

Coulomb & comp.

základná sila bežného života

mechanika 8

kľúčová sila

väčšina fyzikálnych javov

- Takmer všetko, čo sa deje okolo nás, je prejavom takzvanej elektrostatickej sily, ktorá pôsobí medzi každými dvomi elektrickými nábojmi.
- Ako presne táto sila vyzerá, uhádol a experimentálne overil Charles Augustin de Coulomb v roku 1785 (takmer sto rokov po vydaní Newtonových Principií).
- Uhádnutie vyzeralo takto: čo keby elektrostatická sila vyzerala úplne ako Newtonova gravitačná sila, akurát by v úlohe hmotností vystupovali náboje?

Coulombova sila

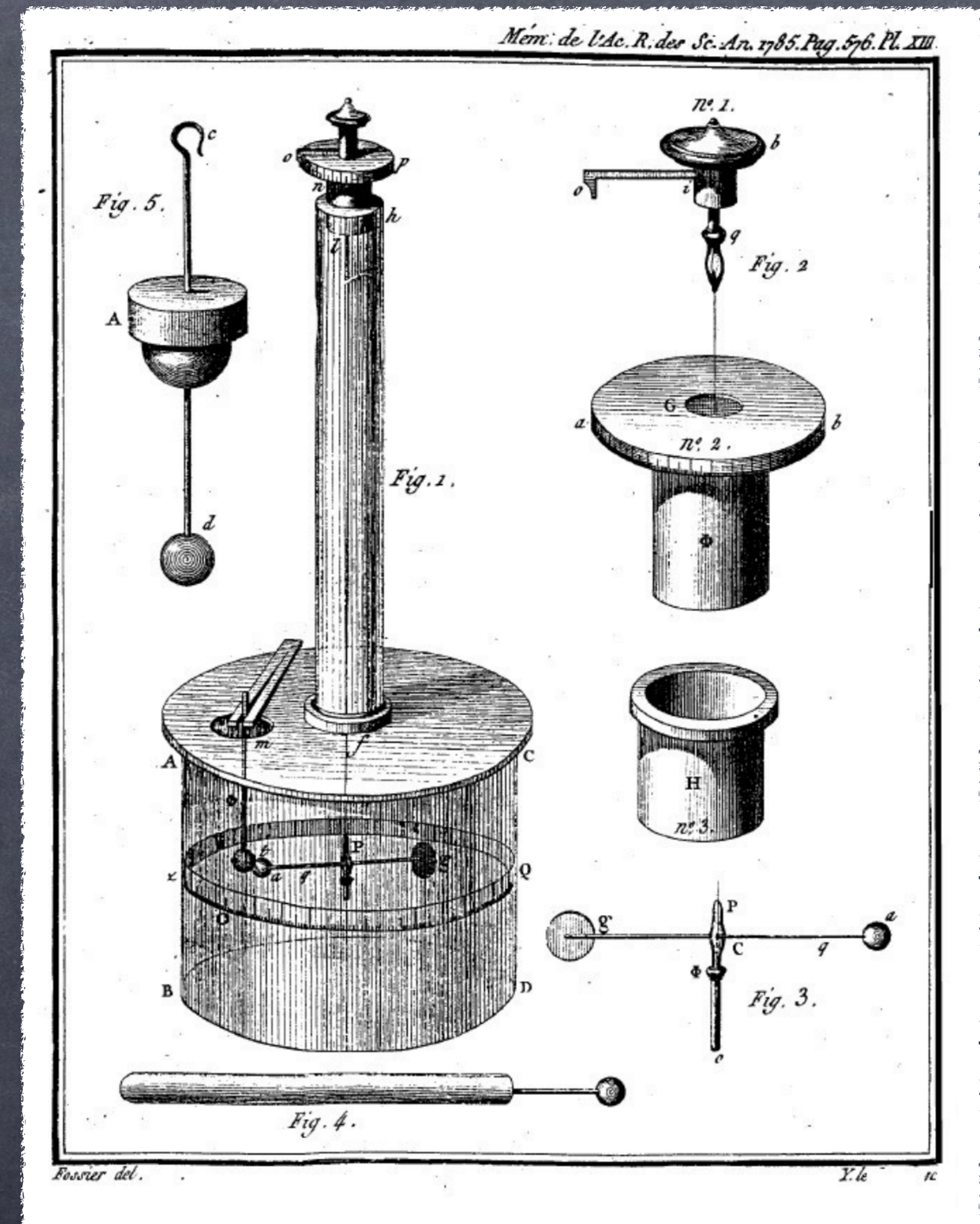
- Sila, ktorou pôsobí nejaký náboj Q sediacy v počiatku na náboj q sediacy v mieste s polohovým vektorom \vec{r}

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q \cdot q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

- Prvý člen je len nejaká čudne zapísaná konštanta
- Ak je súčin $Q \cdot q$ kladný, sila je odpudivá (v smere \vec{r})
ak je záporný, sila je príťažlivá (proti smeru \vec{r})

experimentálne overenie

- Pomocou tzv. torziých váh (na lanku zavesená tyčka)
- Ak sa otočí, lanko sa snaží vrátiť do nestočenej polohy. Dá sa tým merať sila.
- Hlavná výhoda: Meria sa vo vodorovnom smere, v ktorom nepôsobí gravitačná sila Zeme. Preto sa takto dajú merať aj veľmi malé sily.



malá odbočka

Anglicko, koniec osemnásteho storočia. K osamelej šope pristupuje muž a ďalekohľadom zastrčeným do diery vyvrtanej v stene pozoruje, čo sa deje vo vnútri. Keď pozorovanie dokončí, vracia sa do domu a dáva si pozor, aby nikoho nestretol.

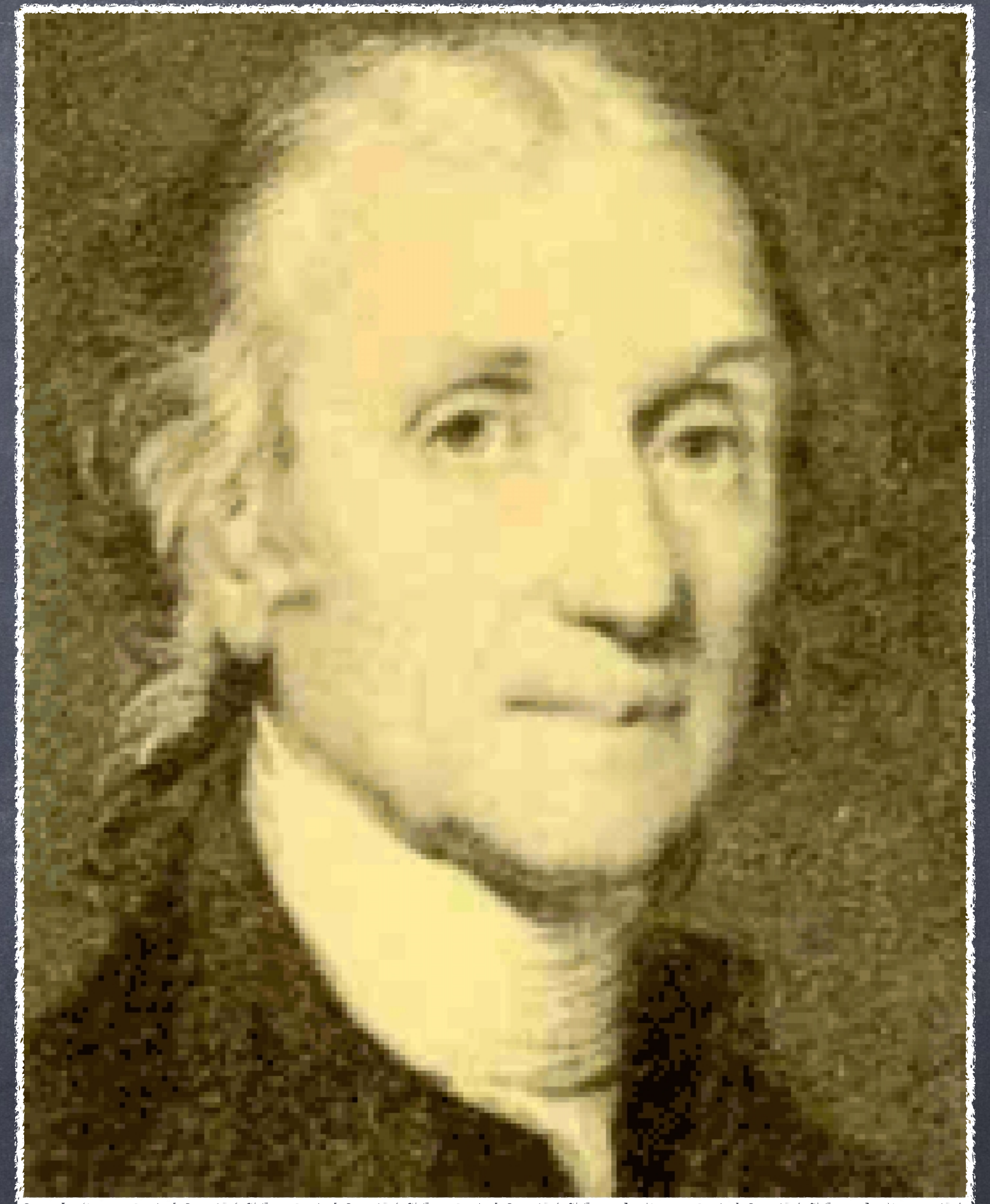
Tento muž je jedným z najbohatších ľudí Británie.

Z matkinej strany je vnukom vojvodu z Kentu, z otcovej strany vnukom vojvodu z Devonshire.

Peniaze ho však nezaujímajú. Momentálne ho najviac zaujíma to, čo má zavesené v šope.

Tento muž je súčasne jedným z najväčších
čudákov široko-d'aleko. Vo svojom dome
neznesie takmer nijakých ľudí, celé
služobníctvo tvorí jedna jediná osoba,
s ktorou komunikuje prostredníctvom
písaných odkazov.

Tento muž je navyše v tom, čo robí,
nesmierne skúsený. Má 67 rokov a takmer
celý život sa venoval svojej záľube. A je
v nej naozaj dobrý. Takže hoci o mnohom
z toho, čo urobil, takmer nikto nevie, je
známy a slávny. Ale to, čo má v šope, ho
preslávi viac, než všetko ostatné.

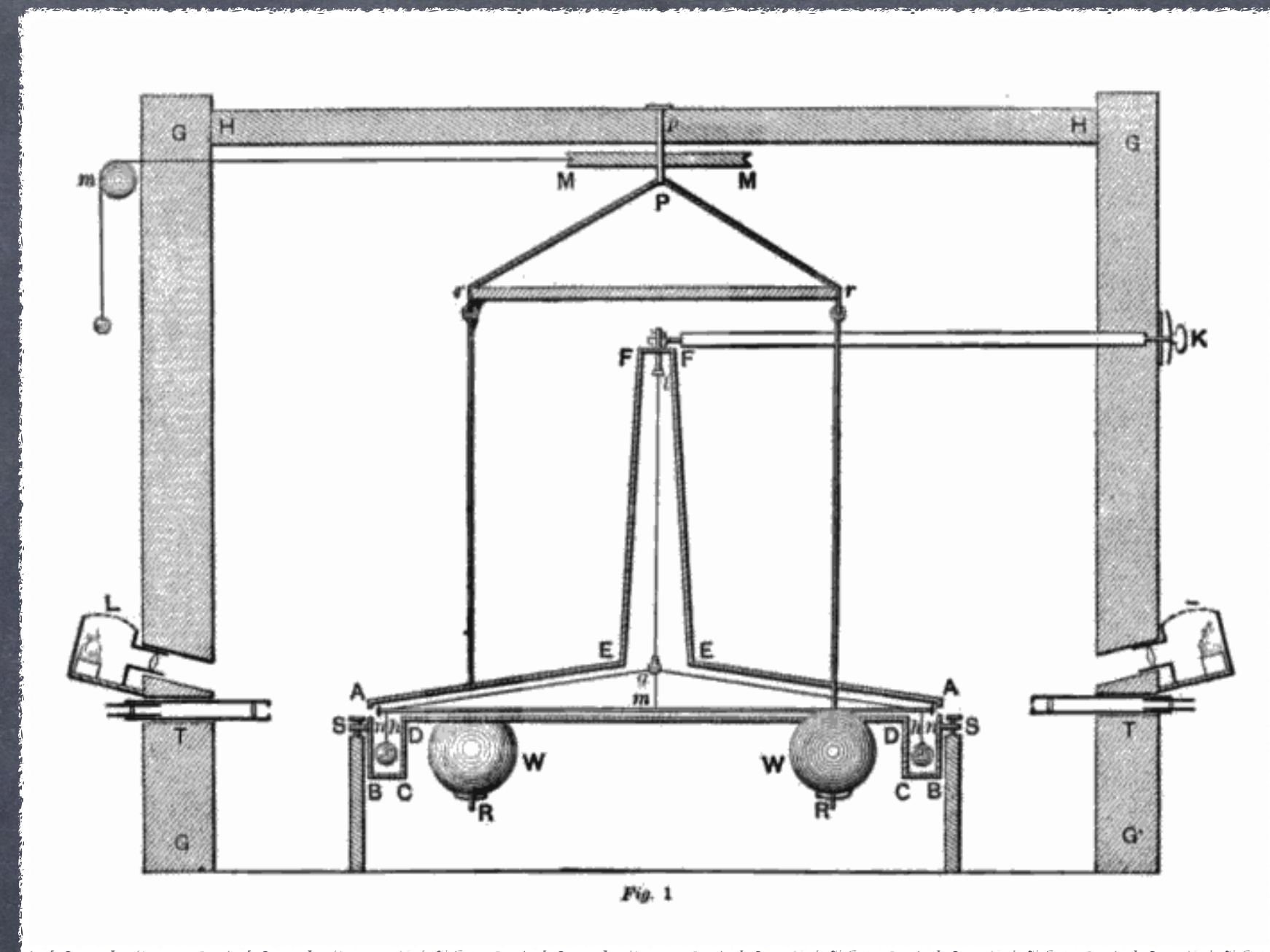


Henry Cavendish, 1731-1810

Štyri prsty tapíra

Čo mal Cavendish v šope?

- Torzné váhy (podľa Coulombovho vzoru, ale veľmi vylepšené), ktorými dokázal odmerať gravitačnú silu medzi dvomi olovenými guľami.
- Z odmeranej sily, zo vzdialenosti guľí a z ich známych hmotností vieme nájsť hodnotu gravitačnej konštanty k .
- A keďže $k \cdot M_z = g \cdot R_z^2$ (pozri minulú prednášku), vieme vypočítať samotné M_z .
Čiže Cavendish odvážil Zem.



koniec malej odbočky

premyslite si

- Ak sa náboj q_1 nachádza v mieste \vec{r}_1 a náboj q_2 v \vec{r}_2 , potom Coulombova sila pôsobiaca na druhý náboj je

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 \cdot q_2}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|^2} \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|}$$

- Aká je intenzita elektrického poľa od náboja q_1 ?
- Ako je to v prípade gravitačného poľa?

silové polia

- Ak sedí teleso s hmotnosťou M a nábojom Q v počiatku, potom kamkoľvek umiestnime iné teleso s hmotnosťou m a nábojom q , budú naň pôsobiť sily $m \cdot \vec{G}$ a $q \cdot \vec{E}$, kde

$$\vec{G} = -K \frac{M}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

- Funkcie $\vec{G}(\vec{r})$ a $\vec{E}(\vec{r})$ nazývame silovými poliami resp. intenzitami silových polí (gravitačného a elektrického)

dôležitosť silových polí

- na prvý pohľad vyzerá pojem silového poľa ako celkom triviálna vec: je to vlastne sila vydelená hmotnosťou alebo nábojom telesa, na ktoré táto sila pôsobí
- v skutočnosti je to oveľa hlbší a dôležitejší pojem, než by sa mohlo na prvý pohľad zdať
- vtip je v tom, že Newtonov a Coulombov zákon nie sú celá pravda o gravitačnej, elektrickej a magnetickej sile (o ktorej zatiaľ nebola reč)

magnetická síla

- ak sa náboj q pohybuje v blízkosti magnetu, pôsobí naň ďalšia, tzv. magnetická síla (táto síla pôsobí aj ďaleko od magnetu, ale aj ona s rastúcou vzdialenosťou klesá)
- ako presne vyzerá síla pôsobiaca na náboj q pohybujúci sa rýchlosťou \vec{v} v okolí magnetu, to zistil v roku 1895 (čiže prekvapujúco neskoro) Hendrik Lorentz (Nobelova cena 1902)
- Zaujímavosť: J. J. Thompson (Nobelova cena 1906) na to prišiel už v roku 1881, ale mal tam chybný faktor $1/2$

Lorentzova síla

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

- ako presne je definovaný tzv. vektorový súčin $\vec{v} \times \vec{B}$ to si povieme na jednej z ďalších prednášok
- v tejto chvíli to ešte nepotrebujeme vedieť, pretože bežné magnetické polia bývajú väčšinou podstatne slabšie ako elektrické polia, takže často dominuje práve elektrické pole

ako vyzerá magnetické pole?

- pre gravitačné pole máme Newtonov zákon
pre elektrické pole máme Coulombov zákon
máme niečo podobné aj pre magnetické pole?
- pre magnetické polia existuje pomerne jednoduchá
formulka pre magnetické pole rovinného vodiča s prúdom,
ale typické magnetické pole tak nevyzerá
- vo všeobecnosti je dôležité vedieť, že pre silové polia
existujú nejaké rovnice a polia sú ich riešeniami

rovnice pre silové polia

- gravitačné, elektrické aj magnetické pole sú nejakými funkciami polohy a času
- závislosť funkcií $\vec{G}(\vec{r}, t)$, $\vec{E}(\vec{r}, t)$, $\vec{B}(\vec{r}, t)$ od premenných \vec{r} a t opisujú fyzikálne rovnice, ktoré sú v skutočnosti rovnako dôležité, ako Newtonova rovnica v mechanike
- v prípade elektromagnetických polí ide o Maxwellove rovnice, v prípade gravitačného poľa ide o Einsteinovu rovnicu (preberajú sa vo vyšších ročníkoch)

Newton a Einstein

Coulomb a Maxwell

- Newtonove gravitačné pole je jedným z približných riešení Einsteinovej rovnice
- toto priblíženie je dostatočné prakticky všade, okrem astrofyziky a kozmológie
- Coulombove elektrostatické pole je jedným z presných riešení Maxwellových rovníc
- okrem týchto riešení je prakticky dôležitých veľmi veľa iných riešení týchto rovníc

неповинная úloha na závet

- ak má homogénne magnetické pole smer osi z, potom magnetická sila má zložky

$$F_x = q \cdot v_y \cdot B$$

$$F_y = -q \cdot v_x \cdot B$$

- napíšte program na počítanie pohybu v homogénnom magnetickom poli (nakreslite trajektóriu v rovine xy)
- pomocou programu nájdite pohyb v skrížených homogénnych poliach (elektrické v smere osi y, magnetické v smere osi z)

klúčová časť programu:

$$a_{x_n} = q v_{y_n} B / m$$

$$a_{y_n} = q (E - v_{x_n} B) / m$$

$$x_{n+1} = x_n + v_{x_n} * dt$$

$$z_{n+1} = z_n + v_{z_n} * dt$$

$$v_{x_{n+1}} = v_{x_n} + a_{x_n} * dt$$

$$v_{z_{n+1}} = v_{z_n} + a_{z_n} * dt$$