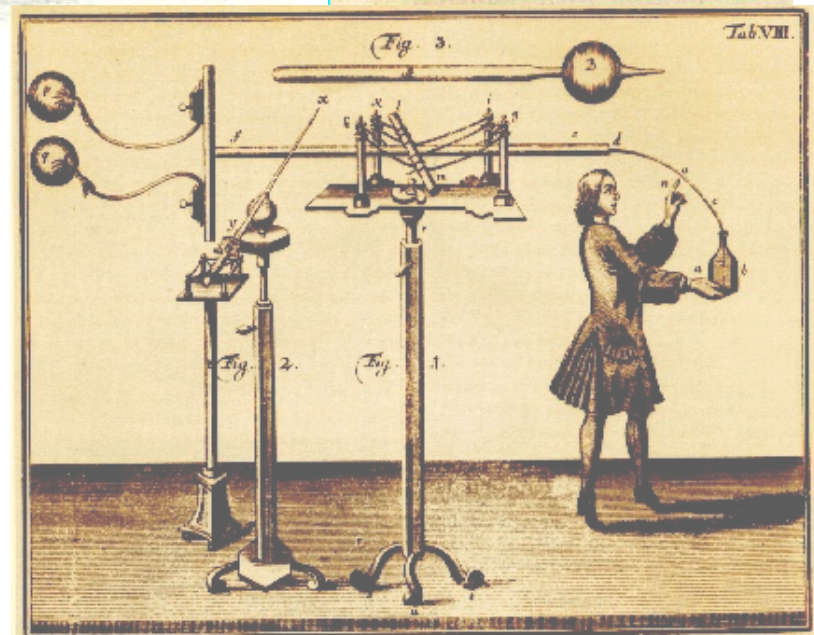
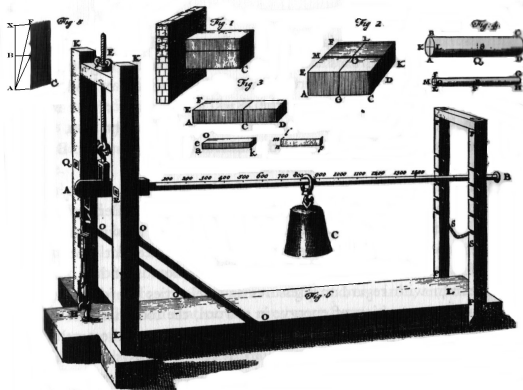


Fig. 5.^a Anillo de S'Gravesende



- Η μέτρηση έπρεπε να περιμένει μέχρι η ποιοτική θεωρία να καθορίσει τι ήταν σημαντικό να μετρηθεί.
- Οι προσπάθειες, πχ. να μετρηθούν ηλεκτρικά φαινόμενα άρχισαν μόνον όταν οι πειραματιστές είχαν ήδη παράξει ένα ευρύ φάσμα νέων ηλεκτρικών φαινομένων και είχαν επιχειρήσει κάποιες ποιοτικές ερμηνείες.
- Κατά το τέλος του 18^{ου} αιώνα, οι ακριβείς μετρήσεις έγιναν σημαντικός στόχος της πειραματικής φυσικής, και τα επονομαζόμενα «αβαρή ρευστά» άρχισαν να αντικαθίστανται από ποσοτικούς νόμους.

Αβαρή ρευστά

- Απαραίτητα βήματα στη διαδικασία ποσοτικοποίησης.
- Ουσίες με φυσικές ιδιότητες αλλά χωρίς να είναι κανονική ύλη.
- Με την κίνησή τους μεταφέρουν φυσικές ιδιότητες, αλλά όχι μάζα.
- Ηλεκτρισμός και θερμότητα, αλλά και βαρύτητα, φως, μαγνητισμός, καύση.
- Δείχνουν τι πρέπει να μετρηθεί.
- Παρέχουν το θεωρητικό πλαίσιο γύρω από το οποίο μπορεί να οικοδομηθούν φυσικές έννοιες όπως πχ. φορτίο, ηλεκτρική τάση, θερμότητα κτλ.

Αβαρή ρευστά

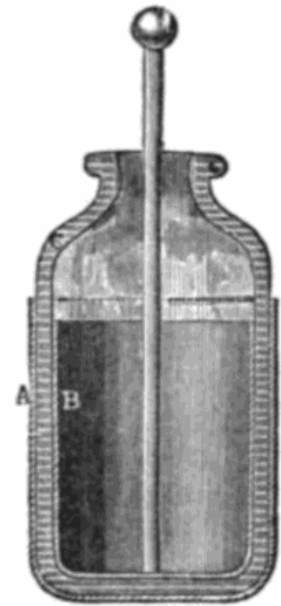
- Ο Νεύτωνας είχε προσπαθήσει να εξηγήσει τα φυσικά φαινόμενα με τη δράση των δυνάμεων ανάμεσα στα άτομα της ύλης (~ ουράνια φαινόμενα)- αλλά δεν υπήρχε τρόπος να μετρηθούν κατευθείαν οι δυνάμεις μεταξύ των ατόμων, όπως οι δυνάμεις της βαρύτητας.
- Τα αβαρή ρευστά βοηθούν στην ποσοτικοποίηση της πειραματικής φυσικής το πρώτο μισό του 18^{ου} αι. (πχ. Η πυκνότητα του ρευστού μετράει την ένταση ενός φαινομένου).
- Εμφανίζονται γύρω στα 1740 όταν τα πειράματα φυσικής αποκτούν μεγάλη δημοτικότητα.
- Την εποχή εκείνη βρίσκεται σε εξέλιξη μια επανερμηνεία του έργου του Νεύτωνα (σχετικά με το αν οι δυνάμεις που δρουν μεταξύ των πλανητών δρουν από απόσταση ή παρεμβάλλεται κάποιο μέσο- αιθέρας).

Αβαρή ρευστά

- Μετά το 1740, με την εντατικοποίηση της μελέτης του ηλεκτρισμού και της θερμότητας, οι θεωρίες του αιθέρα επανεμφανίστηκαν και αποδόθηκαν στον Νεύτωνα.
- Η βαρύτητα σήμαινε δράση μέσω του αιθέρα.
- Τα αβαρή ρευστά υποστηρίζονταν όχι μόνο από νέες θεωρίες, αλλά και από μια επανερμηνεία των παλαιών.
- Επέτρεψαν στους φυσικούς να δημιουργήσουν νέες φυσικές έννοιες, και μέχρι ενός σημείου να τις προσδιορίζουν ποσοτικά.
- Τελικά, όμως, η θεωρία έγινε πιο περιοριστική από ό,τι απελευθερωτική.
- Στα τέλη του 18^{ου} αιώνα οι φυσικοί αρχίζουν και προσδιορίζουν φυσικές έννοιες, όπως θερμοκρασία, ειδική θερμότητα, φορτίο κτλ, με μαθηματικό τρόπο χωρίς να έχουν ανάγκη τα αβαρή ρευστά (όπως και ο Νεύτωνα είχε πραγματευτεί τα φαινόμενα της βαρύτητας).

Ηλεκτρισμός

- Πρότυπο πειραματικής επιστήμης (είδος εκτελούμενων πειραμάτων και κατασκευής συσκευών)
- Ανακάλυψη νέων φαινομένων εξαιτίας της ανακάλυψης της λουγδουνικής λαγήνου (Leiden Jar), που είχε τη δυνατότητα συγκέντρωσης μεγάλων φορτίων.
- Μελέτη της ηλεκτρικής έλξης
- Ψυχαγωγική αξία + έλεγχος θεωριών και υιοθέτηση νέων

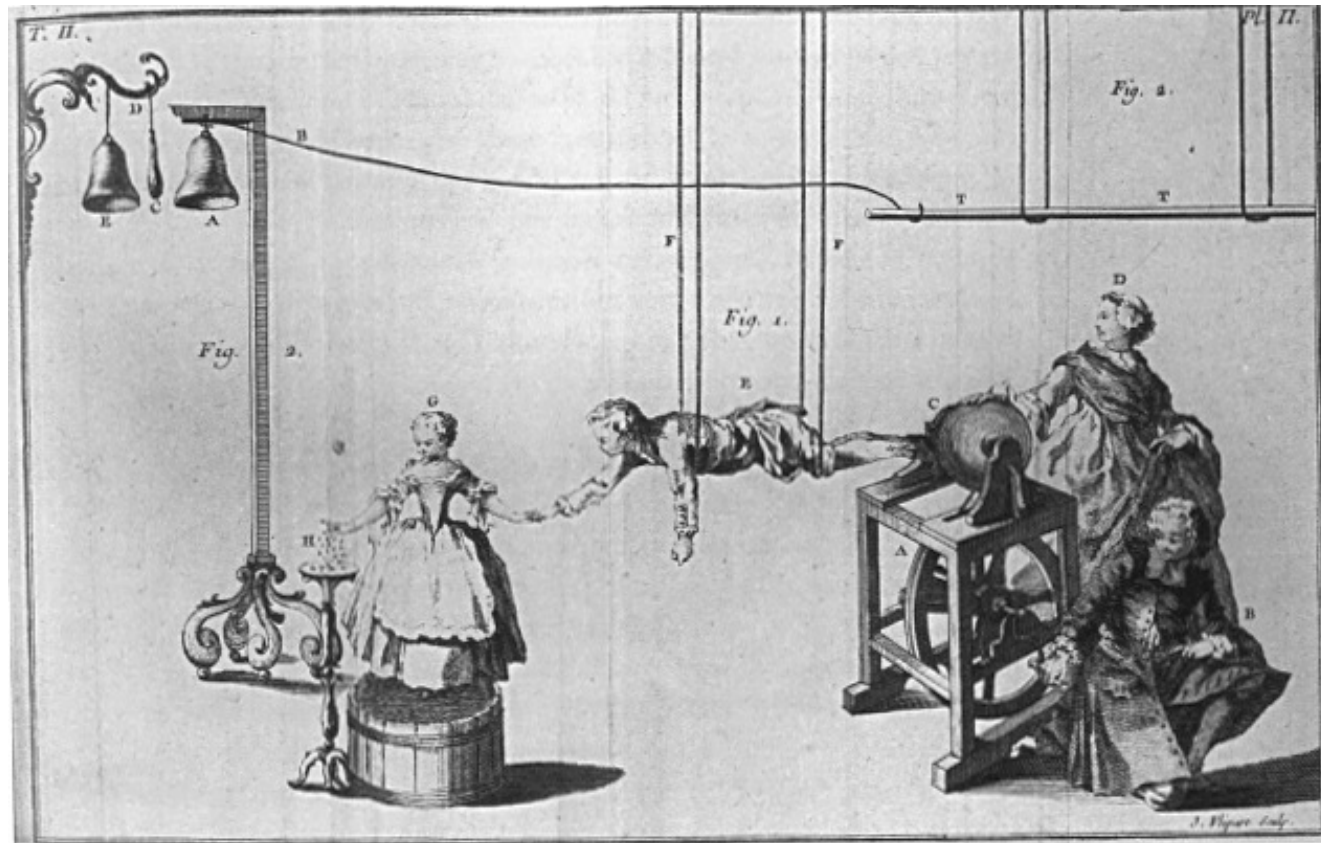


Ηλεκτρισμός



Ο χαρταετός του Βενιαμίν Φρανκλίνου (1706-1790)
Ηλεκτρική φύση κεραυνού

Ηλεκτρισμός




Το ηλεκτρισμένο παιδί που κρέμεται από μεταξωτά σκοινιά

Ηλεκτρισμός



«ηλεκτρισμένη Αφροδίτη»

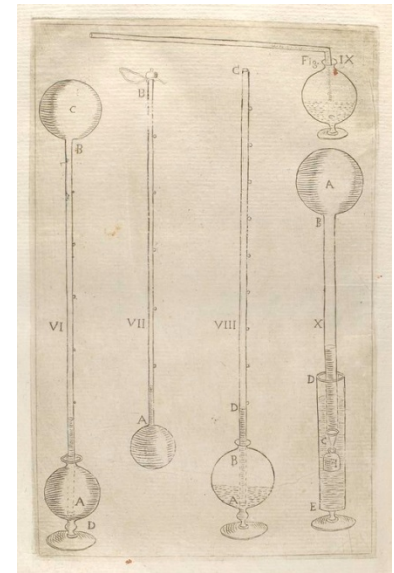
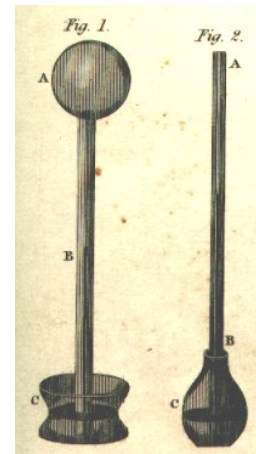
- 
- Η ηλεκτρική επιστήμη δεν είχε μόνο ψυχαγωγική αξία στον Διαφωτισμό, αλλά ακόμα και αυτοί που έκαναν τις πιο εντυπωσιακές επιδείξεις, χρησιμοποιούσαν τα πειράματά τους για να ελέγξουν τις υπάρχουσες θεωρίες και να προτείνουν νέες.

Θερμότητα

- Από όλα τα αβαρή ρευστά, η θερμότητα ήταν εκείνη που αποτελούσε μέρος της καθημερινής εμπειρίας.
- Στον Αριστοτέλη, η θερμότητα είναι ποιότητα και άρα δεν μπορεί να μετρηθεί ή να εκφραστεί με αριθμούς (μόνο οι ποσότητες- μήκος, βάρος, χρόνος- έχουν μέγεθος και μπορούν να μετρηθούν).
- Οι Μεσαιωνικοί είχαν μιλήσει για διάφορους βαθμούς θερμότητας, και είχαν αναρωτηθεί για την αναγωγή των ποιοτήτων σε αριθμούς.
- Το θερμόμετρο (θερμοσκόπιο) που κατασκευάζεται το 1592 από τον Γαλιλαίο (αρχικά χωρίς κλίμακα) κάνει δυνατή την ποσοτική μελέτη της θερμότητας.
- Η θερμομετρική κλίμακα είναι αυθαίρετη

Θερμότητα

- Πολλές διαφορετικές κλίμακες
- Κελσίου: 1742
- Το θερμόμετρο είναι αυτό που μετράει.
- Ο πειραματιστής θεωρεί ότι κάτι που ονομάζεται «θερμότητα» είναι ανάλογο προς τη διαστολή του υδράργυρου.
- Ενδειξη γραμμικότητας της κλίμακας των θερμοκρασιών (όταν το νερό θερμαινόταν σε σταθερή φωτιά, η θερμοκρασία ανέβαινε ομοιόμορφα)



Θερμότητα

- Το θερμόμετρο δεν μετράει θερμότητα αλλά θερμοκρασία (Joseph Black, 1728-1799).
- Αν η θερμότητα είναι ρευστό, το θερμόμετρο μετράει την ένταση (ή την πυκνότητα) του, και όχι τη συνολική ποσότητα του ρευστού.
- Ο Bacon, ο Γαλιλαίος, ο Καρτέσιος, ο Boyle και ο Νεύτωνας πίστευαν ότι η θερμότητα δεν ήταν κάποια ουσία, αλλά απλώς η κίνηση τμημάτων των σωμάτων.
 - Συχνά οι θεωρίες τους ήταν διφορούμενες, γιατί πίστευαν ότι η κίνηση της θερμότητας περιεχόταν σε «σωματίδια φωτιάς» ή προκαλούνταν από κάποια ειδική ουσία (άρα η θερμότητα ήταν κίνηση αλλά ταυτιζόταν με μια ειδική ουσία).



«Χημική επανάσταση»

Σχετική περιθωριοποίηση της χημείας από την ιστορία των επιστημών;

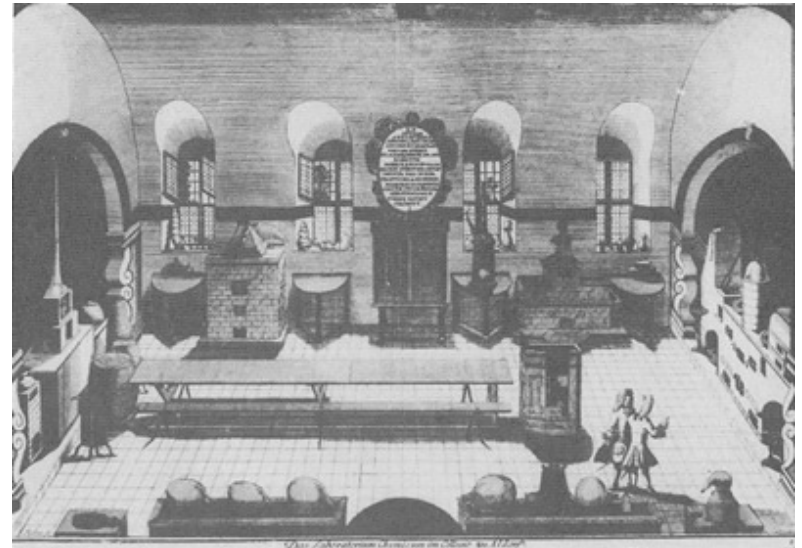
- Οι πρακτικές και οι ιδέες που θεωρούμε ότι σχετίζονται με τις καταβολές της χημείας προέρχονται από διάφορα πλαίσια και χώρους (αλχημιστές, φαρμακοποιοί, γιατροί, βαφείς, μεταλλουργοί...)
- Η χημεία θεωρείται περισσότερο πρακτική παρά θεωρητική επιστήμη.
- *Παραδοσιακή άποψη:* η χημεία δεν έπαιξε σημαντικό ρόλο στην Επιστημονική επανάσταση του 16^{ου} & 17^{ου} αιώνα. Μόνο στα τέλη του 18^{ου} αι. έλαβε χώρα η «καθυστερημένη Επιστημονή Επανάσταση στη χημεία» (Butterfield).
 - Πριν την αναμόρφωσή της από τον Lavoisier δεν υπάρχει αντίστοιχο της νευτώνειας φυσικής φιλοσοφίας (ποσοτική και πειραματική μεθοδολογία)
 - *Όμως η συμβολή του Λαβουαζιέ εγκαινίασε από μόνη της μια νέα εποχή;*
 - *Συντελέστηκε επανάσταση στη χημεία κατά τα τέλη του 18^{ου} αιώνα;*

Η Χημεία πριν τον Lavoisier και την «αναμόρφωσή» της

- Όσοι ασχολήθηκαν το 16^ο και 17^ο αι. με ό,τι θα χαρακτηρίζαμε σήμερα «χημεία» θεωρούσαν ότι βρίσκονται στο προσκήνιο της *Νέας Επιστήμης*.
 - Αλχημιστές (πχ. Νεύτωνας) θεωρούσαν ότι είναι κληρονόμοι μιας παράδοσης που ανάγεται στην αρχαιότητα και σκοπός τους ήταν να κατανοήσουν τις κρυμμένες σχέσεις ανάμεσα στις φυσικές ουσίες. Ανάπτυξαν τεχνικές και όργανα (και απόκρυφη γλώσσα)
 - Φαρμακοποιοί και γιατροί (πχ. Παράκελσος) ενδιαφέρονταν για τις ιαματικές ιδιότητες των ουσιών. Η γνώση των ιδιοτήτων της ύλης ήταν προϋπόθεση για την αναμόρφωση της ιατρικής (ιατροχημεία).
 - Μεταλλουργοί επινόησαν νέες φόρμουλες για τη βελτιωμένη παραγωγή μετάλλων, βαφών, πυρίτιδας κτλ.
 - Φυσικοί φιλόσοφοι (π.χ. Μπούλ) έκαναν χημικά πειράματα για να κατανοήσουν τις μηχανικές ιδιότητες της ύλης (σωματιδιακή θεωρία- οι ιδιότητες της ύλης προκύπτουν από τα συγκεκριμένα σχήματα και διατάξεις των σωματιδίων).

Χημεία: η καθυστερημένη επανάσταση;

- Εμφάνιση μιας νέας επιστήμης (και όχι ριζοσπαστική αλλαγή από μια υπάρχουσα επιστήμη)
 - Νέα θεώρηση του αέρα ως μίγματος και όχι ως στοιχειώδους ουσίας
 - Πτώση της θεωρίας του φλογιστού και αντικατάστασή της από τη θεωρία της καύσης μέσω του οξυγόνου
 - Συστηματική χρήση ποσοτικών μεθόδων-μετρήσεων
 - Εισαγωγή νέας χημικής ορολογίας



Η πνευματική χημεία

- Ερευνες στη χημεία των αερίων
- Πριν το 18^ο αιώνα ο αέρας θεωρείται μια ενιαία ουσία (ένα από τα 4 αριστοτελικά στοιχεία), και ότι είναι χημικά αδρανής.
- Το 18^ο αι. ανακαλύπτονται διάφορα είδη αέρα, με ποικίλες ιδιότητες και επιπτώσεις.
- Ρόλος της «φωτιάς» για τη μετάβαση των ουσιών στην αεριώδη κατάσταση. (Ο Lavoisier τη θεωρεί απλή ουσία και τη μετονομάζει caloric (θερμιδικό ρευστό)/ και άλλοι συνεχίζουν να χρησιμοποιούν τον όρο φλογιστόν για τη δράση της στην καύση)



Joseph Wright of Derby, 1768
Πείραμα με πουλί σε αντλία κενού

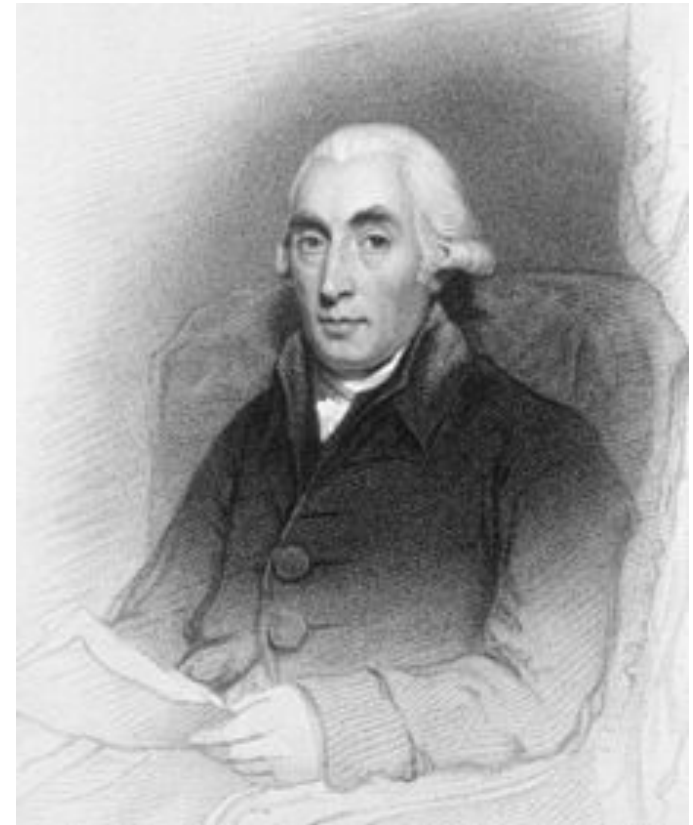
Η πνευματική χημεία

- Ο αέρας και η φωτιά έχουν μια κοινή ιδιότητα που ανακαλύφθηκε τον 18^ο αι.: μπορούσαν και οι δύο να «σταθεροποιηθούν» σε υγρές και στερεές ουσίες.
- Ο **Stephen Hales** (1677-1761) αναγνωρίζει ότι ο αέρας είναι χημικά ενεργός, και ανακαλύπτει ότι μεγάλες ποσότητες αέρα είναι «σταθεροποιημένες» μέσα στην ύλη και απελευθερώνονται με τη θερμότητα.
- Επινοεί την «πνευματική σκάφη» για τη συλλογή του αέρα (αέρας παραγόμενος από θερμότητα περνάει μέσα από νερό για να καθαριστεί και συλλέγεται μέσα σε ένα αντεστραμμένο δοχείο).
- Ο αέρας μπορεί να συνδυάζεται με άλλες μορφές ύλης.



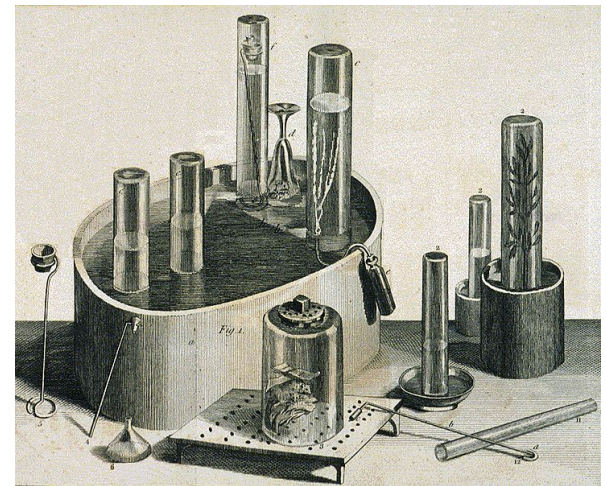
Η Πνευματική Χημεία

- Ο **Joseph Black** (1728-1799) ανακαλύπτει τη λανθάνουσα θερμότητα (φωτιά σταθεροποιημένη μέσα στην ύλη)
- αναπτύσσει νέους τρόπους ελέγχου του αέρα και προσδιορισμού των χημικών ιδιοτήτων του.
- παράγει ένα νέο είδος αέρα με ξεχωριστές ιδιότητες, το οποίο ονομάζει «σταθεροποιημένο αέρα» (διοξείδιο του άνθρακα)
- Από τη στιγμή που είδαν τη δυνατότητα διαφορετικών ειδών αέρα με διαφορετικές χημικές ιδιότητες, οι Βρετανοί χημικοί άρχισαν την προσπάθεια ανακάλυψής τους.



Η πνευματική χημεία

- Joseph Priestley (1733-1804)
- Πειράματα και παρατηρήσεις επί διαφόρων ειδών αέρα (1774):
 - τεκμηριώνει την ύπαρξη διαφορετικών ειδών αέρα, καθένας από τους οποίους είχε συγκεκριμένες ιδιότητες. (Αζωτούχος αέρας- πρωτοξείδιο του αζώτου/ αποφλογιστοποιημένος αέρας- οξυγόνο)
 - Για να εξηγήσει τις διαφορετικές ιδιότητες των ειδών του αέρα χρησιμοποίησε τη θεωρία του **φλογιστού** του Stahl.
 - Τα διάφορα είδη αέρα διέθεταν μια ποικιλία χημικών ιδιοτήτων, ανάλογα με τις ποσότητες φλογιστού που περιείχαν.
 - Το 1774 ανακαλύπτει ένα είδος αέρα, ο οποίος έμοιαζε να περιέχει λίγο ή και καθόλου φλογιστό, και ο οποίος θεωρήθηκε ότι ήταν ο καλύτερος για την ανθρώπινη ζωή.



Η πνευματική χημεία

- Η πνευματική χημεία του Priestley αποτέλεσε τη βάση για ένα νέο σύστημα ιατρικής.
- Ιατρικά οφέλη της εισπνοής διαφόρων ειδών αέρα.
- Πειράματα σχετικά με τις χημικές και φαρμακευτικές ιδιότητες των διαφόρων ειδών αέρα & συστηματικό πρόγραμμα χημικής ανάλυσης των νέων ειδών αέρα [Humphry Davy (1778-1829)].
- Η πνευματική χημεία και το φλογιστό δεν ήταν μόνο μια θεωρητική αρχή, αλλά και η βάση μιας πρακτικής χημικής τεχνολογίας:
 - παρασκευή ανθρακούχου νερού που θεωρούσαν ότι είχε τις ίδιες φαρμακευτικές ιδιότητες με τα μεταλλικά νερά
 - Κατασκευή οργάνου που μετρούσε την ποσότητα του φλογιστού σε διάφορα είδη αέρα (εξακρίβωση ποιότητας του αέρα σε βιομηχανικές περιοχές).

Το πρόβλημα της καύσης

- **Robrt Boyle:** με την αντλία κενού ανακάλυψε ότι η απομάκρυνση του αέρα έσβηνε τη φλόγα και θανάτωνε τα μικρά ζώα που τοποθετούνταν στην υποδοχή της αντλίας του (~1660).
 - Κάποια ζωτική ουσία στον αέρα ήταν αναγκαία για τη διατήρηση της φλόγας και της ζωής.
 - Η θέρμανση (διαπύρωση) μετάλλου για την παραγωγή της τέφρας του απαιτούσε την παρουσία της ατμόσφαιρας και η μεταλλική τέφρα ζύγιζε περισσότερο από το μέταλλο από το οποίο προερχόταν.
- Άλλοι πειραματιστές θεώρησαν ότι το ζωτικό για την καύση στοιχείο το παρείχε το νίτρο, και το ονόμασαν «νιτρο-αερώδες πνεύμα).

Το πρόβλημα της καύσης

- Στη Γερμανία η χημεία είχε στενές σχέσεις με την αξιοποίηση κοιτασμάτων και την εξαγωγή μετάλλων με τήξη, και εμφανίστηκε μια ανταγωνιστική θεωρία για την εξήγηση της καύσης.
- Ο Johann Becher (1635-1682) υποστήριξε ότι τα εύφλεκτα σώματα περιείχαν «ελαιώδη γη» που απελευθερωνόταν κατά την καύση, αφήνοντας πίσω «πετρώδη ή υαλώδη γη».
- Ο Georg Stahl (1659-1734) μετονόμασε την ελαιώδη γη σε «φλογιστόν».
- Σύμφωνα με τη θεωρία του φλογιστού το στοιχείο της καύσης βρίσκεται στο καύσιμο παρά στον αέρα.
- Η καύση, η διαπύρωση των μετάλλων και η αναπνοή σταματούν όταν ο αέρας μέσα στον οποίο συμβαίνουν διαποτίζεται και δηλητηριάζεται από το φλογιστό.
- Ο Boyle είχε δείξει ότι η μεταλλική τέφρα (που δεν περιείχε φλογιστό) ζύγιζε περισσότερο από το μέταλλο (που περιείχε φλογιστό) από το οποίο προερχόταν. Το φλογιστό είχε αρνητικό βάρος;
- Το φλογιστό έδινε μια καλή ποιοτική περιγραφή των πραγμάτων και ήταν ένα πολύτιμο θεωρητικό εργαλείο.

Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794)

- Σπουδές χημείας στο πλαίσιο της θεωρίας του φλογιστού.
- Διορίζεται στην Ακαδημία των Επιστημών και εργάζεται για το γαλλικό κράτος.
- Ενδιαφέρεται για τη χημεία του αέρα και το ρόλο του στην καύση και την απομόνωση μετάλλων από τα μεταλλεύματά τους (τέφρα).
- Οι θεωρητικοί του φλογιστού υποστήριζαν ότι τα μέταλλα ήταν συνδυασμός τέφρας και φλογιστού (φλογιστό φωτιάς + τέφρα= μέταλλο).



- 1770: ο Lavoisier έχει πεισθεί ότι ο αέρας παίζει κάποιο ρόλο στην καύση.
- 1772: πειράματα στην Ακαδημία των Επιστημών τον πείθουν ότι ο αερώδης αέρας ήταν συνδυασμός αέριας ύλης και φλογιστού.
- Η διαπύρωση του μετάλλου στον αέρα παρήγαγε τέφρα και φλογιστόν (με τη μορφή θερμότητας).
- Καταθέτει σφραγισμένη επιστολή στην Ακαδημία όπου υποστηρίζει την υπόθεση ότι η βασική διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά την καύση είναι ο συνδυασμός της καιγόμενης ουσίας (πχ. Μέταλλο) με αέρια ύλη. Έτσι εξηγείται και η αύξηση του βάρους των ουσιών κατά την καύση.
- 1775: γνωρίζει τη θεωρία του Priestley για τον αποφλογιστοποιημένο αέρα και υποστηρίζει ότι παίζει βασικό ρόλο κατά την καύση. Τον ονομάζει oxygène.
- Η νέα θεωρία έχει τη βάση της στο οξυγόνο και αντικαθιστά αυτή του φλογιστού.

Οξυγόνο

- Νέα συνεκτική θεωρία βασισμένη στο νέο αέριο.
- «Οξυγόνο»: αυτός που δημιουργεί οξύ (όλες οι σχηματιζόμενες ουσίες από το συνδυασμό μετάλλων ή ανθράκων με αυτή τη νέα αρχή ήταν οξέα).
- Το αέριο του οξυγόνου αποτελούνταν από οξυγόνο (την αρχή της οξύτητας) και από το θερμιδικό ρευστό (θερμότητα).
- Ο Lavoisier ήθελε η θεωρία του να μην ερμηνεύει μόνο τις αρχές της καύσης αλλά να αποτελέσει και τη βάση ενός νέου και ενιαίου συστήματος χημείας.
- Προβλημα η ακανόνιστη παραγωγή «εύφλεκτου αέρα» κατά την κατεργασία του μετάλλου με οξύ (εξηγείται εύκολα με τη θεωρία του φλογιστού: οξύ + τέφρα= άλας και απελευθερώνει φλογιστόν με τη μορφή εύφλεκτου αέρα.)
- 1780: πειράματα που φαίνεται να δείχνουν ότι το νερό είναι ένωση αποφλογιστοποιημένου αέρα + εύφλεκτου αέρα (Henry Cavendish) → Lavoisier υποστηρίζει ότι ο εύφλεκτος αέρας προέρχεται από το νερό που διαλύει το οξύ. Το αέριο ονομάζεται «υδρογόνο».

Φλογιστόν εναντίον Οxygène

- Πατρότητα της ανακάλυψης του οξυγόνου;
 - Carl Scheele (1742-1786)- απομονώνει τον αέρα της φωτιάς στις αρχές του 1770 αλλά δημοσιεύει τα ευρήματά του πολύ αργότερα.
 - Joseph Priestley- απομονώνει τον νέο αέρα το 1774, τον ονομάζει αποφλογιστοποιημένο αέρα το 1775
 - Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) επαναλαμβάνει τα πειράματα του Priestley, ονομάζει τον αέρα αυτό οξυγόνο και τον χρησιμοποιεί ως ακρογωνιαίο λίθο του νέου συστήματος.

Το εάν επρόκειτο για την ανακάλυψη του αποφλογιστοποιημένου αέρα ή για την ανακάλυψη του αερίου οξυγόνου ήταν συνάρτηση του κατά πόσο ήταν αποδεκτό το σύστημα χημείας του Priestley ή του Lavoisier.

Νέα χημική γλώσσα

- 1782: Μέθοδος χημικής ονοματολογίας
 - Περιγράφει το νέο τρόπο ονομασίας των χημικών ουσιών βασισμένο στη θεωρία του οξυγόνου.
 - Όλες οι ουσίες που δεν μπορούν να αποσυντεθούν περισσότερο ονομάζονται στοιχεία και αποτελούν τη βάση του συστήματος ονοματοδοσίας.
 - Ο,τι ονομάζονταν «τέφρα» πριν ονομάζονται τώρα οξείδια (συνδυασμός με το οξυγόνο).
 - Τα οξέα βαφτίζονταν από την ποσότητα οξυγόνου που περιείχαν (θειικό οξύ > θειώδες οξύ)
 - Ο κατάλογος των στοιχείων περιλαμβάνει και ένα ακόμα αέριο- το άζωτο- καθώς και 2 ακόμα στοιχεία- το θερμογόνο και το φως.
 - Η χρήση και μόνο του νέου συστήματος δηλώνει την αποδοχή της θεωρίας του οξυγόνου.



Αναμόρφωση της χημείας;

- Ριζοσπαστικό και αμφιλεγόμενο εγχείρημα.
- Ορισμένοι οπαδοί της θεωρίας του φλογιστού δεν τη δέχτηκαν ποτέ (Priestley, Cavendish), άλλοι την υποστήριξαν (H. Davy, J. Black).
- Στη Γερμανία συνάντησε αντιστάσεις μέχρι και τις αρχές του 19^{ου} αι (αν και μεταφράσεις του έργου του Lavoisier είχαν κυκλοφορήσει από τις αρχές της δεκαετίας του 1790).
- Στη Γαλλία η μεταστροφή ήταν πολύ γρήγορη:
 - Εντάσσεται στο πλαίσιο των εξελίξεων στη γαλλική επιστήμη και φιλοσοφία: ποσοτικοποίηση και ακριβής μέτρηση (η προσεκτική μέτρηση του βάρους των συστατικών των προϊόντων των χημικών αντιδράσεων και η επιμονή ότι οι μεταβολές του βάρους αποτελούν απόδειξη για το τι συμβαίνει κατά τις αντιδράσεις).
 - Αναμόρφωση γλώσσας της χημείας (στο γενικότερο πλαίσιο συστηματικής αναμόρφωσης της φιλοσοφίας εκείνης της εποχής: ο Condillac υποστήριζε ότι η αναμόρφωση της γλώσσας ήταν απαραίτητη προϋπόθεση για την αναμόρφωση των τρόπων σκέψης των ανθρώπων).

Αναμόρφωση της χημείας;

- Παραδοσιακή ιστοριογραφία: η απόρριψη της θεωρίας του φλογιστού και η αναμόρφωση της γλώσσας της χημείας ήταν αποφασιστικές στιγμές της επανάστασης που συντελέστηκε στη χημεία.
- Αν και πολλά γνωρίσματα της χημείας του Lavoisier μας φαίνονται γνώριμα (ρόλος οξυγόνου στην κάυση & ορολογία), άλλα δεν είναι.
 - Εξοβελίζεται το φλογιστόν (αλλά τότε ήταν ένα ευέλικτο θεωρητικό εργαλείο με το οποίο μπορούσαν να ερμηνευτούν πολλά χημικά φαινόμενα)
 - Παραμένει η άυλη αρχή της θερμότητας (θερμογόνο).
 - Το οξυγόνο σήμερα δεν είναι η αρχή της οξύτητας.