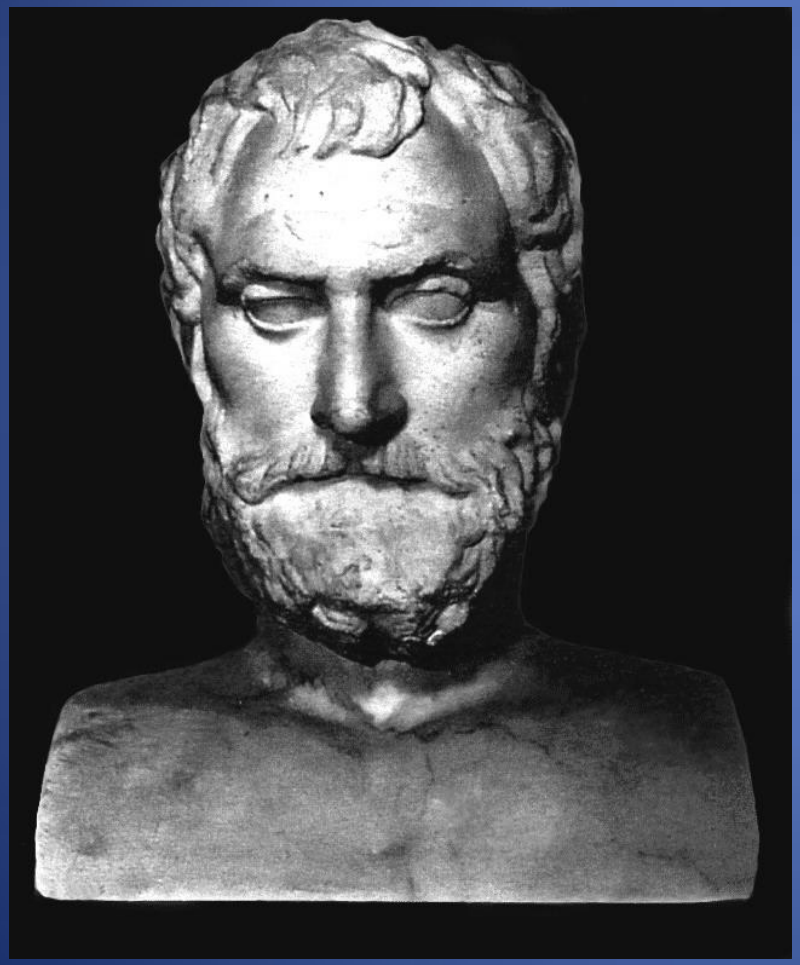
Στατικός ηλεκτρισμός και μαγνητισμός

Χάρης Βάρβογλης
Τμήμα Φυσικής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Αρχική ανάπτυξη του κλάδου

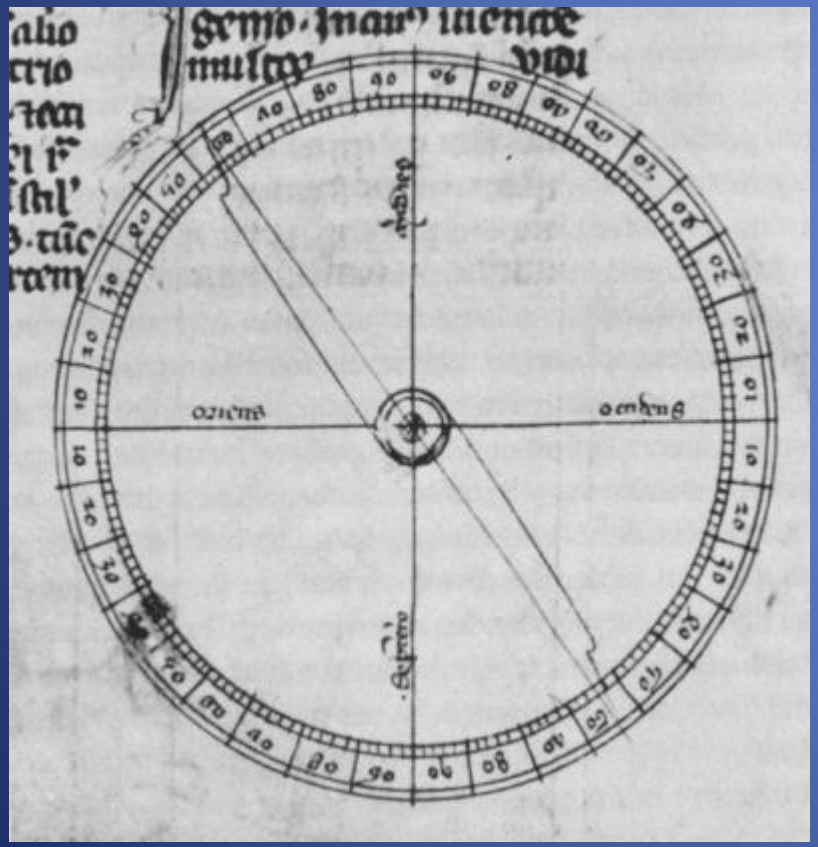
- Η εξέλιξη των ιδεών στον *Ηλεκτρισμό* και στον *Μαγνητισμό* υπήρξε πιο βραδεία από ό,τι στη Μηχανική και την Οπτική.
- Η αιτία ήταν ότι τα σχετικά φαινόμενα δεν εμφανίζονται στην καθημερινή ζωή.
- Επομένως υπήρχε έλλειψη πειραματικών δεδομένων, αφού τα πειράματα στατικού ηλεκτρισμού επηρεάζονται από την υγρασία της ατμόσφαιρας, το δε ηλεκτρικό ρεύμα δεν ήταν γνωστό πριν από τον 19^{ο} αιώνα.
- Γι’ αυτούς τους λόγους οι πρώτες ιδέες στο κεφάλαιο αυτό σχετίζονταν με τον μαγνητισμό, η μελέτη του οποίου βασιζόταν στη χρήση *φυσικών μαγνητών*.

Θαλής ο Μιλήσιος (630-543 π.Χ.)



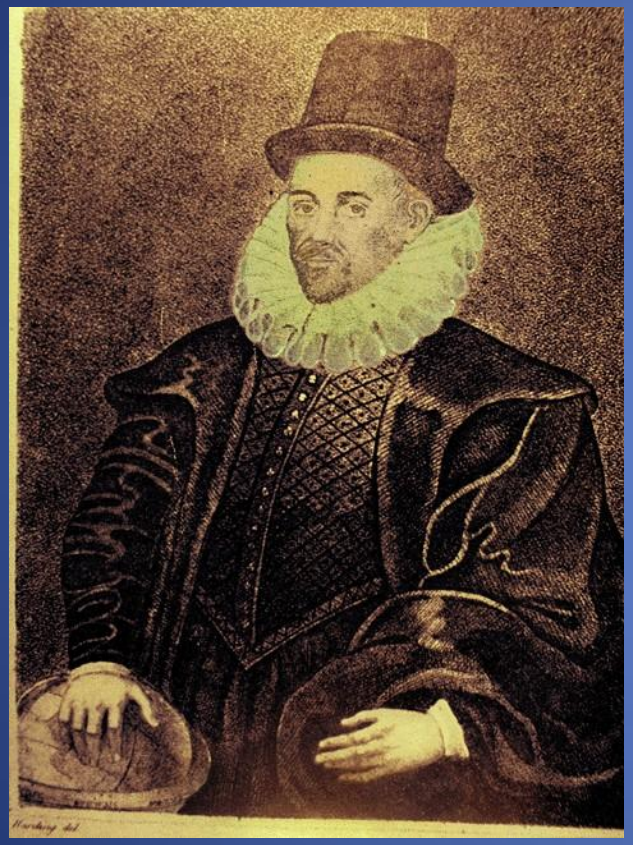
- Παρατήρησε τους *μαγνήτες λίθους*, δηλ. λίθους από τη Μαγνησία της Μ. Ασίας, οι οποίοι είναι *φυσικοί μαγνήτες*.
- Παραγωγή ηλεκτρικών φορτίων μέσω τριβής.

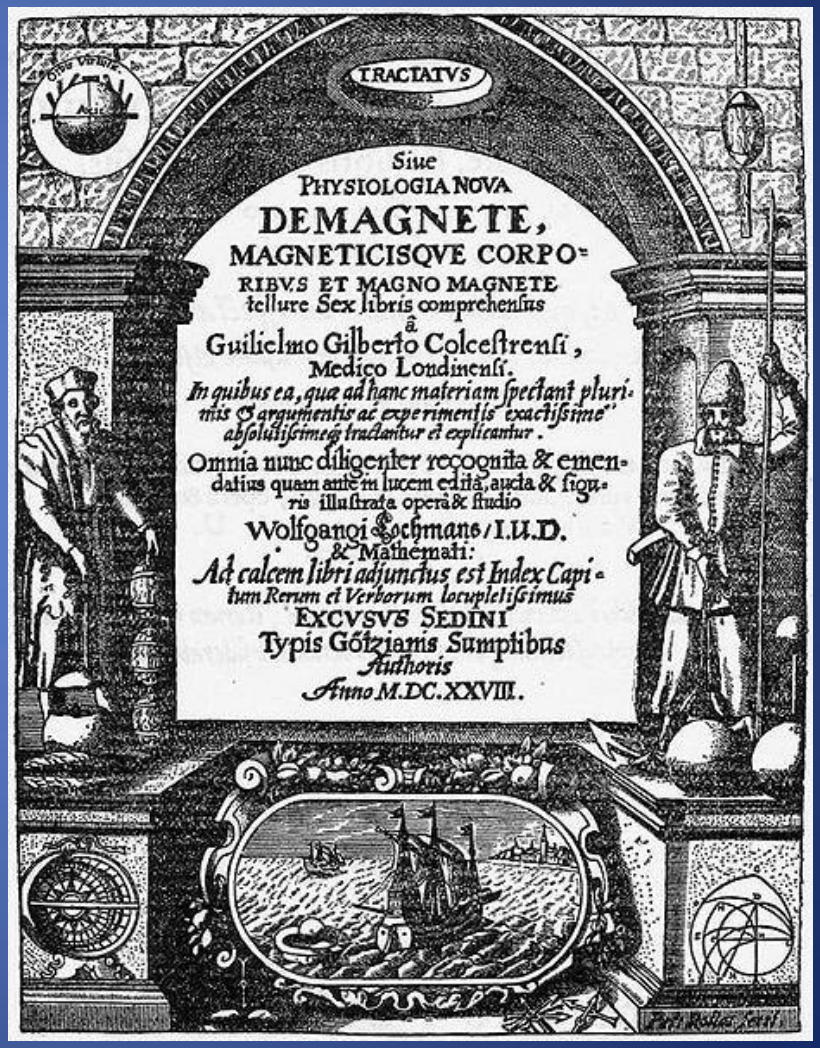
Pierre Peregrinus de Maricourt (άκμασε το 1269)



- Ο πρώτος που κατανόησε ότι υπάρχουν δύο διαφορετικά «είδη» «μαγνητικών φορτίων».
- Είναι υπεύθυνος για το «ιστορικό λάθος» να ονομάζουμε *Βόρειο μαγνητικό Πόλο* τον πόλο της μαγνητικής βελόνας που *στρέφεται* προς τον *Βόρειο γεωγραφικό Πόλο*.
- Αλλά με αυτόν τον τρόπο, εξ ορισμού, ο Βόρειος μαγνητικός Πόλος της Γης βρίσκεται κοντά στον Νότιο γεωγραφικό Πόλο!

William Gilbert – σύγχρονος του Γαλιλαίου



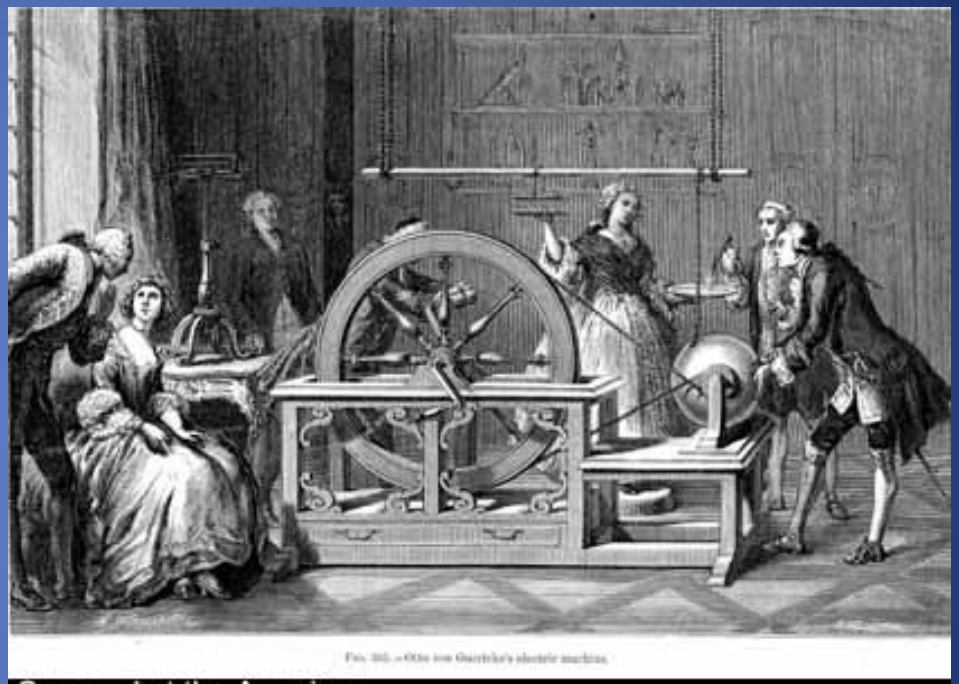


Γιατρός της Ελισσάβετ Ι
Κατασκευή και χρήση *τερέλας*
Οι μαγνητικοί πόλοι εμφανίζονται κατά ζεύγη
Διαφορές μεταξύ ηλεκτρισμού και μαγνητισμού

Σύγχρονη ηλεκτρομαγνητική τερέλα

Museo Galileo, Florence

Otto von Guericke (1602-1686)

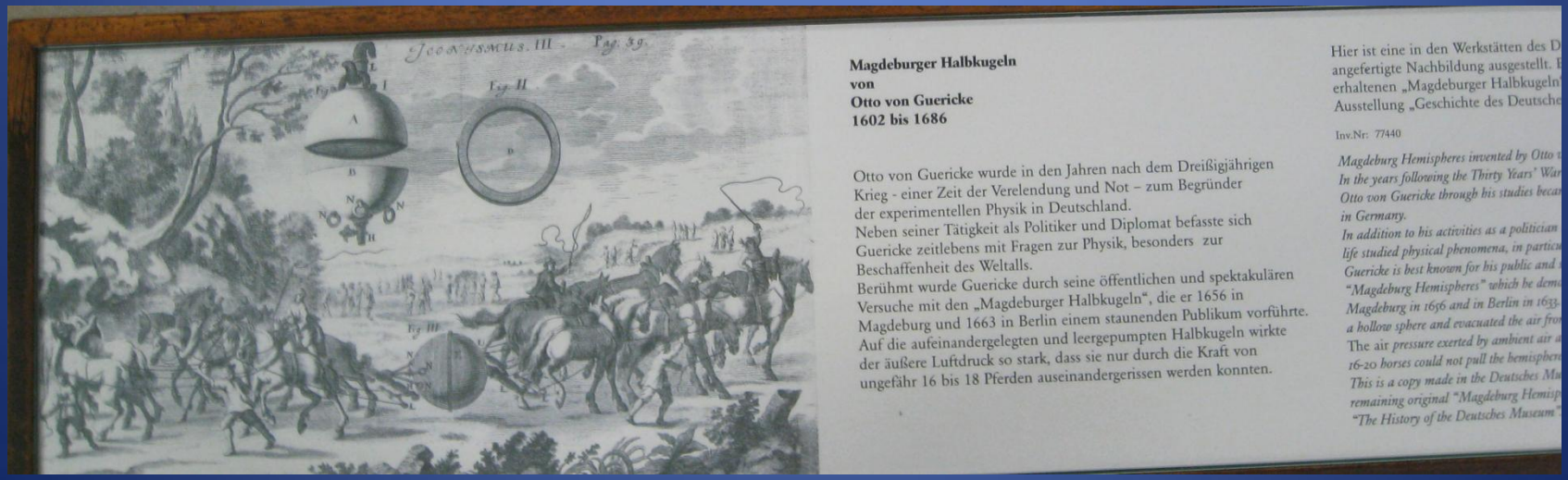


Scanned at the American Institute of Physics

Πρώτη ηλεκτροστατική γεννήτρια

Πείραμα του Von Guericke για την επίδειξη του μεγέθους της ατμοσφαιρικής πίεσης.

(Deutsches Museum, Μόναχο)



Magdeburger Halbkugeln
von
Otto von Guericke
1602 bis 1686

Otto von Guericke wurde in den Jahren nach dem Dreißigjährigen Krieg - einer Zeit der Verelendung und Not – zum Begründer der experimentellen Physik in Deutschland.
Neben seiner Tätigkeit als Politiker und Diplomat befasste sich Guericke zeitlebens mit Fragen zur Physik, besonders zur Beschaffenheit des Weltalls.
Berühmt wurde Guericke durch seine öffentlichen und spektakulären Versuche mit den „Magdeburger Halbkugeln", die er 1656 in Magdeburg und 1663 in Berlin einem staunenden Publikum vorführte. Auf die aufeinandergelegten und leergepumpten Halbkugeln wirkte der äußere Luftdruck so stark, dass sie nur durch die Kraft von ungefähr 16 bis 18 Pferden auseinandergerissen werden konnten.

Hier ist eine in den Werkstätten des D
angefertigte Nachbildung ausgestellt. E
erhaltenen „Magdeburger Halbkugeln"
Ausstellung „Geschichte des Deutsche

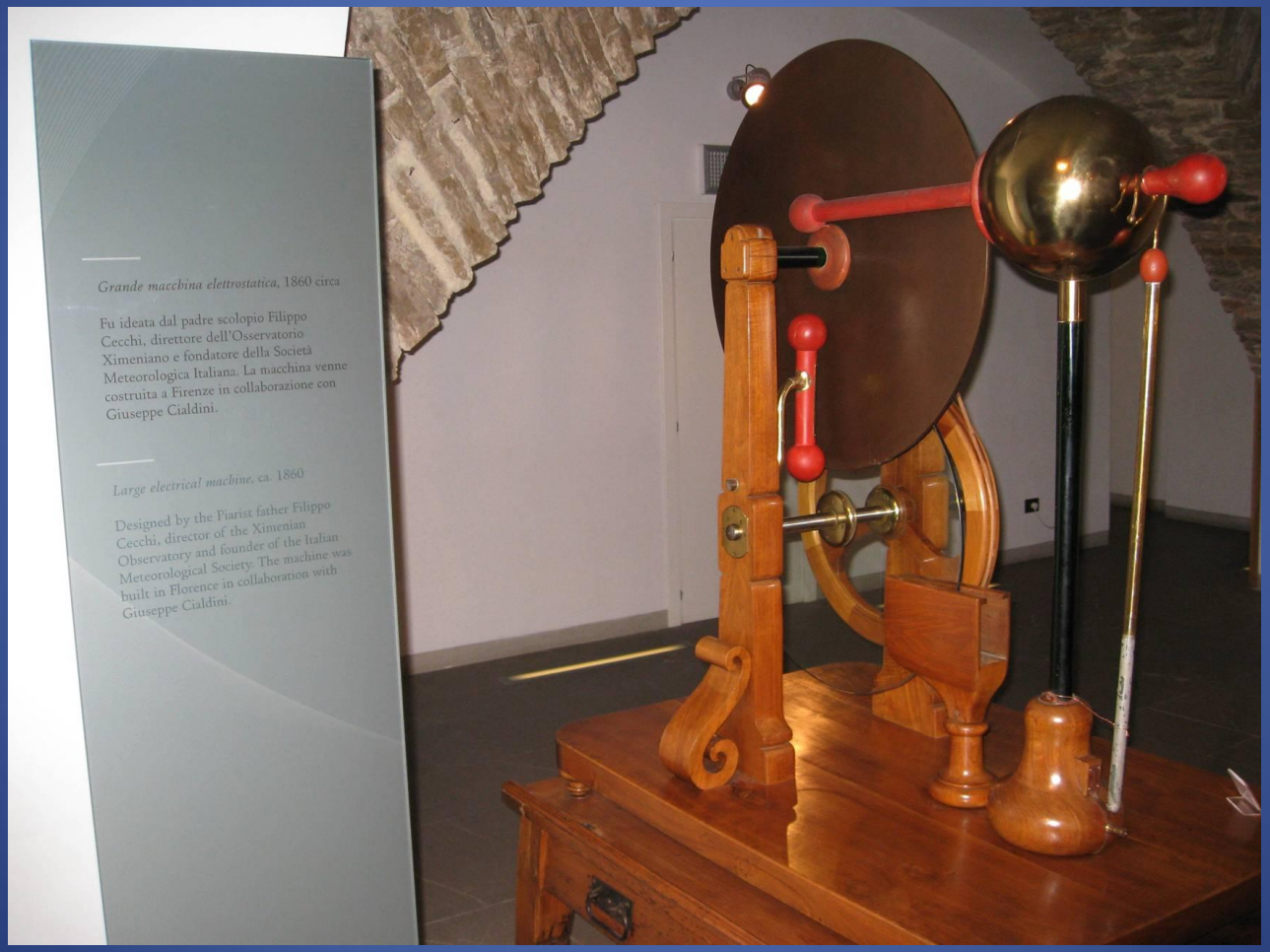
Inv.Nr: 77440

Magdeburg Hemispheres invented by Otto v
In the years following the Thirty Years' War
Otto von Guericke through his studies becam
in Germany.
In addition to his activities as a politician
life studied physical phenomena, in particu
Guericke is best known for his public and s
"Magdeburg Hemispheres" which he demo
Magdeburg in 1656 and in Berlin in 1663.
a hollow sphere and evacuated the air fro
The air *pressure exerted by ambient air a*
16-20 horses could not pull the hemisphere
This is a copy made in the Deutsches Mu
remaining original "Magdeburg Hemisp
"The History of the Deutsches Museum"

Ηλεκτροστατική γεννήτρια

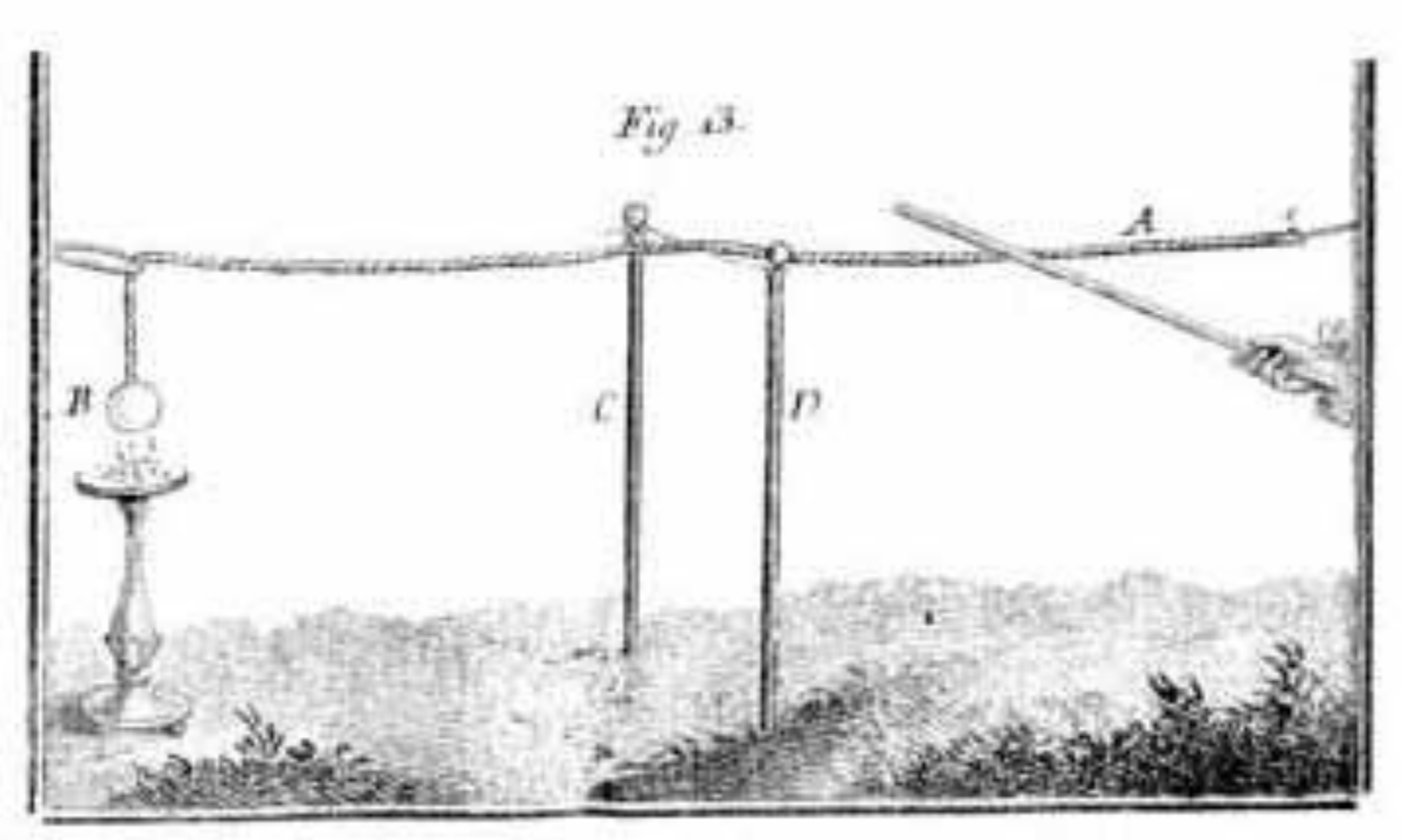
~1850, Deutsches Museum, Μόναχο

Ηλεκτροστατική γεννήτρια του 19ου αιώνα (~1860)



Museo Galileo, Φλωρεντία

Stephen Gray (1666-1736)
ηλέκτριση δι’ αγωγής



Κατανόησε τις *διαφορές* μεταξύ *αγωγών* και *μονωτών*.

Charles du Fay (1698-1739)

- Ανακάλυψε τη *διαφορά* μεταξύ *θετικών* and *αρνητικών* ηλεκτρικών φορτίων.
- Τα ονόμασε *υαλώδη* (*vitreous, θετικό*, όταν τρίβουμε γυαλί με μετάξι) και *ρητινώδη* (*resinous*, *αρνητικό*, όταν τρίβουμε κεχριμπάρι με γούνα).

Ανακαλύψεις του Du Fay

Seventhly, Chance has thrown in my Way another Principle, more univerſal and remarkable than the preceding one, and which caſts a new Light on the Subject of Electricity. This Principle is, that there are two diſtinct Electricities, very different from one another; one of which I call *vitreous Electricity*, and the other *reſinous Electricity*. The firſt is that of Glaſs, Rock-Cryſtal, Precious Stones, Hair of Animals, Wool, and many other Bodies: The ſecond is that of Amber, Copal, Gum-Lack, Silk, Thread, Paper, and a vaſt Number of other Subſtances.

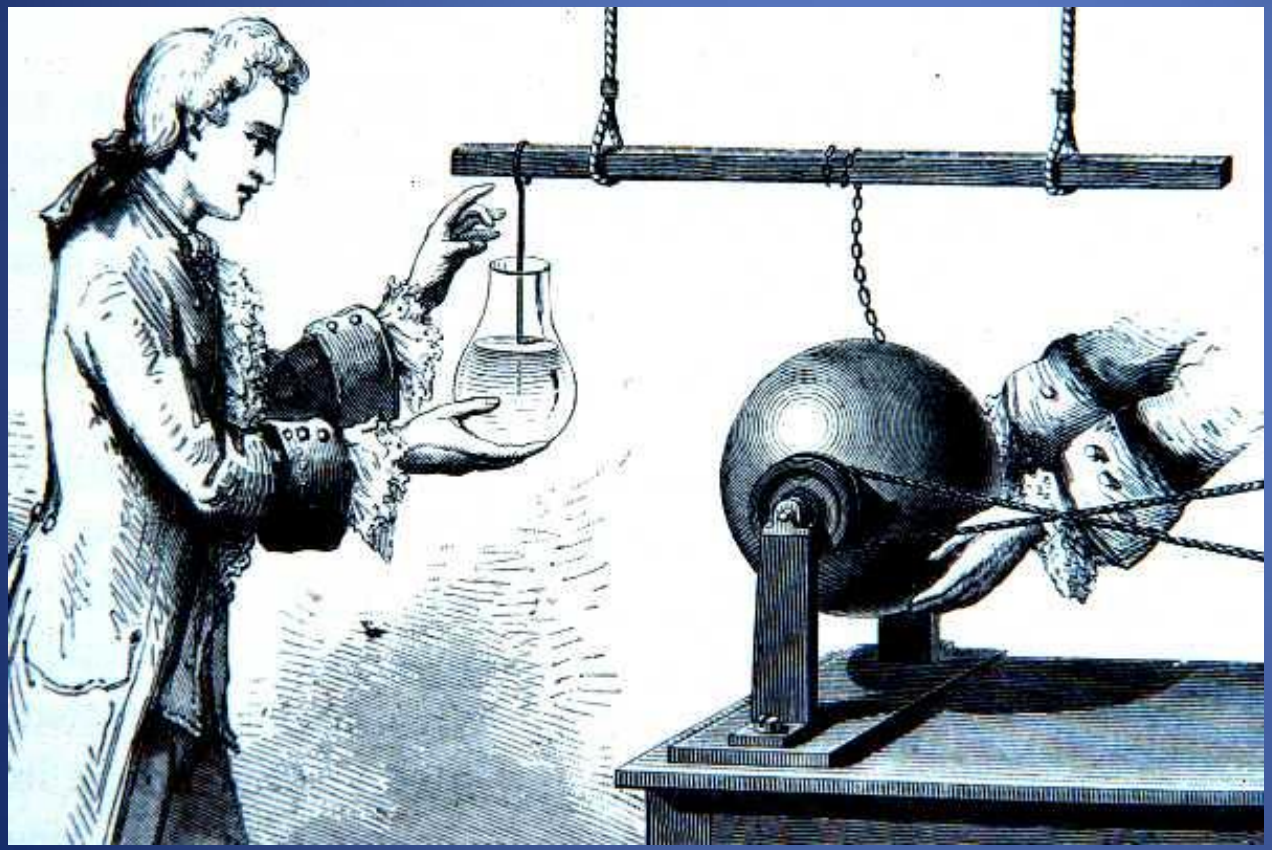
Από την εργασία του: "A Discourse concerning Electricity", Phil. Trans., 1734

- Όλα τα σώματα μπορούν να ηλεκτρισθούν με θέρμανση και τριβή, εκτός από τα μέταλλα και τα μαλακά ή υγρά.
- Όλα τα σώματα, περιλαμβανομένων των μεταλλικών και υγρών, μπορούν να ηλεκτρισθούν με αγωγή.
- Το γυαλί είναι τόσο αποτελεσματικό όσο και το μετάξι ως μονωτής.
- Τα νήματα είναι καλύτεροι αγωγοί όταν είναι βρεμένα.
- Υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρισμού, ο *υαλώδης* και ο *ρητινώδης*.
- Σώματα που είναι φορτισμένα με υαλώδη ηλεκτρισμό έλκουν σώματα που είναι φορτισμένα με ρητινώδη ηλεκτρισμό.

John Canton (1718-1772)

- Ανακάλυψε ότι *είναι δυνατό* να παραγάγουμε τόσο "*υαλώδη*" όσο και "*ρητινώδη*" ηλεκτρισμό από την *ίδια γυάλινη* ράβδο, εφόσον την τρίψουμε με *διαφορετικό υλικό* κάθε φορά.

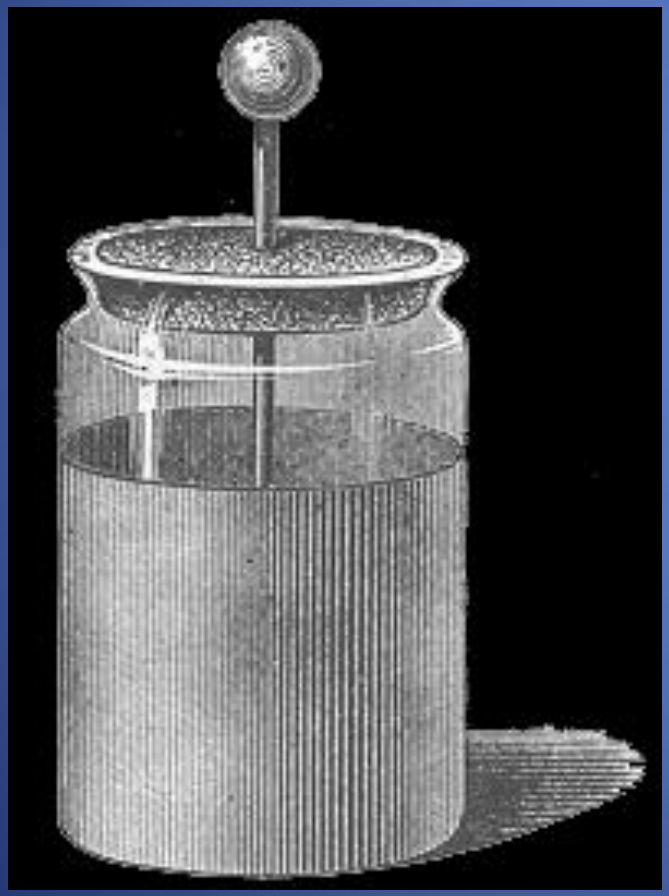
Ewald Georg von Kleist (1700-1748)



- Θεωρούσε ότι ο *Ηλεκτρισμός* είναι ένα είδος *ρευστού*, το οποίο μπορεί κανείς να το βάλει σε ένα δοχείο!
- Σταμάτησε τα πειράματά του, όταν δέχθηκε ισχυρά ηλεκτρικά τινάγματα.

Pieter van Musschenbroek (1692-1761)

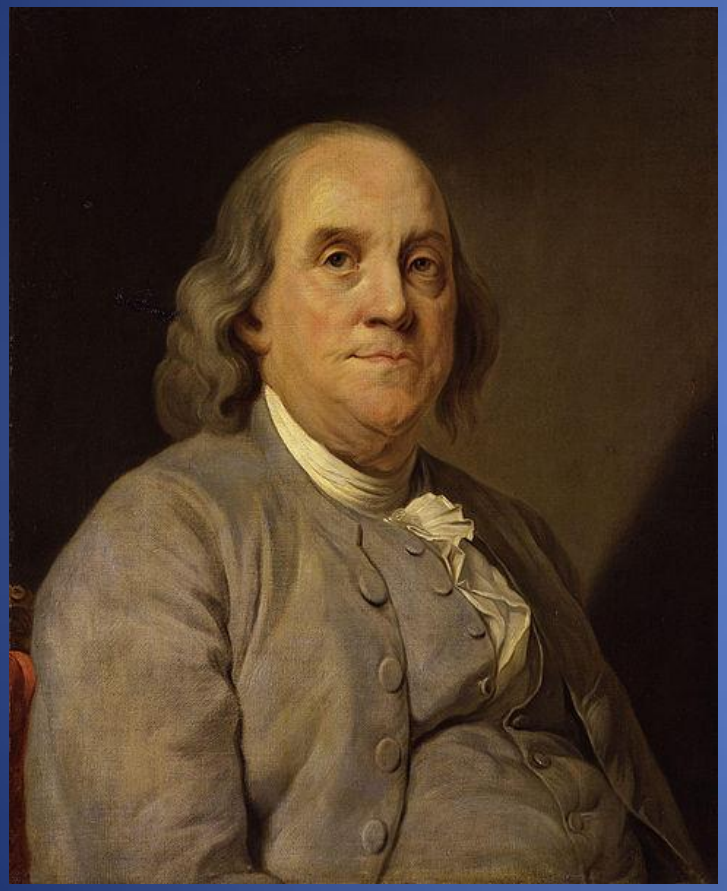
Λουγδουνικές Λάγηνοι (*Leyden Jars*)

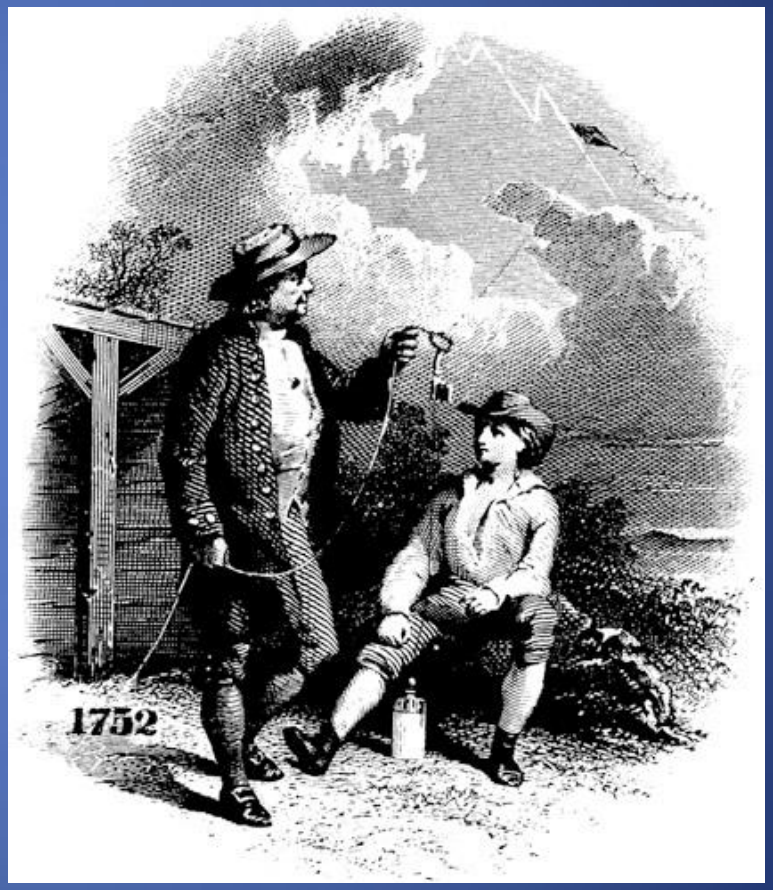


Μία από τις πρώτες Λουγδουνικές Λαγήνους

~1775
Museo Galileo, Florence

Benjamin Franklin (1706-1790), ο χαρταετός του και το αλεξικέραυνο





Τα *δύο είδη* ηλεκτρισμού (υαλώδης και ρητινώδης) είναι απλά *αντίθετες* μορφές του ίδιου «πράγματος».
Πρώτη αναφορά του νόμου $F \sim 1/r^2$

Μια συνηθισμένη παρανόηση

- Από ένα γράμμα το Φραγκλίνου σε ένα φίλο του στην Αγγλία:
- *When rain has wet the kite twine so that it can conduct the electric fire freely, you will find it streams out plentifully from the key at the approach of your knuckle, and with this key a phial, or Leiden jar, maybe charged: and from electric fire thus obtained spirits may be kindled, and all other electric experiments [may be] performed which are usually done by the help of a rubber glass globe or tube; and therefore the sameness of the electrical matter with that of lightening completely demonstrated.*
- Δεν περίμενε μέχρι να τον χτυπήσει ένα κεραυνός! Ο καθηγητής Georg Wilhelm Richmann του Πανεπιστημίου του St. Petersburg, που έκανε το πείραμα με τον «λάθος» τρόπο λίγους μήνες αργότερα, σκοτώθηκε από κεραυνό!

Joseph Priestley (1733-1804)

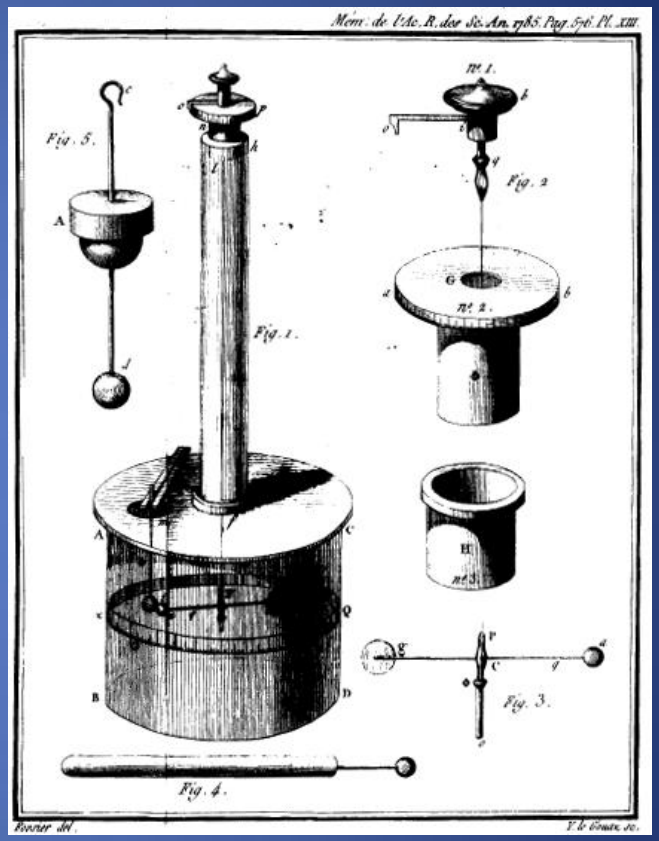
- Χημικός, ανακάλυψε το *οξυγόνο*
- Επανέλαβε το πείραμα του Φραγκλίνου, στο οποίο παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει συνισταμένη ηλεκτρική δύναμη στο εσωτερικό ενός μεταλλικού κουτιού.
- Σε αναλογία με προγενέστερα αποτελέσματα για το βαρυτικό πεδίο, συμπέρανε ότι η *ηλεκτρική δύναμη* θα πρέπει να είναι της μορφής $1/r^2$.

Henry Cavendish (1731-1810)

- Εκκεντρικός Άγγλος αριστοκράτης.
- Ήταν σιωπηλός και μοναχικός.
- Φορούσε πάντα ένα γκριζοπράσινο σακάκι (εξ ού και το σημερινό *Cavendish green*).
- Επικοινωνούσε με τις υπηρέτριες μόνο με σημειώματα, επειδή ντρεπόταν τις γυναίκες.
- Μετά τον θάνατό του, ο Maxwell διάβασε τις σημειώσεις του και διαπίστωσε ότι:
- είχε ανακαλύψει το υδρογόνο.
- είχε κατανοήσει:
  - την έννοια του *ηλεκτρικού δυναμικού*
  - τη μορφή του *νόμου του Coulomb*
  - το *νόμο του Ohm*
  - το "*μηχανικό ισοδύναμο της Θερμότητας*"

-είχε ορίσει την *πρώτη μονάδα χωρητικότητας*, την χωρητικότητα μιας σφαίρας με ακτίνα 1 in .
-είχε υπολογίσει την *χωρητικότητα ενός επίπεδου πυκνωτή*.

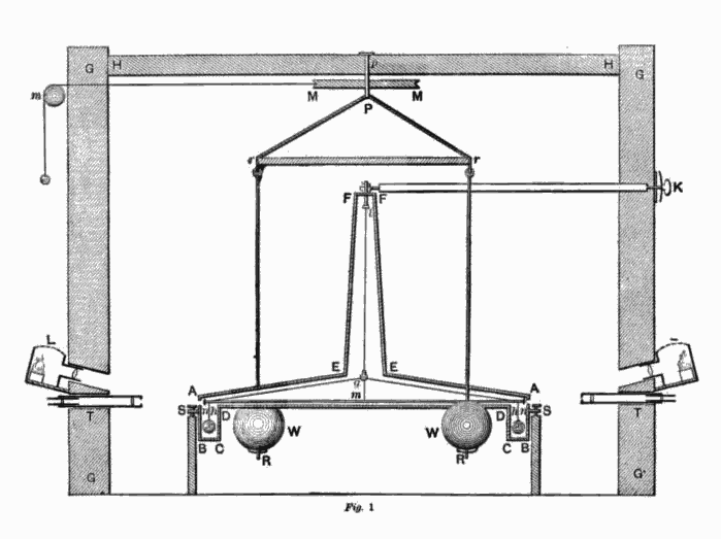
Charles Augustin de Coulomb



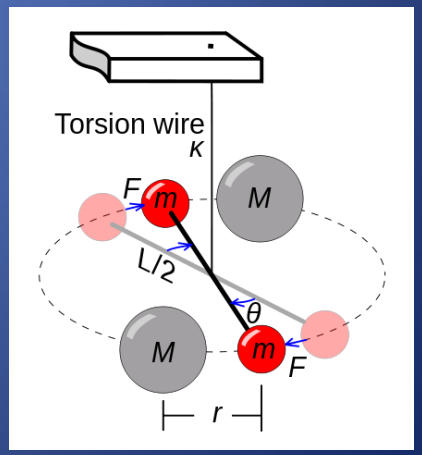
- Εφηύρε τον *ζυγό στρέψης*, $F = k\,\Delta\vartheta$.
- Η σταθερά k υπολογίζεται από τις ελεύθερες ταλαντώσεις του ζυγού.
- Χρησιμοποιώντας τον ζυγό στρέψης, ο Coulomb μέτρησε τη δύναμη μεταξύ δύο φορτίων, και βρήκε *πειραματικά* τον νόμο $F = k\, q_1.q_2/r^2$

Μέτρησε ο Cavendish το *G*?

- Ο Cavendish χρησιμοποίησε τον ζυγό στρέψης του Coulomb για να μετρήσει τη δύναμη της *βαρυτικής* έλξης μεταξύ δύο σφαιρών.
- Θα μπορούσε να έχει σημειώσει ότι μέτρησε την τιμή του *G*.



•Αλλά, λόγω του συστήματος μονάδων που χρησιμοποιούσε, σημείωσε μόνο ότι μέτρησε τη μέση πυκνότητα της Γης.
•Χρησιμοποιώντας το σύστημα SI για να εκφράσουμε τις μετρήσεις του, βρίσκουμε ότι η τιμή του *G* που θα μπορούσε να έχει υπολογίσει διαφέρει μόλις 1% από την τιμή που δεχόμαστε σήμερα.



Ενιαία μαθηματική περιγραφή ηλεκτρισμού, μαγνητισμού και βαρύτητας

- Φιλοσοφική άποψη: καθιέρωση της *δράσης από απόσταση*.
- Πρακτική άποψη: καθιέρωση της έννοιας του *δυναμικού* (Lagrange).
- Υπολογισμός του δυναμικού (εξίσωση Laplace για $\rho = 0$, εξίσωση Poisson για $\rho \neq 0$)
- Λύση της εξίσωσης Laplace (συναρτήσεις Green)
- Εναλλακτική θεμελίωση της βαρύτητας από τους Gauss και Green