

# **A fizika története**

**GEFIT555-BL2, GEFIT555-BL, GEFIT703-MFTL**

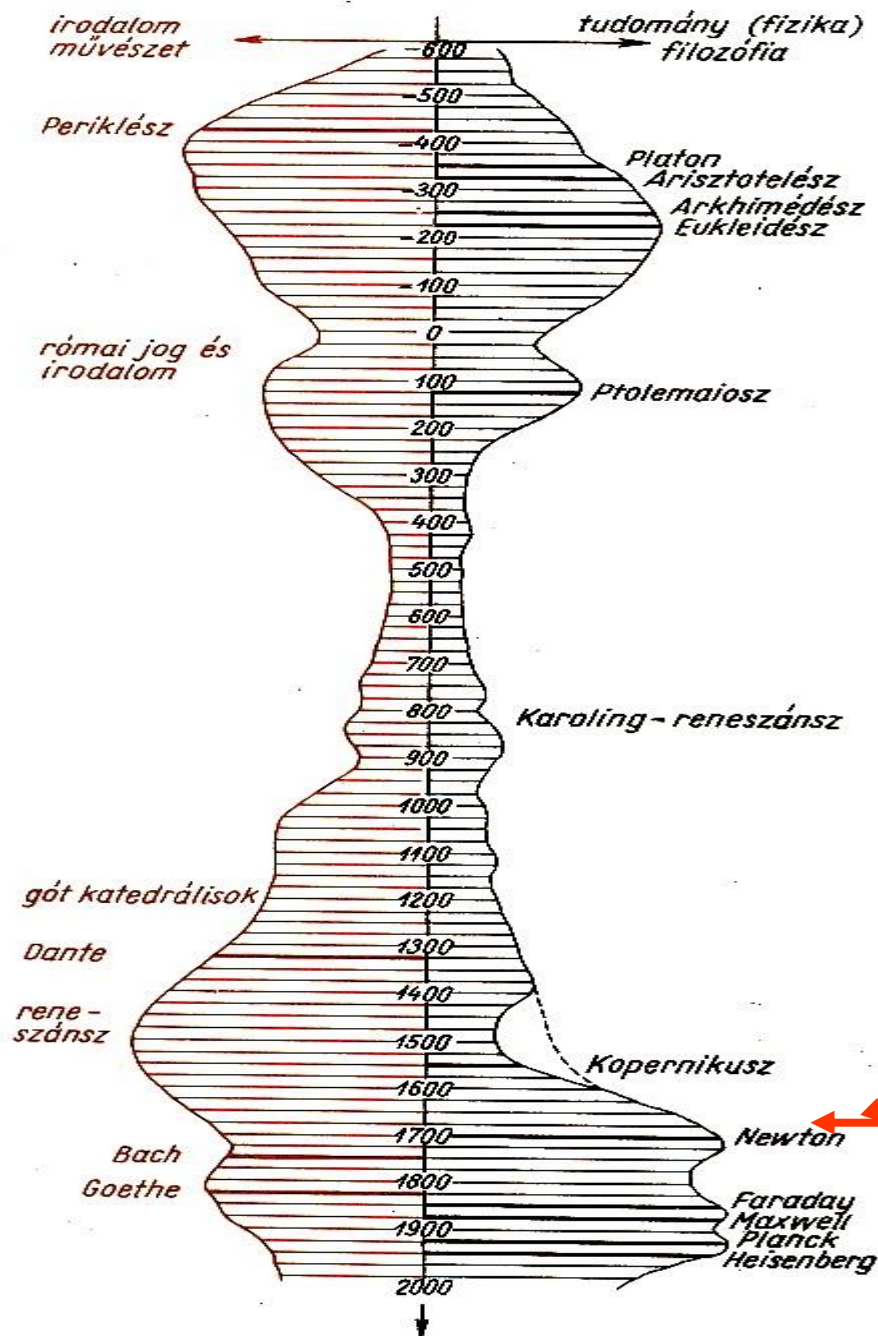
**8óra/félév, 2 kredit**

**2025/2026. tanév, 1. félév**

***Dr. Paripás Béla***

***2. rész***

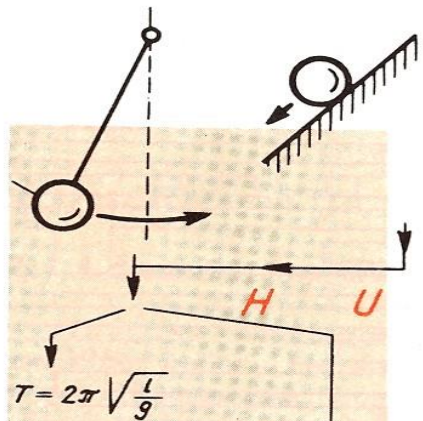
***(2025.10.04-re tervezett tananyag)***



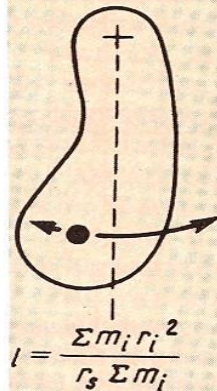
# G A L I L E I

# DESCARTES

(filozófiai  
alapelvek)



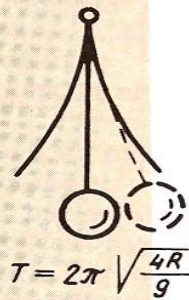
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$



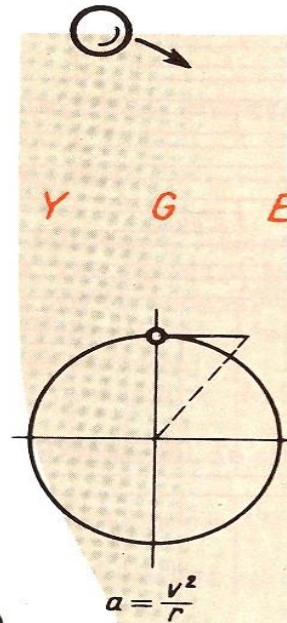
$$l = \frac{\sum m_i r_i^2}{r_s \sum m_i}$$

$$mv^2 + 2mgh = \text{const}$$

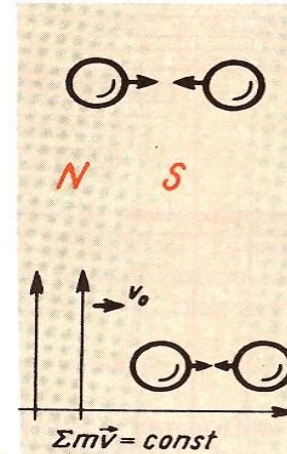
**Leibniz**  
("eleven erő")



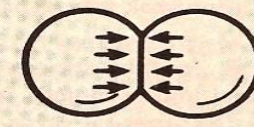
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{4R}{g}}$$



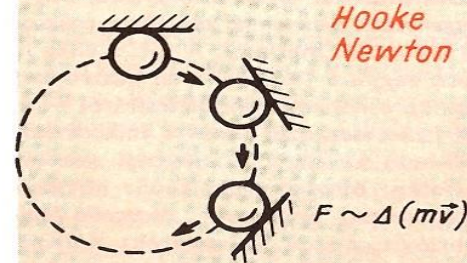
$$a = \frac{v^2}{r}$$



$$\Sigma m\vec{v} = \text{const}$$



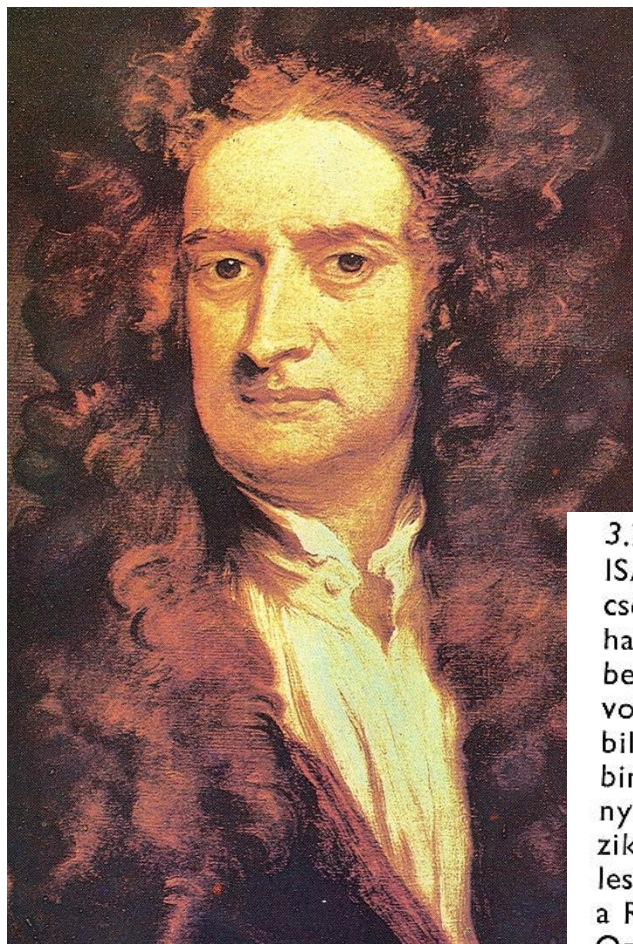
**Hooke**  
**Newton**



$$F \sim \Delta(m\vec{v})$$

# N E W T O N



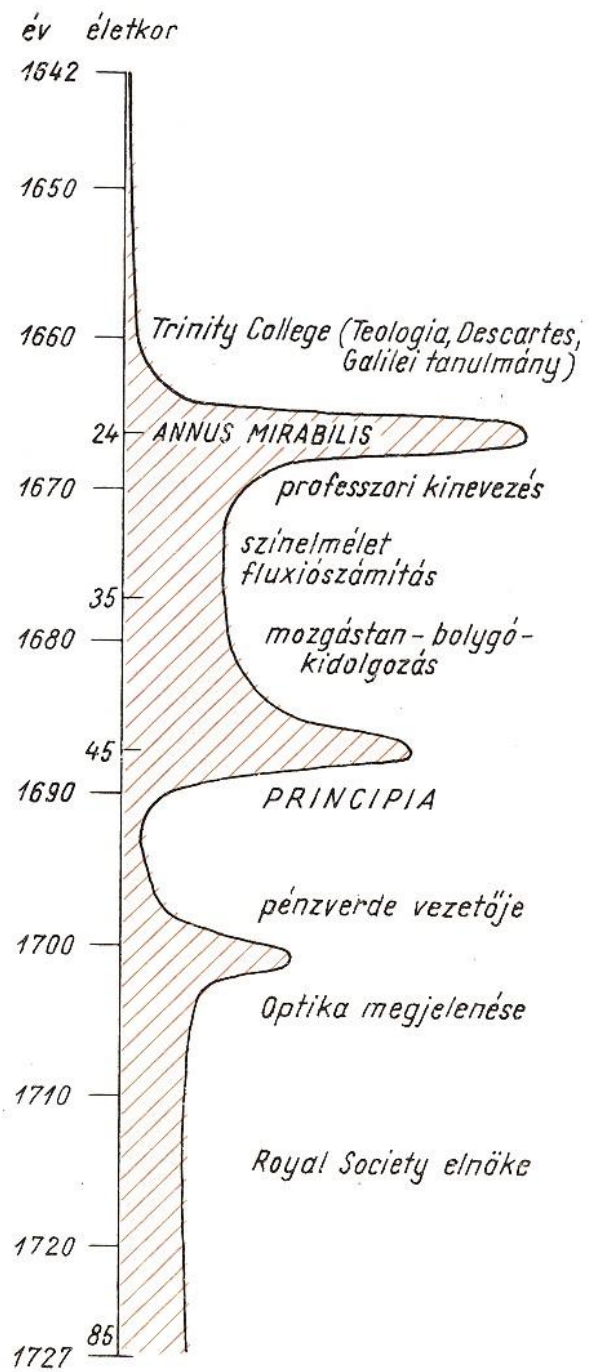


3.7 – 1 ábra

ISAAC NEWTON (1642 – 1727) Woolsthorpe-ban (Lincolnshire megyében), 1642 karácsonján született. A kontinensen ekkor már 1643-at írtak. Apja néhány hónappal előbb halt meg. 1661-ben nagybátyja támogatásával a Trinity College of Cambridge University-ben matematikát tanult. 1665-ben a pestisjárvány idejére birtokára, Woolsthorpe-ba vonult vissza. Ez az esztendő, de különösen a rákövetkező 1666-os volt az „Annus mirabilis” (3.7 – 1 idézet). Newton ekkor 24 éves volt. Ekkor fogalmazott meg benne a binomiális tétel, a differenciálszámítás, a színelmélet, a centripetális erő, a mozgástörvények és a gravitációs vonzás. Visszatérve Cambridge-be optikai problémákkal foglalkozik. 1668-ban elkészíti a tükrös teleszkópot. 1669-ben Barrow utódként professzor lesz a cambridge-i egyetemen. 1672-ben a *Fény és színelmélet* című munkáját bemutatja a Royal Society-nak, ahol olyan vitát váltott ki, hogy elhatározta, nem publikál többé. Optikai vizsgálatait összegyűjtve 1704-ben jelentek meg *Optics* című könyvében. 1684-ben Halley biztatására fogott a *Principia* megírásához, miután Halley vállalta a költségek előteremtését is. 1692 – 93-ban súlyos idegösszeomlása volt, amelyből rendbejött ugyan, de a hátralevő 35 évében már nem volt több jelentős felfedezése annak ellenére, hogy szellemi képességeit teljesen visszanyerte. Ezt Bernoulli egy problémájának – amelyre hat hónap volt kitűzve – egyetlen éjszaka alatt történt megoldásával (1696-ban) és 1716-ban egy Leibniz által feladott problémának a kézbevétele pillanatában adott megoldásával bizonyította be.

1699-ben az állami pénzverde vezetője lett. 1705-ben a királynő lovaggá ütötte. 1703-tól 1727-ig, tehát haláláig a Royal Society elnöke volt. A Westminster Abbeyban temették el.

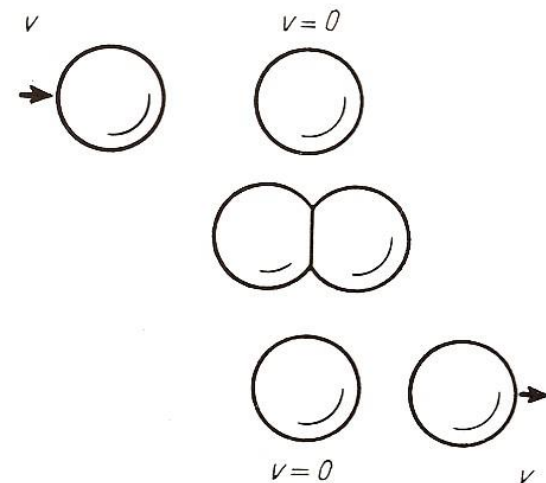
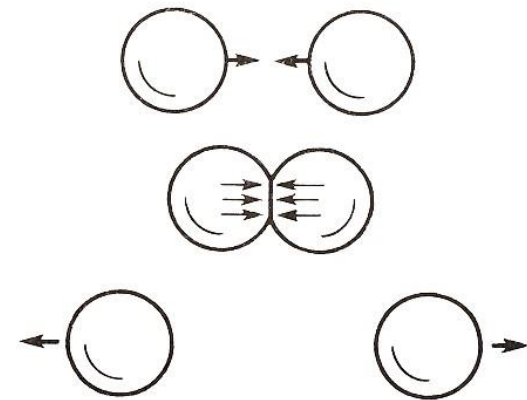




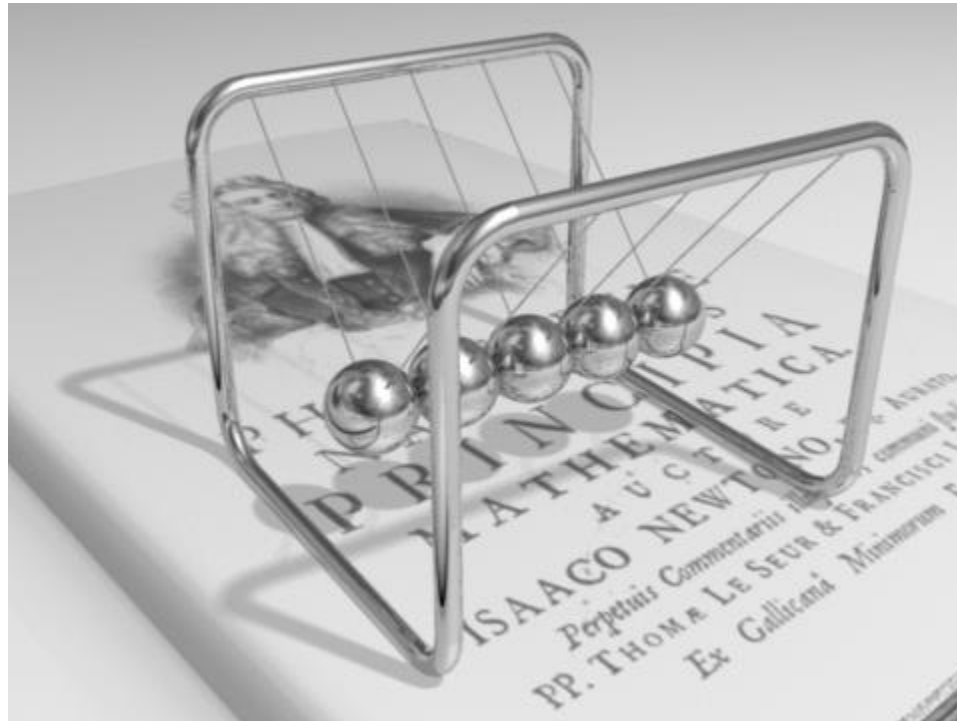
## Newton a dinamika atyja

A dinamika törvényeihez vezető lépések:

1. A szimmetrikus rugalmas ütközés fázisai: a mozgás (mozgásmennyiség) lerontásához erőhatásra van szükség, ezt az erőhatást rugalmas deformáció szolgáltatja.
2. A mozgás létrehozására ugyanakkora erőhatásra van szükség, mint a megszüntetésére.
3. Kölcsönhatás közben a két test egymásra egyforma nagyságú, de ellenkező irányú erővel hat.
4. Görbe vonalú pályán történő mozgás ütközések sorozatára is visszavezethető.



# A Newton-inga





## Newton mozgástörvényei:

1. A magára hagyott test megtartja mozgásállapotát (inerciarendszer).

$$\text{ha } \vec{F} = 0, \quad \text{akkor } \vec{v} = \text{áll}$$

2. A mozgásmennyiség (időegység alatti) megváltozása arányos a ható erővel és annak irányában megy végbe.

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}, \quad m\vec{a} = \vec{F} \quad \dot{\vec{p}} = \vec{F}, \quad m\ddot{\vec{r}} = \vec{F}$$

erő = tömeg × gyorsulás

3. Kölcsönhatás során a kölcsönható két test egymásra egyforma nagyságú, de ellentétes irányú erővel hat.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

4. Ha egy test több kölcsönhatásban is részt vesz, a kölcsönhatásokat jellemző erőket vektor módjára kell összegezni.

$$\vec{F}_e = \sum \vec{F}_i$$

*Justi Societatis Regie ac Typis Josephi Streater. Prostat apud  
plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.*

„A Kopernikusz-féle  
hipotézis Kepler által  
adott változatának  
matematikai bizonyítása”



# AXIOMATA SIVE LEGES MOTUS

## Lex. I.

*Corpus nunc perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directione, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.*

**P**rojectilia perseverant in motibus suis nisi quatenus a resistentiæ aeris retardantur & vi gravitatis impelluntur deorsum. Trochus, cujus partes collizendo perpetuo retrahunt sese a motibus rectilineis, non cessat rotari nisi quatenus ab aere retardantur. Majora autem Planetarum & Cometarum corpora motus sui & progressivos & circulares in spatis minutis resistentibus fastos conservant diutius.

## Lex. II.

*Mutatio motus proportionalis esse vi motrici impressæ, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.*

Si vis aliqua motum quemvis generet, dupla duplum, tripla triplum generabit, sive simul & semel, sive gradatim & successive impressa fuerit. Et hic motus quantum in eandem semper plagam cum vi generatrice determinatur si ceptus antea movebatur, motui ejus vel conspiranti additur, vel contrario subducitur, vel oblique adjicitur, & cum eo secundum utriusque determinationem componitur.

## Lex. III.

## Lex. III.

*Actio contrariam semper & æqualem esse reactioni: sive corporum duorum actiones in se invicem semper esse æquales & in partes contrarias dirigi.*

Quicquid premit vel trahit alterum, tantundem ab eo premitur vel trahitur. Siquis lapidem digito premit, premitur & hujus digitus a lapide. Si equus lapidem funi allegatum trahit, retrahetur etiam & equus æqualiter in lapidem: nam funis utriusque distensus eodem relaxandi se conatu urgetur Equum versus lapidem, ac lapidem versus equum, tantumque impedit progressum unius quantum promovet progressum alterius. Si corpus aliquod in corpus aliud impingens, motum ejus vi sua quomodocumque mutaverit, eodem quoque vicissim in motu proprio eandem mutationem in partem contrariam vi alterius (ob æqualitatem pressionis mutue) subibit. His actionibus æquales sunt mutationes non velocitatum sed moruum, (scilicet in corporibus non aliunde impeditis.) Mutationes enim velocitatum, in contrarias itidem partes factæ, quia motus æqualiter mutantur, sunt corporibus reciproce proportionales.

## Corol. I.

*Corpus viribus conjunctis diagonalem parallelogrammi eodem tempore describere, quo latera separatis.*

Si corpus dato tempore, vi sola  $M$ , ferretur ab  $A$  ad  $B$ , & vi sola  $N$ , ab  $A$  ad  $C$ , complicatur parallelogrammum  $ABDC$ , & vi utraq; ferretur ad eodem tempore ab  $A$  ad  $D$ . Nam quoniam vis  $N$  agit secundum lineam  $AC$  ipsi  $BD$  parallelam, hæc vis nihil mutabit velocitatem accedendi ad lineam illam  $BD$  a vi altera genitam. Accedet igitur corpus eodem tempore ad lineam  $BD$  sive vis  $N$  imprimatur, sive non, atq; adeo in fine illius temporis reperietur alibi in linea illa



## Az egyetemes gravitáció törvénye

Bármely két test között a testeket összekötő egyenes irányában gravitációs vonzóerő ébred. A gravitációs vonzóerő egyenesen arányos a két test tömegének szorzatával és fordítva arányos a köztük lévő távolság négyzetével.

$$\vec{F} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{e}_r$$

Ezt a törvényt Kepler harmadik törvénye alapján találta meg.

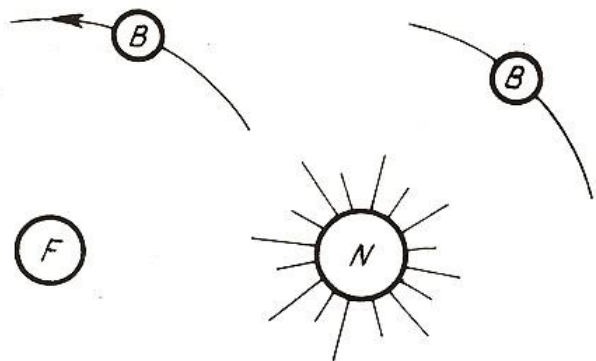
$$F_{cp} = m \frac{v^2}{R} = m \left( \frac{2\pi R}{T} \right)^2 \frac{1}{R} = 4\pi^2 m \frac{R}{T^2}$$

$$\Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{R_1}{R_2} \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^2$$

$$\text{Kepler 3. törvénye} \quad \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^2 = \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^3$$

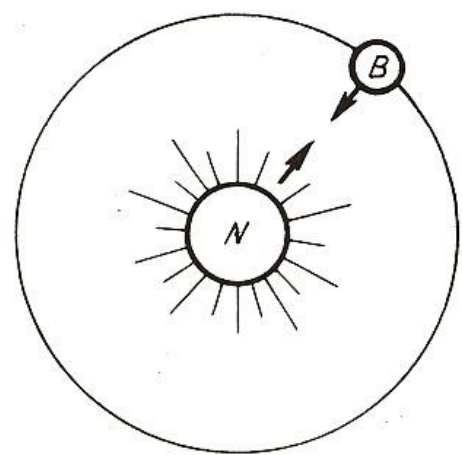
$$\Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{R_1}{R_2} \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^3 = \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^2$$



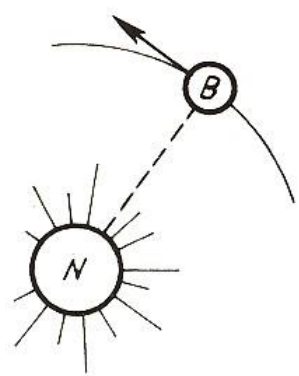


*mint istenség, a  
tökéletes utat járja  
(Püthagórasz)*

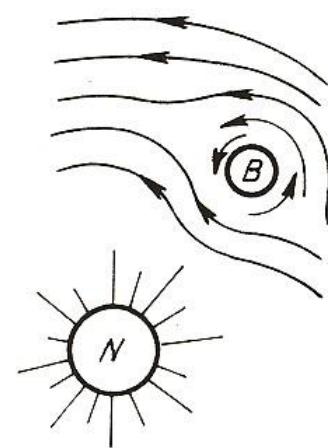
*természetes  
mozgása van  
(Galilei)*



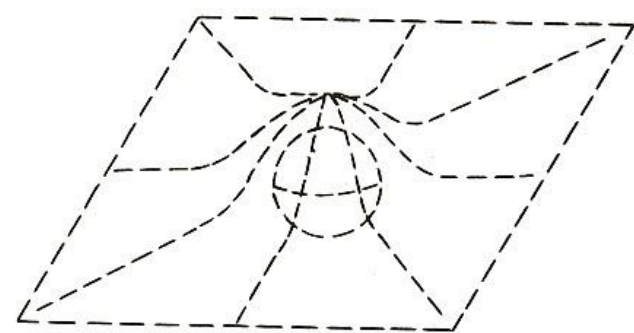
*vonzóerő hat az összekötő egyenes  
mentén  
(Newton)*



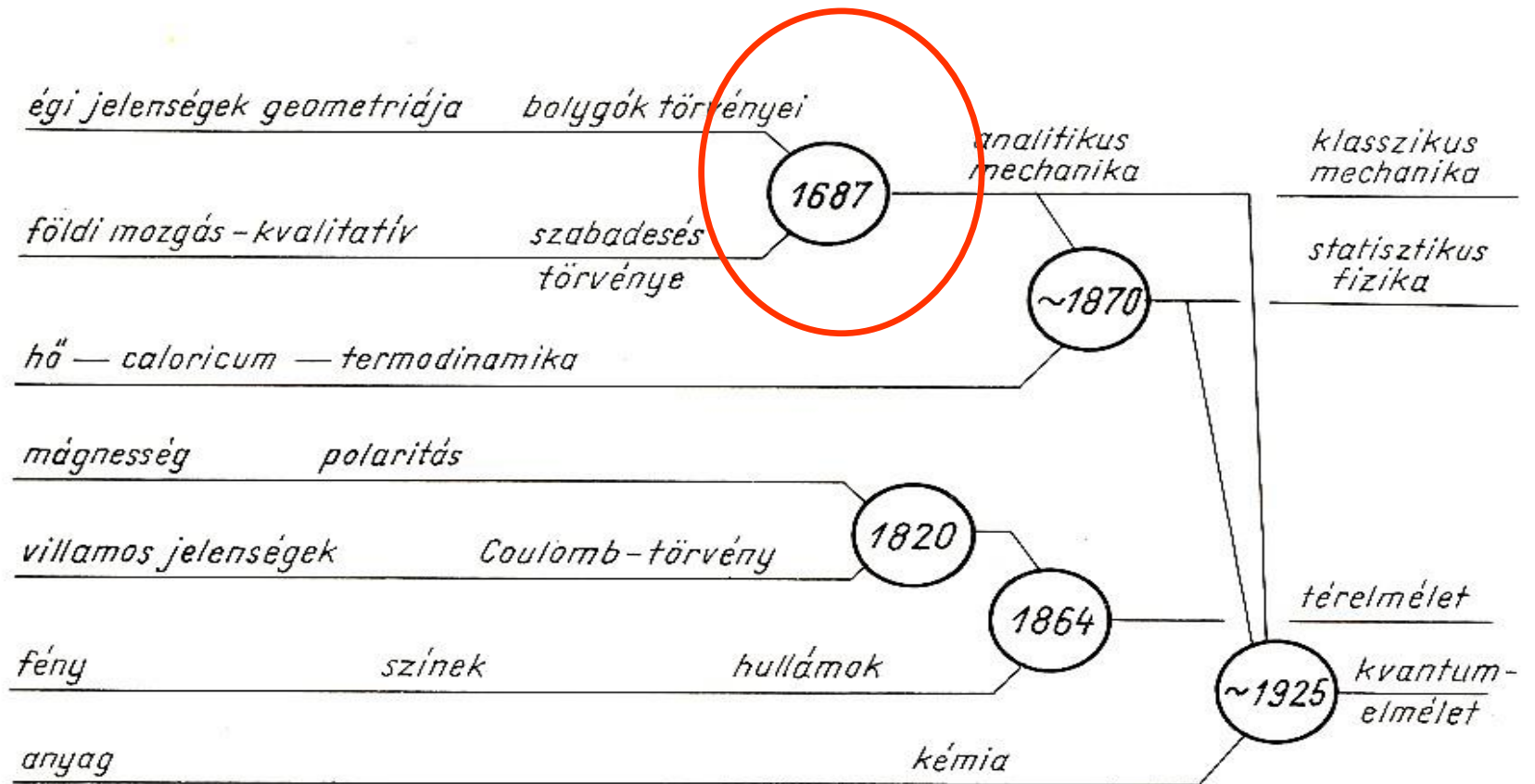
*az érintő mentén  
mágneses hatás  
mozgatja  
(Kepler)*



*örvények  
viszik  
(Descartes)*



*a Nap tömege a geometriai  
strukturát változtatja meg  
(Einstein)*



### 0.2–8 ábra

A fizikatörténet csomópontjai: a különböző jelenségcsoportok közötti kapcsolat felismerésének időpontjai (Hund: Geschichte der physikalischen Begriffe nyomán)

Az alábbiak közül melyik nem jellemzi a newtoni dinamikát?

- a) a magára hagyott test megtartja mozgásállapotát
- ☒ b) a mozgásállapot fenntartásához erőre van szükség
- c) a lendület idő egység alatti megváltozása arányos az erővel
- d) az erőket vektor módjára kell összegezni

A Princípiában mivel nem foglalkozott Newton?

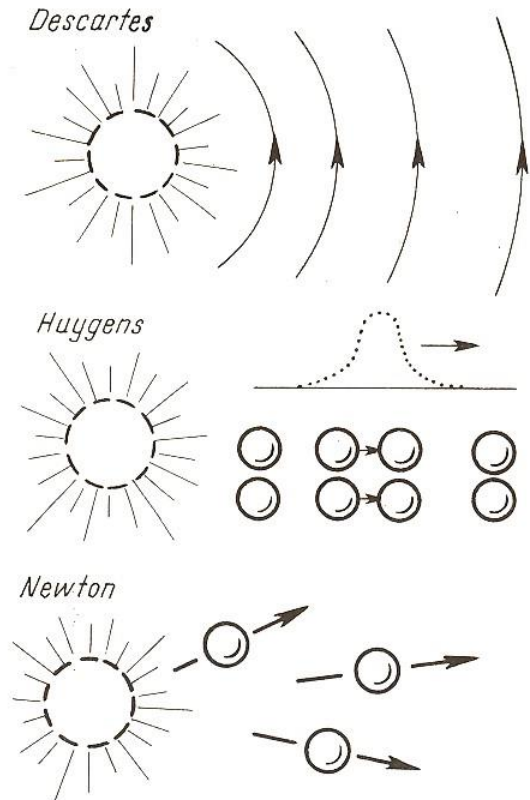
- a) tömegpontok dinamikája
- ☒ b) atomelmélet
- c) általános tömegvonzás
- d) bolygópályák levezetése



# A klasszikus fizika kiteljesedése

## A **fény** természete

1. Descartes elmélete: a mindenséget kitöltő finom anyagrészek örvényléséből adódó nyomás.  
??????
2. Huygens elmélete: az éterrészecskék rugalmas rezgéseinek tovaterjedése, tehát mozgásállapot terjedése.  
részben igaz, de éter nincs
3. Newton elmélete: a fény részecskékből (korpuszcula) áll, amelyek az üres térben is haladhatnak.  
ez áll legközelebb az igazsághoz: foton



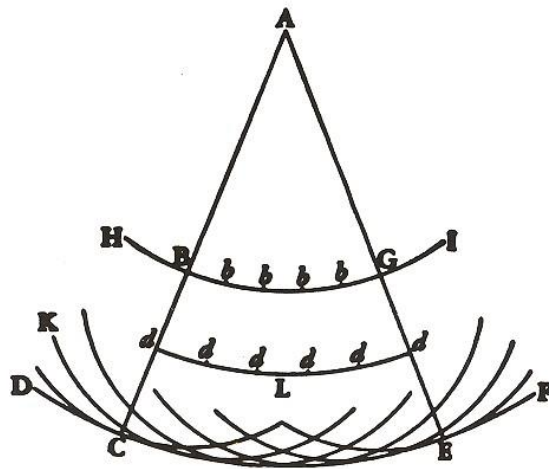
4.1 – 17 ábra  
Fényelméletek a XVIII. század elején

**Huygens elmélete:** a fény az éterrészecskék rugalmas rezgéseinek tovaterjedése.

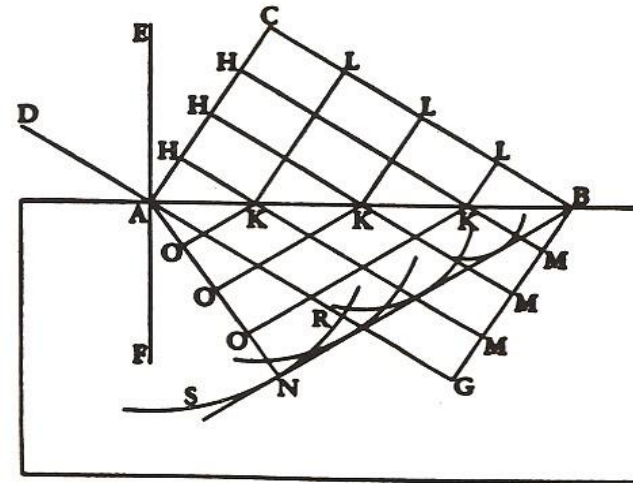
A kialakult hullámfelület minden pontjából elemi gömbhullámok indulnak, ezek burkolója az új hullámfelület.

Nem lehet részecske, mert az egymást keresztező fénysugarak nem zavarják egymást.

Nála a fény longitudinális hullám, de közegeben a lassúbb.



4.1 – 3 ábra  
Az egyenes vonalú terjedés magyarázata

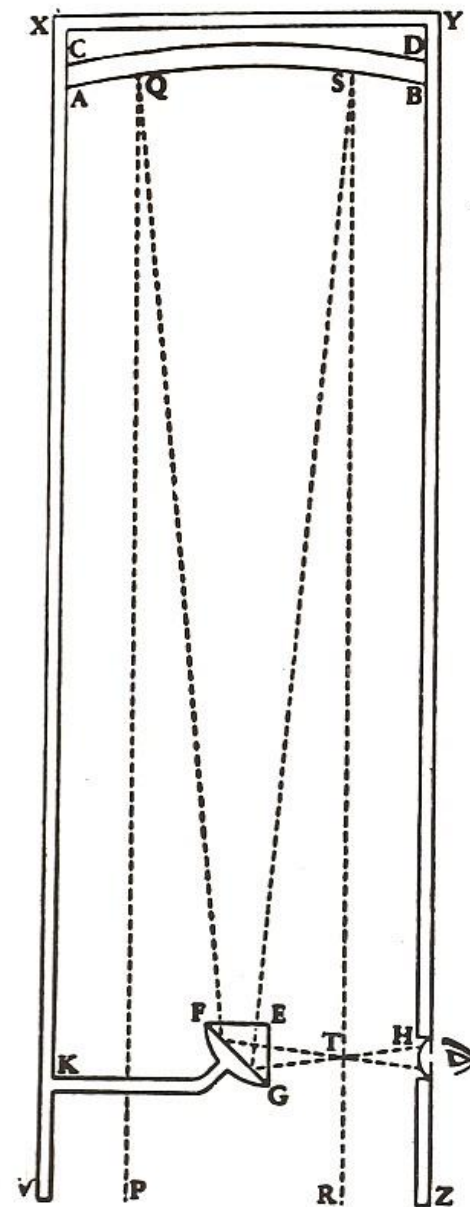


4.1 – 4 ábra  
A töréstörvény magyarázata. Ezt az ábrát – az előzővel együtt – Huygens könyvéből vet-tük; de megtaláljuk őket a mai fizikakönyvekben is

Newton eredeti célja: a távcső  
színhibájának vizsgálata.

Téves következtetése:  
a színhibák nem küszöbölhetők  
ki, ezért tükrös távcsövet épített

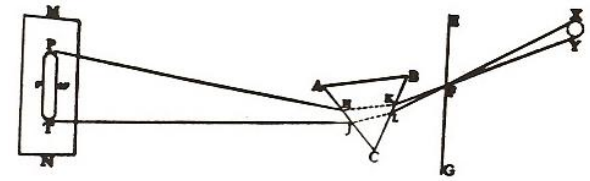
Valójában többféle üvegből  
készített kombinált lencsékkel  
kiküszöbölhetők a színhibák



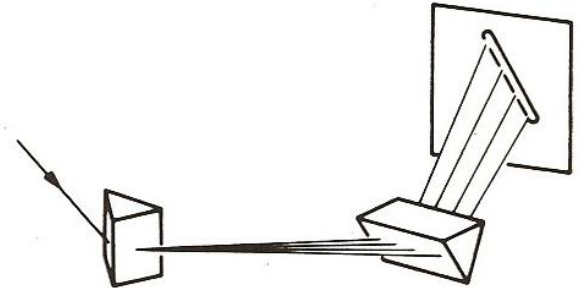
4.1 – 13 ábra  
Newton tükrös távcsöve

## Helyes eredményei:

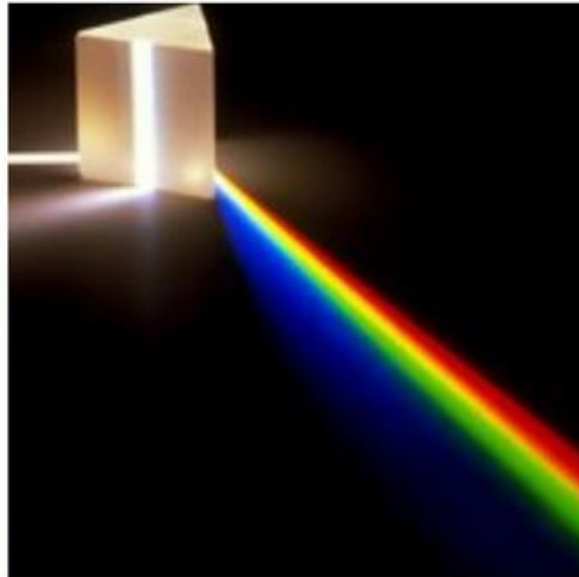
1. a fehér fény összetett
2. a spektrumszínek tovább nem bonthatók
3. a spektrumszínek helyes arányú összekeverésével ismét előáll a fehér szín
4. a törésmutató függvénye a színnek



4.1 – 10 ábra  
A spektrum előállítás



4.1 – 11 ábra  
Newton színelméletének „experimentum crucis”-a [0.21]

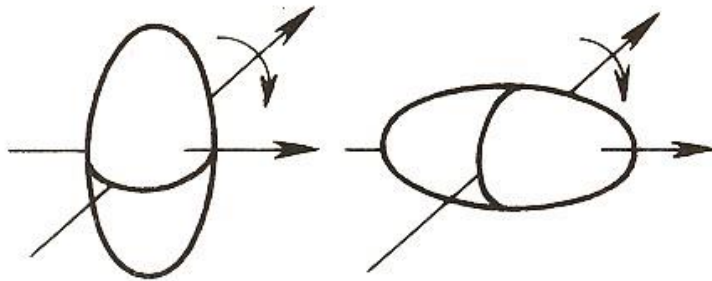




## Newton-féle színes gyűrűk:

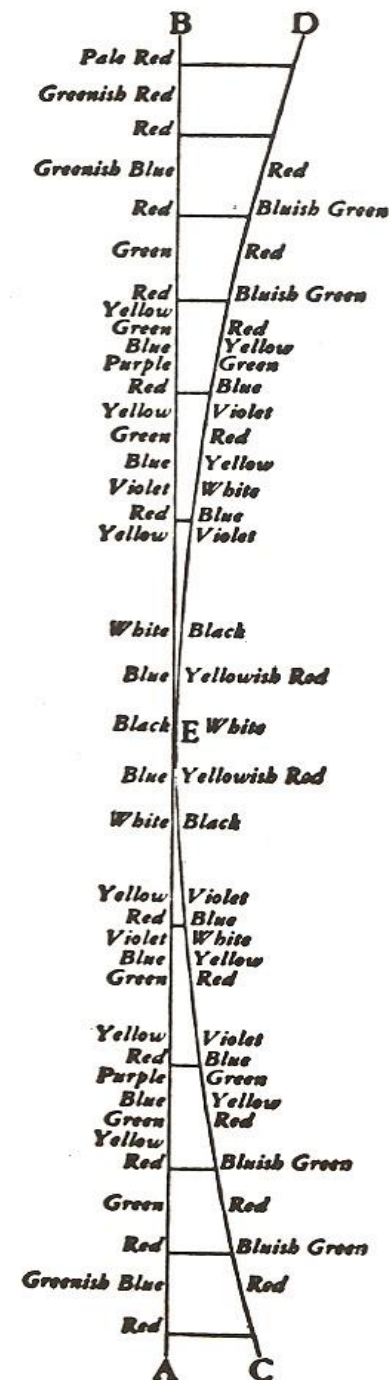
sík lapra helyezett domború lencse →  
vékonyréteg interferencia

Következtetése: a fény korpuszkuláris  
ugyan, de van térbeli (színfüggő)  
periodicitása (fit és non fit állapotok)  
és van polarizációja



4.1 – 16 ábra

A „fit” és non fit helyzet — egy mai elképzelést  
vetítünk vissza; Newton nem festett ilyen ké-  
pet a jelenségről



Mi volt Newton elképzelése a fényről?

- a) a mindenséget kitöltő anyag örvénylése
- b) az éterrészecskék rugalmas rezgései
- ☒ c) korpuszkulákból áll, amelyek az üres térben is haladhatnak
- d) elektromágneses hullám

Melyik optikai megállapítás nem Newtontól származik?

- a) a fehér fény összetett
- b) törésmutató függvénye a színnek
- ☒ c) a fény transzverzális hullám
- d) a spektrum színek tovább nem bonthatók

Matematikai eredmények:

**koordináta geometria:**

Fermat és Descartes

**differenciál és integrál számítás:**

igen jelentős előzmények: Kepler,  
Fermat, Pascal (pl. kül. görbék  
alatti területek meghat.)

Az elmélet kidolgozói:

**Newton**

(fluens→fluxió)

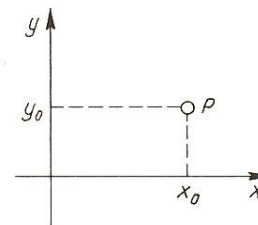
és

**Leibniz**

(infinitezimális számítás)

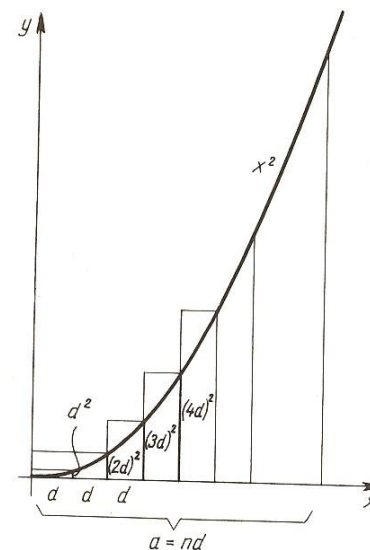
(a tudománytörténet egyik

legrendább elsőbbségi vitája)



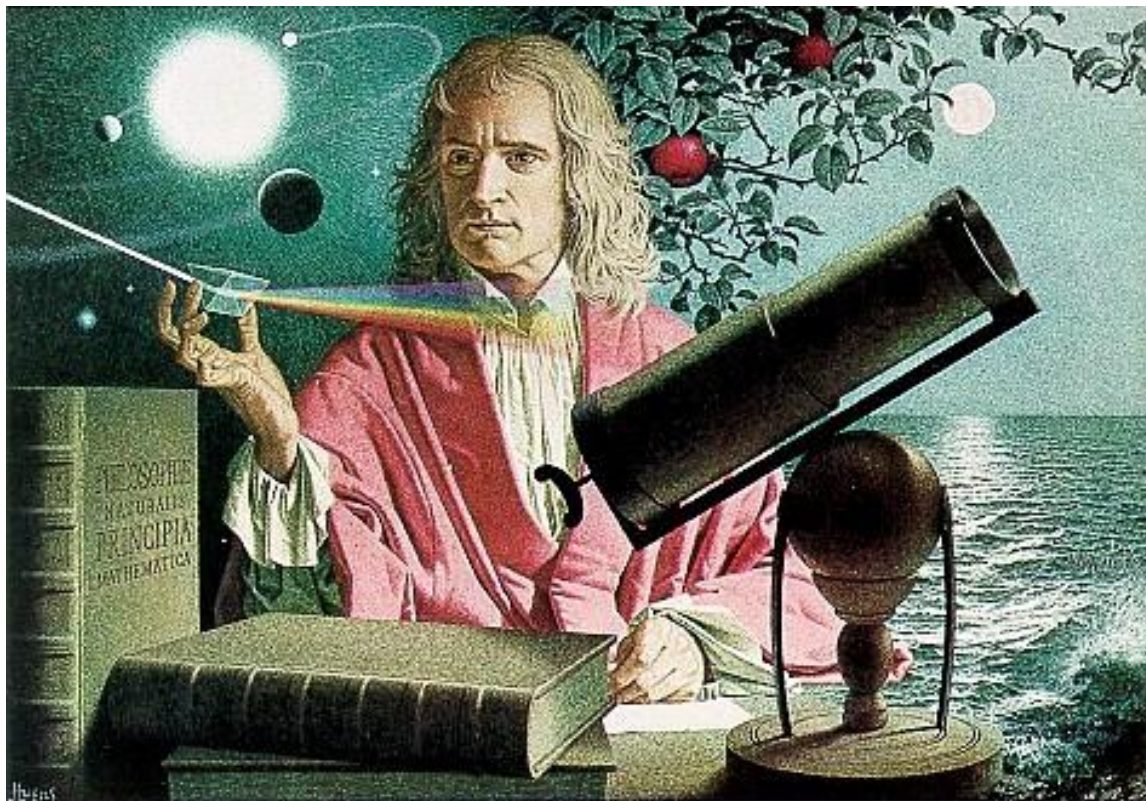
4.1–19 ábra

Így jelenik meg a Descartes-féle koordináta-rendszer a mai középiskolai oktatásunkban



4.1–24 ábra

A parabola alatti terület meghatározása a téglány összegek határértékképzésével



## Newton dinamikája

Newton 4 törvénye, ahogy ma is tanítjuk

## Newton gravitációja

„A Kopernikusz-féle hipotézis Kepler által adott változatának matematikai bizonyítása”

## Newton optikája

Távcső, színbontás, korpuszkuláris modell

## Newton matematikája

Differenciál- és integrálszámítás

## Newton filozófiája

- 1, A mozgásjelenségekből megvizsgálni a természet erőit és aztán ezekből az erőkből levezetni a többi jelenséget: **mechanisztikus világkép**.
- 2, Az axiómákat, amelyekre a jelenségekből általános indukciónal következtettünk mindaddig érvényesnek tekintjük, amíg olyan jelenségekkel nem találkozunk amelyek segítségével pontosíthatjuk őket.
- 3, Egységes koherens világképet adott: az abszolút tér és idő koncepciója. **A relativitáselmélet óta tudjuk, hogy abszolút tér és idő nem létezik.**



Párosítjuk össze a fizikusokat (csillagászokat) és távcsöveiket!

1. tükrös távcső
2. domború és homorú lencsét is tartalmazó hollandi távcső
3. csak domború lencsét tartalmazó csillagászati távcső
4. nincs távcsöve

- a) Kepler
- b) Galilei
- c) Kopernikusz
- d) Newton

|   | a | b | c | d |
|---|---|---|---|---|
| 1 |   |   |   | X |
| 2 |   | X |   |   |
| 3 | X |   |   |   |
| 4 |   |   | X |   |



**GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ (1646–1716)** az újkori filozófia és természettudomány egyik legzseniálisabb és legsokoldalúbb tehetsége. 1667-ben jogi doktorátust szerez, 1672-ben diplomáciai kiküldetésben érkezik Párizsba. Az itt töltött négy év igen gyümölcsözőnek bizonyult számára: megismerkedett a francia tudományos élettel és az akkor ott dolgozó *Huygens*-szel. Itt építette fel azt a számológép modelljét, amelyért a Royal Society 1673-ban tagjává választotta. 1676-tól a hannoveri hercegi család könyvtárosa. 1675-ben fedezte fel az infinitezimális számítás alapjait, ugyan *Newton* felfedezése után 10 évvel, de bizonyíthatóan tőle függetlenül és a máig is használt, *Newton*énál szerencsésebb jelölésmóddal. 1684-ben jelenik meg az *Acta Eruditorum*-ban összefoglaló cikke: „Nova methodus pro maximis et minimis itemque tangentibus.” 1700-ban megalapítja a berlini akadémiát. 1710-ben, illetőleg 1714-ben jelenik meg legfőbb filozófiai munkája, az *Essais de théodizée* és a *Monadologie* című műve. (Az előzőben lefektetett filozófiai felfogást gúnyolja ki *Voltaire* a *Candide*-ban.)

Leibniz legjelentősebb hozzájárulása a fizika fejlődéséhez az 1686-ban írt, *Brevis demonstratio memorabilis erroris Cartesii* című munkájában található. Ebben rámutat arra, hogy a Descartes által megkövetelt megmaradási tétel nem a „quantitas motus”-ra vonatkozik, hanem a „vis viva”-ra, más szóval, nem a mozgás-mennyiség abszolút értéke, ( $mv$ ), hanem az eleven erő, ( $mv^2$ ) marad meg a testek mozgása folyamán.

Leibniz azt is észrevette, hogy a vis viva ezen kifejezésében a „potentia motrix”-ot, ma úgy mondanánk, potenciális energiát is hozzá kell számítani. Az így nyert abszolút eleven erő (force vive absolue) az, ami a mozgás folyamán megmarad. Az eleven erő megmaradásának tételét rugalmatlan ütközésekre is kiterjesztette: a test elvesztett eleven ereje a testet alkotó részecskék eleven erejévé alakul át.

Leibnizet tekintik a formális logika megalapítójának is.

Kegyvesztetten, mindenkitől elhagyatva halt meg.

**Az eleven erő  
(=energia)  
megmaradásának  
első kimondója**

## A mechanika továbbfejlődésének két útja:

### 1. Newton gondolatainak közvetlen továbbfejlesztése:

Newton törvényei tömegpontokra igazak.

A tömegpontrendszerek,

merev testek,

deformálható testek,

folyadékok mechanikájának kidolgozása a

XVIII. századi követőkre várt.

Legnagyobbak: a Bernoulliak

és **Euler** ( analitikus mechanika).





#### 4.2–10 ábra

A BERNOULLI család három generációja nyolc kiváló matematikust és fizikust adott. Legtöbbjük a bázeli egyetemen tanított. A fizikatörténet szempontjából legjelentősebb a két testvér, *Jakab* (1654–1705) és *Johann* (1667–1748), de mindenekfölött ez utóbbi fia, *Daniel* (1700–1782) tevékenysége.

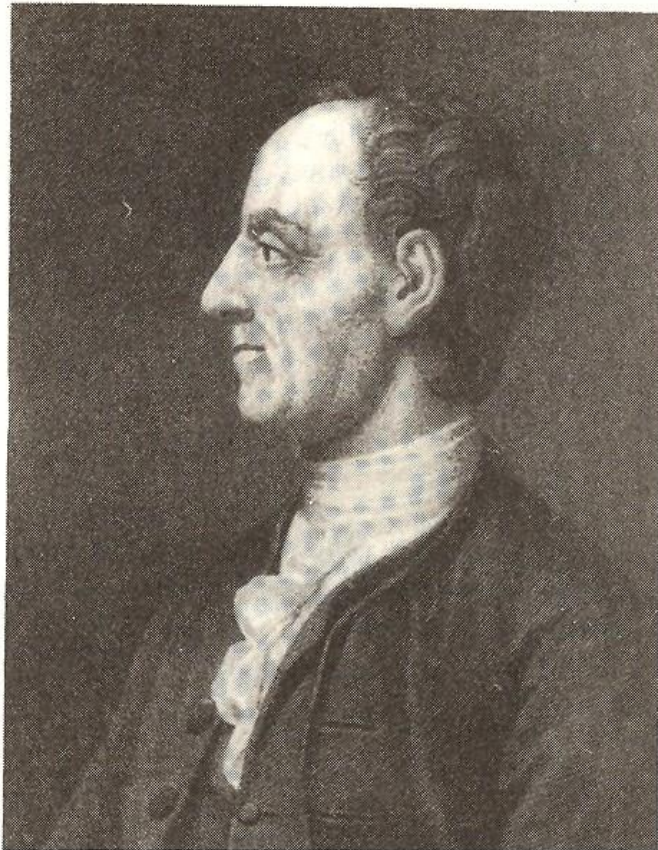
*Daniel Bernoulli* orvosnak tanult, de érdeklődése a matematika felé vonta. 1725-ben Pétervárra ment matematikát tanítani. 1733-ban tért vissza Bázélbe, ahol először az anatómia és botanika professzora lett, majd apja halála után fizikát tanított. Nevét az 1733-ban megfogalmazott, de csak 1738-ban, *Hydrodynamica* című művében publikált Bernoulli-egyenlet örzi. Kinetikus gázelmélete már egészen modern hangvételű

Bernoulli-egyenlet

- középiskoláson

$$\frac{v_2^2}{2} + U_2 + P_2 = \frac{v_1^2}{2} + U_1 + P_1, \quad P = \int \frac{dp}{\rho(p)}$$

$$\rho \frac{v^2}{2} + \rho gh + p = \text{állandó}$$



1707

4.2–2 ábra

LEONHARD EULER (1701–1783), kortársai által „mathematicus acutissimus”-nak nevezett svájci tudós a XVIII. század matematikájának meghatározó egyénisége. A fizikában *D'Alembert* mellett az analitikus mechanika megalapítója; nevét a szilárd testek mozgását leíró Euler-egyenletek, valamint a hidrodinamika Euler-egyenletei őrzik. Mint a variációszámítás megalapozója ért el eredményeket a mechanikai minimálevl megfogalmazásában (a *Maupertuis*-elvet is ő fogalmazta korábban és precízebben, mint *Maupertuis*). Részletesen vizsgálta a húrok és membránok rezgéseit, és az uralkodó newtoni elmélettel szemben a fényt mint rezgési állapotot fogta fel; igaz, hogy longitudinális hullámként kezelte. Megcáfolta *Newton* állítását az akromatikus lencsék készítésének lehetetlenségéről. *Euler* életének legnagyobb részét az Orosz Tudományos Akadémia tagjaként Péterváron töltötte; ott is halt meg.

Hidrodinamikai  
Euler-egyenlet

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{f} - \frac{1}{\rho} \nabla p \quad \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \nabla) \vec{v}$$

Kontinuitási  
egyenlet

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho dV = - \oint_A \rho \vec{v} d\vec{A}, \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) = 0$$



## Néhány eredménye:

Első publikált bizonyítását adta Fermat állításának: minden  $4k+1$  alakú prímszám két négyzetszám összege.

Ő jelölte először  $\pi$ -vel a kör területének és átmérőjének arányát,  $e$ -vel az  $(1 + 1/n)^n$  sorozat határértékét.

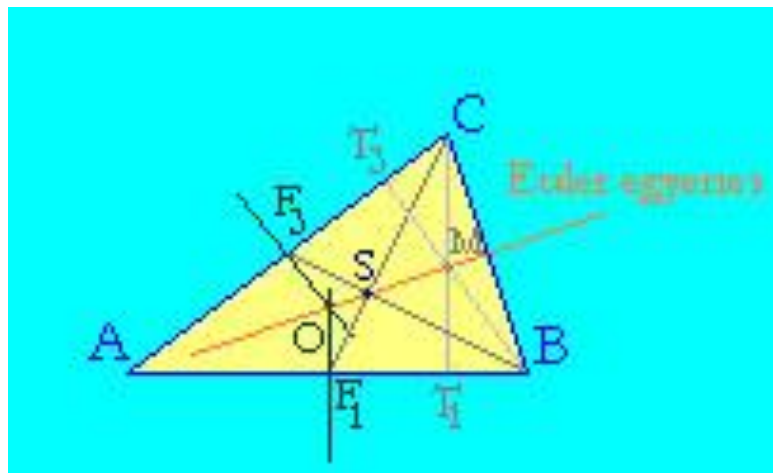
Levezette az  $e^{i\pi} = -1$  egyenlőséget.

Az analitikus geometria keretében szinte egymaga megalkotta a ma használatos trigonometriát.

***Síkgeometriában felfedezte és a nevét viseli a háromszög Euler-egyenese (1744).***

Bizonyította a róla elnevezett Euler-tételt, mely összefüggést ad egy poliéder csúcsainak, éleinek és lapjainak száma között (1744).

Elsőként haladta meg a kúpszeletek tárgyalása során Apollóniosz eredményeit.



***A gráfelmélet nyitányát jelenti a  
königsbergi hidak általa megoldott  
problémája.***

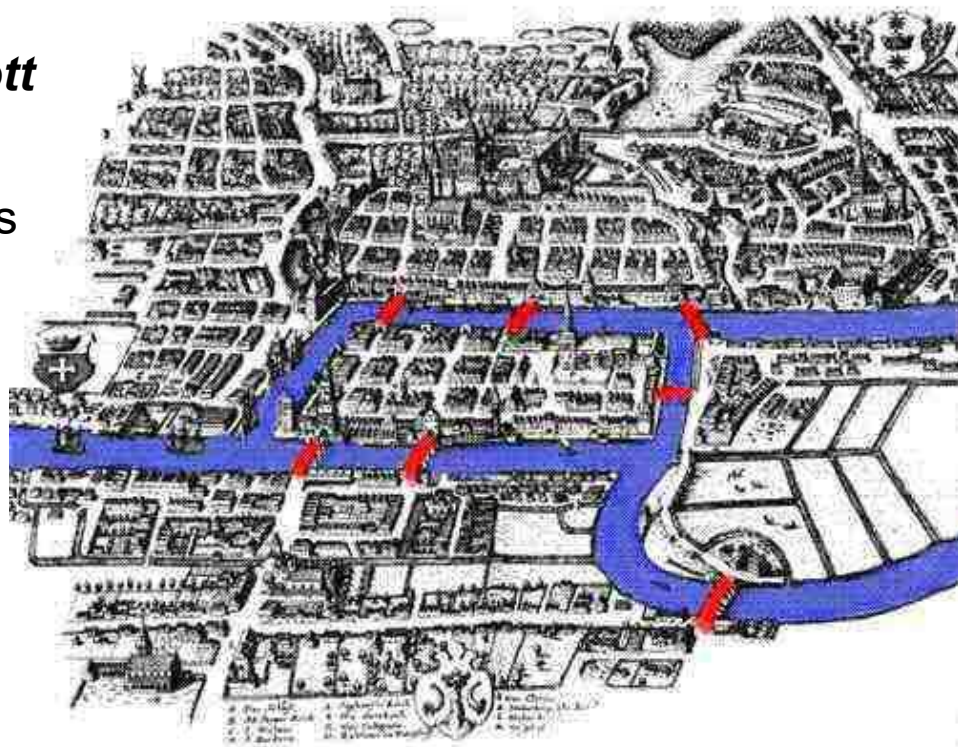
Megoldotta a karcsú rudak rugalmas  
kihajlásának problémáját.

A hidrodinamikát ma is az ő  
felfogásában tárgyalják.

Az örvényszivattyúk és turbinák  
méretezését ma is az Euler-  
turbinaegyenlet szerint végzik.

A pörgettyűmozgást az Euler-féle  
kinetikai egyenletek segítségével  
vizsgálta.

Mai tudásunk szerint „publikációs listája” 866 írásművet tartalmaz. Halálakor  
csak 560 megjelent műve volt, a többi akkor kiadás alatt volt. 61 kéziratot  
halála után 60 évvel találtak meg.



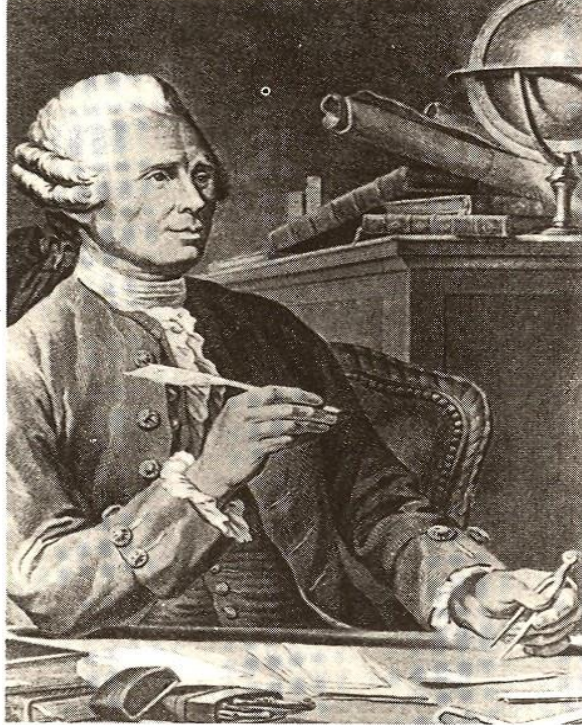


Melyik nem Euler eredménye?

- a) kontinuitási egyenlet
- b) a hidrodinamika alapegyenlete
- ☒ c) tömegpontok kinematikája
- d) a pörgettyűmozgás egyenletei

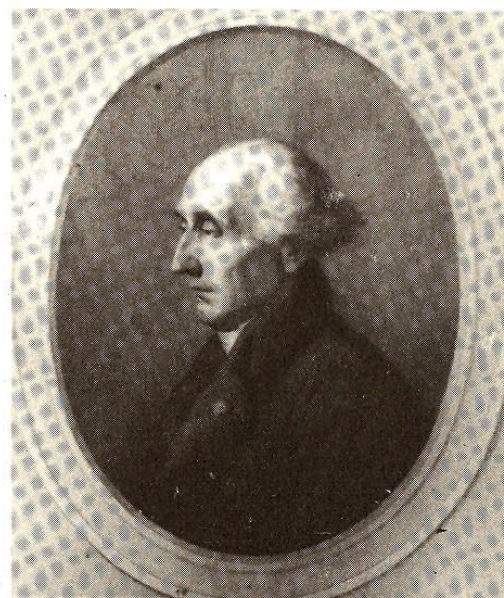
A newtoni elméletek továbbfejlesztésében az alábbiak közül ki nem vett részt?

- a) Euler
- b) Bernoulli
- ☒ c) Huygens
- d) Lagrange



4.2–7 ábra

**JEAN LE ROND D'ALEMBERT (1717–1783)** anyja, a francia szalonok ismert alakja, a Saint Jean le Rond-templom lépcsőjére tette ki törvénytelen gyermekét. Nevelőanyját az apa bőven ellátta pénzzel, így a fiatal Jean Le Rond jó nevelésben részesült. 1743-ban jelent meg a fizika szempontjából legfontosabb műve, a *Traité de dynamique*. Foglalkozott optikával is, sőt a szél eredetéről szóló művével akadémiai díjat is nyert 1746-ban. 1754-ben a Francia Akadémia tagja lett, 1772-ben pedig annak állandó titkára. Talán még jelentősebb a nagy francia enciklopédia egyik főszerkesztőjeként kifejtett munkássága. Bevezető cikke (*Discours préliminaire*, 1750) a francia felvilágosodás hitvallása. Filozófiai vonalon Baconhoz és Locke-hoz, vagyis az angol empirista irányhoz csatlakozik. Sokan úgy emlegetik őt, mint a pozitivizmus első képviselőjét. Valóban még a minimálelvekben is, sőt az energiamegmaradás elvében is metafizikát lát, és így azokat határozottan elveti. 1757-ben kifáradva a harcoktól visszalép az Enciklopédia szerkesztésétől



4.2–11 ábra

**JOSEPH-LOUIS LAGRANGE (1736–1813)** Torinóban született, ott is nevelkedett. 19 éves korában a torinói tűzériskolában a matematika tanára lett. Az általa alapított Torinói Királyi Akadémia kiadványában jelentek meg első jelentős matematikai és fizikai munkái (az izoperimetrikus probléma megoldása, rezgő húrok elmélete, hangterjedés). Euler utódként (Euler Pétervárra ment) Lagrange húsz évig Berlinben dolgozott. 1787-től Párizsban él. 1795-től az École Normale és az École Polytechnique elő-

adója. Kiváló pedagógusként, személyén és könyvein keresztül hatva, tudós nemzedékek tisztelték szellemi atyjuként. Legnagyobb hatású munkája a *Mécanique analytique* (1788, Párizs) és a *Théorie des fonctions analytiques* (1797). Hamilton az előző munkát e szavakkal értékelte: a scientific poem (egy tudományos költemény)

## 2. Új mechanikai elvek felállítása (az empíria csökkentésének igénye)

Az ókortól ismert az egyensúlyban érvényes virtuális munka elve:

$$\vec{F} \delta \vec{r} = 0$$

munkája zérus  
virtuális elmozdulásokra)

A szabaderők virtuális  
(tetszőleges

D'Alembert elve:

$$(\vec{F} - m\vec{a}) \delta \vec{r} = 0$$

munkája zérus

Az „elveszett erő” virtuális

→ a dinamika formai visszavezetése

sztatikára.

Maupertius elve: a legkisebb hatás elve (a Fermat-elv analógiájára)

$$\int m \vec{v} d\vec{r} = \min$$

Lagrange: a variációs elvek alkalmazása kényszermozgásokra.

# A XVIII. század a fény évszázada, az ész évszázada.

A tudományos elméleteket már nem kell az egyházzal és az ókori filozófiával „egyeztetni”.

„Arisztotelész és az inkvizíció már erőtlenné vált.”

„A **felvilágosodás** az ember kilépése önhibájából fakadt kiskorúságából” (Kant)

A felvilágosodás „bibliája” a nagy francia ***Enciklopédia***.

Tudomány, művészet és mesterségek egyenrangúak benne.

1751. → 1. kötet

1757. → 7. kötet

1762. → 17. kötet (részben titokban)

1772. → 35. kötet



**ENCYCLOPÉDIE,**  
OU  
DICTIONNAIRE RAISONNÉ  
DES SCIENCES,  
DES ARTS ET DES MÉTIERS.  
PAR UNE SOCIÉTÉ DE GENS DE LETTRES.

Mis en ordre & publié par M. DIDEROT, de l'Académie Royale des Sciences & des Belles-Lettres de Prusse; & quant à la PARTIE MATHÉMATIQUE, par M. D'ALEMBERT, de l'Académie Royale des Sciences de Paris, de celle de Prusse, & de la Société Royale de Londres.

*Tantum series juncturaque pollet,  
Tantum de medio sumptis accedit honoris? HORAT.*

TOME SECOND.

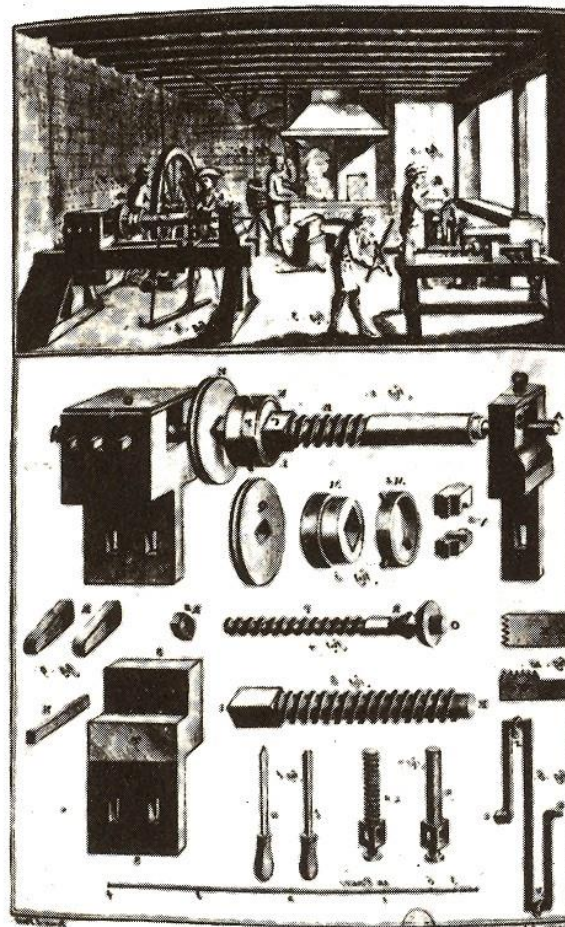


A PARIS,

Chez { BRIASSON, rue Saint Jacques, à la Science.  
DAVID l'aîné, rue Saint Jacques, à la Plume d'or.  
LE BRETON, Imprimeur ordinaire du Roy, rue de la Harpe.  
DURAND, rue Saint Jacques, à Saint Landry, & au Griffon.

M. DCC. LI.

AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROY.

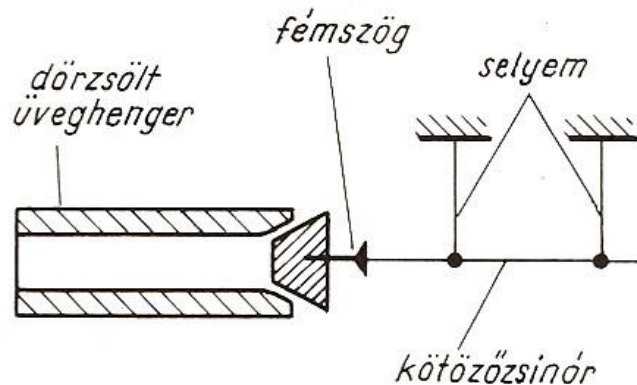


# Kvalitatív elektrosztatika

Az alapjelenségeket már az ókori görögök is ismerték, tőlük jött az elnevezés. *Borostyán – elektron, mágneskő – magnetit*

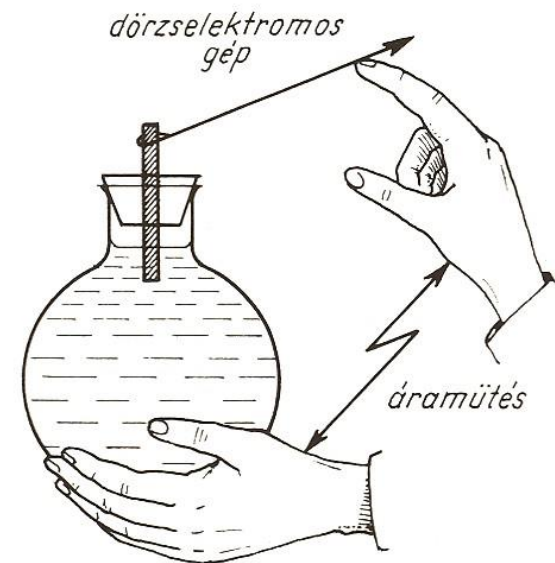
Első jelentős középkori tudós: Gilbert (1544-1603) – iránytű elmélet, új elektromos anyagok.

Gray (1666-1736): az elektromosság zsinegen több száz méterre is elvezethető, kétfolyadékos elektromosság.



4.4–8 ábra  
Gray kísérletének vázlata

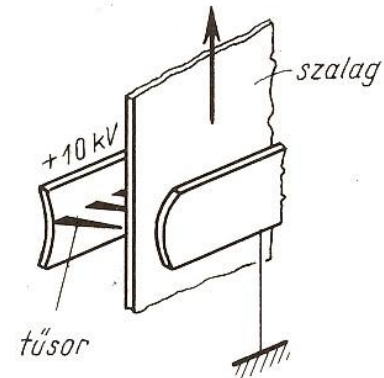
Musshenbroek:  
a leideni palack



4.4–9 ábra  
Musschenbroek így fedezte fel a leideni palack „sűrítő” hatását

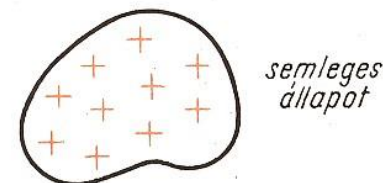
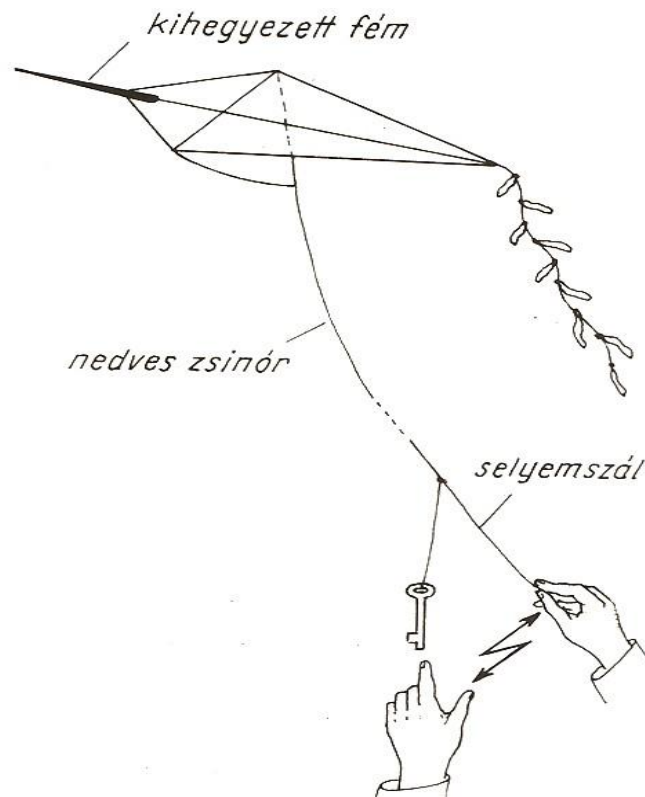
# Franklin (1706-1790): az első amerikai tudós

- a villám is elektromosság
- csúcshatás, villámhárító
- egyfolyadékos elektromosság



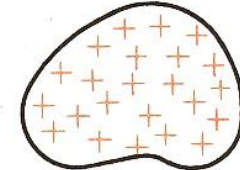
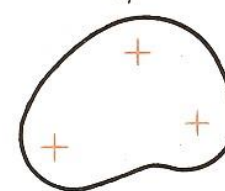
4.4–13 ábra

A sok millió voltos Van de Graaff típusú magfizikai gyorsító berendezések futószalagját ma is a Franklin által megállapított „csúcshatás” segítségével látják el töltéssel



negatív töltésű állapot

pozitív töltésű állapot



4.4–14 ábra

Franklin egyetlen töltésfajtát tételezett fel

# Kvantitatív elektrosztatika:

Coulomb és Cavendish: a torziós mérleg

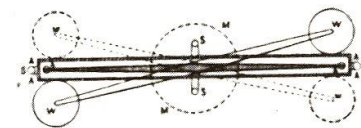
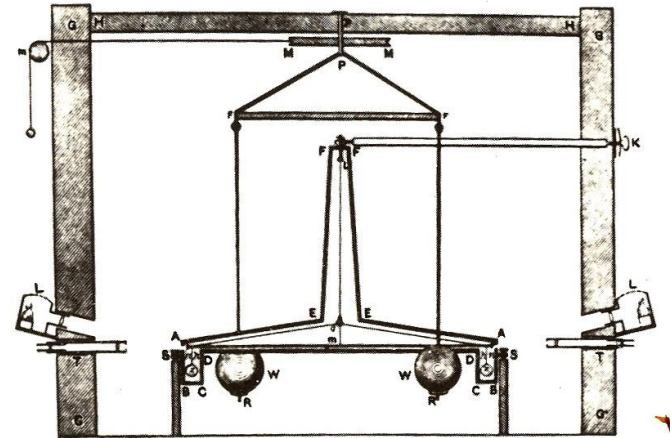
**A Coulomb-törvény** 
$$\vec{F} = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \vec{e}_r$$

Alakja hasonlít a gravitációs törvényre

Korábban már mások is felfedezték, de a részletes vizsgálatokat Coulomb végezte el.

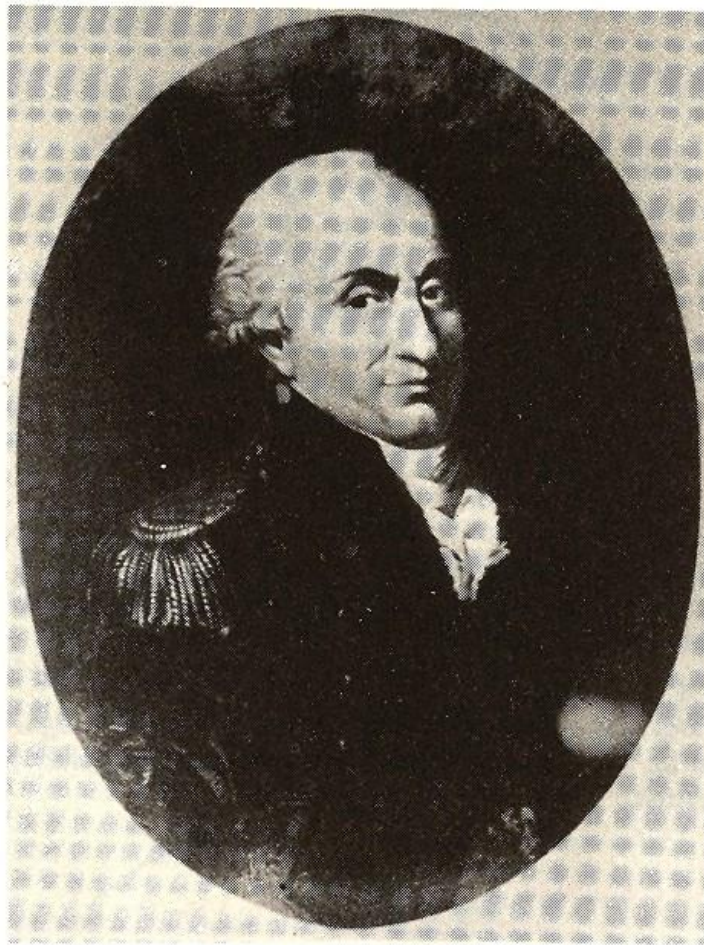
**Cavendish** (1731-1810) szintén precízen megmérte, de ezt nem publikálta, őt „fontosabb dolgok” érdekelték: a gravitációs állandó és a Föld tömege és átlagsűrűsége.

Érdekesség: „műszere” az áraműtés erőssége.



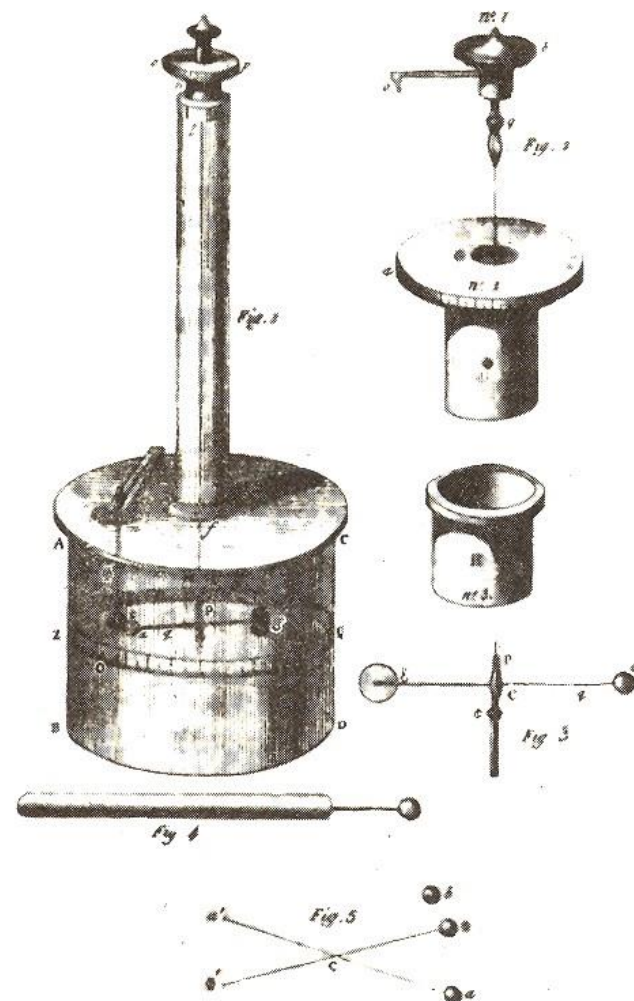
Cavendish torziós ingája





4.4–17 ábra

CHARLES AUGUSTE DE COULOMB (1736–1806) kilenc évi hadmérnöki tevékenység után kezdett el tudományos kutatással foglalkozni. 1784 és 1789 között végzett méréseivel igazolta a róla elnevezett Coulomb-törvényt. 1785-ben megjelent *Théorie des machines* című könyvében a súrlódással, szilárdságtani vizsgálatokkal, ezek között a torziós vizsgálatokkal foglalkozott, amelyek a torziós mérleg konstrukciójához vezettek



4.4–18 ábra

Coulomb torziós mérlege. A mérleget és a vele végzett méréseket 1784-től kezdve publikálta



**Cavendish (1731-1810)**

## **Eredményei:**

### **•Kémia:**

a víz kémiai értelemben nem elem, hanem a hidrogén égésterméke, a levegő oxigén és nitrogén keveréke (1766)

### **•Elektromosságtan** (nem publikálta)

Több mint egy évszázad elteltével James Clerk Maxwell vizsgálta át Cavendish hagyatékát és bukkant rá felfedezéseire, amelyeket azonban időközben mások is felismertek, így ma az ő nevükhöz kötjük a jelenségeket: feszültség, áramerősség, kapacitás, Ohm-törvény, Coulomb-törvény

**•Gravitáció:** torziós ingával igazolta Newton gravitációs törvényét, megmérte a Föld tömegét és átlagsűrűségét, amit  $5,48 \text{ g/cm}^3$ -nek talált (1798). A ma elfogadott érték szerint a Föld közepes sűrűsége  $5,52 \text{ g/cm}^3$ .

Ki fedezte fel a ponttöltések közötti erőhatás törvényét?

- a) Huygens és Newton
- b) Newton és Gauss
- c) Gauss és Coulomb
- ☒ d) Coulomb és Cavendish

Melyik kísérleti eszközzel igazolták a Coulomb törvényt?

- a) cikloidális inga
- b) fonálinga
- ☒ c) torziós inga
- d) Eötvös-inga



## Az elektrosztatika teljes kidolgozása:

### Laplace és Gauss.



4.4 – 20 ábra

PIERRE SIMON LAPLACE (1749–1827) paraszti származású, egyházi pályára készült. 22 éves korában D'Alembert szerzett számára matematikatanári állást Párizsban. Élénk közéleti és tudományszervezői tevékenységet folytatott. A kémikus Claude-Louis Berthollettel (1748–1822) közösen alapították az Arcueil-i társaságot, ahol fiatal tudósok kaptak indítást. Az Akadémia tagja; Napóleon uralkodása alatt rövid ideig belügyminiszter.

Fontosabb munkái: *Exposition du système du monde* (1796). Ezen népszerűen, irodalmi stílusban megírt művében szerepel a Naprendszer keletkezésének elmélete (Kant–Laplace-elmélet).

*Mécanique céleste* (1799–1825), 5 kötet. Ebben szerepel a sok konkrét asztronómiai probléma tárgyalása mellett a  $\Delta U = 0$  Laplace-egyenlet is. A valószínűségszámításról és statisztikai vizsgálatairól az alábbi két művében számol be: *Théorie analytique des probabilités* (1812); *Essay philosophique sur les probabilités* (1814). Ez utóbbi előszavában található a sokat idézett Laplace démona.

Az *Égi Mechanika* első köteteinek megjelenése után Napóleon azt a megjegyzést tette, hogy Laplace ugyan sok száz oldalon szól az égről, de a jóisten sehol nem szerepel benne; „Nem volt szükségem erre a hipotézisre, Sire” (Je n'avais pas besoin de cette hypothèse là, Sire) – válaszolta Laplace



#### 4.4–21 ábra

Karl Friedrich Gauss (1777–1855) apja kőműves volt; Göttingenben végezte az egyetemet; Braunschweigben magántanár, majd 1807-től haláláig az újonnan létesített Asztronómiai Intézet igazgatója és a matematika és asztronómia professzora Göttingenben.

Fiatal korában számelmélettel foglalkozott. Ide vonatkozó eredményei *Disquisitiones Arithmeticae*, 1801 című munkájában összegeződtek. Későbbi tevékenységének súlypontja tízévenként változik: 1800–1820 asztronómia, 1820–1830 geometria, 1830–1840 elméleti fizika. Főbb, összefoglaló jellegű munkái: *Theoria motus corporum coelestium*, 1809; *Disquisitiones circa superficies curvas*, 1827; *Intensitas vis magneticae terrestres ad mensuram absolutam revocata*, 1833; *Dioptrische Untersuchungen*, 1840.

A fizika fejlődésére közvetlenül ható, vagy abban állandóan felhasznált matematikai eredményei: a legkisebb négyzetek módszere, a Gauss-eloszlás, a felületek belső geometriája, a hipergeometrikus sorok, a Gauss-számsík, a faktoriális függvény.

Legfontosabb eredményei a fizikában: a legkisebb kényszer elve, a lencsék leképezésének általános elmélete, az elektrosztatika Gauss-tétele, a Gauss-mértékrendszer, a mágneses nyomaték mérésének elve: Gauss-féle főhelyzetek.

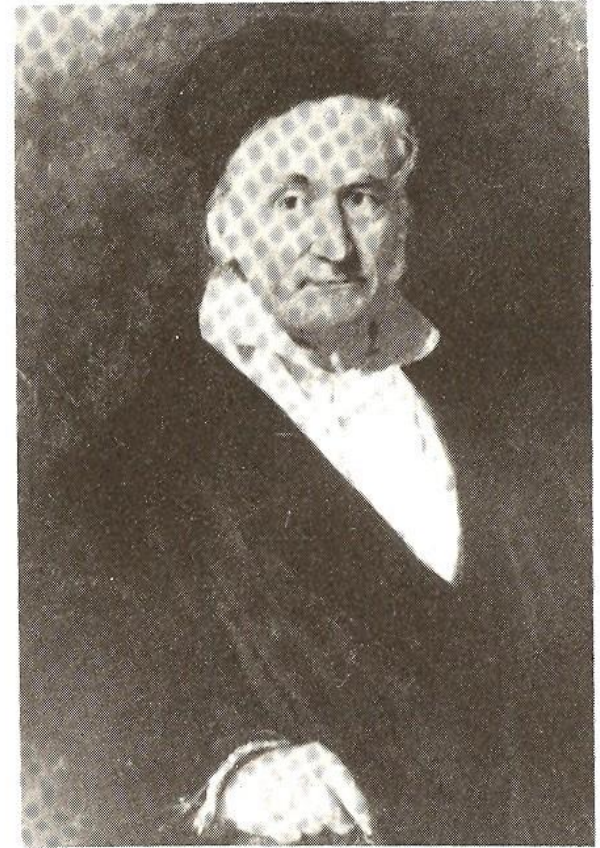
Gauss méltán kapta meg a *princeps mathematicorum* címet; ez a cím később David Hilbertre szállt. Zsenialitása már kora gyermekkorában megmutatkozott. Kilencéves volt, amikor a tanító azt a feladatot adta az osztálynak, hogy adják össze a számokat 1-től 60-ig. A kis Gauss rögtön megadta a választ: 1830. Észrevette, hogy  $1+60=2+59=3+58 \dots =61$  és 30 ilyen párt lehet képezni; tehát az összeg  $30 \cdot 61=1830$ .

Az  $x^n - 1 = 0$  egyenlet megoldásait vizsgálva megállapította, hogy melyek azok a szabályos sokszögek, amelyek körzövel és vonalzóval megszerkeszthetők; így megadta a 17 oldalú szabályos sokszög szerkesztését. Erre az eredményre olyan büszke volt, hogy

sírhára is ezt vésette.

Az elektrosztatika Gauss-törvénye

$$\oint_A \vec{D} d\vec{A} = Q_V$$



Magyar vonatkozás:

Gauss azt is állította, hogy felfedezte **a nem-euklideszi geometriák** lehetőségét, de sohasem publikálta. Ez a felfedezés jelentős paradigmaváltás volt a matematikában, mivel megszabadította a matematikusokat attól a tévhitől, hogy Euklidesz axiómáinak alkalmazása az egyetlen út a geometria következetessé és ellentmondásoktól mentessé tételére. Ezeken a geometriákon végzett kutatások vezettek többek között Albert Einstein relativitáselméletéhez, amely a világegyetemet nem-euklidesziként írja le.

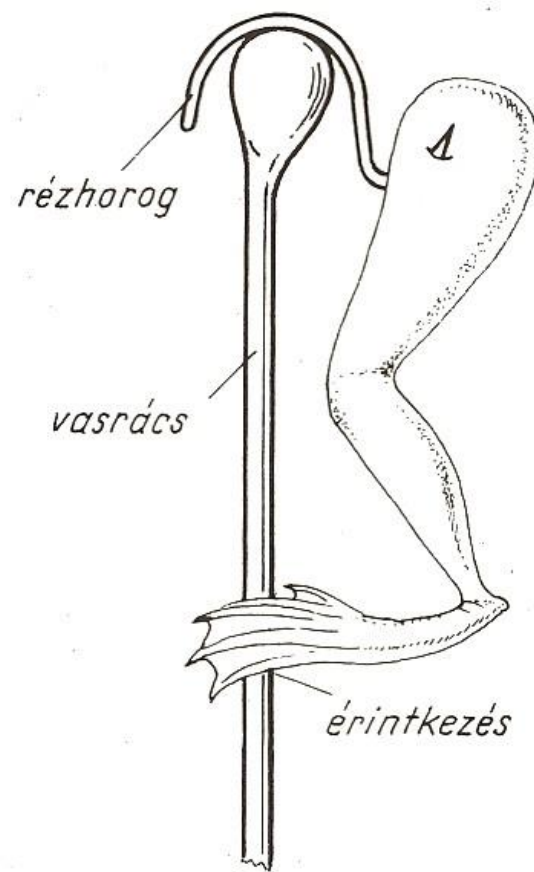
Barátja, Bolyai Farkas (akivel Gauss még diákként örök barátságot fogadott) éveken keresztül hiába próbálta bizonyítani a párhuzamossági axiómát Euklidesz többi geometriai axiómájából.

Bolyai fia, Bolyai János 1829-ben fedezte fel a nem-euklideszi geometriát; a munkáit 1832-ben publikálta. Miután ezt látta Gauss, azt írta Bolyai Farkasnak: „Ezt dicsérni saját magam dicséretével járna. Mivel a munka teljes tartalma ... szinte teljesen megegyezik saját gondolataimmal, amelyek az utolsó 30-35 évben lefoglalták az agyamat.” Ez a be nem bizonyított állítás nagy terhet helyezett Bolyai Jánossal való kapcsolatára, aki úgy gondolta, hogy Gauss ellopta az ő ötletét.

## Az elektromos töltések áramlása – a galvánelem

**Galvani**      **és**      **Volta**  
(1737-1798)      (1745-1827)  
Bologna      ↔      Pavia

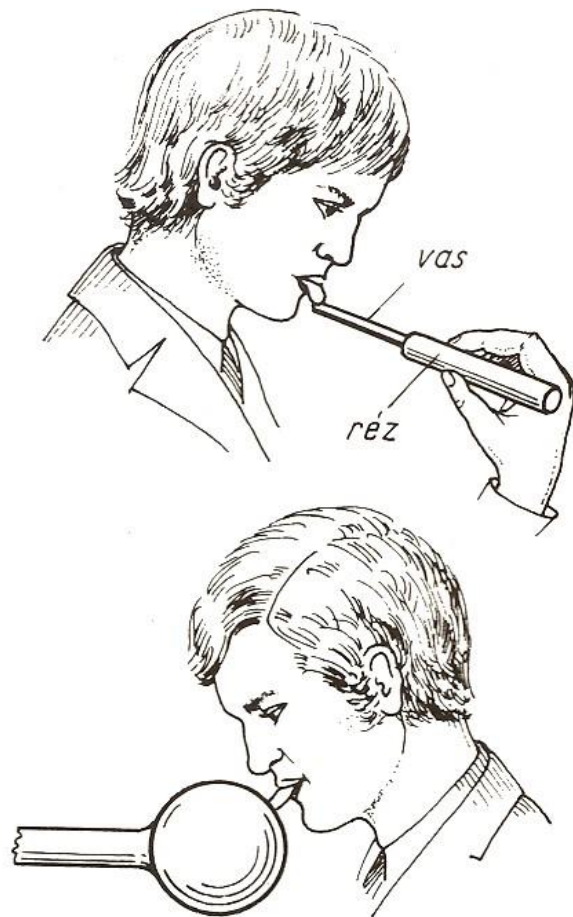
Davy (1778-1829) a galvánelemek  
kémiájának tisztázása



4.4 – 22 ábra

Galvani legfontosabb észlelése: nem kell szikra vagy villám, vagy az atmosféra elektromos hatása: a békacomb rángatózása a fenti elrendezésnél is megfigyelhető

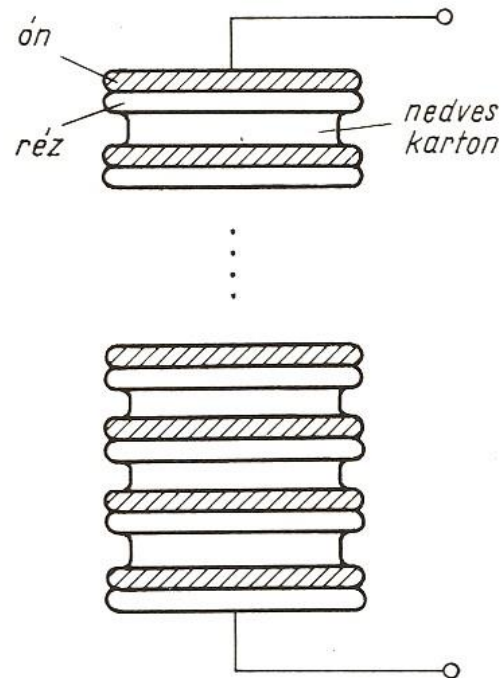




4.4–25 ábra

Volta irányt váltó kísérlete: két különböző, egyik végén érintkező fém egyikének nyelvünk-höz való érintése ugyanolyan ízt vált ki, mintha a dörzselektromos gép egyik elektródáját érintenénk nyelvünkkel

## A Volta-oszlop



4.4–26 ábra a

Réz- és ónfólia és enyhén nedves papírból egy szigetelőtokba akár 1000 cellát is elhelyezhetünk, és így nagyfeszültségű kis áramú telepet nyerhetünk. Ilyen elrendezést ma is használnak hordozható részecskeszámlálók működtetésére





Kísérlet a Volta-féle  
feszültséggel a bécsi  
Műszaki Múzeumban

A galvánelemek kémiájának  
megértője:  
Humphry Davy (1778-1829)



- Az elektrokémia megalkotása
- Alkáli fémek és fölfémek felfedezése (elektrolízissal)
- Davy-lámpa
- izzólámpa

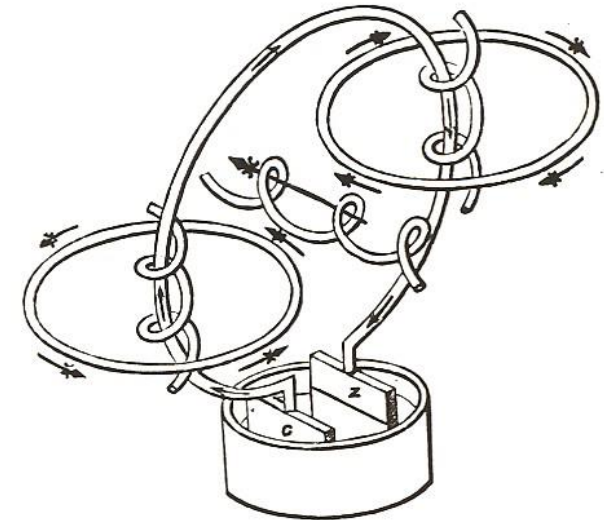
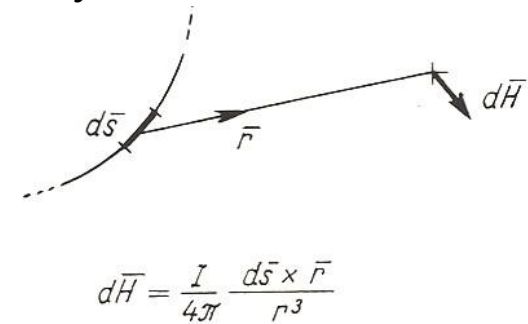
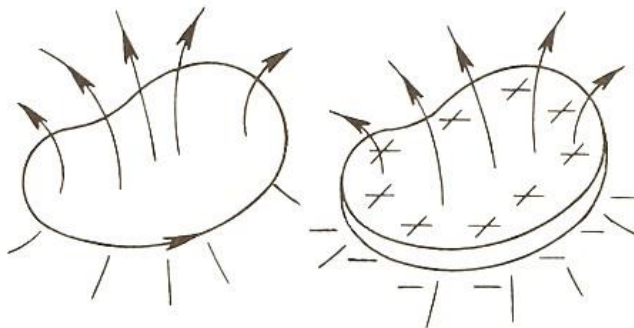
Az áram mágneses tere: az első kísérleti eredményeket **1820**-ban érték el

**Oersted**, Koppenhága: első (de nagy hatású) kvalitatív eredmény

**Biot és Savart**: az áram mágneses terének kísérleti képlete

**Ampere**: áramok egymásra hatása

Egy áramhurok és egy lapos mágnes kívül egyforma mágneses teret hoz létre



4.4–29 ábra

A Biot–Savart-törvény, ahogy ma használjuk

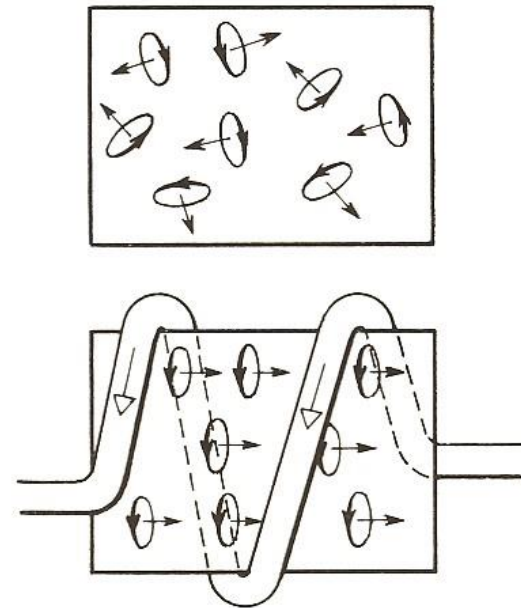
4.4–30 ábra

Maxwell ilyen ábrákkal magyarázza az áram és a mágneses tér kapcsolatát



#### 4.4— 32 ábra

ANDRÉ MARIE AMPÈRE (1775—1836) Bourgnan és Lyonban tanított fizikát, majd az École Polytechnique tanára lett. 1820-ban felállította az áramok elektrodinamikus kölcsönhatását leíró törvényt. Az anyagok befolyását a mágneses térre még ma is az Ampère-féle köráramokkal lehet legjobban szemléltetni.

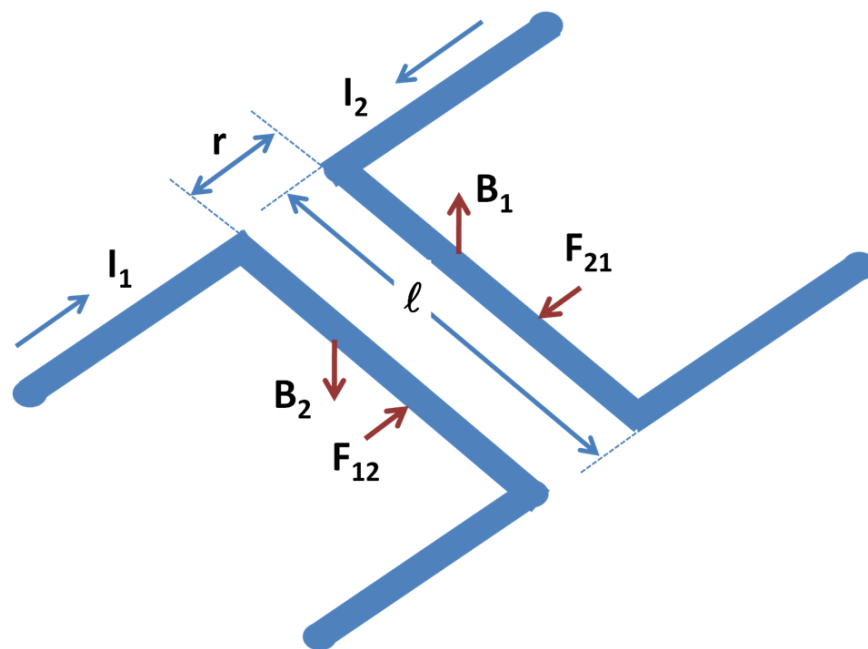
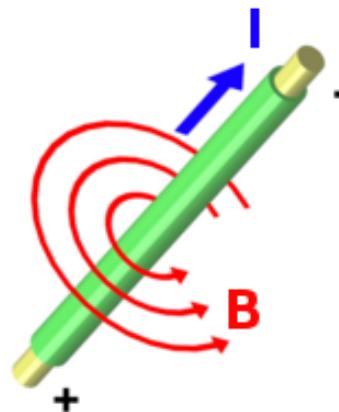
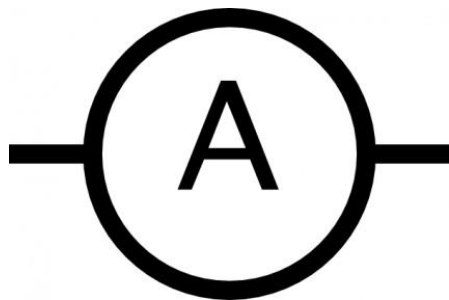




Áram mágneses tere (1820):  
Oersted, Biot és Savart,  
és Ampere

$$\oint_g \vec{H} d\vec{s} = I_A$$

Az **amper** olyan állandó elektromos áram erőssége, amely két párhuzamos, egyenes végtelen hosszúságú, vákuumban egymástól 1 méter távolságban levő vezetőben áramolva, e két vezető között méterenként  $2 \cdot 10^{-7}$  newton erőt hoz létre.



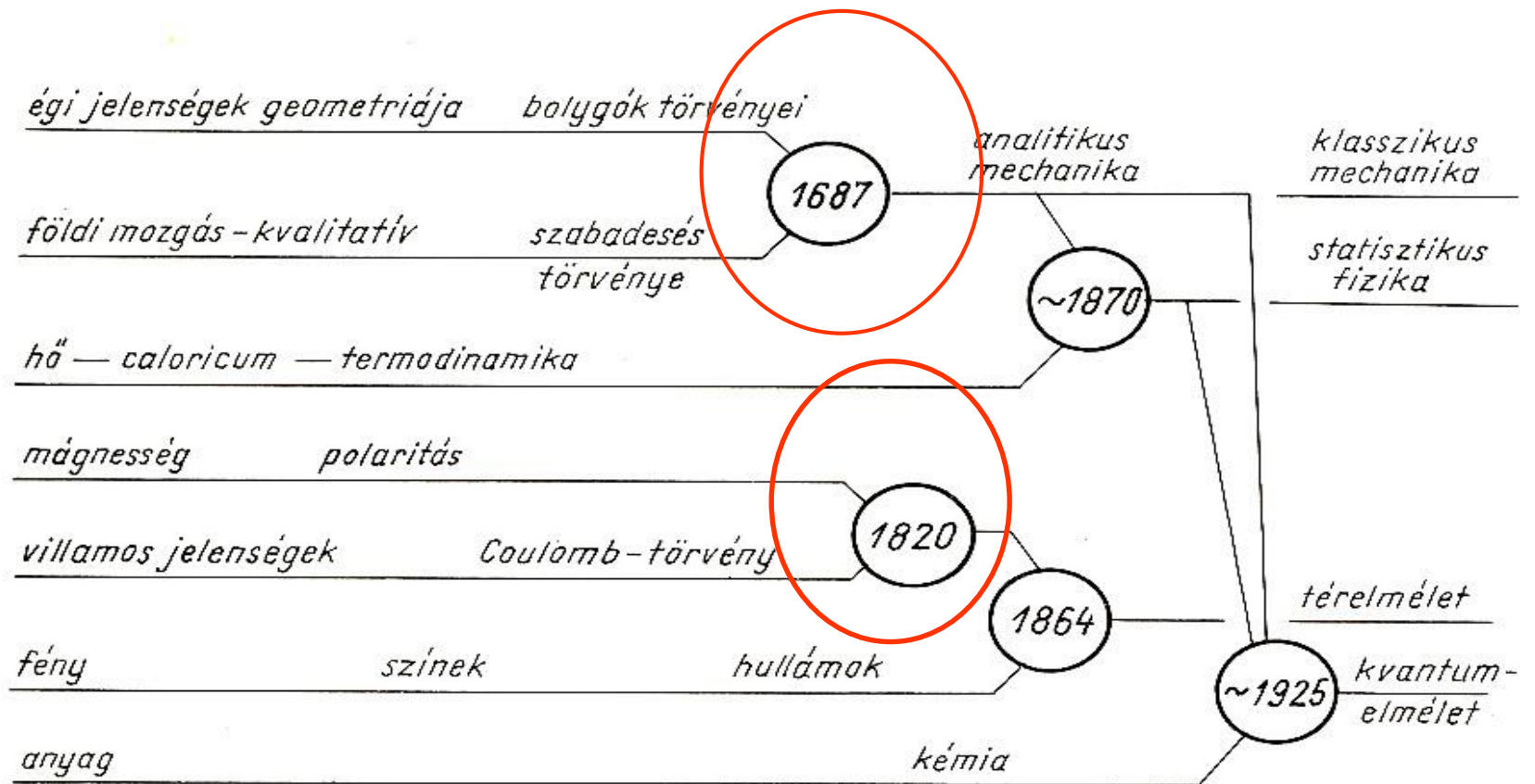


A rézhoroggal vasrácsra függesztett békacombok rángása

- a) az áram mágneses hatásának első kísérleti bizonyítéka
- b) az állati elektromosság első igazolása
- ☒ c) az így létrejövő galvánelemek áramának igazolása
- d) a töltések közötti erőhatás igazolása

Kinek a munkássága jelentette az elektromos és mágneses jelenségek egyesítését?

- a) Huygens
- ☒ b) Ampere
- c) Gauss
- d) Faraday



### 0.2—8 ábra

A fizikatörténet csomópontjai: a különböző jelenségcsoportok közötti kapcsolat felismerésének időpontjai (Hund: *Geschichte der physikalischen Begriffe* nyomán)

Melyik eseményt tekintjük az égi és földi mozgástörvények egyesítésének

- a) a Kopernikuszi fordulatot
- b) a Galilei-pert
- ☒ c) a Princípia megjelenését
- d) az általános relativitáselmélet megalkotását

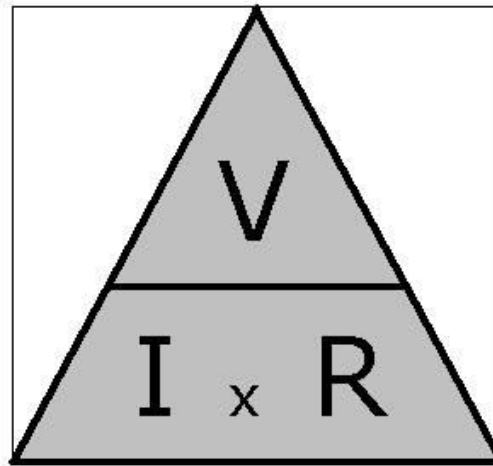
Melyik évszázadban volt az elektromos és mágneses jelenségek egyesítése?

- a) a XVII. században
- b) a XVIII. században
- ☒ c) a XIX. században
- d) a XX. században

Aki kimaradt a  
Simonyi 1.

kiadásából: **Ohm**

Ohm törvénye  
vezetőszakaszra és  
teljes áramkörre



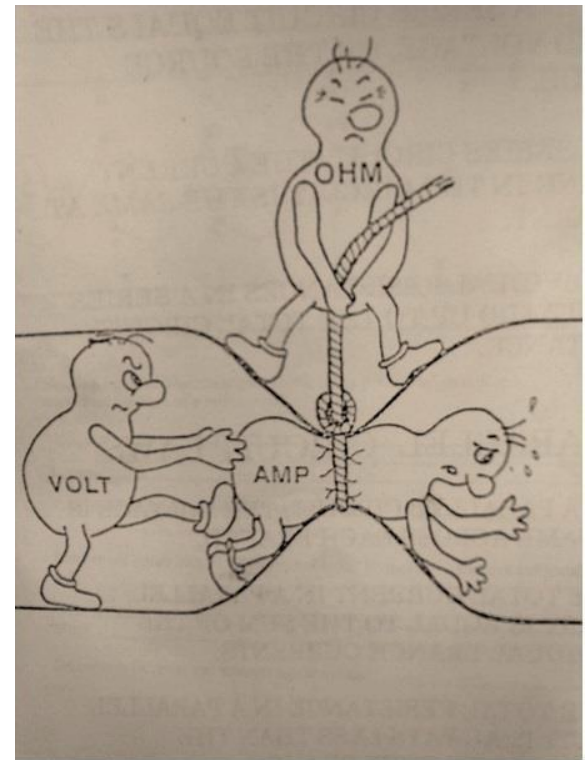
$$U = IR \quad \text{és} \quad \mathcal{E} = I(R_k + R_b)$$

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$



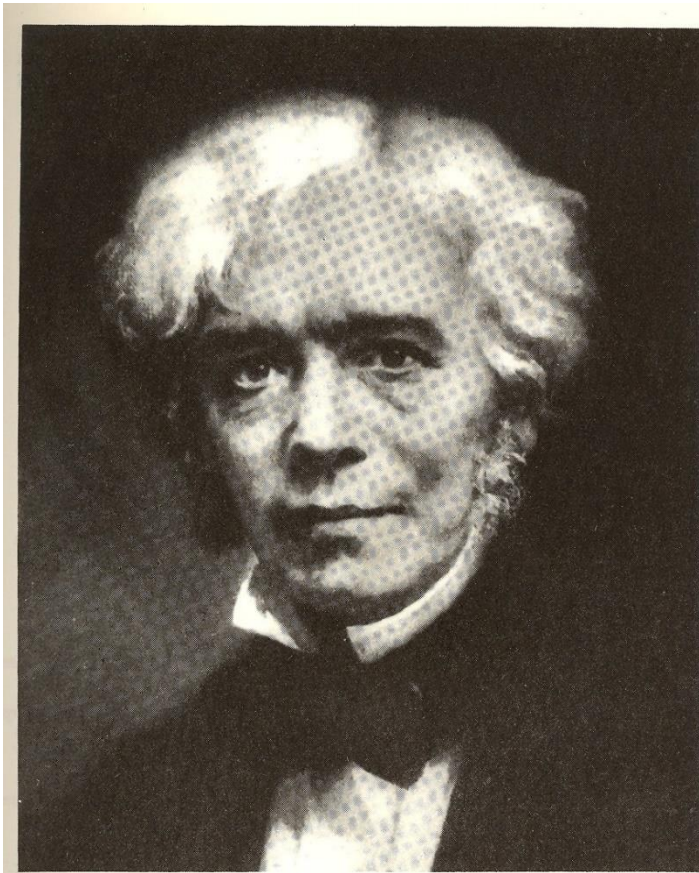
GEORG SIMON OHM (1787-1854), német fizikus, a müncheni egyetem professzora

OHM a róla elnevezett törvényhez az elektromos vezetés és a hővezetés közötti analógia tanulmányozása, illetve felismerése révén jutott. Eszerint az elektromos térnek a hőmérsékleti gradiens, az elektromos áramnak a hőáram felel meg [l. (6-31), (6-32)]. Pontos mérésekkel nemcsak a róla elnevezett Ohm-törvényt igazolta, hanem megállapította az ellenállásnak a vezető anyagától és geometriai méreteitől való függését is.





**Az elektrodinamika legnagyobbjai: Faraday és Maxwell; a XIX. sz. legnagyobb kísérleti és elméleti fizikusai.**



**faraday**

4.4 – 39 ábra

MICHAEL FARADAY (1791 – 1867) könyvkötő inas, majd Davy laboránsa, titkára. 1824-ben a Royal Society tagja, 1825-től a Royal Institution igazgatója.

Első munkái (1816-tól) a kémia területére esnek (1823: Klór cseppfolyós állapotban).

Technológiai problémákkal is foglalkozott: rozsdamentes acél, különleges optikai tulajdonságú üvegek előállítása. 1820 után kezd intenzíven a villamos jelenségekkel foglalkozni. 1821-ben megkonstruálja az első elektromotort. 1831. aug. 29.: az indukciótörvény; 1833: az elektrolízis törvényei; 1845: a Faraday-effektus. Vizsgálatai az 1832–1856 között folyamatos paragrafusszámmal (1–3340§) ellátott *Experimental Researches in Electricity* című munkájában láttak napvilágot.

Faraday-t minden idők legnagyobb kísérleti fizikusának tartják, legfeljebb honfitársa, Rutherford hasonlítható hozzá

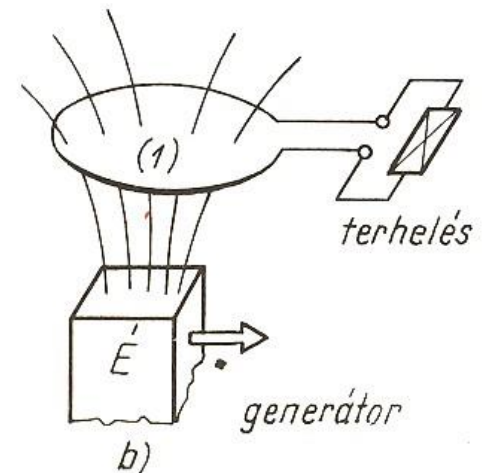
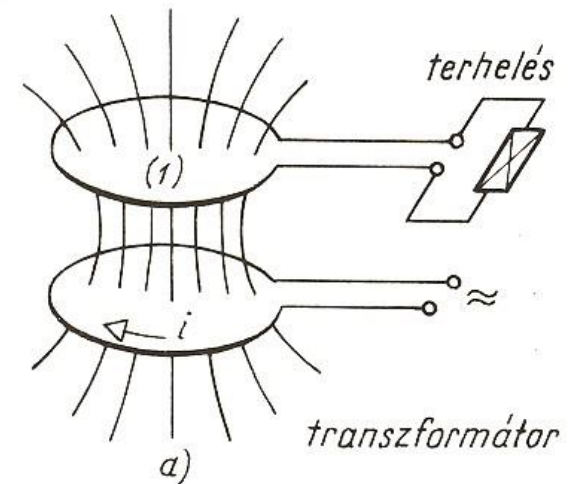
## Faraday munkássága:

**1. Indukció törvény:** a romantikus természetfilozófia szerint két egymás mellé helyezett áramkörnek befolyásolnia kell egymást.

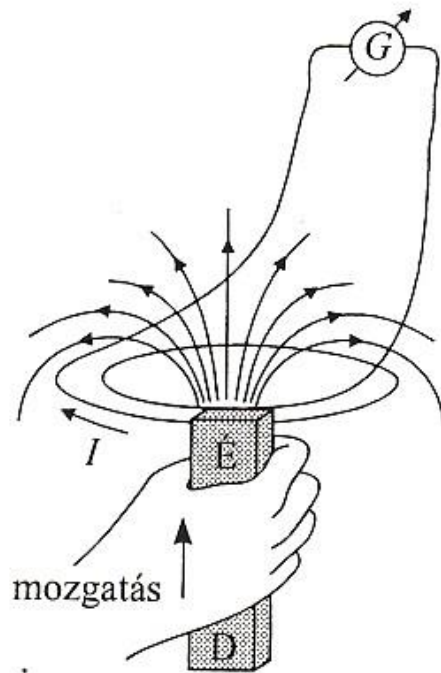
Faraday első eredményei negatívak voltak.

Később rájött, hogy az egyik áramkörben bekövetkező változás van hatással a másik áramkörre.

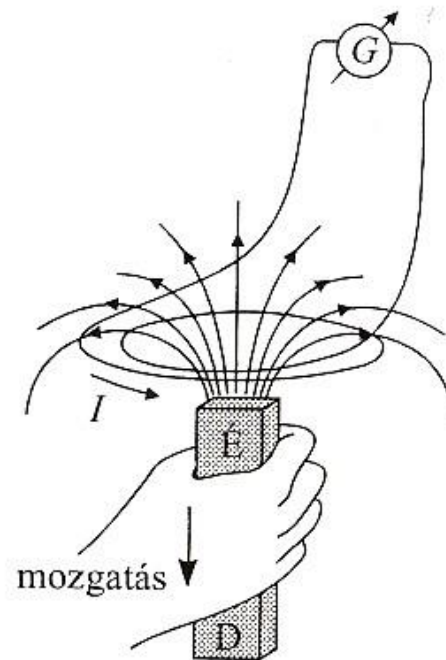
Általában: az egyik körben indukált feszültség arányos az azt átdöfő, de a másik kör által létrehozott mágneses erővonalak számának változásával.



Nyugalmi és mozgási indukció.



a.



b.

Faraday törvénye: az indukált körfeszültség arányos a hurkot átdőfő mágneses indukcióvonalak számának időegység alatti megváltozásával

Ahogy Maxwell felírta:

$$\oint_g \vec{E} d\vec{s} = - \frac{d}{dt} \int_A \vec{B} d\vec{A}$$

## 2. Az elektrolízis törvényei:

2/1 Az elektrolízis során kiválasztott anyagmennyiség az áthaladt töltéssel arányos.

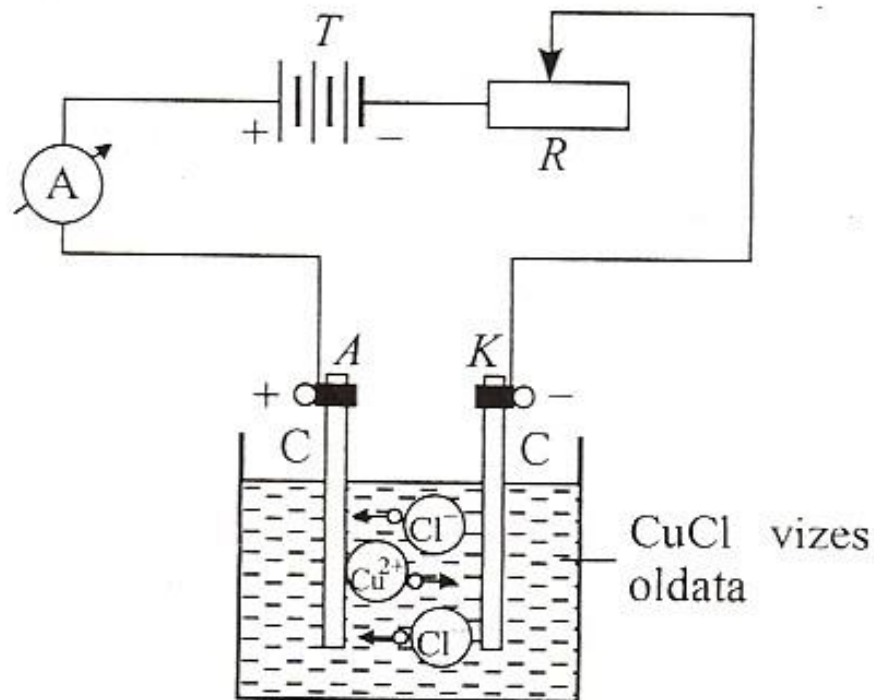
$$m = K \cdot Q$$

2/2 Adott töltés mellett a különböző kiválasztott anyagok mennyisége arányos a kémiai egyenértéksúllyal.

$$m = 1/F \cdot M/z$$

Ahol a Faraday-állandó:

$$F = N_A \cdot e = 96485 \text{ C/mol}$$

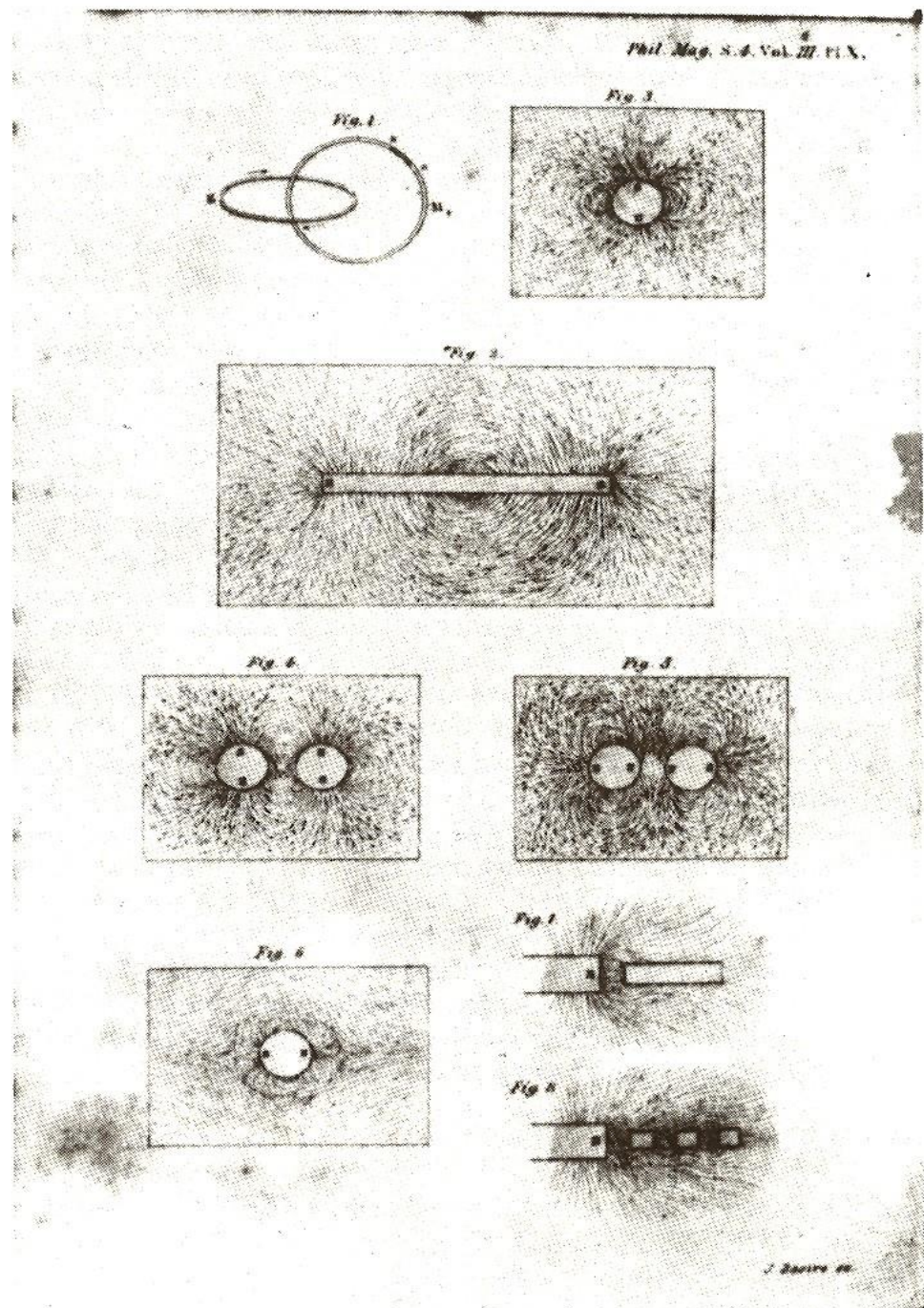




### 3. Az elektromos és mágneses erővonalak bevezetése:

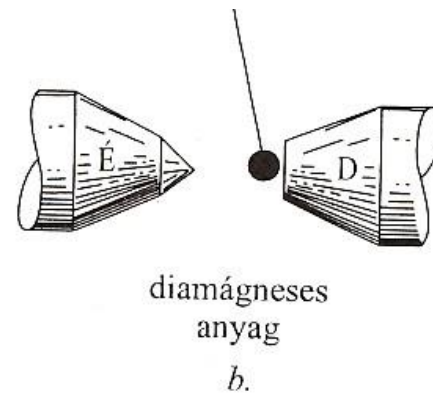
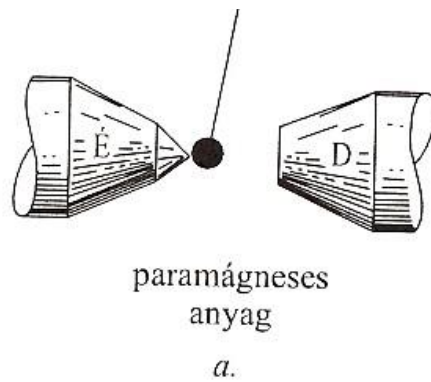
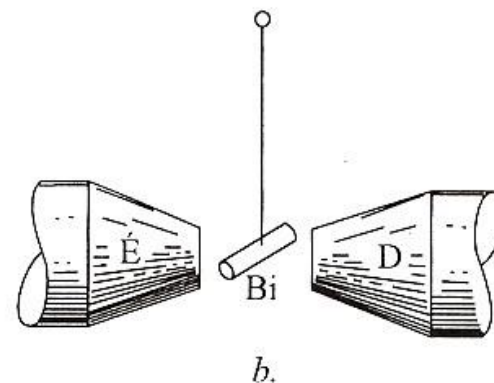
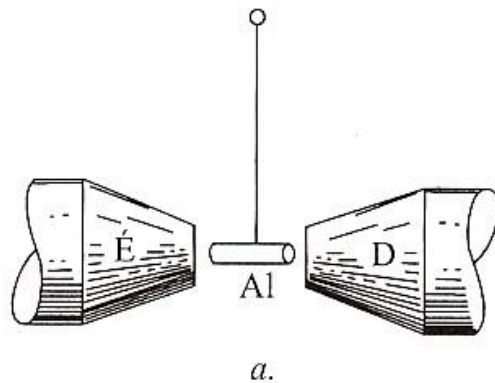
az elektromágneses mező koncepciója.

Az erővonalak transzverzális rezgéseket végeznek (az elektromágneses hullámok előfutára).



4. Anyagok elektromos és mágneses tulajdonságai: dielektrikumok vizsgálata,  
dielektromos állandó;

dia- és paramágnesség





A **Faraday-kalitka** az elektromágneses hatás kiküszöbölésére szolgáló, fémhálóval körülvett térrész, amelybe a fémháló védőhatása folytán a külső elektromos erőter nem hatol be („árnyékolás”). Ezzel magyarázható például az is, hogy a vasbeton szerkezetből készült épületekben legtöbbször a mobiltelefonok működéséhez nincs elég térerő.

A Faraday-kalitka belsejében nincs se elektromos, se mágneses tér, így a belsejében lévő emberek ezek hatásától védve vannak.

Párosítsuk össze a fizikusokat és a felfedezésüket!

1. A villámhárító felfedezése
2. Az áramok mágneses hatásának felfedezése
3. Az elektrosztatika törvényeinek megalkotása
4. A ponttöltések közötti erőhatás törvényének megalkotása

- a) Gauss
- b) Coulomb
- c) Franklin
- d) Ampere

|   | a | b | c | d |
|---|---|---|---|---|
| 1 |   |   | X |   |
| 2 |   |   |   | X |
| 3 | X |   |   |   |
| 4 |   | X |   |   |



1791  
10  
20  
30  
40  
50  
60  
70  
76  
1867

## FARADAY

1813 Davy  
1813-14 utazás Davyvel  
elektrokémia

1824 F.R.S. első villamos kísérletek  
1825 Dir. of Royal Institute

indukció törvény 1831  
elektrolízis 1832-33  
dielektrikum 1837-39

1840-44 idegkimerülés

Faraday-forgatás  
diamágnesség

Ray-Vibration

paramágnesség

utolsó tudományos  
cikke

1790  
1800  
1810  
1820  
1830  
1840  
1850  
1860  
1870  
1880

## MAXWELL

1845-1846 ovális görbéről

1850 elasztikus testek egyensúlya

1855 Faraday erővonalairól 1856 Prof. Aberdeen

1860 fizikai erővonalak 1861-62  
kinetikus gázelmélet  
elektromágneses tér dina-  
mikus elmélet 1864

60-65  
Kings College  
London  
Glenlair

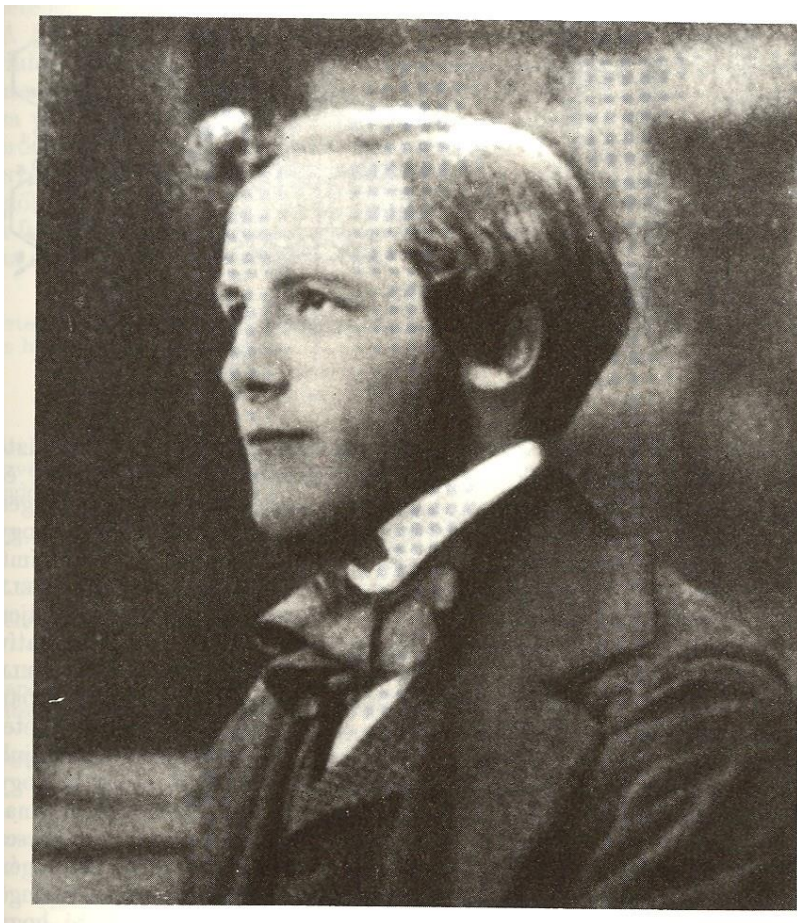
olasz utazás

Treatise 1873

Cavendish Labor.

Cavendish munkái 1879

1831  
10  
20  
30  
40  
48  
1879



#### 4.4 – 49 ábra

JAMES CLERK MAXWELL (1831 – 1879) a XIX. század legnagyobb elméleti fizikusa, a klasszikus fizika befejezője. Matematikát és fizikát tanult Edinburghben, majd Cambridge-ben. 1856-ban professzor Aberdeenben. 1860 és 65 között a King's College-ban (London) tanított. 1865-ben visszavonult skóciai birtokára és kizárólag tudományos munkájának élt. ~~1671~~-ben meghívták a cambridge-i egyetemen szervezett, az angol tudományos életben később olyan nagy szerepet játszó Cavendish-laboratórium élére.

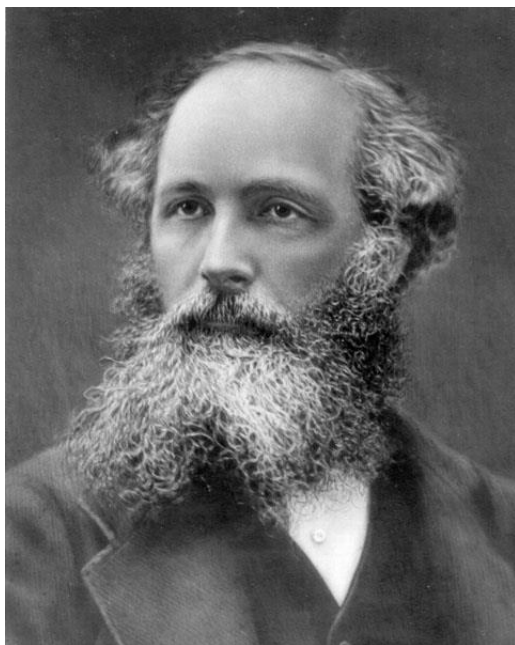
1871

Maxwell fiatal korában a színérzékelés problémájával foglalkozott. Iránymutató vizsgálataiban az elektrodinamika és a kinetikus gázelmélet területére esnek.

A Maxwell-egyenletek az 1862-ben megjelent *On Physical Lines of Force* című cikkében szerepelnek először. 1873-ban jelent meg két kötetben az *A treatise on electricity and magnetism* című könyve.

A kinetikus gázelméletre vonatkozó eredményei a *The theory of heat* (1871) című kötetben találhatók összegyűjtve. Maxwell hangsúlyozta először annak lehetőségét és fontosságát, hogy az alapegységeket az atomi állapotokra vezessék vissza

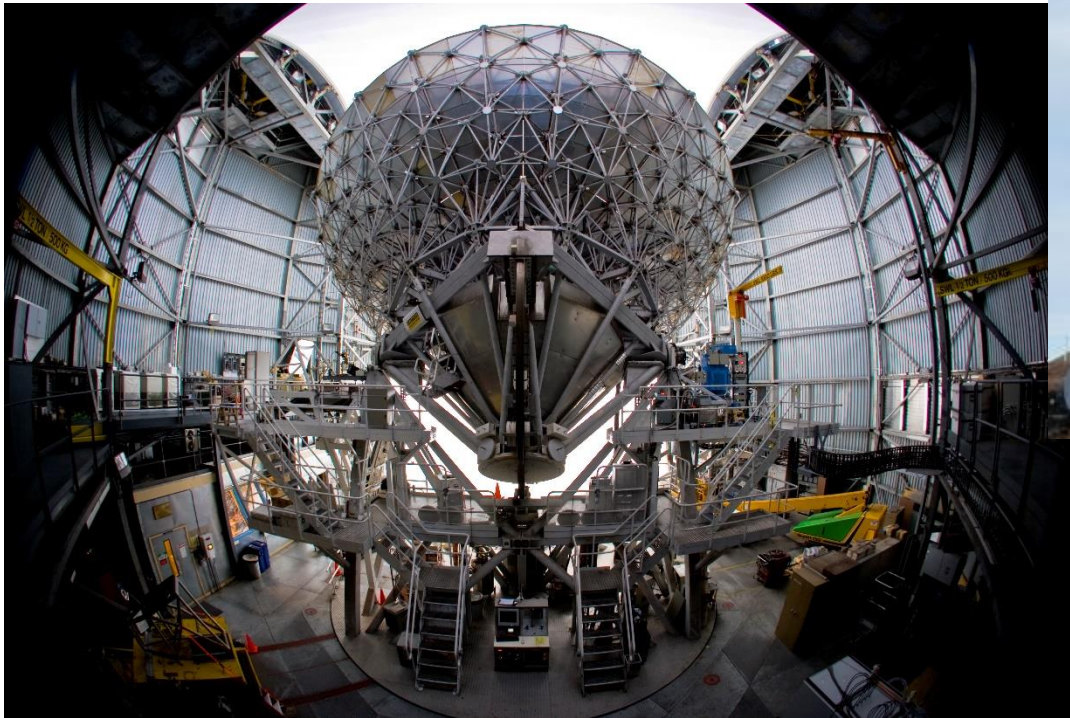




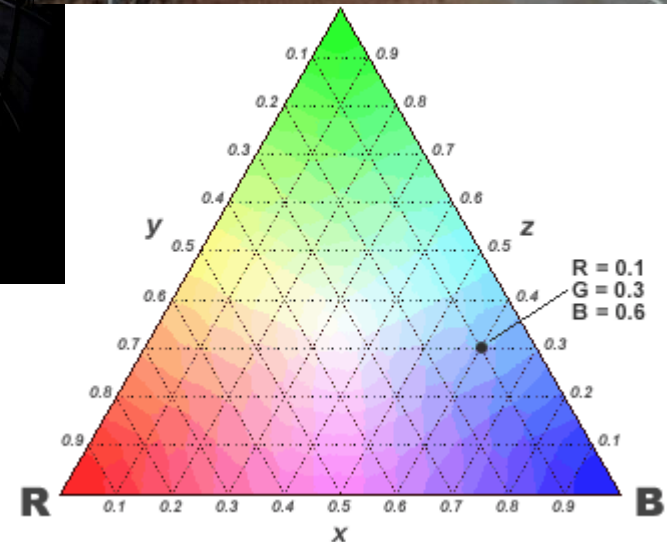
„Idősebb” kori képe és  
szobra Edinburgh-ban



# The James Clerk Maxwell Telescope (JCMT)



A 3 alapszín gondolata, a Maxwell-tárcsa





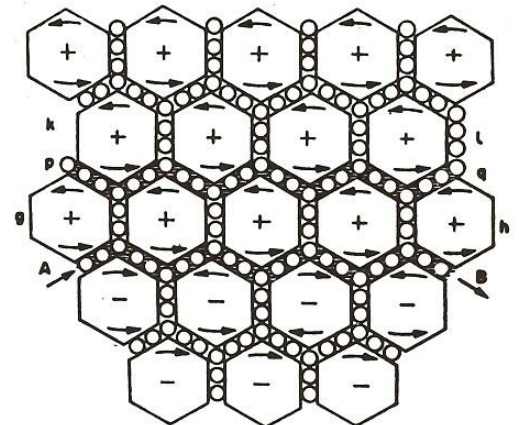
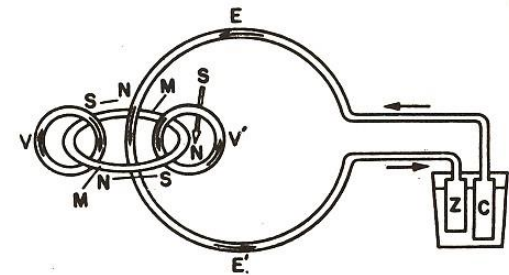
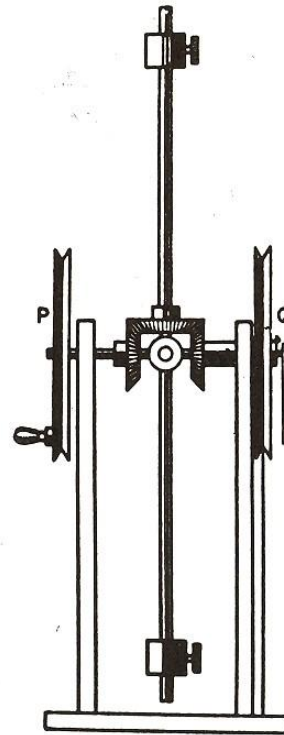
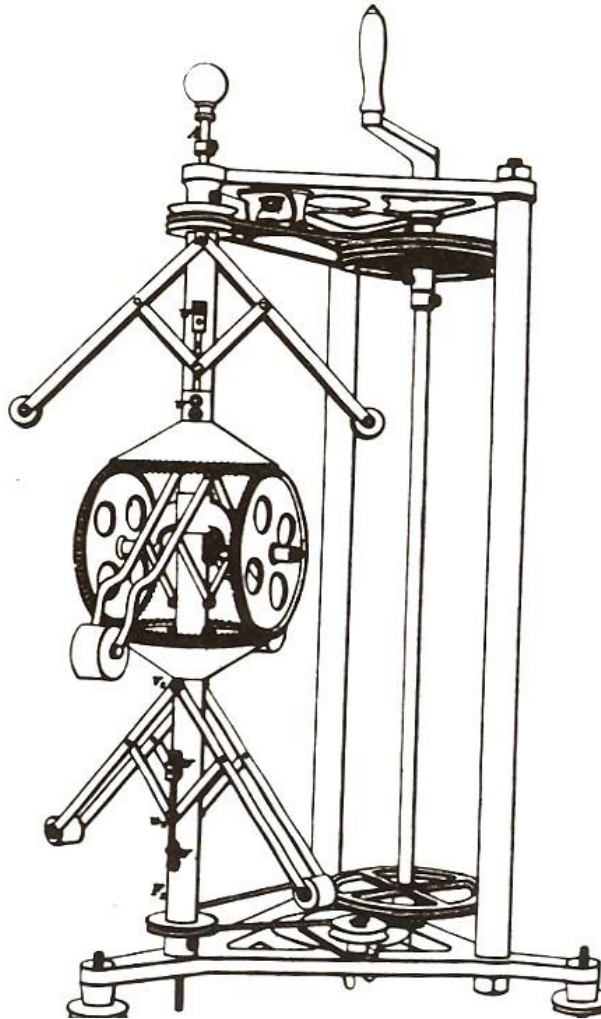
Maxwell eredményei:

1, Faraday gondolatainak matematikai formába öntése.

Abban a korban nagy igény volt a törvények matematikai formába öntése (helyes törekvés) mellett elektromágneses jelenségek mechanikai magyarázatára, sőt a mechanikai modelleket legyártására is (helytelen törekvés). Faraday egyikkel sem foglalkozott, ezért a tudományos közvélemény nem is vett tudomást a munkásságáról. Faraday jelentős felfedezéseit először Maxwell ismerte fel, felírta azokat matematikai képlettel, sőt mechanikai modelleket is gyártott. Mára a tankönyvekben csak az egyenletek maradtak – szerencsére.

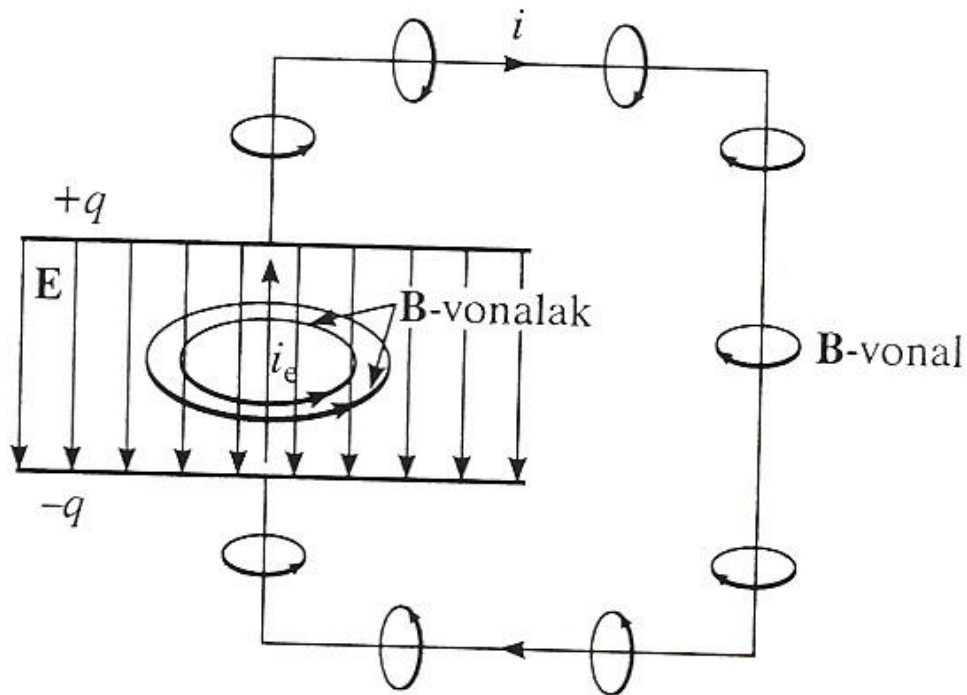
„Az elektrodinamika vektorterei akkor is léteznek, ha érzékszerveinkkel nem foghatjuk fel őket és ha mechanikai modellel nem lehet őket szemléletessé tenni.”

A csatolt áramkörök mechanikai modelljei Maxwell és Boltzmann munkásságából, az elektromágneses tér mechanikai modellje



2, Az eltolási áram bevezetése:

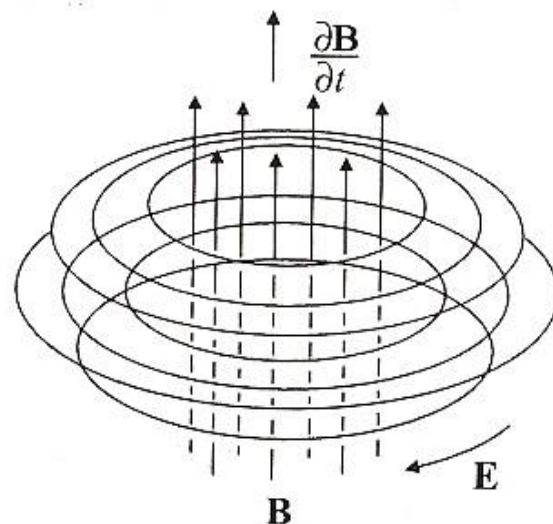
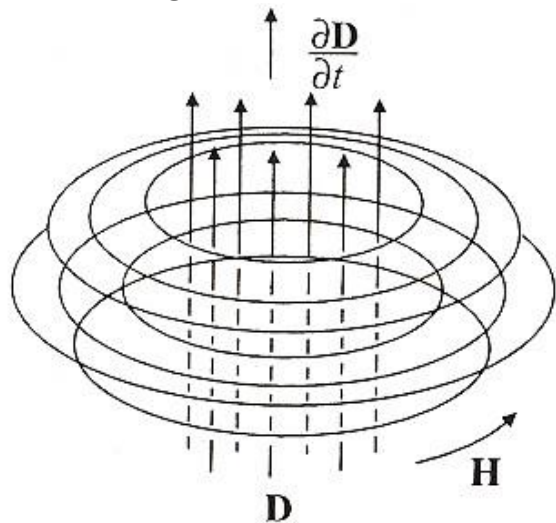
Nemcsak áramok, hanem változó elektromos tér is kelt mágneses teret.



Az Ampere-Maxwell -  
törvény

$$\oint_g \vec{H} d\vec{s} = I_A + \frac{d}{dt} \int_A \vec{D} d\vec{A}$$

3, Az elektromágnességtan teljes egyenletrendszerének felírása, az elektromágneses hullámok lehetőségének felismerése.



(színuszosan) változó elektromos mező

→ (színuszosan) változó mágneses mezőt gerjeszt

→ az pedig változó elektromos mezőt indukál

→ és így tovább a végtelenségig.....

„Valószínűsíthető, hogy a fény (és a hőszugárzás) is egy az általa felírt törvények szerint az elektromágneses térben terjedő zavar (1864).



Einstein írta róla:

„Azt mondhatjuk, hogy Maxwell előtt a fizikai valóságot úgy fogták fel, hogy az anyagi részecskékből áll, amelyek változása csak mozgás, amelyeket közönséges differenciálegyenletek írnak le. Maxwell óta viszont a fizikai valóságot úgy képzeljük el, hogy azt folytonos tér reprezentálja, amelyet parciális differenciálegyenletek írnak le, és amelynek mechanikai értelmezése nem lehetséges. A valóság fogalmának ez a változása a legmélyebb és leggyümölcsözőbb, amelyet a fizika Newton óta tapasztalt.”

További eredmények:

- a kinetikus gázelmélet végső sikerre vitele
- rengeteg műszaki mechanikai eredmény
- a Szaturnusz gyűrűk stabilitása

Valószínűleg a fizikatörténet 3. legjelentősebb alakja

Melyik nem Faraday munkásságának a része?

- a) az elektrolízis törvényei
- b) mágneses erővonalak bevezetése
- ☒ c) a galvánelemek elmélete
- d) az indukció törvénye

Melyik felismerés nem Faradaytól származik?

- a) az indukált körfeszültség arányos a hurkot átdöfő mágneses indukcióvonalak számának változási gyorsaságával
- b) a mágneses mezőben mozgó vezetőben feszültség indukálódik
- ☒ c) nemcsak áramok, hanem változó elektromos tér is kelt mágneses teret
- d) vannak diamágneses és paramágneses anyagok

Melyik nem Maxwell munkásságának a része?

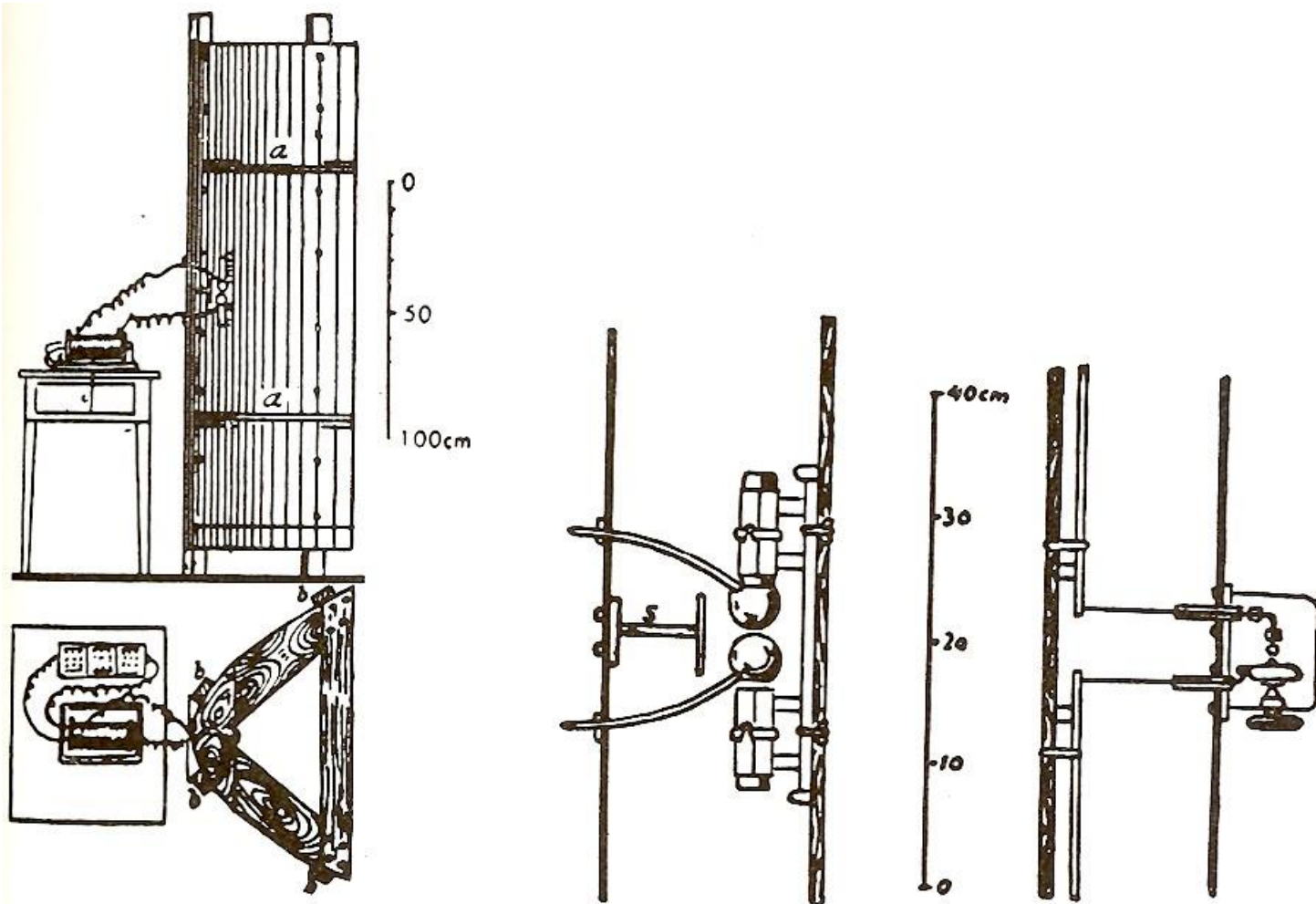
- a) Faraday törvényeinek matematikai formába öntése
- b) az eltolási áram bevezetése
- ☒ c) az elektrosztatika törvényeinek felírása
- d) az elektromágneses hullámok elméleti levezetése



HEINRICH HERTZ (1857–1894) építőmérnöknek tanult, de már 1878-ban Berlinben találjuk Helmholtznál. 1880-ban *Elektromágneses indukció forgó testekben* címmel írt doktori disszertációt. Mint Helmholtz asszisztense elsősorban gázkisüléssel foglalkozott.

1886: professzor a karlsruhei műszaki egyetemen;

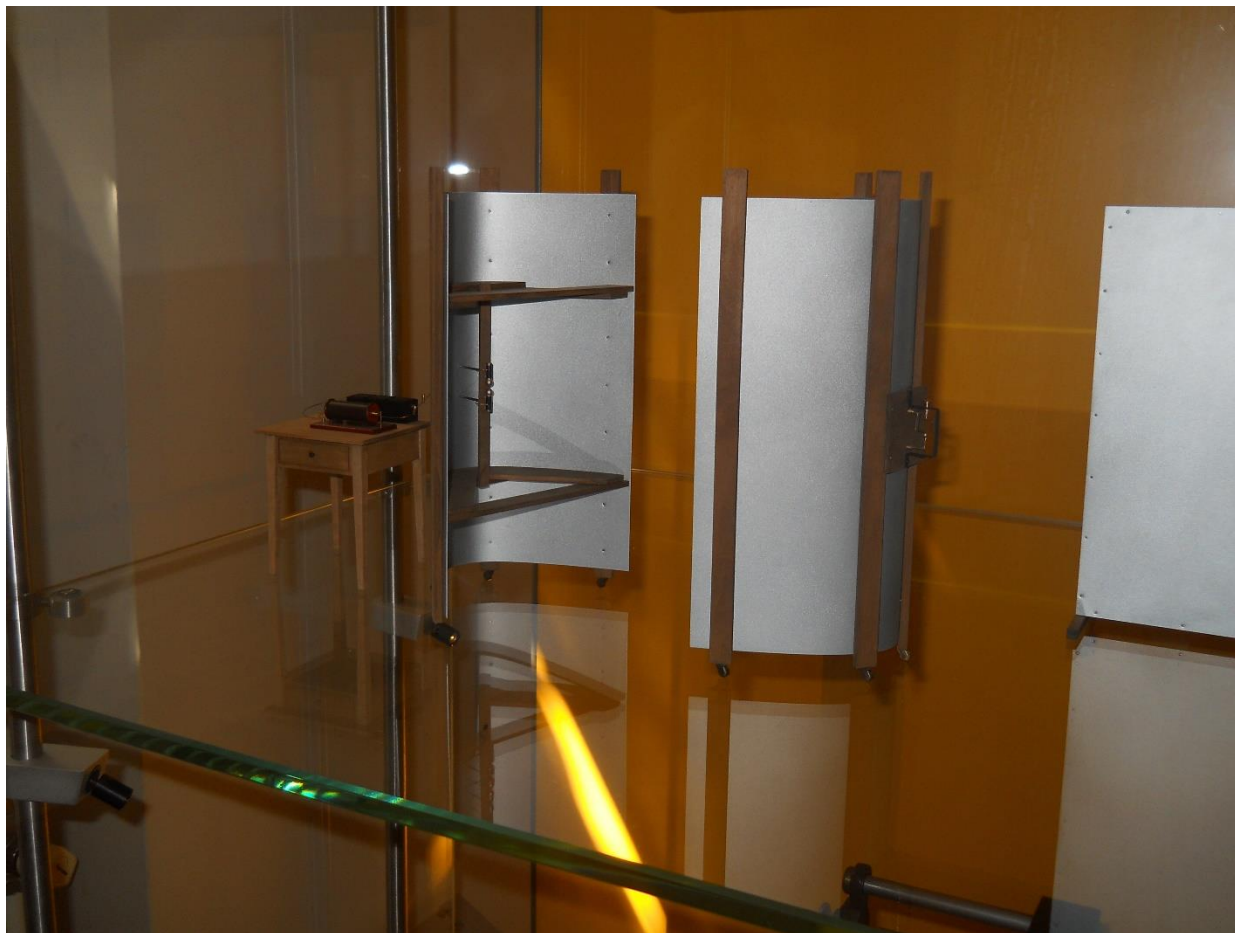
1889: Clausius utódként a bonni egyetemen tanít fizikát. Hertz számtalan kutatási eredményei közül – még az eredménytelen katódsugár kísérletei is jó irányba indították tanítványát, Philipp Lenardot – legnevezetesebbek azon vizsgálatai, amelyekkel a Maxwell-elméletet bebizonyította, kimutatta az elektromágneses hullámok létét és azoknak a fényhullámokkal azonos viselkedését (1886). *Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper* (1890) című könyvével vitte a Kontinensen végső győzelemre a Maxwell-elméletet



4.4–56 ábra

HERTZ kísérleti elrendezése az elektromágneses hullámok kimutatására





Hertz kísérleti berendezésének makettje a bécsi Műszaki Múzeumban

# Az elektromágneses fényelmélet

A XVIII. században nincs előrehaladás: a Newton-féle korpuszkuláris elméletet használják (a fény évszázadában nem fejlődik a fényelmélet!).

Young, 1801: a fény periodikus hullámvonulatokból áll, az interferencia jelenségek felismerése, a Newton-féle színes gyűrűk helyes elmélete.

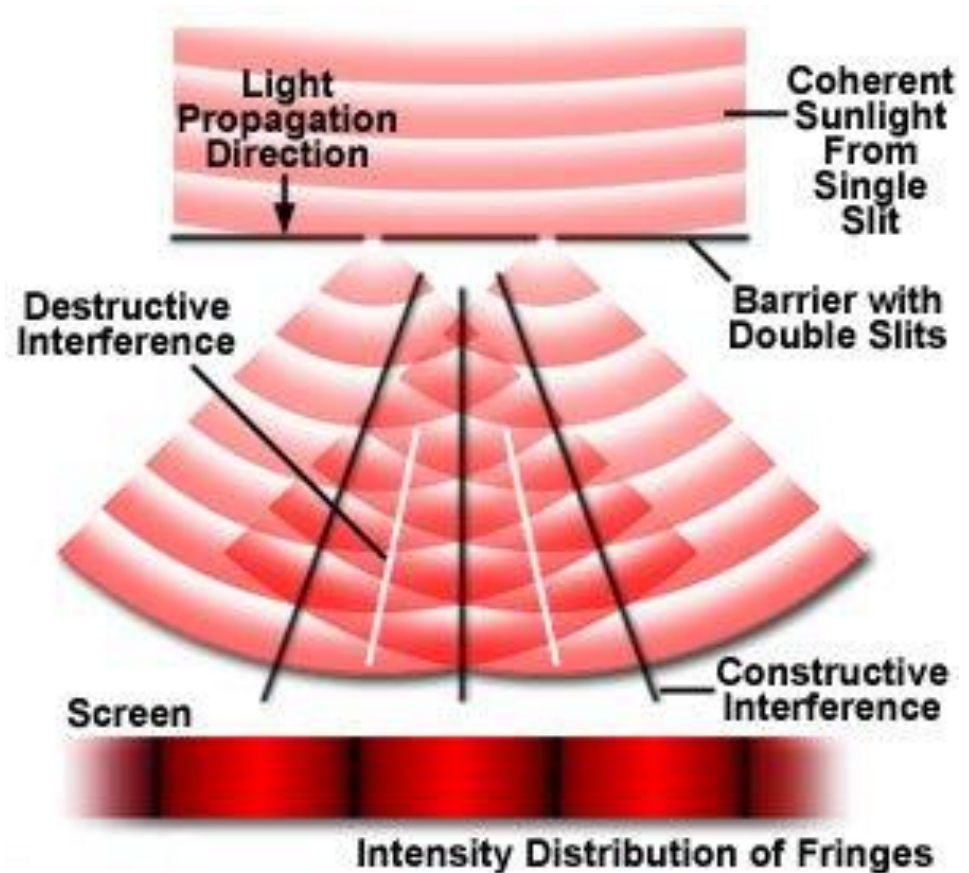
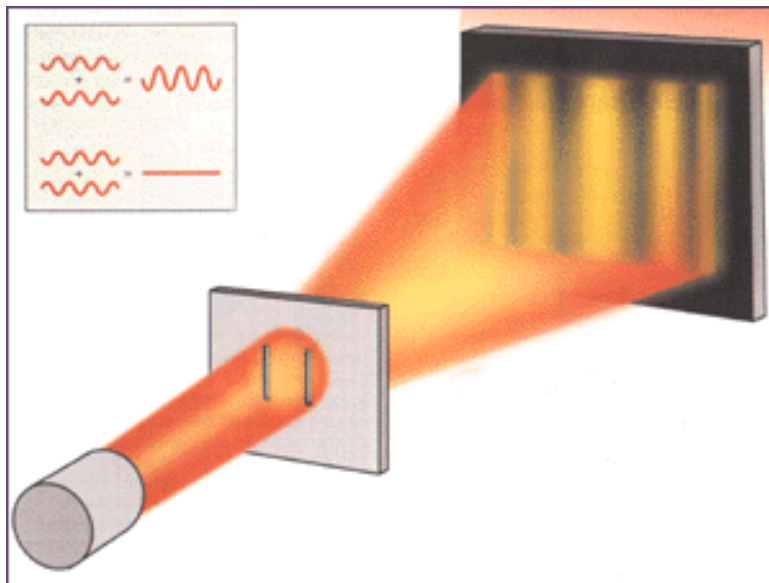
Malus, Brewster, ~ 1810: a polarizáció felismerése, a fény transzverzális hullám

Fresnel, ~ 1820: matematikailag precízen megfogalmazza a Huygens elvet, az interferenciát, a polarizációt.

Fizeau, ~ 1850: a fénysebesség pontos mérése, a fény közegben lassabban halad.

Maxwell, ~ 1865: a fény elektromágneses hullám

Lorentz, ~ 1891: klasszikus elektronelmélet, fény és anyag kölcsönhatása, a törésmutató anyagszerkezeti értelmezése



**Young, 1801: a kétréses kísérlet;** az interferencia bizonyítja a fény hullám jellegét egyúttal lehetővé teszi a hullámhossz mérését is



Az optika mellett foglalkozott még:

Mechanikával: Young- modulus

Atomelmélettel: a molekulák mérete

Orvostudomány: a szem működése

gyakorló orvos volt

Régészet: egyiptomi hieroglifák megfejtése

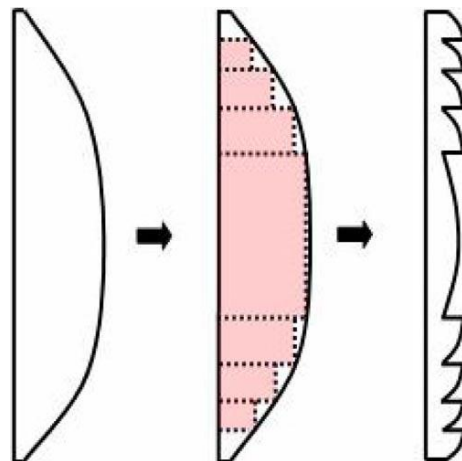
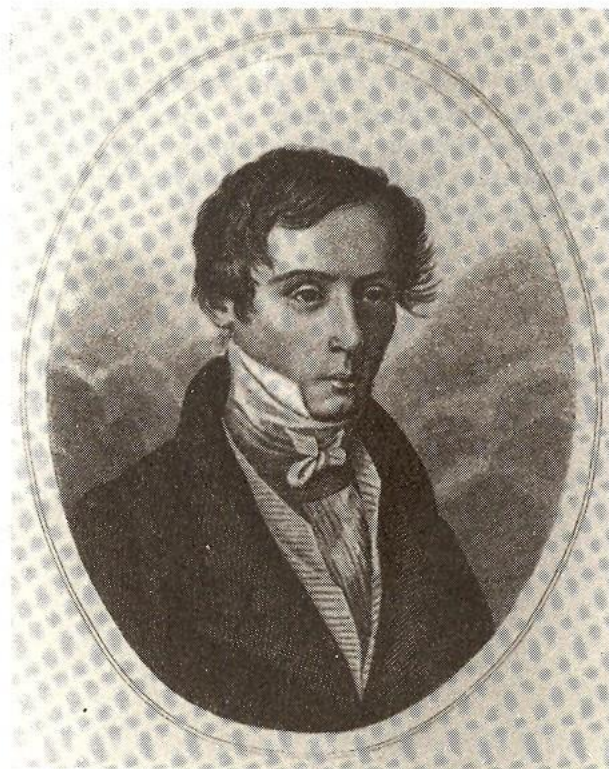
Nyelvészet: 14 éves korában már 13  
nyelven beszélt

Zenélt és kötél táncozott egy cirkuszban

4.4 – 57 ábra

THOMAS YOUNG (1773 – 1829) csodagyerek volt: két éves korában már olvasott. Sokoldalú tehetség: festő, zenész, nyelvész, orvos, fizikus. 1800-tól orvosi praxist folytat Londonban, és mellékesen 1801 – 1804 között a Royal Institution fizikaprofesszora. Előadásai 1807-ben két kötetben jelentek meg (*A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts*). A fizikában elsősorban a fény hullámtermészetének bizonyítása fűződik nevéhez. 1793-ban a látásélességgel és színlátással foglalkozott, 1801-ben felfedezte az interferencia jelenségét mint a fény hullámtermészetének legfőbb bizonyítékát. 1817-ben megállapította a fényhullámok transzverzális voltát. Egyéb munkái közül érdemes megemlíteni a kohézióval kapcsolatos vizsgálatait, amelyekben megbecsülte a molekulák nagyságát.

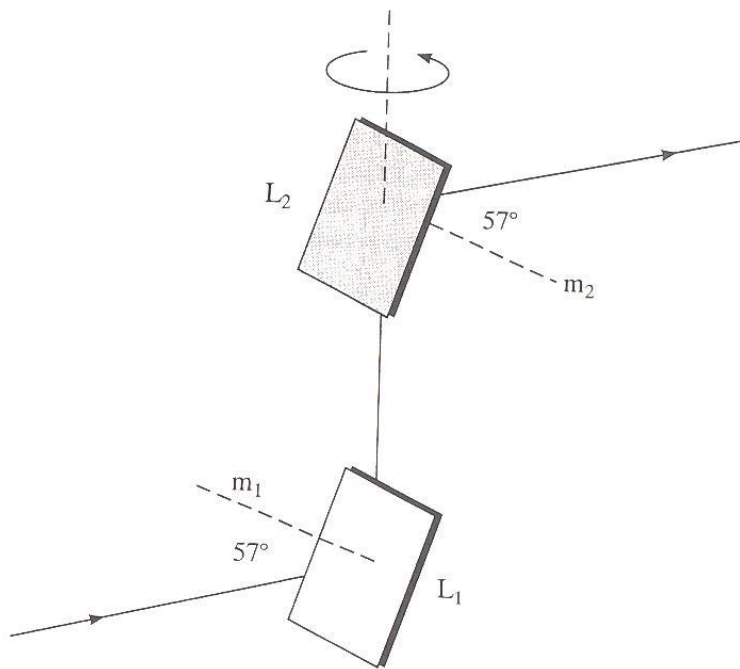




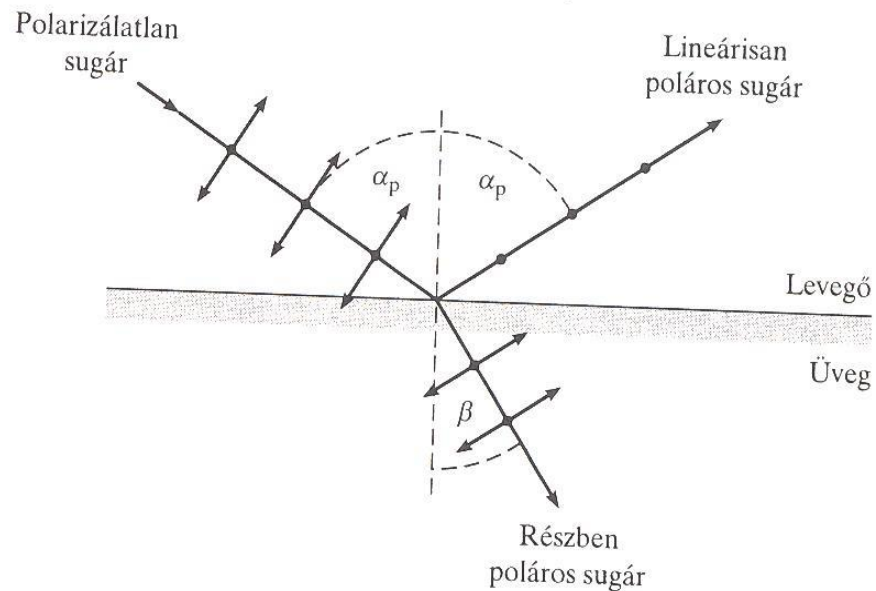
Fresnel  
lencsék  
és zónák

4.4—58 ábra

**JEAN AUGUSTIN FRESNEL** (1788—1827) a fény hullámtermészetét megalapozó francia iskola egyik legnevezetesebb képviselője. Érdeemes felfigyelni születési helyére: Broglie (Normandia). Útépítő mérnök, tudománnyal csak szabad idejében foglalkozott. 1823-ban a Francia Akadémia, 1825-ben a Royal Society tagja. Nevéhez fűződik a Huygens-elv precíz megfogalmazása, a hullámjelenségek matematikai leírása, a polarizáció és transzverzálítás kapcsolata. A polarizációs sík forgását már a cirkulárisan polározott hullámok kettős törésével magyarázza. Megadja a megtört és visszavert hullám intenzitását helyesen leíró és nevét viselő formulákat.



**Malus** (1775-1812): a kb.  $57^\circ$ -ban visszavert fényt a vele párhuzamos felső üveglemez visszaveri, de  $90^\circ$ -os elforgatás után nem ( $\sim 1810$ ): **a fény tehát transzverzális hullám**



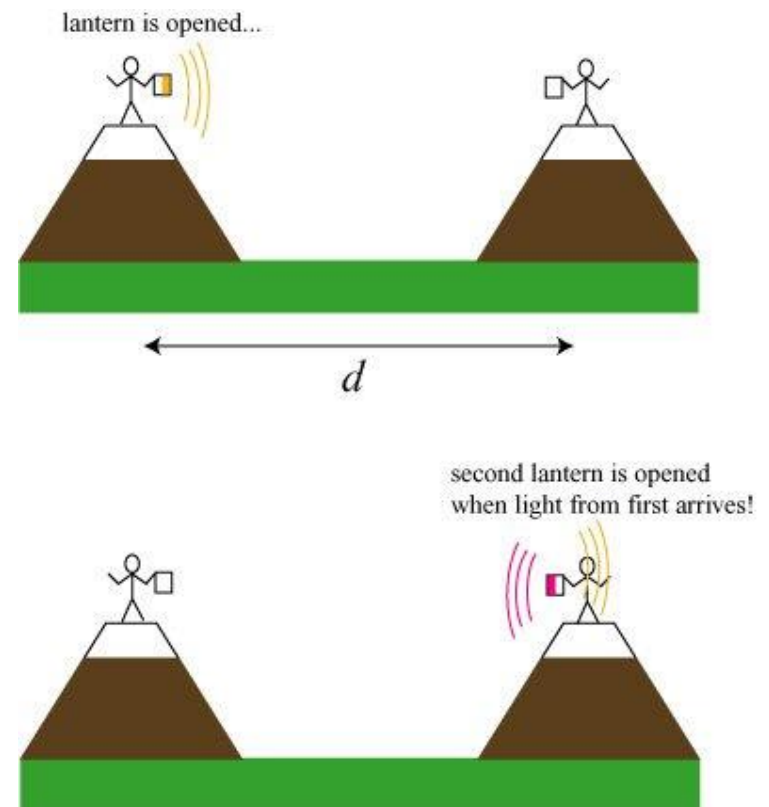
**Brewster** (1781-1868): a kb.  $57^\circ$ -ban visszavert fény lineárisan poláros ( $\text{tg } 57^\circ \approx 1,5 = n$ ) ( $\sim 1815$ ): **a polarizáció a fény transzverzális hullám voltát bizonyítja**

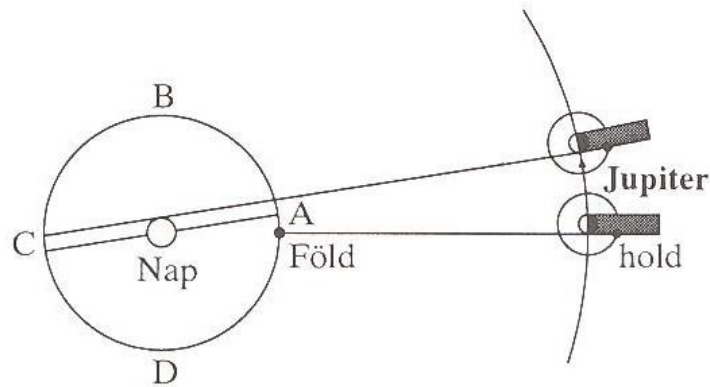
## Próbálkozások a fény terjedési sebességének kísérleti meghatározására



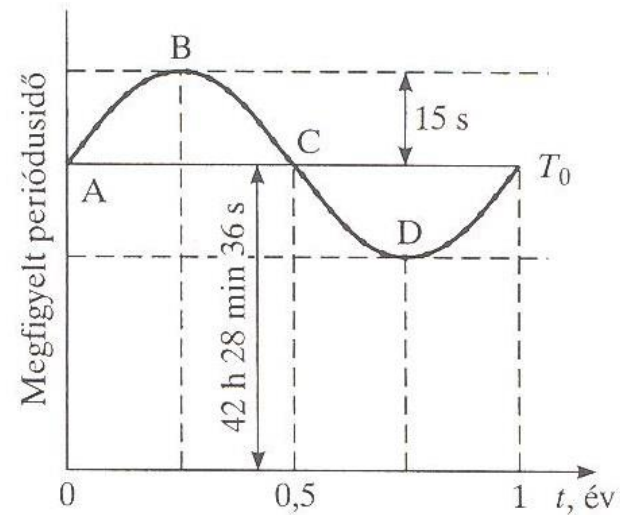
Következtetés:  $\Delta t$  nem függ  $d$ -től.  
Tehát a fény sokkal rövidebb idő alatt teszi meg a néhány km-es utat, mint amennyi az ember reakcióideje, azaz a fény sebessége ezzel a módszerrel nem mérhető meg. Ahhoz csillagászati távolság kell.

A visszaérkező fényjel  $\Delta t$  időközét mérték különböző  $d$  értékek esetén





a)



b)

## Römer (1644-1710): a fény terjedési sebességének első kísérleti meghatározása (1676).

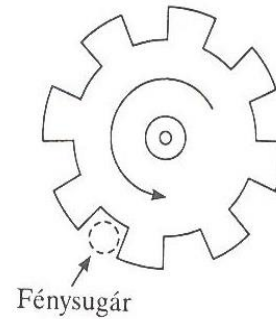
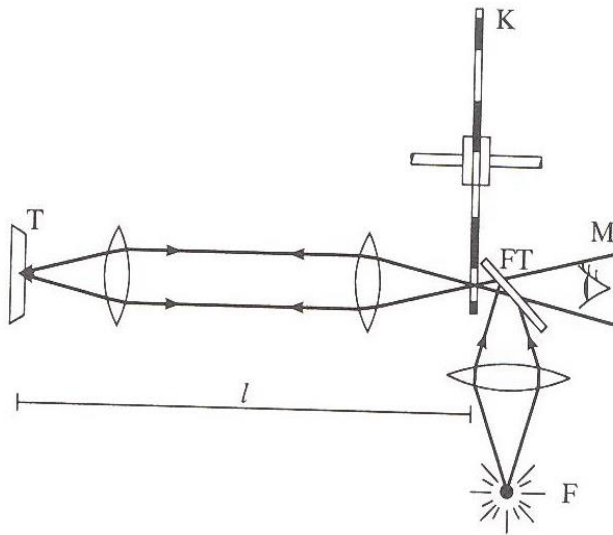
A Jupiter legbelső holdjának holdfogyatkozásai között eltelt időket figyelte meg igen pontosan. Ha a Föld távolodik a Jupitertől (B), akkor ezek az idők nagyobbak, mint amikor közeledik (D).

**Ió,** Európa, Ganümedész, Kallisztó

Nagyságrendileg helyes eredményt kapott ( $2,3 \cdot 10^8$  m/s).







**Fizeau** módszere: a fogaskerekes módszer

**ő mérte meg először a fénysebességet földi körülmények között** (1849), a pontossága 5%-on belül volt.

Hátrány az is, hogy a tükröt a fogaskeréktől több km távolságra kell tenni

Léon Foucault részt vett a kísérletben



Hippolyte Fizeau  
francia fizikus  
(1819–1896)

## Léon Foucault tovább fejlesztette a módszert: a forgótükrös módszer

Előnyei: nagyobb pontosságot (kb. 1%) tett lehetővé,  
A két tükör közötti távolság csak méter nagyságrendű  
→ lehetőség nyílt közegekben történő mérésre is

A fény sebessége álló vízben kisebb, mint a vákuumban!!!  
A kettő aránya a törésmutató.

(A több évszázados vita lezárva!!!)

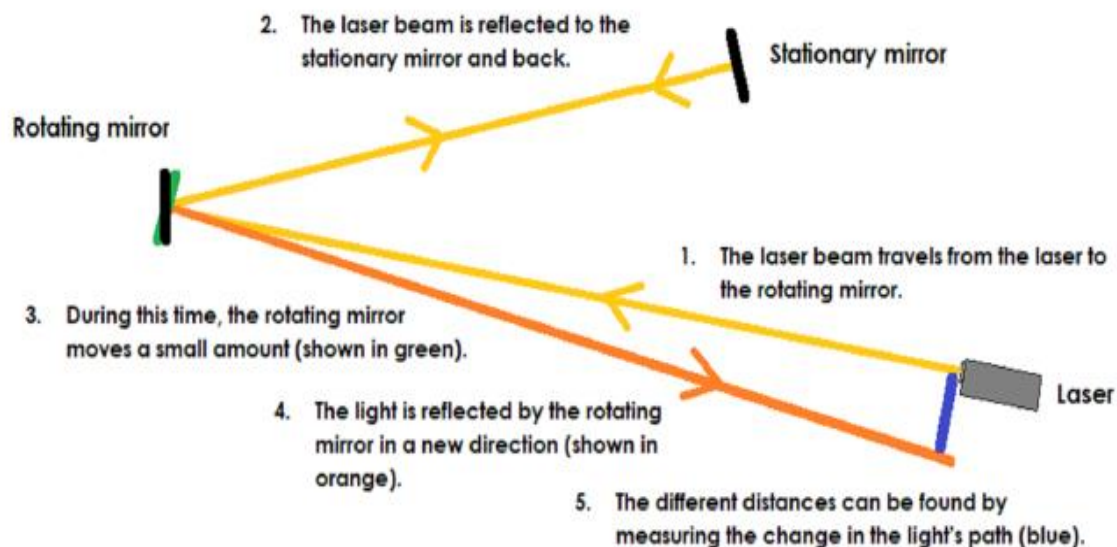
Áramló vízben váratlan eredmények:

$$c' = c/n + (1 - 1/n^2)v$$

A pontos fénysebesség :

299 792 458 m/s

(egzakt, mert ma ezen alapul a méter)



Léon  
Foucault  
francia fizikus,  
csillagász  
(1819–1868)

**Maxwell** (1831-1879): Az elektromágnességtan teljes egyenletrendszerének felírása, az elektromágneses hullámok lehetőségének felismerése

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}} \quad \text{amely éppen a fénysebességet adja.}$$

„Valószínűsíthető, hogy a fény (és a hősugárzás) is egy a felírt törvények szerint az elektromágneses térben terjedő zavar (1864).

**Hertz** (1857-1894): Az elektromágneses hullámok létének és a fényhullámokkal azonos viselkedésének a bizonyítása (1886).

**Lorentz** (1853-1928): az elektromágneses fényelmélet szintézise, klasszikus elektronelmélet, fény és anyag kölcsönhatásának klasszikus tárgyalása. Életművének jelentőségét a későbbi kvantumelmélet jelentősen csökkentette.

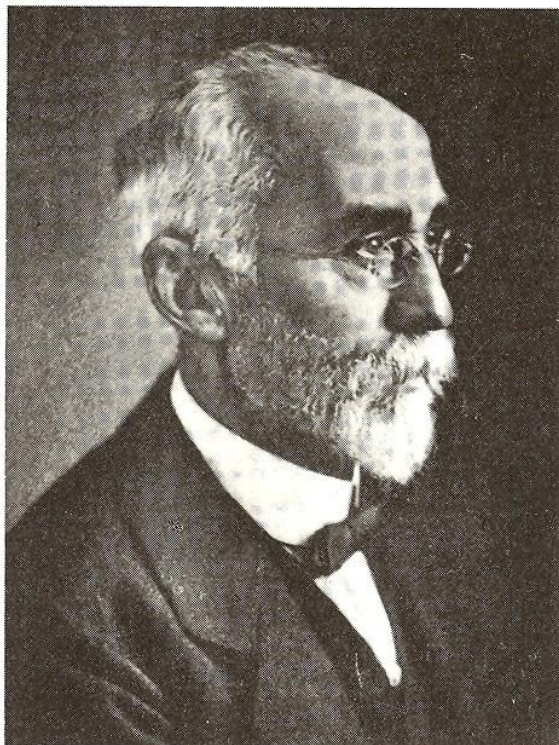
Párosítsuk össze a fizikusokat és a fénnel kapcsolatos kísérleti eredményeket!

1. a fény hullám
2. a fény transzverzális hullám
3. a fény elektromágneses hullám
4. a fény sebességének a megmérése

- a) Fizeau
- b) Malus, Brewster
- c) Young
- d) Hertz

|   | a | b | c | d |
|---|---|---|---|---|
| 1 |   |   | X |   |
| 2 |   | X |   |   |
| 3 |   |   |   | X |
| 4 | X |   |   |   |

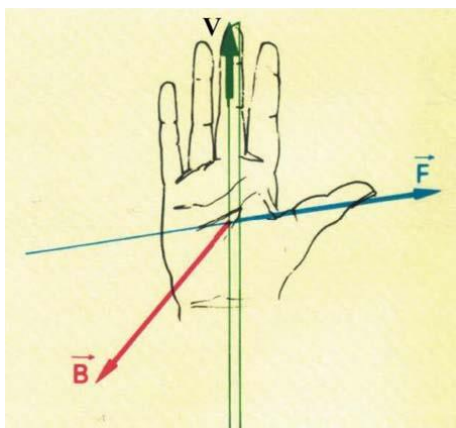




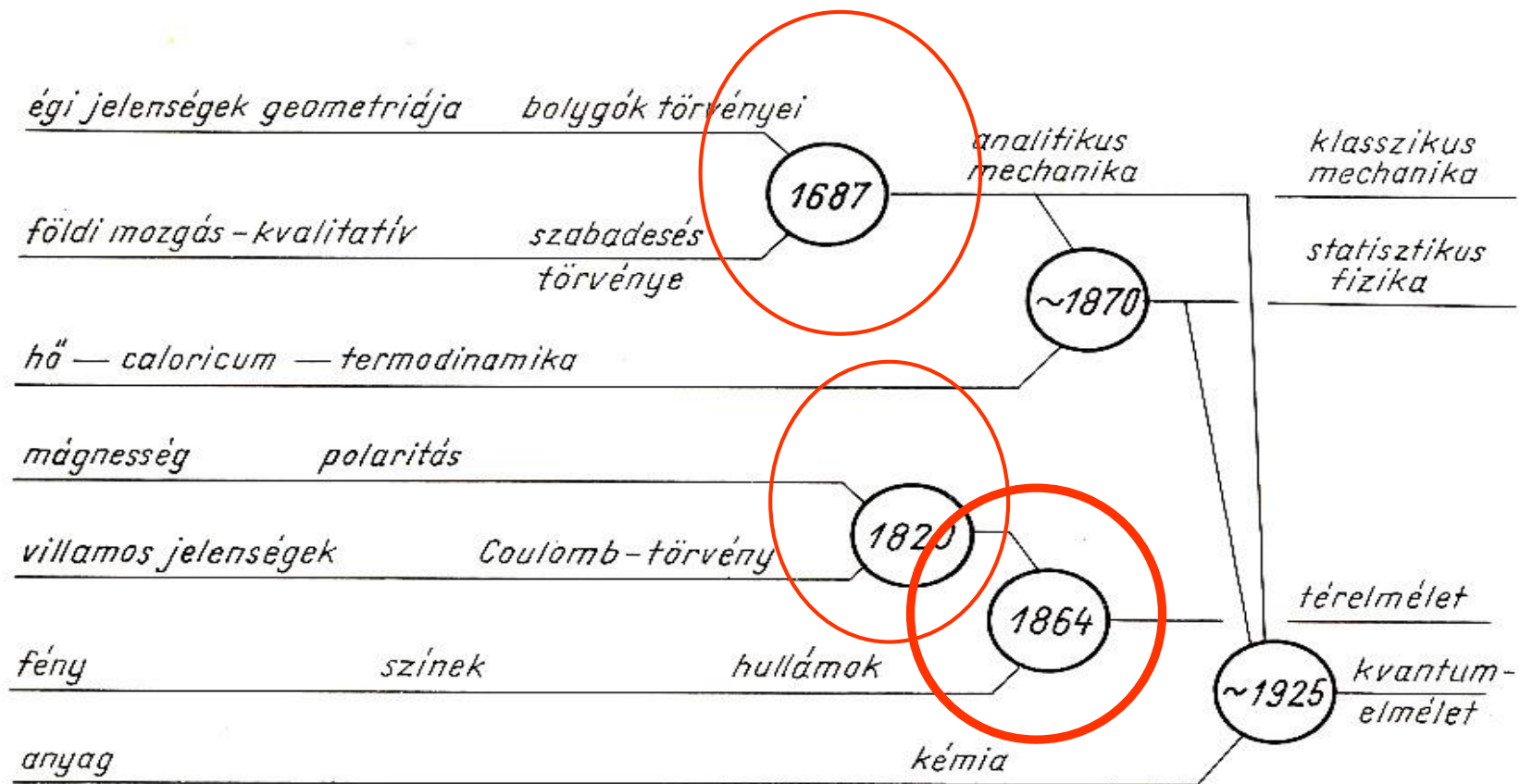
#### 4.4 – 59 ábra

HENDRIK ANTOON LORENTZ (1853–1928) a leideni egyetemen tanult matematikát és fizikát. 1878-tól a leideni egyetemen az elméleti fizika tanára. 1875-ben megjelent *Reflexion et réfraction de la lumière dans la théorie électromagnétique* cikkében a Fresnel-összefüggéseket vezeti le az elektrodinamika alapegyenleteiből. Széles körű munkásságából (a Zuider-See kiszárításának tervét is ő készítette) kiemelkedik az anyag róla elnevezett elektronelmélete (1892), a Zeeman-effektus elméleti magyarázata (1896), a relativitáselmélet előkészítése: Lorentz–Fitzgerald-féle kontrakció (1892), a Lorentz-transzformáció (1899).

Lorentz a századforduló méltán egyik legnépszerűbb és legnagyobb nemzetközi tekintélynek örvendő fizikusa, bár mind a relativitáselmélet *Einstein* által adott értelmezésével, mind a Planck-féle kvantumelmélettel szemben igen nehezen adta fel tartózkodó magatartását

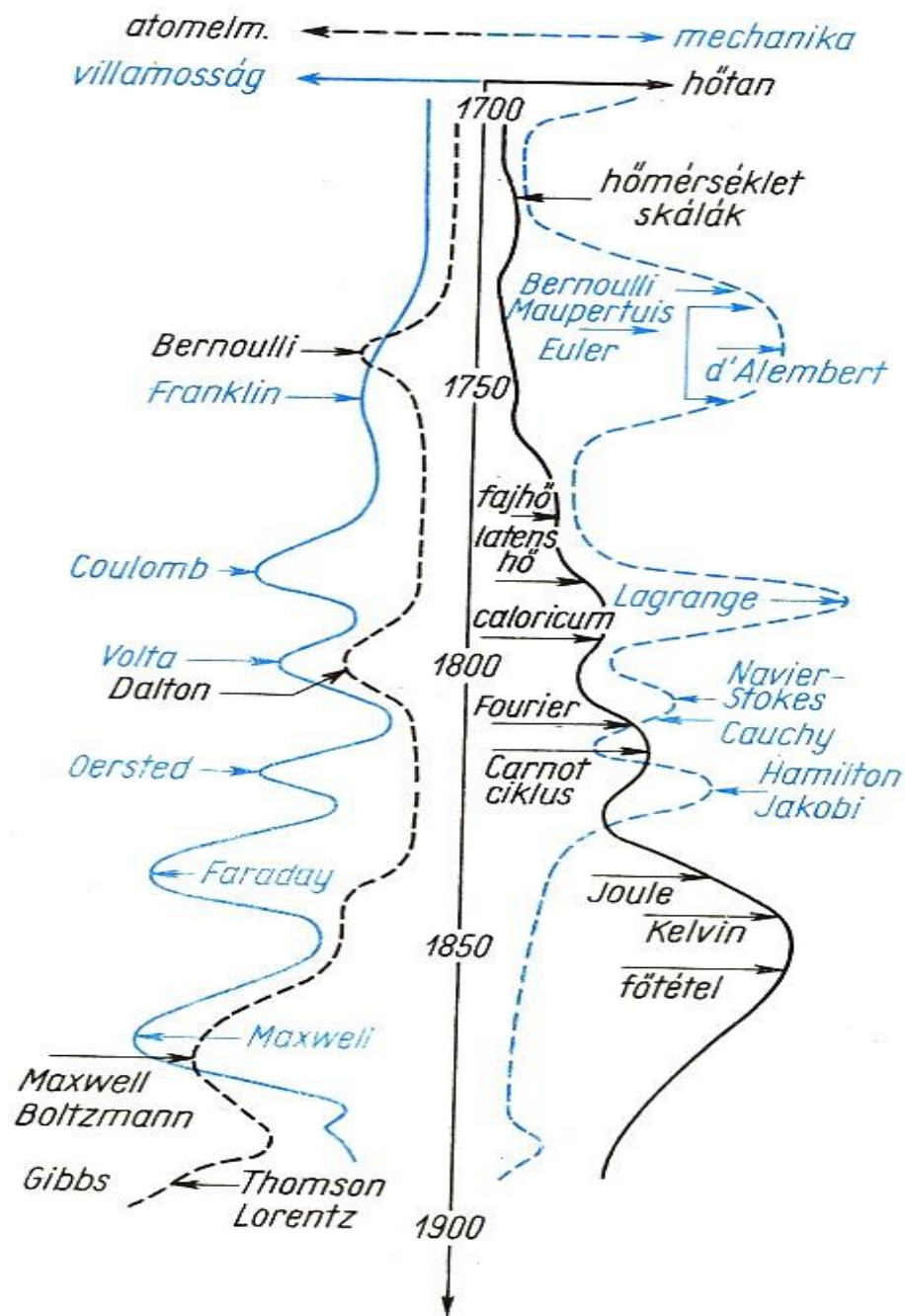


A Lorentz-erő



### 0.2–8 ábra

A fizikatörténet csomópontjai: a különböző jelenségcsoportok közötti kapcsolat felismerésének időpontjai (Hund: Geschichte der physikalischen Begriffe nyomán)



# Hőtan

**Kinetikus elmélet:** a súrlódás illetve rugalmatlan ütközés során eltűnő mechanikai energia az anyagot alkotó részecskék mozgási energiáját növeli (Leibniz, XVII. század vége).

A hő tehát az anyagot alkotó részecskék mozgási energiája.

**Hőanyag (kalorikum) elmélet:** a hőtani folyamatok során ez a rugalmas folyadék (fluidum) áramlik egyik testről a másikkra.

Megmaradó mennyiség, hasonlóan az elektromos fluidumhoz (sajnos a XVIII. században ezt az elméletet preferálták).

A hőtannak két alapvető fizikai mennyisége van, az egyik intenzitás, a másik pedig kvantitás jellegű (középkori eredetű ismeret).

Ezt a két mennyiséget ma hőmérsékletnek, illetve hőmennyiségnek nevezzük. Két test hőmérsékletének különbsége hőmennyiség áramlását okozza.

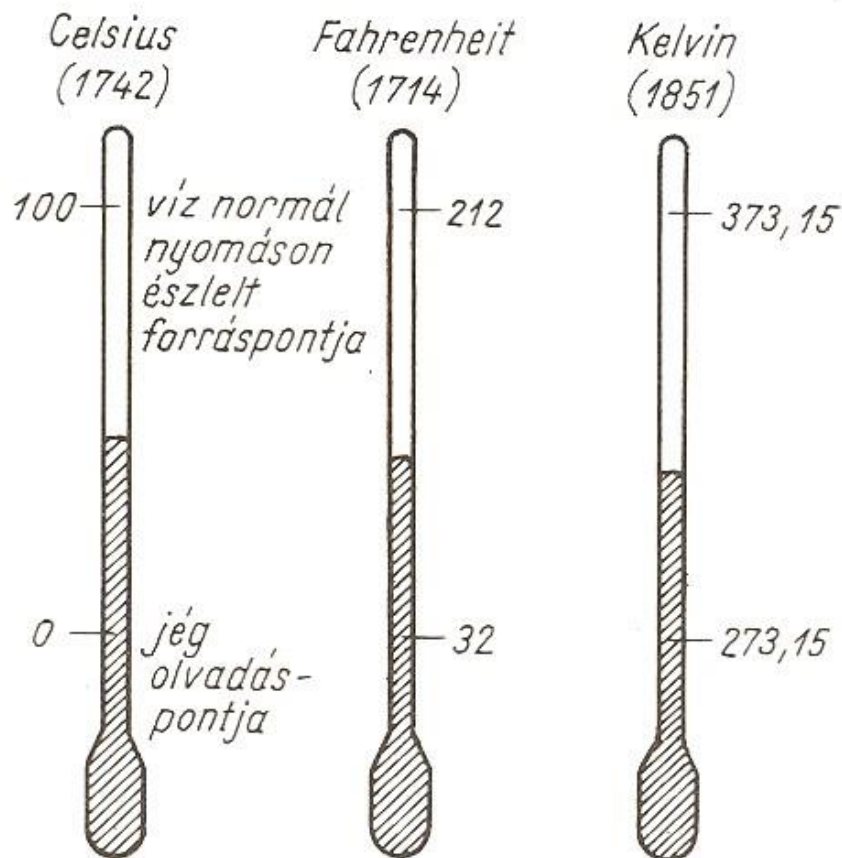
Hasonló kapcsolat van a fizika más területein is (nyomás – térfogat, potenciál – töltés)



## A hőmérséklet mérése

Elsősorban a hőtágulás adja a mérés lehetőségét, az első hőmérők barothermoszkópok voltak.

A XVII. században felismerték a légnyomás (és ennek ingadozásai) hatását az eszközre → a hőmérőket le kell forrasztani.



$$t\text{ }^{\circ}\text{C} = \left(32 + \frac{9}{5}t\right)\text{ }^{\circ}\text{F} = (273,15 + t)\text{ }^{\circ}\text{K}$$

4.5 – 4 ábra

A fontosabb hőmérsékleti skálák jellemzői

A XVIII. században a hőtan legfontosabb törvényeit a kalorikum elmélet alapján fedezték fel.

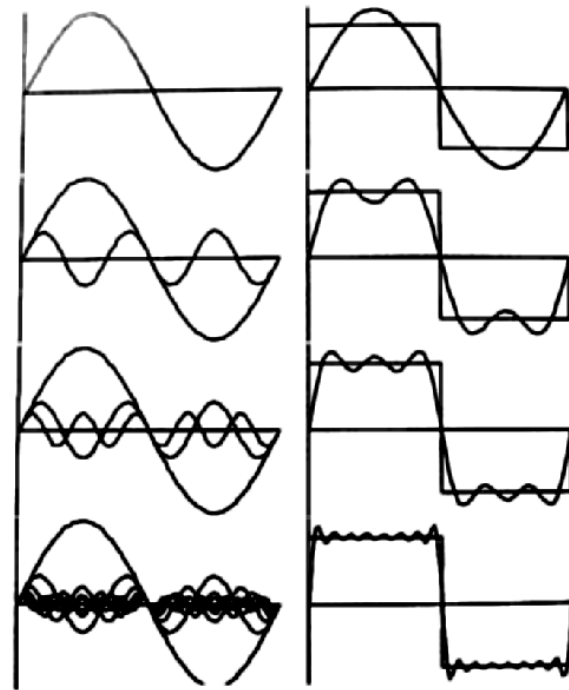
Black (1728-1799) hőegyensúly, fajhő, látens hő. **Watt tanára.**

Furier (1768.1830) hővezetési egyenletek (főleg matematikai vizsgálatok, Fourier-sorok)



4.5–6 ábra

JOSEPH FOURIER (1768–1830) 1796-ban az École Polytechnique professzora; 1816-ban a Francia Akadémia tagja. 1822-ben jelent meg a *Théorie analytique de la chaleur* című munkája, amely a Fourier-sorok elméletét is tartalmazza. Foglalkozott a mérési hibák elméletével is

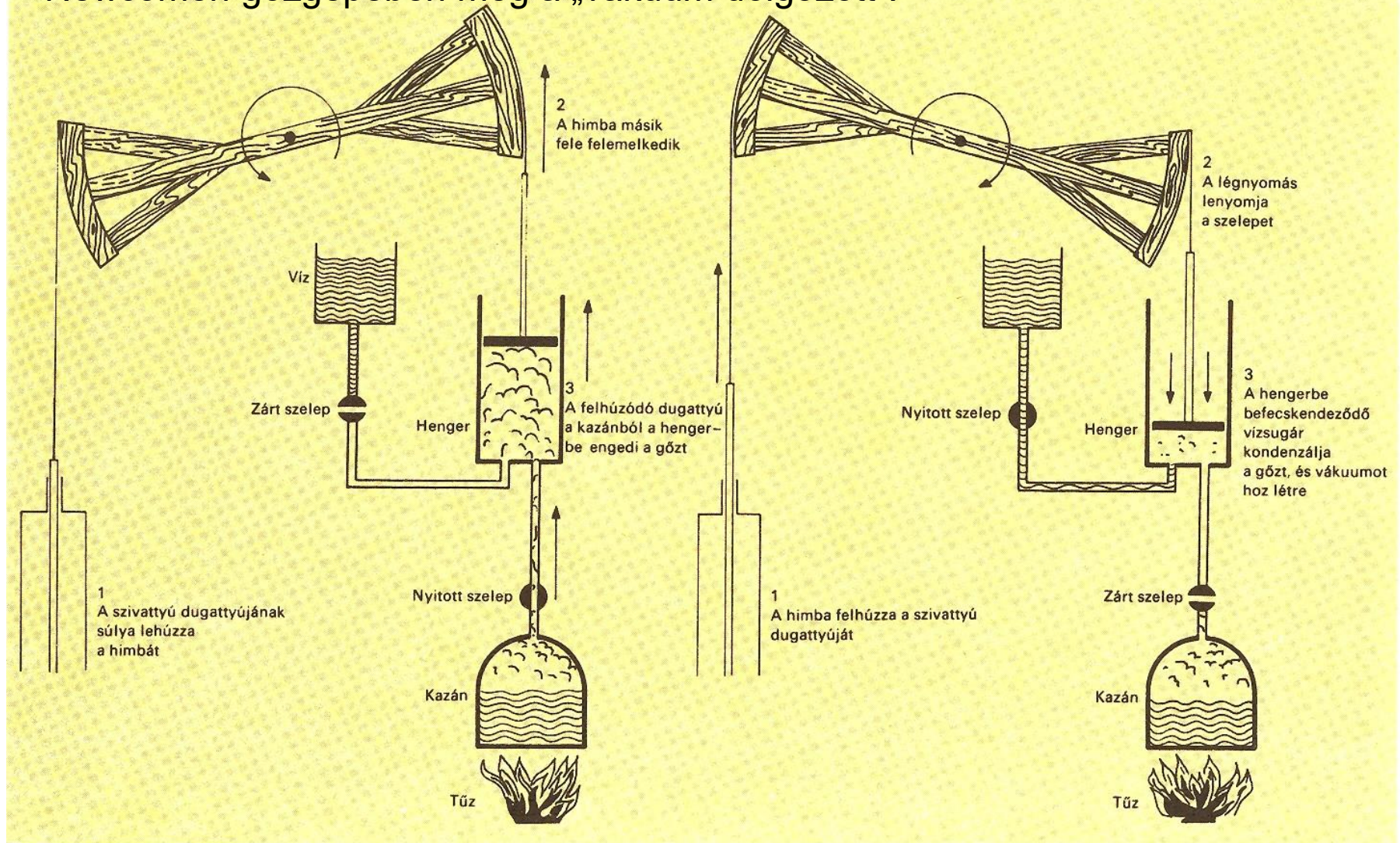


Négyszögjel előállítása többszörös frekvenciájú harmonikus függvényekből

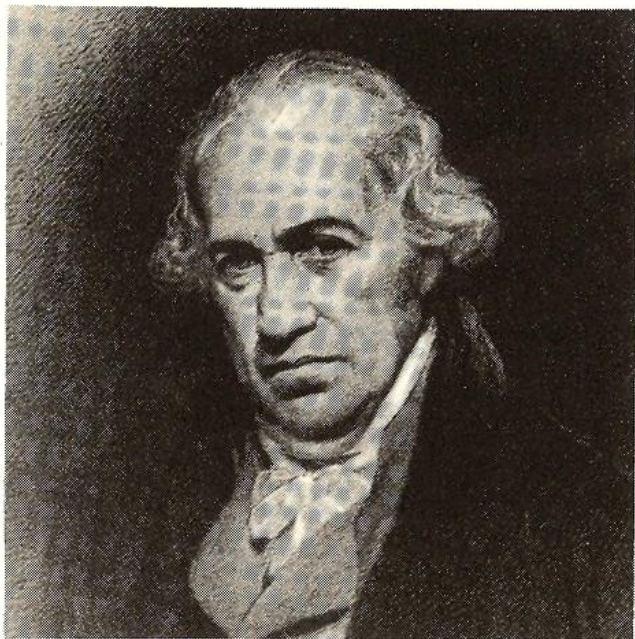


A XVII.-XVIII. sz. fordulóján igen fontos találmány született meg: **a gőzgép**

Newcomen gőzgépében még a „vákuum dolgozott”.



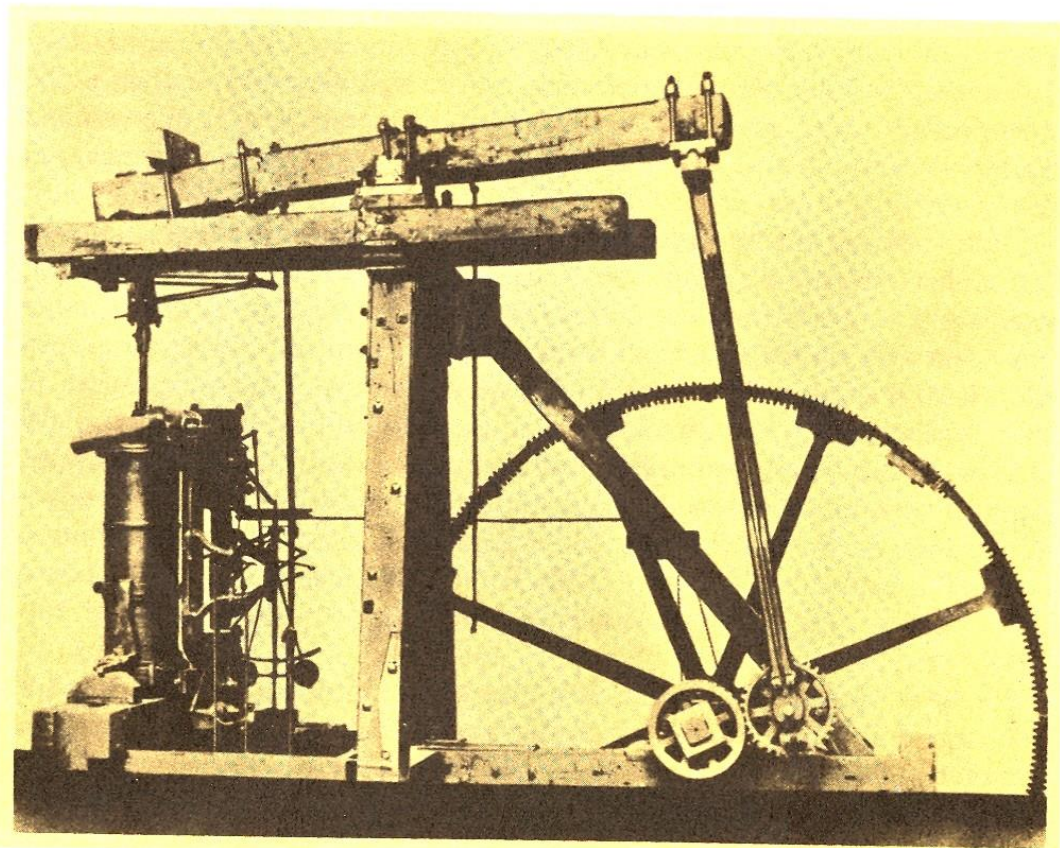




#### 4.5–9 ábra

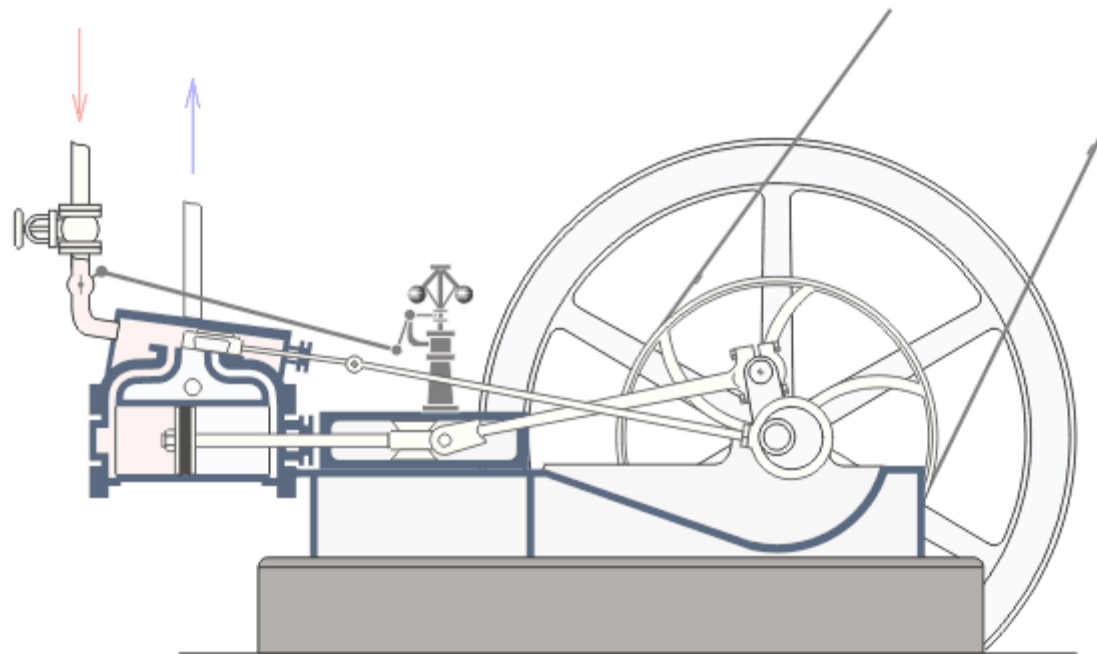
**JAMES WATT** (1736–1819) jólkereső ács fia. Elsősorban betegsége gátolta abban, hogy rendszeres iskolai képzésben vegyen részt. 1757-ben Glasgow-ban az egyetem keretébe tartozó mechanikai üzemet nyithatott. Ekkor szerezte meg műszerészi ügyessége mellé az elméleti ismereteket is és vált műszerészből tudóssá. 1763-ban kezdett egy az egyetem tulajdonában levő Newcomen-gép modelljének javításához. 1765: a kondenzációs gőzgép megszületik. A centrifugál-regulátor valamint a hengerben levő gőz nyomását regisztráló indikátor szintén Watt találmánya. Watt jelentősége kettős: a gőzgépnek ő adta mai alakját és ezzel azt a szerepet, amelyet az elkövetkezendő évszázadban az ipari forradalomban majd játszani fog; ugyanakkor felébresztette az igényt, hogy a hatásfok növelésének lehetőségét tudományos alapon vizsgálják. Ezzel a termodinamika alapjainak lerakásához adott ösztönzést

104. ábra: Boulton és Watt forgókerekes himbás gőzgépe



A gőzgép építők kérdése a tudósokhoz:  
mennyit lehet még javítani a gőzgép  
hatásfokán, van-e elvi korlátja?





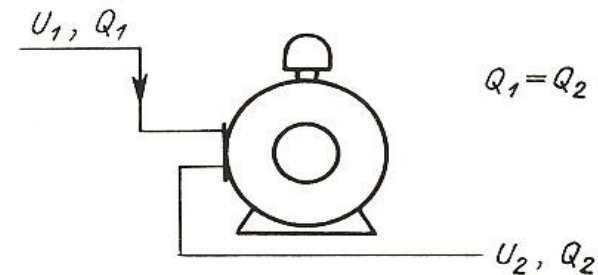
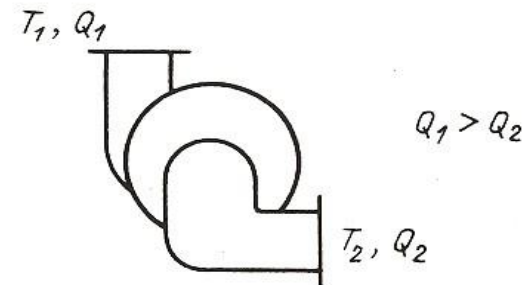
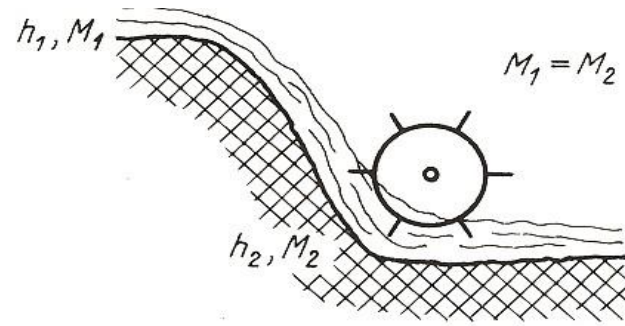
Carnot (1796-1832)

hőerőgépek hatásfoka.

Hibás gondolatmenettel jut el a mai is érvényes hatásfok képletéhez:

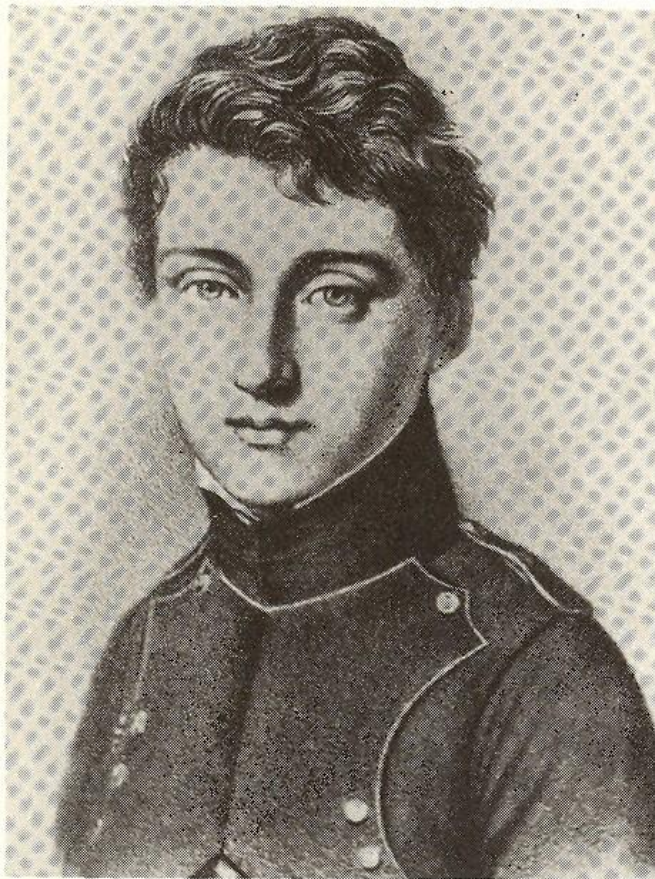
$$\eta = \frac{W_{\text{hasznos}}}{Q_{\text{felvett}}} = 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}}$$

Ma már tudjuk, hogy ez csak egyetlen ideális körfolyamatra (ma Carnot-körfolyamatnak nevezzük) igaz, más körfolyamatokra ez egy túl nem léphető elvi határ.



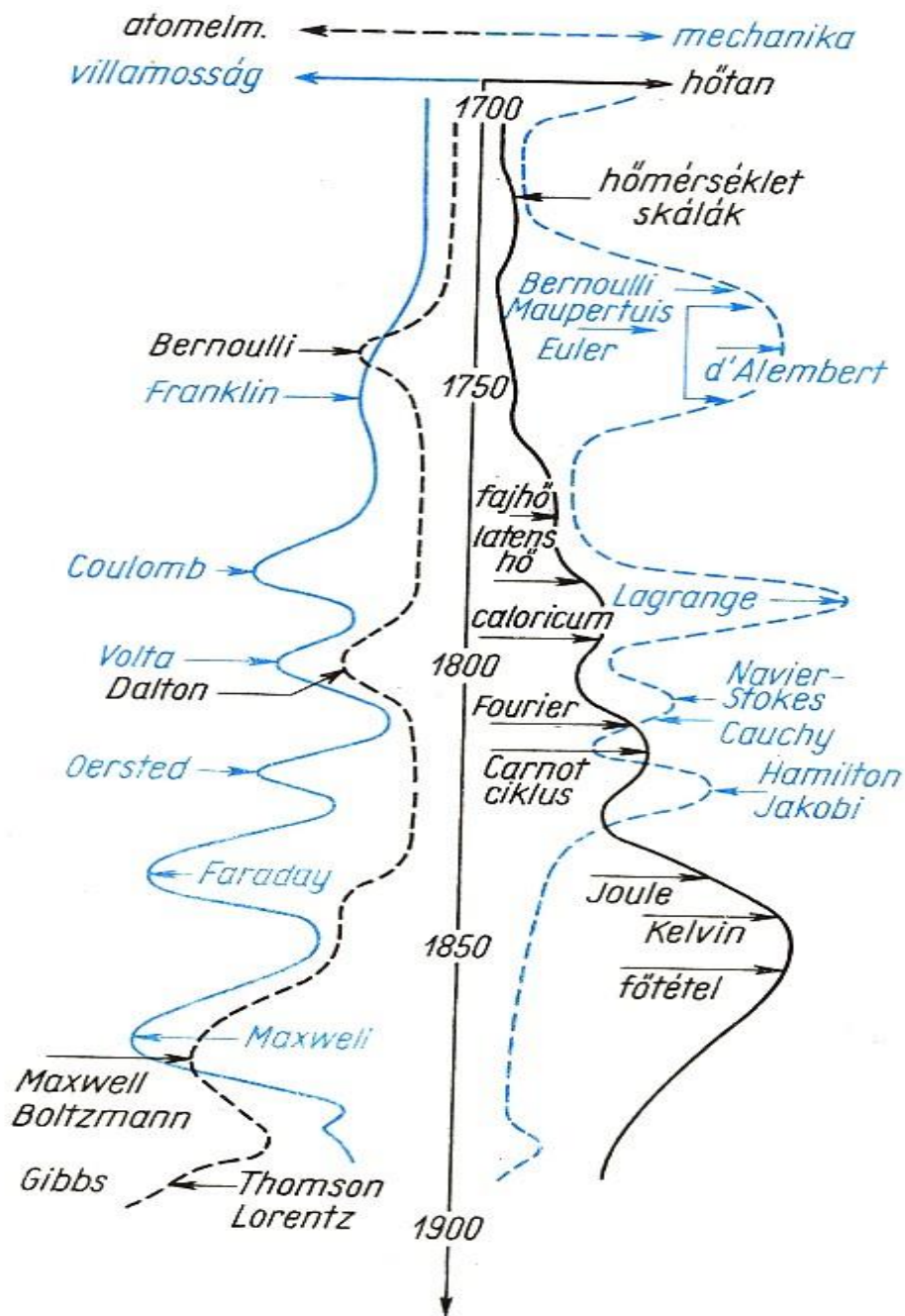
4.5–11 ábra

A munka létrejött egy vízerőgépben, egy hőerőgépben és egy egyenáramú villamos motorban. A hatásfokra ugyan helyes eredményt kapunk, de az analógia a hőerőgép esetén teljesen hamis: a hő — miközben a magasabb szintről alacsonyabb szintre áramlik — mennyiségében is megváltozik



4.5–10 ábra

SADI NICOLAS LEONARD CARNOT (1796–1832) mérnökkari tisztt. 1821-ben a Bourbonok elől menekülve írja meg legnevezetesebb munkáját: *Réflexion sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (1824-ben Párizsban jelent meg). Carnot ebben a munkában még a hő anyag mivolta (*caloricum*) mellett áll ki, de halála előtt írt feljegyzéseiben már felismerte a kinetikus elmélet lehetőségét, sőt az energia megmaradás elvének csírái is felfedezhetők gondolataiban.



A kinetikus elmélet újra előtérbe kerül a XVIII. század végén.

Rumford gróf (1753-1814): halmazállapot változás során az elnyelt hő nem növeli a test tömegét (kísérletileg bizonyítja  $10^{-6}$  pontossággal) → a kalorikum súlytalan.

Az ágyúcsövek fűrásánál fellépő hőviszonyok tanulmányozása → mivel ilyenkor a hő korlátlanul elvezethető a rendszerből, ezért a kalorikum nem lehet megmaradó mennyiség.

Állás a XVIII. század végén

|                   | hő-<br>áramlás | sugárzás | rejtett<br>hő | súrló-<br>dási hő | kvantitatív<br>tárgyalás<br>lehetősége |
|-------------------|----------------|----------|---------------|-------------------|----------------------------------------|
| hőszubsztancia    | igen           | igen     | igen          | nem               | igen                                   |
| kinetikus elmélet | igen           | nem      | nem           | igen              | nem                                    |



Melyik az a jelenség, amelyet nem tudott megmagyarázni a hőanyag elmélet?

- a) a hősugárzás
- b) a latens hő
- ☒ c) a súrlódási hő
- d) a hőáramlás

Az alábbiak közül ki volt a kinetikus hőelmélet feltétlen híve?

- a) Fourier
- b) Carnot
- ☒ c) Rumford gróf
- d) Celsius

Válasszuk ki a hamis állítást!

- a) A rugalmatlan ütközés során eltűnő mechanikai energia hővé alakul.
- b) A hő az anyagot alkotó részecskék mozgási energiája.
- ☒ c) A hő megmaradó mennyiség.
- d) Zárt rendszer energiája állandó.

Az energiamegmaradás elvének felismerése: az energia a fizika általánosan megmaradó mennyisége, amely fennáll minden természeti folyamatra, így a hőtani és mechanikai jelenségeket is magába foglaló folyamatokra is.

A kidolgozói:



JULIUS ROBERT MAYER (1814–1878) mint hajóorvos működött 1840-ben és Surabaya (Jáva) városában a vér színének megfigyelése adta az ötletet az energiamegmaradás törvényének kimondásához. Cikkét 1841-ben az *Annalen der Physik* visszautasította, 1842-ben az *Annalen der Chemie* közölte *Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur* címmel. 1845-ben már részletesen és mai fizikus számára is meggyőzően vizsgálja a gázok kiterjedésekor végzett munka és hő viszonyát. 1848-ban már felvetette azt a gondolatot, hogy a Nap melegét a becsapódó meteorok kinetikus és gravitációs energiája szolgáltatja. Az energia törvény lassan átmegy a fizikus köztudatba, de a felfedezés Joule és Helmholtz nevéhez kapcsolódik. Mayer igen sokáig hasztalanul küzd az elismerésért. Idegbeteg lesz, 1850-ben öngyilkosságot kísérel meg. Végül Tyndall 1862-ben egy a Royal Institutionban tartott előadásában kijelenti, hogy az energiamegmaradás tételének felfedezésénél az első hely Robert Mayert illeti meg.





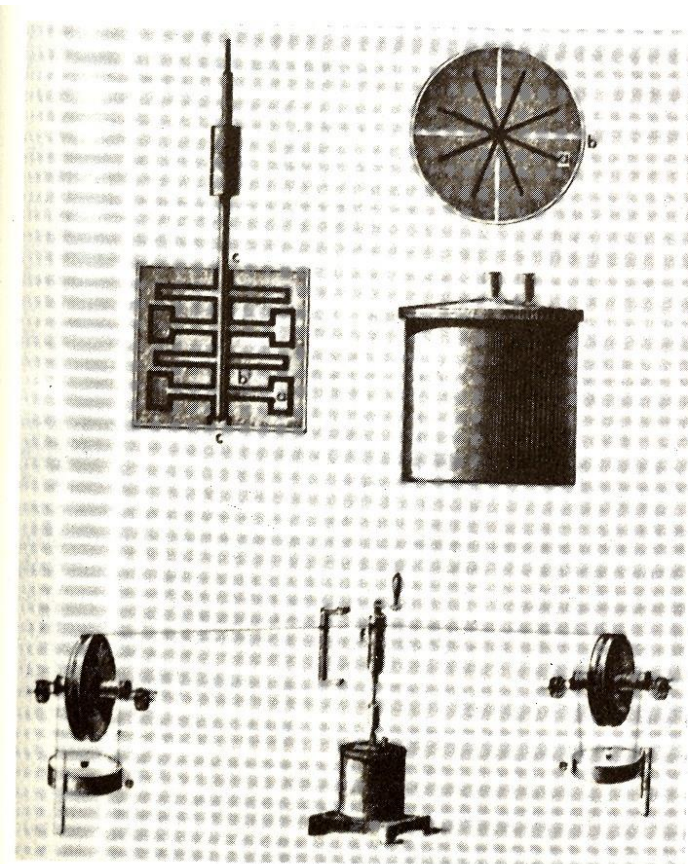
4.5 – 14 ábra

JAMES PRESCOTT JOULE (1818–1899) sörfőzdetulajdonos, talán az utolsó autodidakta, aki érdemben hozzájárult a tudomány fejlődéséhez. Erőssége fejlett mérés technikájában rej-

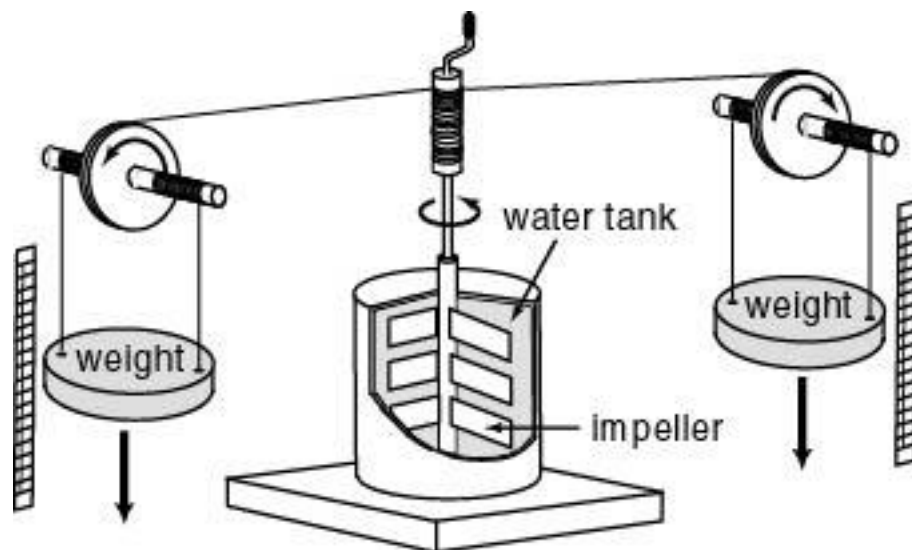
lik. Tudományos tevékenységének elismerése: Manchesterben az irodalmi és filozófiai társaság elnöke lett. 1840-ben megállapítja az áram hőhatásának törvényszerűségeit, 1843-ban méri a mechanikai munka hőekvivalensét. Az energiaátalakulásokra jellemző számértékeket különböző módszerekkel három évtizeden át vizsgálta. Ezek a vizsgálatok nagyban hozzájárultak az energia fogalom és az energia megmaradásának törvénye általános elfogadtatásához. Igen gyümölcsöző volt Thomsonnal (a későbbi Lord Kelvinnel) 1847-ben kezdődő barátsága (Joule – Thomson-hatás)

Joule-törvénye:

$$W = UI t, \quad P = UI$$



## A híres Joule-kísérlet



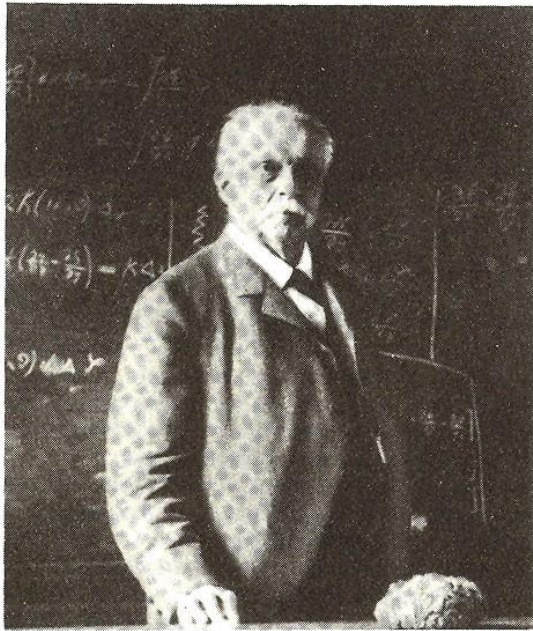
A hő mechanikai egyenértékének pontos megmérését lehetővé tévő eszköz.

$$1 \text{ cal} = 420 \text{ J}$$

A mechanikai munka teljes egészében hővé alakítható, de a hő csak részben mechanikai munkává.

Miért? (Ez a „miért” majd elvezet a 2. főtételehez)





4.5 – 15 ábra

HERMANN VON HELMHOLTZ (1821–1894) pályáját katonaeorvosként kezdte. Első tudományos vizsgálatait a fiziológia területére esnek: 1850-ben megállapítja az ideginger haladási sebességét. 1871-től a berlini egyetem professzora. Munkássága a fizika csaknem minden területére kiterjedt. 1847-ben az energiamegmaradás tételét ő fogalmazza meg mai fizikai fel fogásunkhoz legközelebbálló formában. 1859-ben a hidrodinamikában a róla elnevezett örvényelméletet alkotja meg. (Ehhez az örvényelmélethez csatlakozott Thomson vortex-atom elmélete). Bár az atomelméletnek nem volt híve, 1881-ben ő hangsúlyozta azt a tényt, hogy az anyag atomos szerkezetéből az elektromosság atomos szerkezete is következik. Helmholtz kimagasló szerepet játszott a XIX. század második felében a német felsőoktatás és tudományos élet szervezésében. A XX. század elejének német tudósgenerációja közül sokan őt tekintették szellemi atyjuknak.

A termodinamika első főtétele differenciális és integrális alakban (ahogy ma tanítjuk):

$$dE = \delta Q + \delta W, \quad \Delta E = Q + W$$

Egy termodinamikai rendszer belső energiája a környezettől felvett hőmennyiség és a környezet által végzett munka összegével változik.

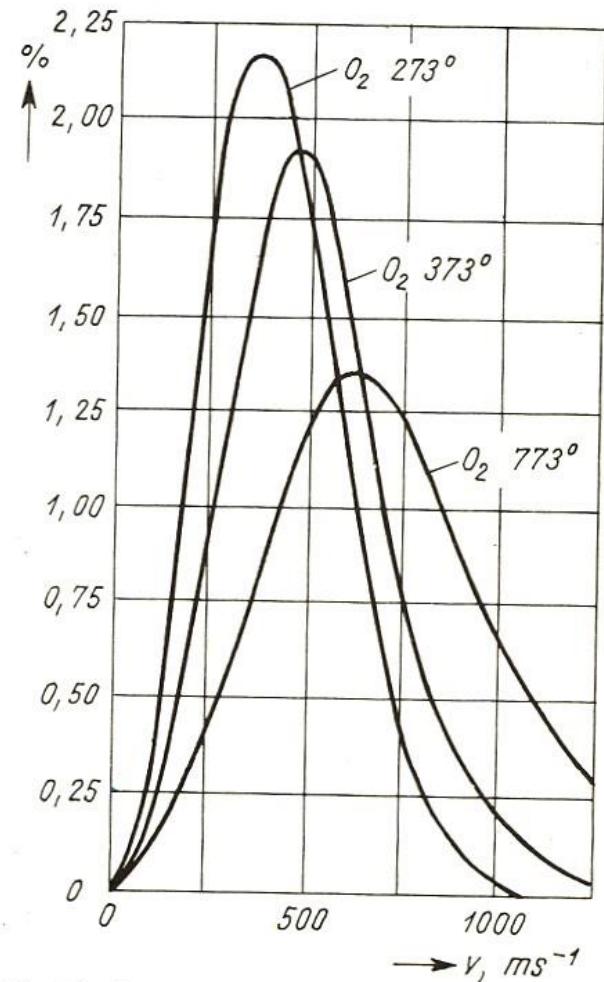
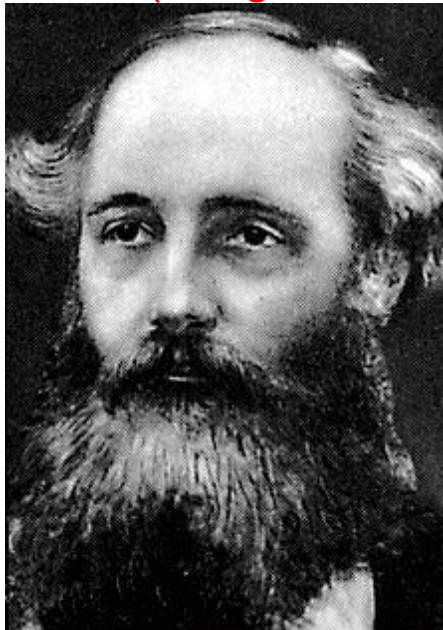
A rendszer és a környezet energiájának összege állandó.

Zárt rendszer energiája állandó.

## A kinetikus elmélet teljes győzelme (~ 1870)

Az energiamegmaradás elvének felismerése nyilvánvalóvá tette a hőanyag (kalorikum) elmélet tarthatatlanságát.

A kinetikus (gáz)elmélet végső kidolgozói:  
Clausius, **Maxwell** (a régi ismerős),  
Boltzmann



4.5–20 ábra

A Maxwell-féle sebességeloszlás-függvény

## A kinetikus gázelmélet

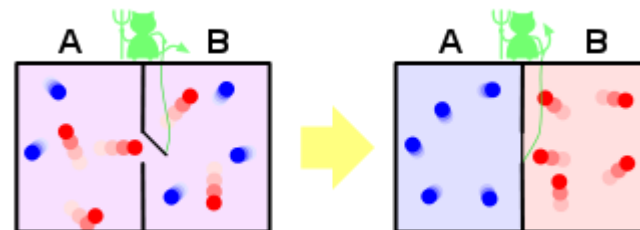
Klasszikus gázelmélet, amely szerint a gázok nagyszámú egyforma részecskékből állnak, melyek rugalmasan ütköznek, és a newtoni mechanika törvényei szerint viselkednek.

A mechanikai törvények alkalmazásával kapott eredmények átlagolásával meghatározhatók az adott gáz makroszkopikus termodinamikai tulajdonságai és a gázcsoócok mozgása közötti kapcsolat.

Ekvipartíció tétele: a gázcsoócoknak minden szabadsági fokára átlagosan azonos energia jut. Különböző anyagok molhője tehát azért különbözik, mert különbözik a részecskék szabadsági foka.

$$c_v = \frac{f}{2} R \quad \kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{f + 2}{f}$$

A Maxwell-démon



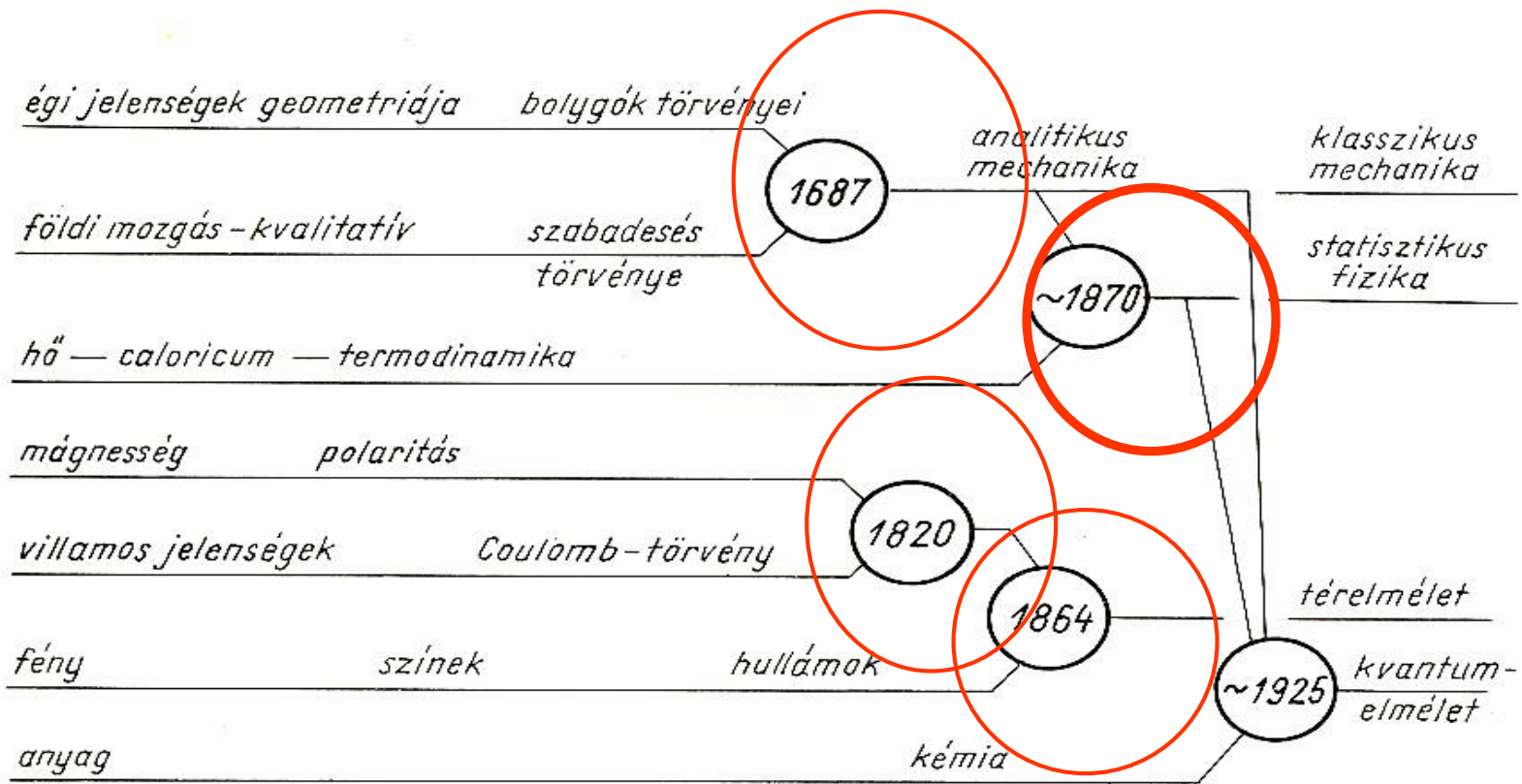
Mit mond ki a hőtan I. főtétele?

- a) a hőmérséklet különbségek mindig kiegyenlítődni igyekszenek
- ☒ b) a belső energia a környezettől felvett hőmennyiség és a környezet által végzett munka összegével változik
- c) a hőenergia nem alakítható át teljes egészében mechanikai munkává
- d) a gáZRészecskék minden szabadsági fokára átlagosan azonos energia jut

Kik voltak az energiamegmaradás törvényének legfontosabb kidolgozói?

- a) Watt és Carnot
- b) Maxwell és Boltzmann
- ☒ c) Mayer és Joule
- d) Laplace és Gauss





## 0.2—8 ábra

A fizikatörténet csomópontjai: a különböző jelenségcsoportok közötti kapcsolat felismerésének időpontjai (Hund: Geschichte der physikalischen Begriffe nyomán)

**A két utolsó egyesítés Maxwell műve!!!**

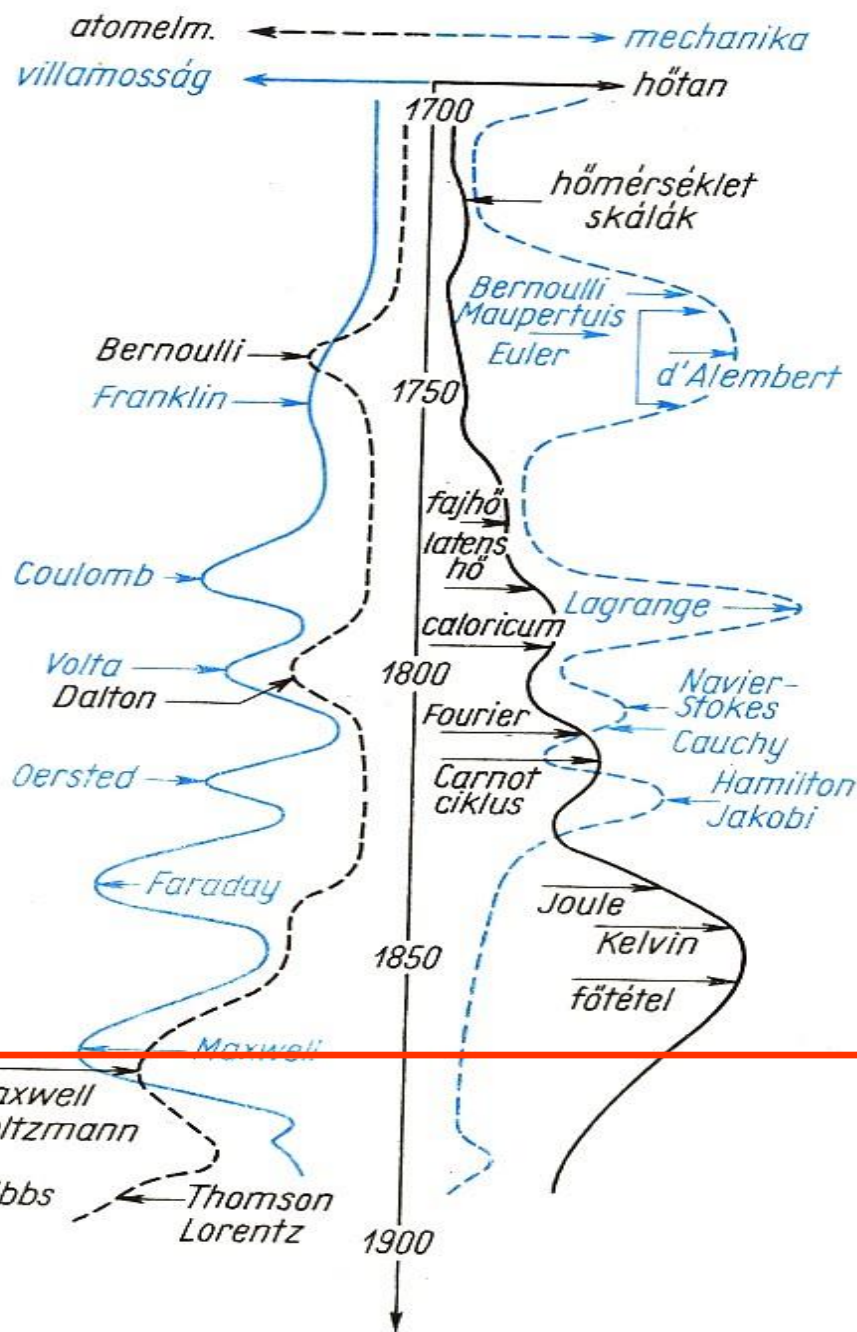
# A fizika helyzete 1870 körül

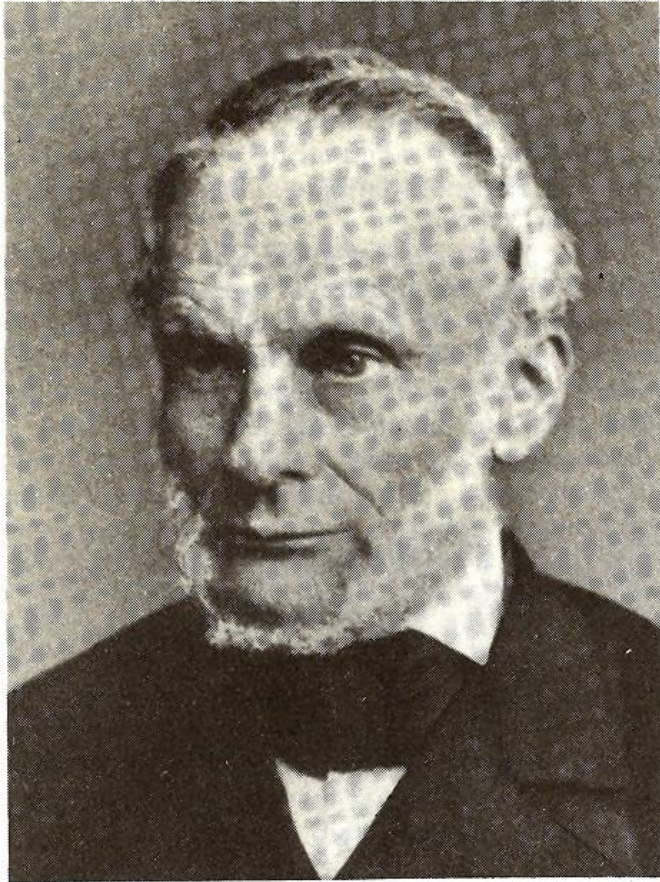
## ***1. Győzött a fény elektromágneses hullám elmélete.***

Döntő lépések: az elektrodinamika Maxwell-egyenleteinek felírása,  
és az abból elméletileg származtatható elektromágneses hullám.  
Az elektromágneses hullámok kísérleti kimutatása,  
a rádióhullámok fényhez hasonlatos viselkedése.

## ***2. Győzött a hőtan kinetikus elmélete a hőanyag (kalorikum) elmélet fölött.***

Döntő lépések: az energiamegmaradás törvényének felismerése,  
a hő mechanikai egyenértékének megmérése,  
a kinetikus gázelmélet sikerei.





4.5 – 17 ábra

RUDOLF CLAUSIUS (1822–1888) a berlini egyetemen tanult, majd különböző német egyetemeken, valamint a Zürichi Műszaki Egyetemen tanított. 1865-ben fogalmazta meg a termodinamika második főtételét az entrópia-fogalom bevezetésével. Jelentősek a kinetikus gázelmélet terén végzett, 1857-ben megkezdett vizsgálata is

Elsőfajú perpetuum mobile nem létezik (nincs olyan gép, amely megsértené az energia megmaradásának tételét).

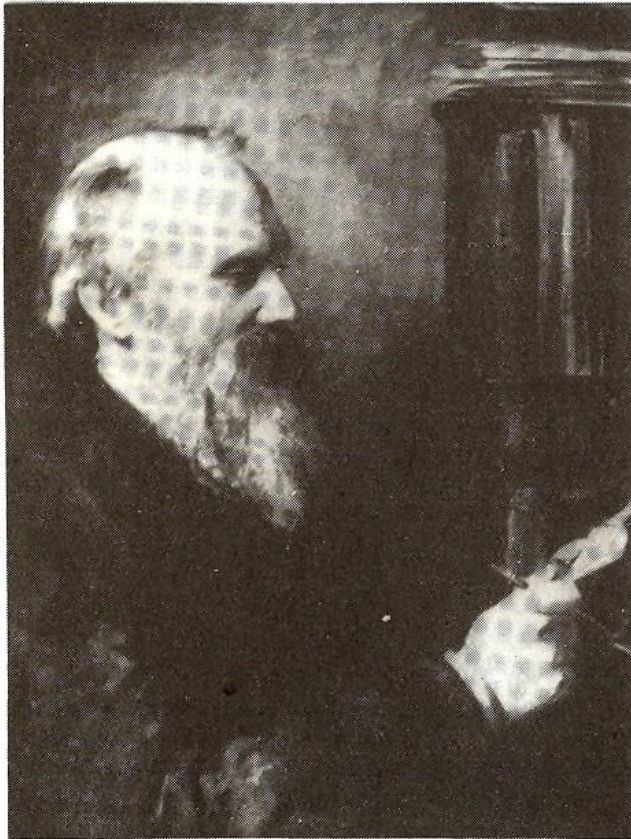
***DE: az energetikailag lehetséges folyamatok közül nem valósul meg mindegyik. A folyamatok többsége például visszafelé nem megy magától.***

***A II. főtétel ebben a kérdésben ad útmutatást.***

A hőtan II. főtételének Clausius-féle megfogalmazása:

Hő önként csak melegebb helyről hidegebbe megy át, azaz a természetben a hőmérséklet különbségek kiegyenlítődni igyekszenek.



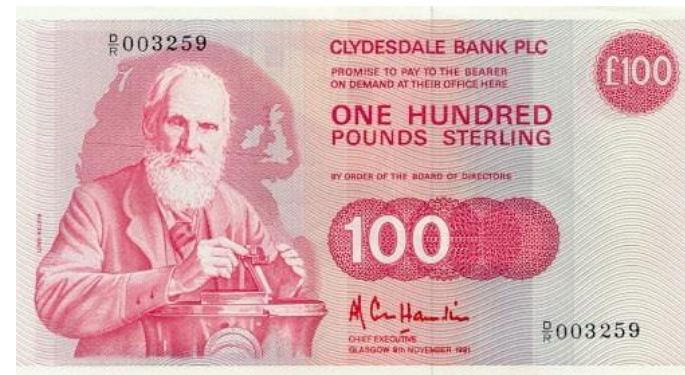


4.5 – 18 ábra

WILLIAM THOMSON (LORD KELVIN 1824–1907) 1846-tól nyugalomba vonulásáig a glasgow-i egyetem tanára volt. Nevét elsősorban hőtani vizsgálatai őrizték meg. (Joule – Thomson-hatás, abszolút hőmérsékleti skála bevezetése 1848-ban); de az elektromos rezgőkör frekvenciáját megadó  $\omega = 1/\sqrt{LC}$  formula, valamint a Thomson-kábel is róla van elnevezve (1853). Termodinamikai vizsgálatait 1851-ben megjelent *On the dynamical theory of heat* című művében foglalta össze

A hőtan II. főtételének Thomson-féle megfogalmazása:

Nincs a természetben olyan folyamat, melynek összes hatása csupán az volna, hogy egy hőtartály hőt veszítsen és helyette vele egyenértékű munka keletkezzék (nincs olyan periodikusan működő gép, amely egyetlen hőtartály lehűlése árán munkát végezne).



A második főtétel csak az entrópia segítségével írható fel matematikai alakban (az entrópia a hőtan egyik legfontosabb extenzív mennyisége, bár a diákok nem szokták szeretni).

### **Az entrópia fogalma:**

Reverzibilis körfolyamatokban az elemi redukált hők összege nulla.

$$\sum \frac{\delta Q}{T} = 0$$

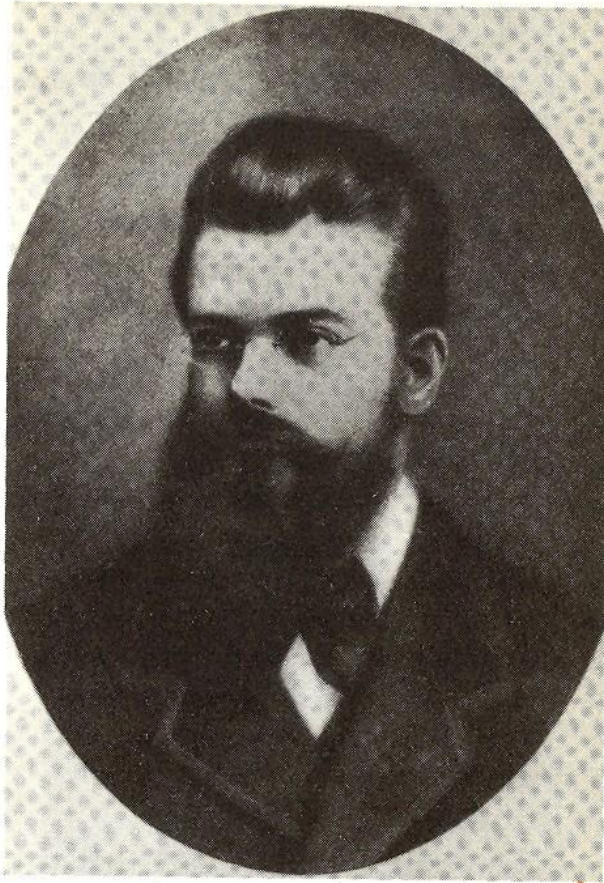
Ezekben a folyamatokban tehát az elemi redukált hővel egyenlő entrópia változás nulla, azaz az entrópia megmaradó mennyiség.

$$dS = \frac{\delta Q}{T}$$

Az entrópia jelentése a fenomenológikus elméletben bonyolultnak tűnik, statisztikus jelentése viszont jól megérthető:

$$S = k \cdot \ln w$$

ahol  $w$  az adott makroállapotot megvalósító mikroeloszlások száma



4.5 – 19 ábra

LUDWIG BOLTZMANN (1844 – 1906) Bécsben tanult, *J. Stefan* asszisztense volt. Először Grazban, majd Bécsben, illetőleg Münchenben és Lipcsében tanított elméleti fizikát. Kiváló kísérletező is volt: ő igazolta a Maxwell-féle elektromágneses fényelmélet által megkövetelt  $n^2 = \epsilon_r \mu_r$  kapcsolatot két esetére. Fő eredményei: az entrópia és a termodinamikai valószínűség kapcsolata, a Maxwell – Boltzmann-eloszlásfüggvény és a feketesugárzásra vonatkozó Stefan – Boltzmann-törvény elméleti megalapozása.

A hőtan II. főtételének egzakt megfogalmazása:

$$dS \geq 0$$

Termikusan zárt rendszerben csak olyan folyamatok játszódhatnak le, amelyekben a rendszer entrópiája vagy növekszik, vagy állandó marad.

A második főtétel statisztikus jelentése: egy rendszer azért közeledik a termodinamikai egyensúlyi állapot (tökéletesen egyenletes energiaeeloszlás) felé, mert az egyensúly egy anyagi rendszer mindenképpen legvalószínűbb állapota.



$$S = k \cdot \log W$$



LUDWIG  
BOLTZMANN

1844 - 1906

DR. PHIL. PAULA  
BOLTZMANN

GEB. CHIARI

1891 - 1977

ARTHUR  
BOLTZMANN  
DIPL. ING. DR. PHIL. HOFRAT

1881 - 1952

LUDWIG  
BOLTZMANN

1923 - 1943

HENRIETTE  
BOLTZMANN

GEB. EDLE VON AIGENTLER

SEINE MÄNNLICHE NACHKOMME

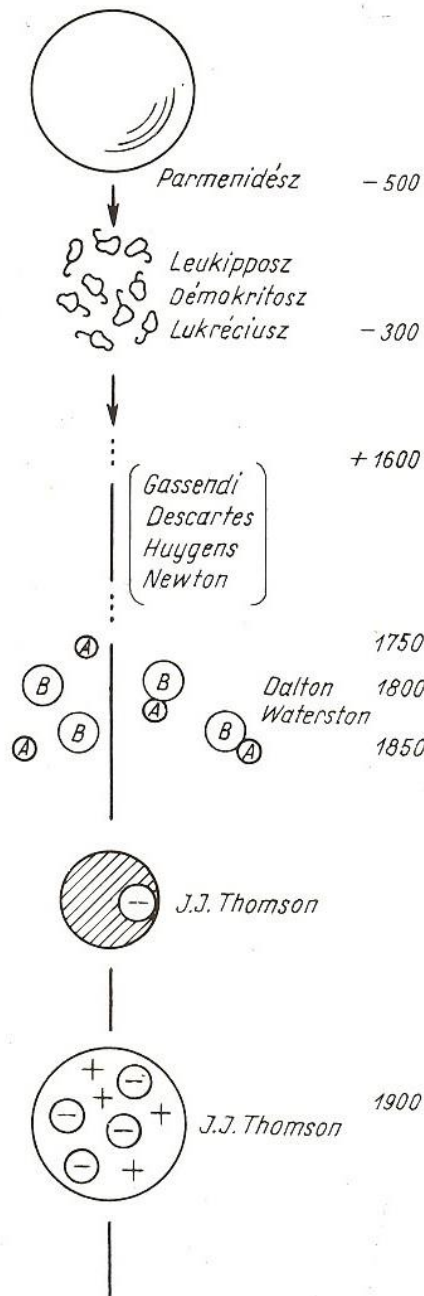


Melyik állítás nem a hőtan II. főtételeét fejezi ki?

- a) a hőmérséklet különbségek mindig kiegyenlítődni igyekszenek
- ☒ b) a belső energia a környezettől felvett hőmennyiség és a környezet által végzett munka összegével változik
- c) a hőenergia nem alakítható át teljes egészében mechanikai munkává
- d) zárt rendszer entrópiája csak növekedhet

Melyik fizikus neve nem kapcsolható a hőtan II. főtételeéhez?

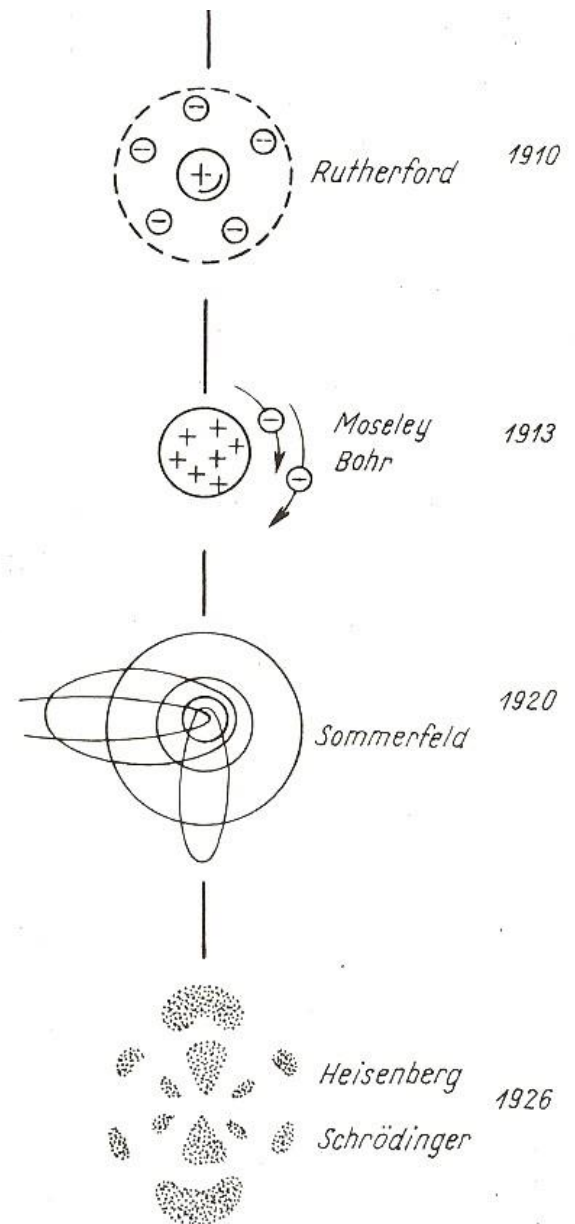
- a) Clausius
- ☒ b) Watt
- c) Kelvin
- d) Boltzmann



## Az atomelmélet fejlődése

1, az anyag atomos szerkezetének bizonyítása (hogyan van az anyagnak tovább már nem bontható elemi egysége)

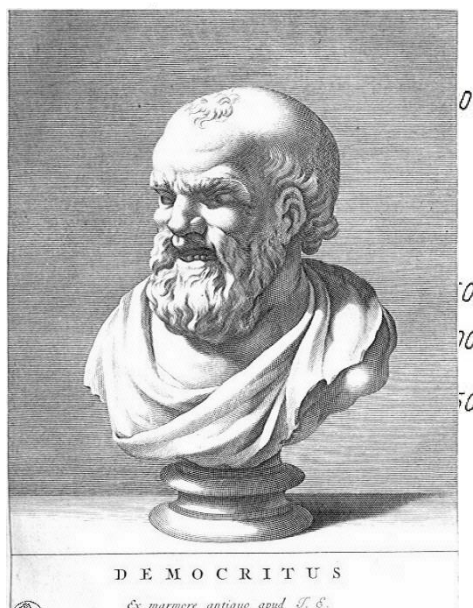
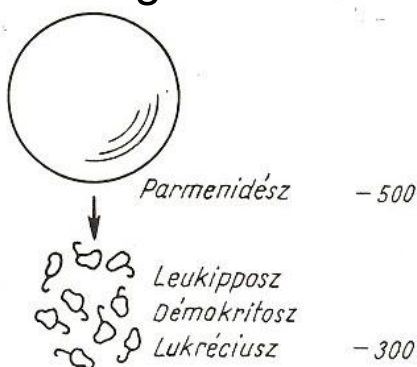
2, az atomok szerkezetének kutatása (a legkisebb egység bontható ugyan, de minőségileg teljesen más részekre)



## 1, Az anyag atomos szerkezetének bizonyítása:

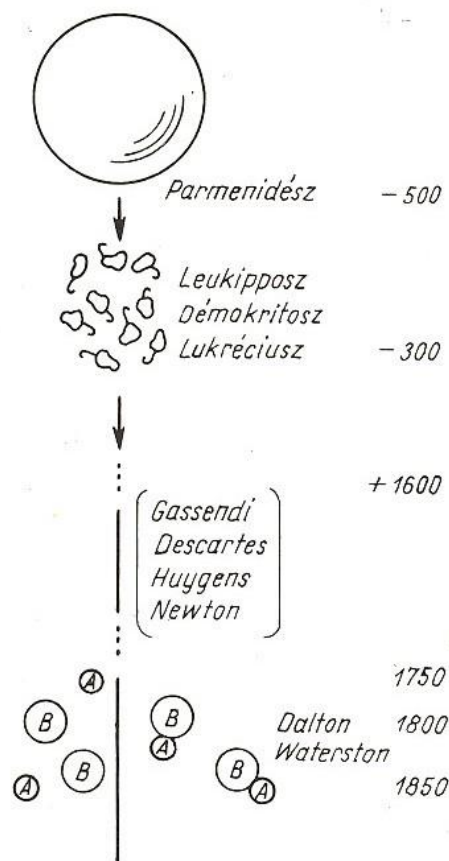
2000 éven át csak spekulatív, legfeljebb filozófiai „bizonyításokat” tartalmazó kvalitatív elméletek voltak.

Ugyanúgy nem volt kísérleti alapjuk, mint az atomelméletet tagadó, az anyag folytonosságát hirdető elméleteknek.



**Démokritosz** (Abdéra, kb. i. e. 460 – 370) azt állította, hogy a létező végtelen sokaságú parányi, és épp ezért az **érzékszervek által fel nem fogható részecskékből, atomokból épül fel**. Továbbá elutasította Zénónnak azt az állítását, amellyel a sokaság tagjairól kimutatja, hogy végtelenül oszthatóak, és ezért abszurd konzekvenciáknak vannak kitéve. ....kijelentette, hogy az ő részecskéi végtelen sokaságának egyik darabja sem osztható, hanem mindegyikük valóban egy **(a-tom = oszthatatlan)**.

## 1, Az anyag atomos szerkezetének bizonyítása:



Az első kvantitatív eredmények a XIX. században születtek:

- állandó súlyviszonyok törvénye, többszörös súlyviszonyok törvénye (Proust, Dalton)

**A kémiai folyamatokban az atom a megmaradó mennyiség.**

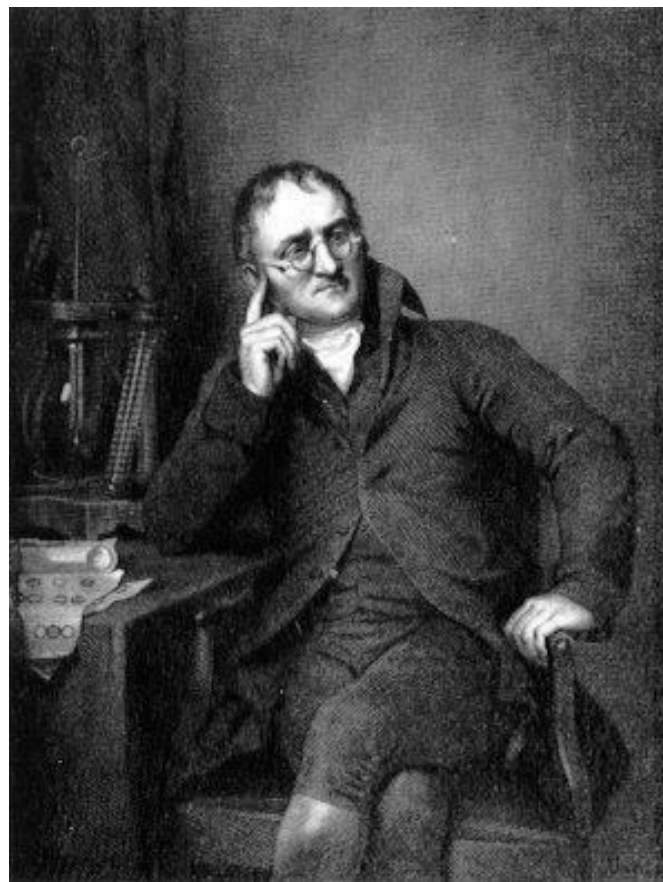
- reagáló gázok térfogat arányai: Gay-Lussac
- Avogadro-törvénye: azonos nyomás, térfogat, hőmérséklet mellett a gázok azonos számú részecskét tartalmaznak
- a kinetikus gázelmélet, mint az atomelmélet döntő bizonyítéka



**John Dalton** (Eaglesfield, 1766. szeptember 6. - Manchester, 1844. július 27.) angol fizikus és kémikus volt, az atomelmélet védelmezője.

Hatéves korában derült ki róla hogy dikromata (színtévesztő). Tudományos érdeklődése igen sokrétű volt. Jelentős kutatásokat végzett a színvakság és színtévesztés területén. A vörös és zöld színek összetévesztését ma is daltonizmus néven ismeri az orvosi szaknyelv.

Démokritosz után 2200 évvel ismét felismerte az atom jelentőségét. Róla nevezték el az atomi tömegegységet daltonnak és a tökéletes gázok elegyeiben a parciális nyomásra vonatkozó Dalton-törvényt.



# Joseph Louis Gay-Lussac

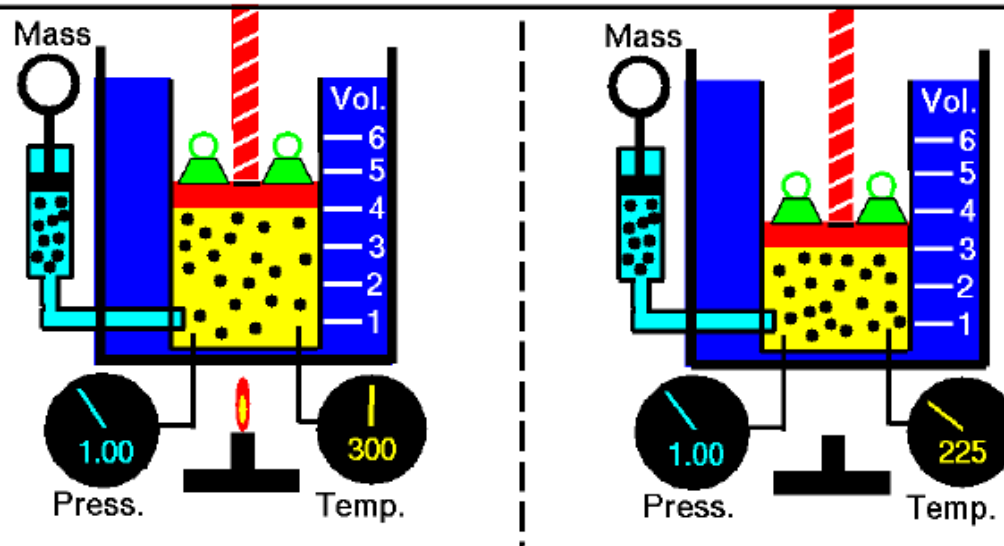
(1778. december 6. – 1850. május 9.)

francia fizikus, kémikus. Az 1802-ben általa felismert, a gázok állapotváltozásaira vonatkozó Gay-Lussac-törvények az ő nevét őrzik.



## Charles and Gay-Lussac's Law

Glenn  
Research  
Center



For a given mass, at constant pressure, the volume is directly proportional to the temperature

$$V = C T$$

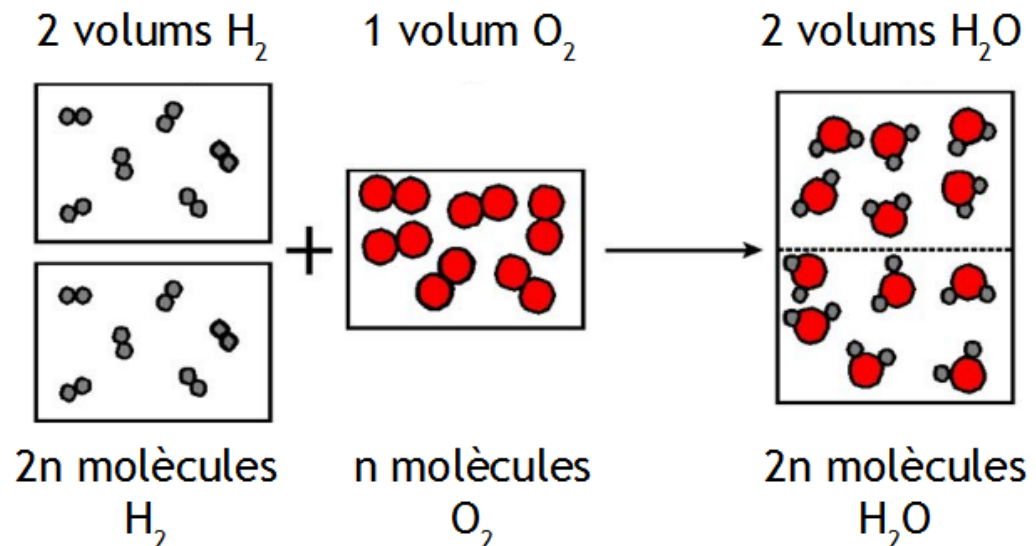
# Avogadro, Amadeo

olasz fizikus

1776. augusztus 9. Torino – 1856. július 9. Torino

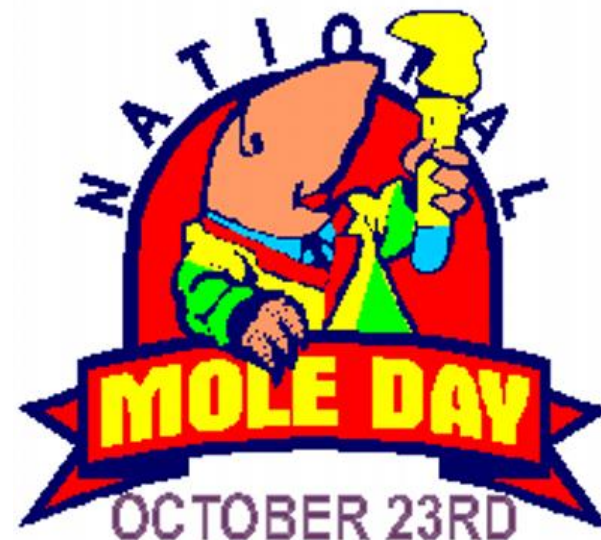


- 1811: Főleg Gay-Lussac eredményei és Dalton atomhipotézise
- alapján megfogalmazza nevezetes feltételezéseit:
  1. A gázok kétatomos molekulákból állnak
  2. Azonos térfogatú gázok azonos körülmények közt azonos számú molekulákat tartalmaznak
- 1820-1850: A rövidebb politikai természetű kényszerszüneteket leszámítva torinói egyetemen tanít



- Az Avogadro-számot nem sikerült Avogadro életében még megbecsülni sem.
- Loschmidt 1865-ben a kinetikus gázelmélet segítségével nagyságrendileg helyesen kiszámolta az ideális gáz molekuláinak átmérőjét, amire 1 nm-t kapott.
- Ebből az Avogadro-számot 1873-ban Boltzmann számolta ki, és ő nevezte ez Loschmidt-számnak. Sok országban máig így nevezik.
- Jean Perrin francia fizikus javasolta elsőként az Avogadro-konstans elnevezést 1909-ben, aki a 20. század elején több különböző módszerrel megmérte az Avogadro-állandót, amiért 1926-ban fizikai Nobel-díjat kapott.

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$$





Az atom szerkezetének feltárásában a **katódsugárcső** jelentette az áttörést.

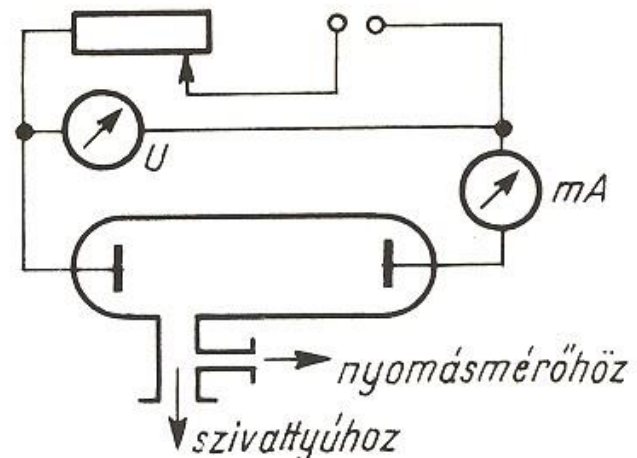
A katódsugarak természete egy fél évszázadon keresztül a fizika egyik legnagyobb rejtélye volt:

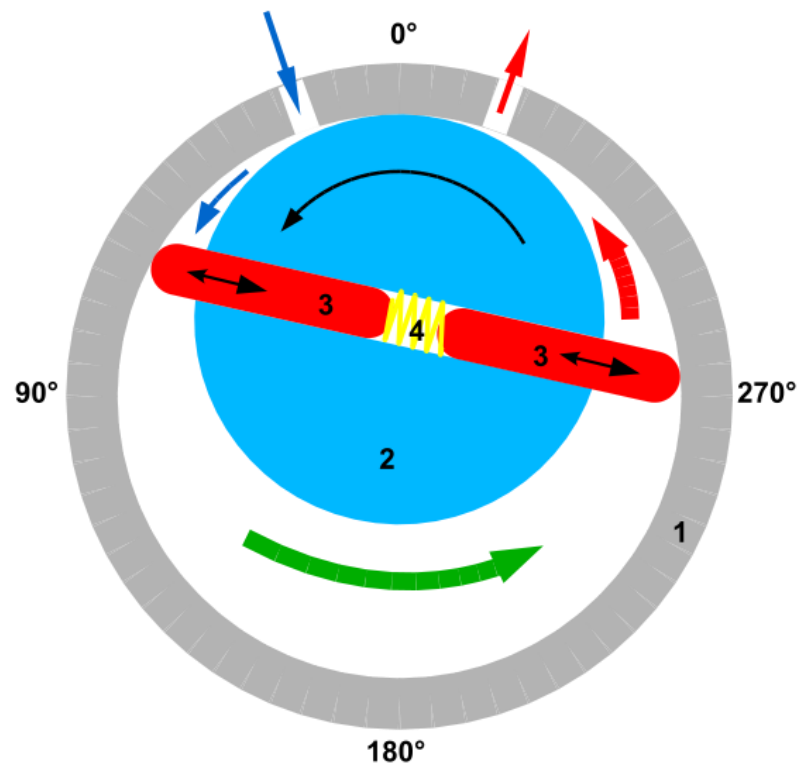
- Hullám vagy részecske?
- Van negatív töltése vagy nincs?
- Nem atomokból áll, de nem is elektromágneses sugárzás
- Minősége nem függ a katód anyagától

**1897, J.J. Thomson:**

**a katódsugarak elektronok**

→ **minden atomban van elektron.**



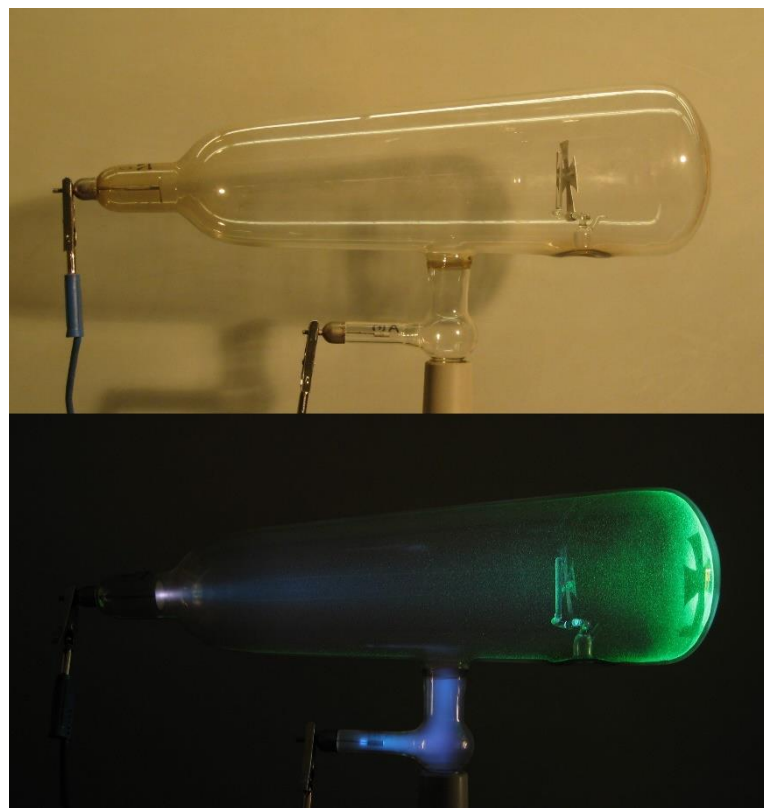


Forgólapátos szivattyú  
(Charles C. Barnes, 1874.)  
1. szivattyúház 2. forgórész  
3. lapátok 4. rúgó

Higanyos vákuumszivattyú (Geissler, 1864)



**Különböző kisülési csövek  
(katódsugárcsövek) a XIX.  
sz. utolsó évtizedeiből  
(Hittorf, Crookes, Geissler)**

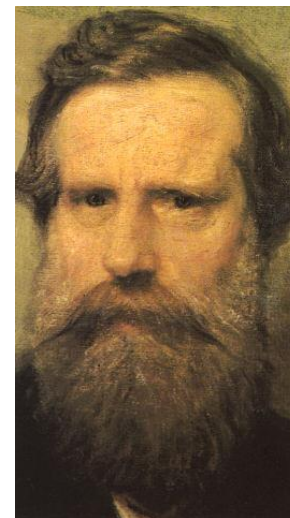


## A kisülési csövek (katódsugárcsövek) nagyjai



**Wilhelm Conrad Röntgen** (Lennep, 1845 –  
München, 1923)

**Nobel-díj: 1901**

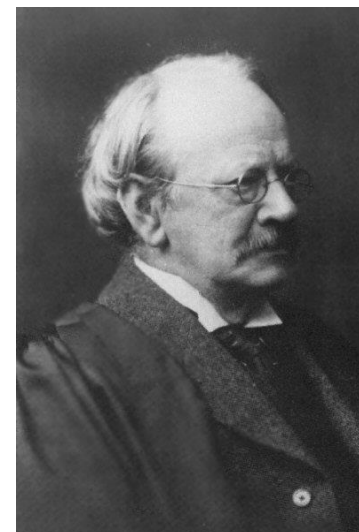


**Sir William Crookes** (1832 – 1919)



**Lénárd Fülöp** (németül Philipp Eduard  
Anton (von) Lenard) (Pozsony, 1862 –  
Messelhausen, 1947)

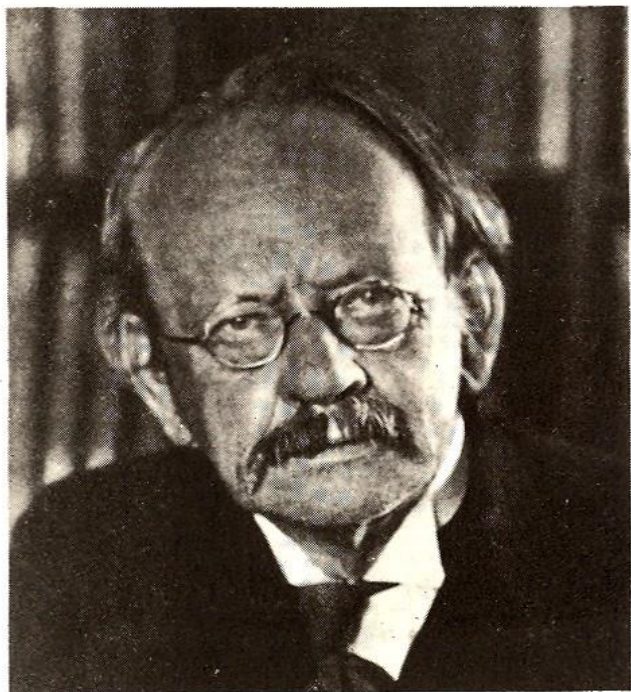
**Nobel-díj: 1905**



**Joseph John („J. J.”) Thomson**  
(Manchester, 1856 - Cambridge, 1940)

**Nobel-díj: 1906**





4.6 – 8 ábra

**JOSEPH JOHN THOMSON** (1856 – 1940) mérnöknek készült, majd matematikát és fizikát tanult. 1884-től 1919-ig Cavendish-professzor (Elődei ebben a hivatalban: *J. C. Maxwell*, *Lord Rayleigh*, utódai: pedig *E. Rutherford* és *W. L. Bragg*). 1906-ban Nobel-díjat kapott. Első nevezetes hozzájárulása a fizikához: 1881-ben mozgó töltések elektrodinamikáját tanulmányozza. Rámutatott arra, hogy az ilyen töltött részecske jobban ellenszegül a gyorsításnak, és így úgy viselkedik, mintha tömege megnövekedett volna: az első jel a relativisztikus tömegnövekedésre. 1897-ben felfedezi az elektront, 1907-ben pedig a róla elnevezett parabolamódszert, amellyel az izotópok létét mutatta először meg. Fia, *Paget Thomson* (1892 – ) 1937-ben kapott Nobel-díjat az elektronok hullámtermészetének kimutatásáért.



4.6 – 10 ábra

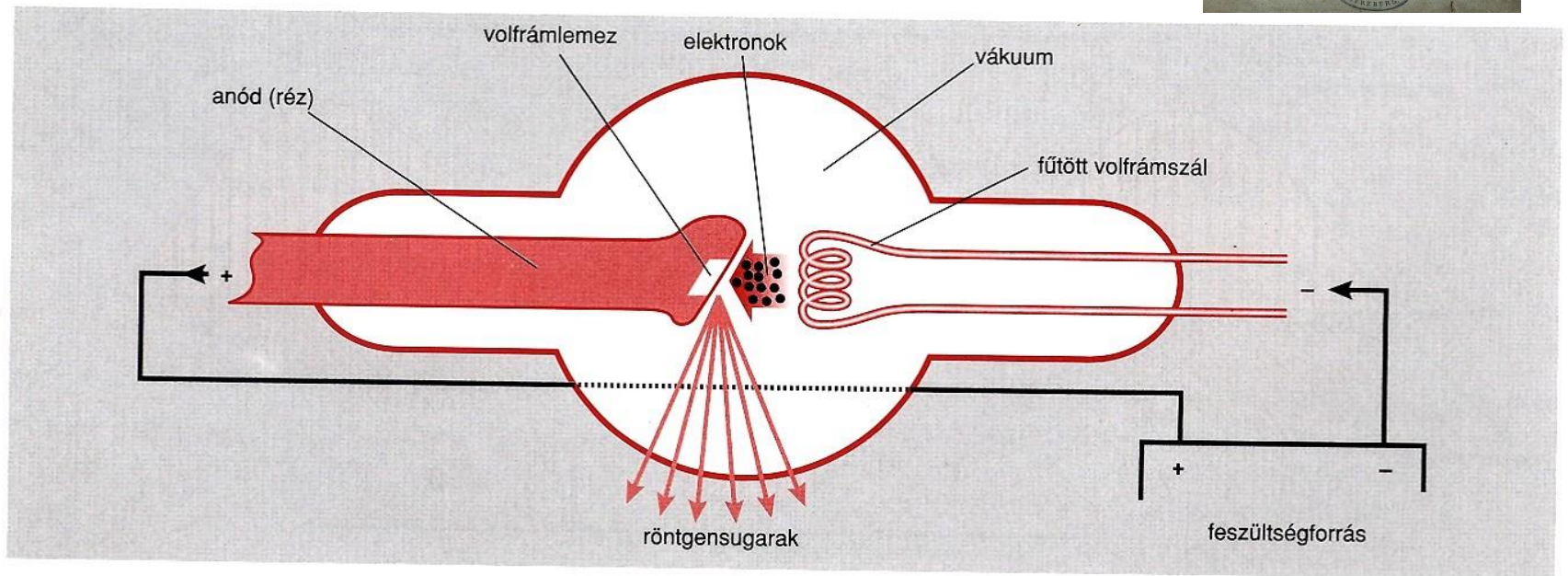
**WILHELM CONRAD RÖNTGEN** (1845 – 1923) gépészmérnöki diplomát szerez a Zürichi Műszaki Egyetemen 1868-ban, de hamarosan fizikával kezd foglalkozni. Különböző német egyetemek (Giessen, Würzburg) után 1900-tól, nyugdíjba vonulásáig (1920) a Münchener egyetem professzora.

Röntgen elsősorban a róla elnevezett sugarak felfedezéséről híres (1895); nevezetes kísérlete még a feltöltött kondenzátorlemezek között mozgatott dielektrikum mágneses hatásának vizsgálata (Röntgen-áramok, 1888)

Az X-sugárzás felfedezése: 1895, Conrad Röntgen

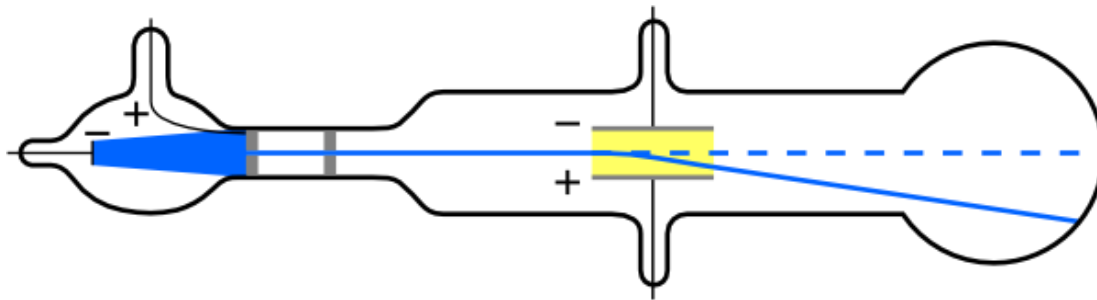
A felfedezés története:

A világ első röntgenfelvétele a feleség kezéről



2.26. ábra. A röntgenső elvi vázlata

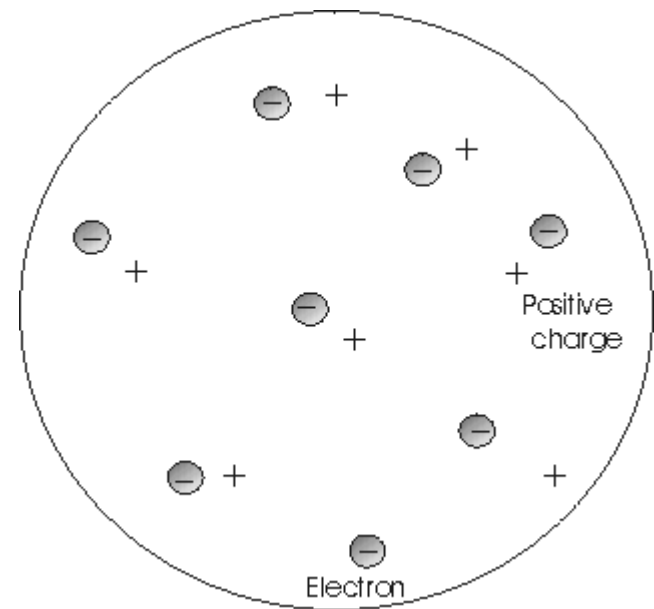




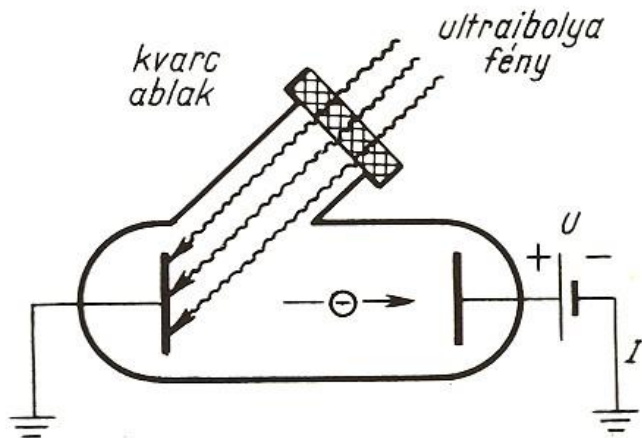
**1897, J.J. Thomson:**

***a katódsugarak elektronok***

**→ *minden atomban van elektron.***



## A fényelektromos jelenség



5.3—6 ábra

### A fényelektromos jelenség

A katódból a fény hatására kilépő elektronok száma az anódkörben folyó áramból állapítható meg. Energiájuk viszont úgy mérhető, hogy az anódnak egyre növekvő negatív feszültséget adunk, és amely feszültségnél az áram megszűnik, az a feszültség lesz jellemző a kilépő elektronok energiájára.

PHILIPP LENARD (1862—1947) Heidelbergben tanult, majd Heinrich Hertz asszisztenseként katódsugár-vizsgálatokkal foglalkozott 1886-tól. 1894-ben Breslauban, 1907-től Heidelbergben tanít fizikát.

Nevezetesebb eredményei a fényelektromos jelenségen kívül: Lenard-ablak, amelyen keresztül a katódsugár kihozható a levegőre; katódsugarak abszorpciója; annak megsejtése, hogy az atom „erőközpontja” — ma úgy mondanánk magja — nagyon kis helyre van koncentrálni.

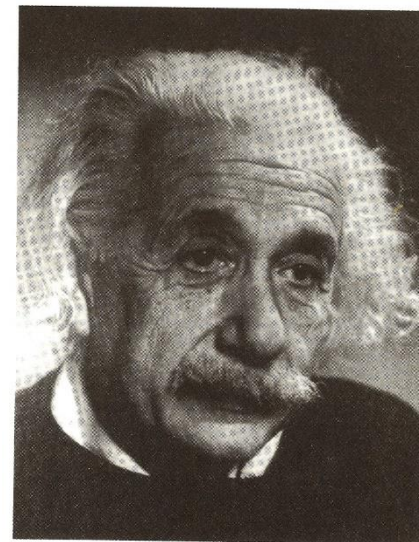
A kilépő elektronok száma a fény intenzitásától függ ugyan, de az energiájuk a fény színétől.

### Magyarázat: Einstein, 1905

*...a fény is kvantált, elemi részecskéje a foton, amelynek energiája ( $h \cdot f$ ) és lendülete ( $h/\lambda$ ) is van.*

Fényelektromos egyenlete:

$$h \cdot f = W_{\text{ki}} + \frac{1}{2} m_e \cdot v_{\text{max}}^2 \quad h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$



Einstein sajnos nem fér bele a levelezős anyagba!

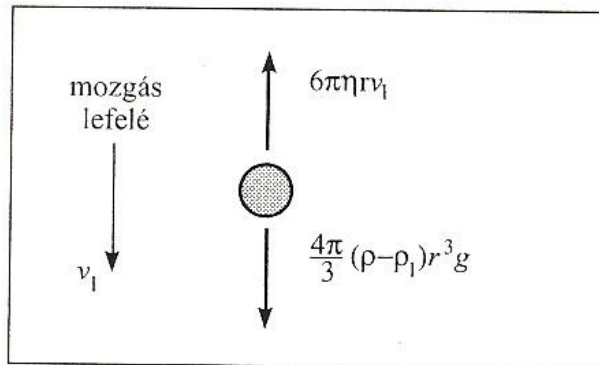
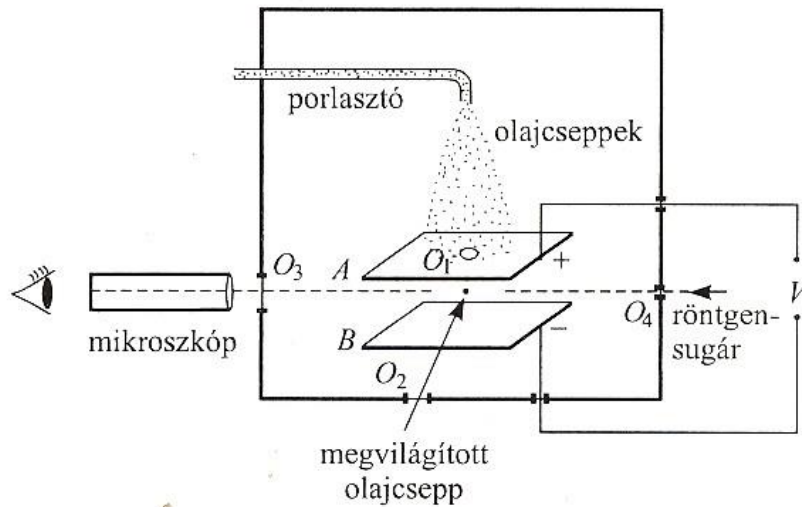


# Millikan (1868-1953)

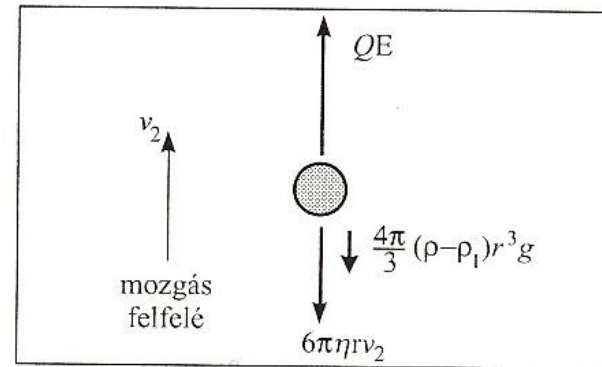
kísérlete (1910-16)

Az olajcsepp töltése (és annak változása is) mindig egy elemi töltés ( $e$ ) egész számú többszöröse, ez egyben az elektron töltése is.

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$



a.



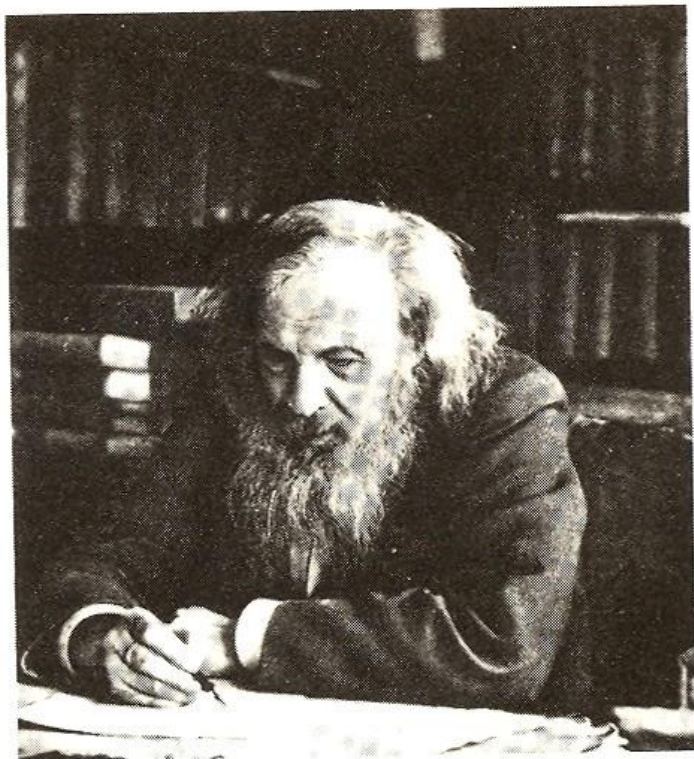
b.

A Millikan kísérletben

- a) alfa sugarak eltérülését
- ☒ b) töltött olajcseppek mozgását
- c) katódsugarak elnyelődését
- d) gázok nyomásának hőmérsékletfüggését vizsgálták.

Millikan kísérletének végkövetkeztetése az hogy,

- a) az elektronnak negatív töltése van
- ☒ b) létezik az elemi töltés
- c) az atomban elektronok vannak
- d) az atom közepén atommag van



4.6–11 ábra

DMITRIJ IVANOVICS MENGYELEJEV (1834–1907) Pétervárott tanul kémiát; ugyanitt 1857-ben magántanár. 1859-től 61-ig Heidelbergben dolgozik, 1864-től a kémia professzora Péterváron. A nevét világhírűvé tevő periódusos rendszer felfedezésén (1869) kívül a fizikai kémia terén végzett vizsgálatai közül kiemelkedik a kritikus hőmérséklet létezésének megállapítása is

## A periódusos rendszer:

az atomok tömege közelítőleg a hidrogénatom tömegének egészszámú többszöröse (kivételekkel).

Növekvő tömegszám szerint rendezve az elemeket, a kémiai tulajdonságok periodikusan változnak.

Különösen érdekes a

halogén – nemesgáz – alkálifém –

alkáliföldfém

sor négyszeri ismétlődése.

# PERIÓDUSOS RENDSZER

S - mező

I.A.

|   |                                                                                    |       |
|---|------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1 | 1<br>1,00797<br>-252,7<br>-259,2<br>0,071<br>1s <sup>1</sup><br>H<br>1<br>Hidrogén | I.A.  |
| 2 | 3<br>6,939<br>1330<br>180,5<br>0,53<br>[He]2s <sup>1</sup><br>Li<br>1<br>Lítium    | II.A. |
|   | 4<br>9,0122<br>2270<br>1277<br>1,85<br>[He]2s <sup>2</sup><br>Be<br>2<br>Berillium |       |
| 3 | 11<br>22,9898<br>892<br>97,8<br>0,97<br>[Ne]3s <sup>1</sup><br>Na<br>1<br>Nátrium  |       |
|   | 12<br>24,305<br>1107<br>650<br>1,74<br>[Ne]3s <sup>2</sup><br>Mg<br>2<br>Magnezium |       |

|                              |                                      |       |                           |
|------------------------------|--------------------------------------|-------|---------------------------|
| Rendszám                     | 30                                   | 65,37 | Moláris atomtömeg (g/mol) |
| Forráspont (°C)              | 906                                  | 2,1   | Oxidációs szám            |
| Olvadáspont (°C)             | 419,5                                |       |                           |
| Sűrűség (g/cm <sup>3</sup> ) | 7,14                                 |       | Vegyjel                   |
| Elektronszerkezet            | [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> |       |                           |
| Az elem neve                 | Cink                                 |       |                           |

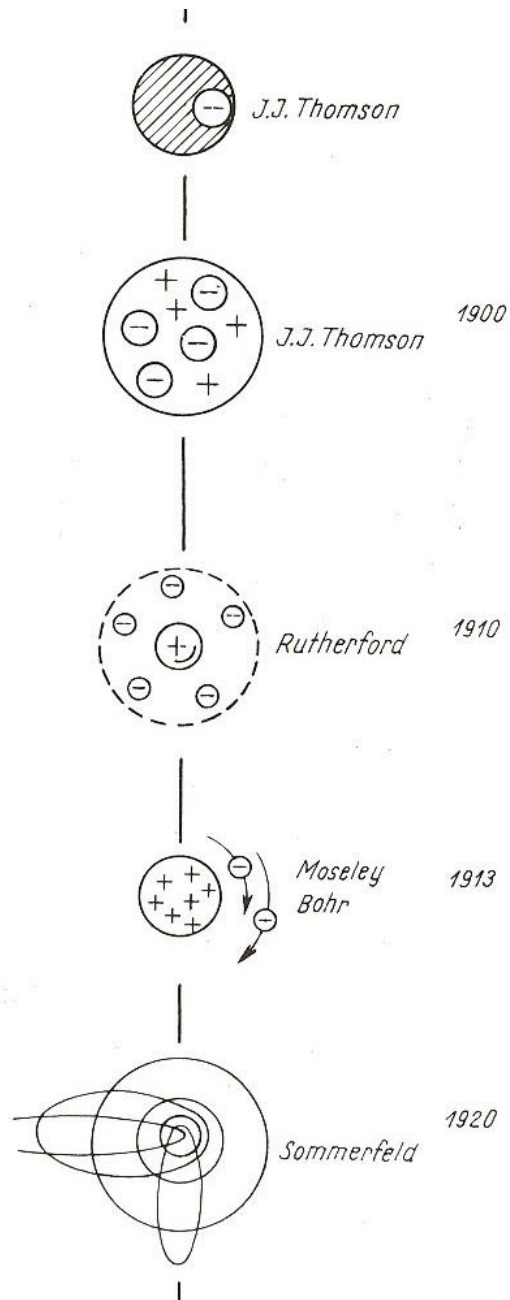
d - mező

| III.B.                                                                | IV.B.                                                                 | V.B.                                                                                    | VI.B.                                                                                                   | VII.B.                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4                                                                     | 5                                                                     | 6                                                                                       | 7                                                                                                       | 8                                                                                                       |
| 19<br>39,102<br>760<br>63,7<br>0,86<br>[Ar]4s <sup>1</sup><br>Kálium  | 20<br>40,08<br>1440<br>838<br>1,55<br>[Ar]4s <sup>2</sup><br>Kalcium  | 21<br>44,956<br>2730<br>1539<br>3,0<br>[Ar]3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup><br>Szkandium | 22<br>47,90<br>3260<br>1668<br>4,51<br>[Ar]3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup><br>Titán                     | 23<br>50,942<br>3450<br>1900<br>6,1<br>[Ar]3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup><br>Vanádium                  |
| 5                                                                     | 6                                                                     | 7                                                                                       | 8                                                                                                       | 9                                                                                                       |
| 37<br>85,47<br>688<br>38,9<br>1,53<br>[Kr]5s <sup>1</sup><br>Rubídium | 38<br>87,62<br>1380<br>768<br>2,6<br>[Kr]5s <sup>2</sup><br>Stroncium | 39<br>88,905<br>2927<br>1509<br>4,47<br>[Kr]4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup><br>Ittrium  | 40<br>91,22<br>3580<br>1852<br>6,49<br>[Kr]4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup><br>Cirkónium                 | 41<br>92,906<br>3300<br>2610<br>8,4<br>[Kr]4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup><br>Nióbium                   |
| 6                                                                     | 7                                                                     | 8                                                                                       | 9                                                                                                       | 10                                                                                                      |
| 55<br>132,905<br>690<br>28,7<br>1,90<br>[Xe]6s <sup>1</sup><br>Cézium | 56<br>137,34<br>1640<br>714<br>3,5<br>[Xe]6s <sup>2</sup><br>Bárium   | 57<br>138,91<br>3470<br>920<br>6,17<br>[Xe]5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup><br>Lantan    | 72<br>178,49<br>5400<br>2222<br>13,1<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup><br>Hafnium | 73<br>180,948<br>5425<br>2996<br>16,6<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup><br>Tantál |
| 7                                                                     | 8                                                                     | 9                                                                                       | 10                                                                                                      | 11                                                                                                      |
| 87<br>223<br>(27)<br>[Rn]7s <sup>1</sup><br>Francium                  | 88<br>226<br>700<br>5,0<br>[Rn]7s <sup>2</sup><br>Rádium              | 89<br>227<br>1050<br>[Rn]6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup><br>Aktínium                    | 104<br>260<br>[Rn]7s <sup>2</sup><br>Kürzsatóvium                                                       | 58<br>140,12<br>3468<br>795<br>6,67<br>[Xe]4f <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup><br>Cérium                    |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 59<br>140,907<br>3127<br>935<br>6,77<br>[Xe]4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup><br>Prazeodímium             |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 60<br>144,24<br>3027<br>1024<br>7,00<br>[Xe]4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup><br>Neodímium                |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 61<br>144,913<br>3207<br>1024<br>7,00<br>[Xe]4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup><br>Prométeium              |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 62<br>150,36<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup><br>Samarium                  |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 63<br>151,96<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup><br>Europium                  |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 64<br>157,25<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>8</sup> 6s <sup>2</sup><br>Gadolinium                |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 65<br>158,93<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup><br>Terbium                   |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 66<br>162,50<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup><br>Dysprosium               |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 67<br>164,93<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup><br>Holmium                  |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 68<br>167,26<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup><br>Erbium                   |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 69<br>168,93<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup><br>Tulium                   |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 70<br>173,05<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>Jódeium                  |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 71<br>175,05<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>Terbium                  |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 72<br>178,49<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>Hafnium                  |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 73<br>180,948<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>Tantál                  |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 74<br>183,85<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>Volfrám                  |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 75<br>186,2<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>Rénium                    |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 76<br>187,04<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>Osztrium                 |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 77<br>188,91<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>Iridium                  |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 78<br>190,23<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>Platinium                |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 79<br>193,22<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>Arany                    |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 80<br>195,08<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>Hégyes                   |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 81<br>197,04<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup><br>Érc                      |
|                                                                       |                                                                       |                                                                                         |                                                                                                         | 82<br>200,59<br>3122<br>959<br>7,09<br>[Xe]4f <sup>14</sup>                                             |

A sűrűségérték gázoknál folyadék halmazállapotra vonatkozik a forrásponton. \*\*

| p - mező                                                             |          |  |                                                                       |         |  |                                                                       |         |  |                                                                       | VIII. A.        |        |
|----------------------------------------------------------------------|----------|--|-----------------------------------------------------------------------|---------|--|-----------------------------------------------------------------------|---------|--|-----------------------------------------------------------------------|-----------------|--------|
|                                                                      |          |  |                                                                       |         |  |                                                                       |         |  |                                                                       | 2               | 4,0026 |
|                                                                      |          |  |                                                                       |         |  |                                                                       |         |  |                                                                       | -268,9          | He     |
|                                                                      |          |  |                                                                       |         |  |                                                                       |         |  |                                                                       | -269,7          |        |
|                                                                      |          |  |                                                                       |         |  |                                                                       |         |  |                                                                       | 0,126           |        |
|                                                                      |          |  |                                                                       |         |  |                                                                       |         |  |                                                                       | 1s <sup>2</sup> | Hélium |
| IV. A.                                                               |          |  | V. A.                                                                 |         |  | VI. A.                                                                |         |  | VII. A.                                                               |                 |        |
| 6                                                                    | 12,01115 |  | 7                                                                     | 14,0067 |  | 8                                                                     | 15,9994 |  | 9                                                                     | 18,9984         |        |
|                                                                      | ±4,2     |  |                                                                       | ±3,54,2 |  |                                                                       | -2      |  |                                                                       | -1              |        |
| .830                                                                 |          |  | -195,8                                                                |         |  | -183                                                                  |         |  | -188,2                                                                |                 |        |
| 727                                                                  |          |  | -210                                                                  |         |  | -210,8                                                                |         |  | -219,6                                                                |                 |        |
| 2,26                                                                 |          |  | 0,81                                                                  |         |  | 1,14                                                                  |         |  | 1,505                                                                 |                 |        |
| He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup>                                   |          |  | [He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup>                                   |         |  | [He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup>                                   |         |  | [He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>                                   |                 |        |
| Szén                                                                 |          |  | Nitrogén                                                              |         |  | Oxigén                                                                |         |  | Fluor                                                                 |                 |        |
| 14                                                                   | 28,086   |  | 15                                                                    | 30,9738 |  | 16                                                                    | 32,064  |  | 17                                                                    | 35,453          |        |
|                                                                      | 4        |  |                                                                       | ±3,5,4  |  |                                                                       | ±2,4,6  |  |                                                                       | ±1,3,5,7        |        |
| .680                                                                 |          |  | 280                                                                   |         |  | 444,6                                                                 |         |  | -34,7                                                                 |                 |        |
| 410                                                                  |          |  | 44,2                                                                  |         |  | 119                                                                   |         |  | -101,0                                                                |                 |        |
| 2,33                                                                 |          |  | 1,82                                                                  |         |  | 2,07                                                                  |         |  | 1,56                                                                  |                 |        |
| Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>                                   |          |  | [Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>3</sup>                                   |         |  | [Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>4</sup>                                   |         |  | [Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup>                                   |                 |        |
| Szilícium                                                            |          |  | Foszfór                                                               |         |  | Kén                                                                   |         |  | Klór                                                                  |                 |        |
| 32                                                                   | 72,59    |  | 33                                                                    | 74,9216 |  | 34                                                                    | 78,96   |  | 35                                                                    | 79,904          |        |
|                                                                      | 4        |  |                                                                       | ±3,5    |  |                                                                       | -2,4,6  |  |                                                                       | ±1,5            |        |
| .830                                                                 |          |  | 613                                                                   |         |  | 685                                                                   |         |  | 58                                                                    |                 |        |
| 37,4                                                                 |          |  | —                                                                     |         |  | 217                                                                   |         |  | -72                                                                   |                 |        |
| 5,32                                                                 |          |  | 5,72                                                                  |         |  | 4,79                                                                  |         |  | 3,12                                                                  |                 |        |
| Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup>                  |          |  | [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup>                  |         |  | [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup>                  |         |  | [Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup>                  |                 |        |
| Germanium                                                            |          |  | Arzén                                                                 |         |  | Szelen                                                                |         |  | Brom                                                                  |                 |        |
| 50                                                                   | 118,69   |  | 51                                                                    | 121,75  |  | 52                                                                    | 127,60  |  | 53                                                                    | 126,9044        |        |
|                                                                      | 4        |  |                                                                       | ±3,5    |  |                                                                       | -2,4,6  |  |                                                                       | ±1,5,7          |        |
| .270                                                                 |          |  | 1380                                                                  |         |  | 989,8                                                                 |         |  | 183                                                                   |                 |        |
| 31,9                                                                 |          |  | 6305                                                                  |         |  | 449,5                                                                 |         |  | 113                                                                   |                 |        |
| 7,3                                                                  |          |  | 6,62                                                                  |         |  | 6,24                                                                  |         |  | 4,94                                                                  |                 |        |
| Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup>                  |          |  | [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup>                  |         |  | [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup>                  |         |  | [Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup>                  |                 |        |
| Ón                                                                   |          |  | Antimon                                                               |         |  | Tellúr                                                                |         |  | Jód                                                                   |                 |        |
| 82                                                                   | 207,19   |  | 83                                                                    | 208,980 |  | 84                                                                    | 210     |  | 85                                                                    | 210             |        |
|                                                                      | 4,2      |  |                                                                       | 3,5     |  |                                                                       | 2,4     |  |                                                                       | ±1,3,5,7        |        |
| 725                                                                  |          |  | 1560                                                                  |         |  | 254                                                                   |         |  | (302)                                                                 |                 |        |
| 274                                                                  |          |  | 271,3                                                                 |         |  | (9,2)                                                                 |         |  | —                                                                     |                 |        |
| 11,4                                                                 |          |  | 9,8                                                                   |         |  | [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup> |         |  | [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup> |                 |        |
| Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup> |          |  | [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup> |         |  | [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>4</sup> |         |  | [Xe]4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup> |                 |        |
| Ólom                                                                 |          |  | Bizmut                                                                |         |  | Polónium                                                              |         |  | Asztácium                                                             |                 |        |
| 57                                                                   | 164,930  |  | 68                                                                    | 168,26  |  | 69                                                                    | 168,934 |  | 70                                                                    | 173,04          |        |
|                                                                      | 3        |  |                                                                       | 3       |  |                                                                       | 3,2     |  |                                                                       | 3,2             |        |
| .600                                                                 |          |  | 2900                                                                  |         |  | 1457                                                                  |         |  | 1427                                                                  |                 |        |
| 4,61                                                                 |          |  | 14,97                                                                 |         |  | 303                                                                   |         |  | 824                                                                   |                 |        |
| 1,8                                                                  |          |  | 9,05                                                                  |         |  | 9,33                                                                  |         |  | 6,98                                                                  |                 |        |
| Xe]4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup>                                  |          |  | [Xe]4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup>                                  |         |  | [Xe]4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup>                                  |         |  | [Xe]4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>                                  |                 |        |
| Holmium                                                              |          |  | Erbium                                                                |         |  | Tólium                                                                |         |  | Itterbium                                                             |                 |        |
| 99                                                                   | 254      |  | 100                                                                   | 253     |  | 101                                                                   | 256     |  | 102                                                                   | 254             |        |
|                                                                      | —        |  |                                                                       | —       |  |                                                                       | —       |  |                                                                       | —               |        |
| —                                                                    |          |  | —                                                                     |         |  | —                                                                     |         |  | —                                                                     |                 |        |
| —                                                                    |          |  | —                                                                     |         |  | —                                                                     |         |  | —                                                                     |                 |        |
| Rn]5f <sup>11</sup> 7s <sup>2</sup>                                  |          |  | [Rn]5f <sup>12</sup> 7s <sup>2</sup>                                  |         |  | [Rn]5f <sup>13</sup> 7s <sup>2</sup>                                  |         |  | [Rn]5f <sup>14</sup> 7s <sup>2</sup>                                  |                 |        |
| Einsteinium                                                          |          |  | Fermium                                                               |         |  | Mendelévium                                                           |         |  | Nobélium                                                              |                 |        |
| —                                                                    |          |  | —                                                                     |         |  | —                                                                     |         |  | —                                                                     |                 |        |
| —                                                                    |          |  | —                                                                     |         |  | —                                                                     |         |  | —                                                                     |                 |        |
| —                                                                    |          |  | —                                                                     |         |  | —                                                                     |         |  | —                                                                     |                 |        |
| Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>                  |          |  | [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>                  |         |  | [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>                  |         |  | [Rn]5f <sup>14</sup> 6d <sup>1</sup> 7s <sup>2</sup>                  |                 |        |
| Laurencium                                                           |          |  | Laurencium                                                            |         |  | Laurencium                                                            |         |  | Laurencium                                                            |                 |        |





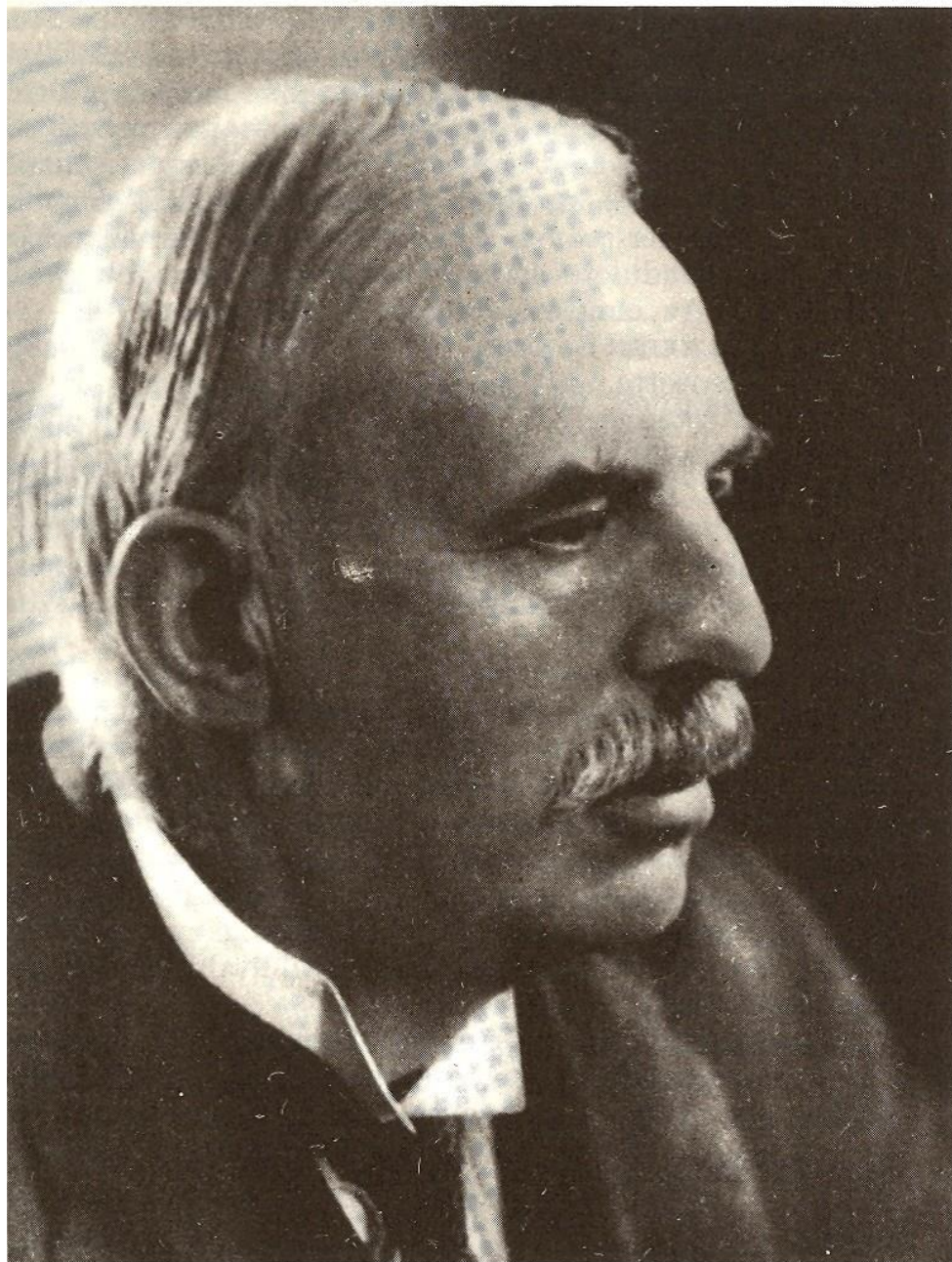
Az atomban van elektron

Az atomban (pozitív töltésű „massza”) a rendszámmal megegyező számú elektron van.

**Mazsolás puding modell.**

Az atomok mini naprendszerek, az elektronok a pozitív töltésű mag körül keringenek.

„Klasszikus” kvantumelméletek:  
a klasszikus fizika és a kvantumelmélet sajátos keverékei



#### 4.6 – 15 ábra

ERNEST RUTHERFORD (1871–1937) Új-Zélandon született, angol és skót származású szülők-től. Ösztöndíjjal végzett az ottani egyetemen, 1894-ben doktorált, ezután Cambridge-ben J. J. Thomson mellett dolgozott. 1898-tól 1907-ig professzor Kanadában a montreali McGill egyetemen. Manchester, majd Cambridge kö-vetkezett, 1919-ben a Cavendish Laboratory igazgatója lett.

Doktori disszertációja a nagyfrekvenciájú elektromágneses rezgések mágneses hatásáról szólt. Mágneses detektorával  $\frac{1}{2}$  mérföld távol-ságból tudott venni jeleket; ez ekkor (1894) vi-lág rekordnak számított. 1895: ionizált gázok tu-lajdonságai; 1896-tól: radioaktív sugárzás vizsgá-lata;  $\alpha$ -,  $\beta$ -sugárzás felfedezése; 1900: az expo-nenciális törvény; 1902: radioaktív bomlás elmélete; 1903–1908:  $\alpha$ -sugárzás természeté-nek tisztázása; 1911: Rutherford-féle atom-modell felállítása; 1919: első mesterséges át-alakítás; 1920: neutron megsejtése.

Rutherford a századforduló legnagyobb kísér-leti fizikusa: az egész fizikátörténetnek is csak egyetlen nála nagyobb gényusa van ezen a té-ren: Faraday. Rutherford jelentőségét egyéni teljesítményén túlmenően a hozzá seregülő fia-tal tudósok alkotta Rutherford-iskola hangsú-lyozza. Ide tartozott: Bohr, Geiger, Chadwick, Hahn, Hevesy, Blackett, Cockroft, hogy csak a legismertebbeket említsük.

Epizód életéből: 1909-ben Marsden és Geiger az  $\alpha$ -részek visszafelé szóródását észlelte vékony lemezekben; ez a jelenség vezetett az atommag felismeréséhez. Rutherford így emlékezik vissza: „Határozottan ez volt a leghihetetlenebb ese-mény, amellyel életemben találkoztam. Majd-nem olyan hihetetlen volt, mintha valaki egy 15 hüvelykes gránáttal egy selyempapír darab-kára tüzelne, és az visszatérve őt magát ta-lálná el.”

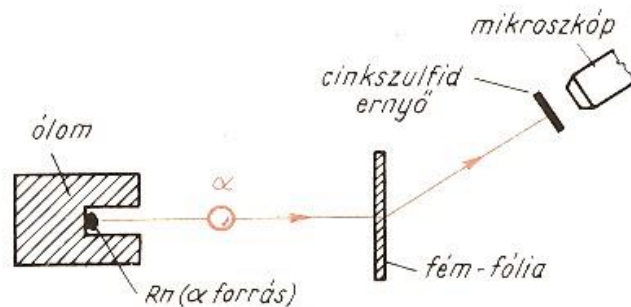
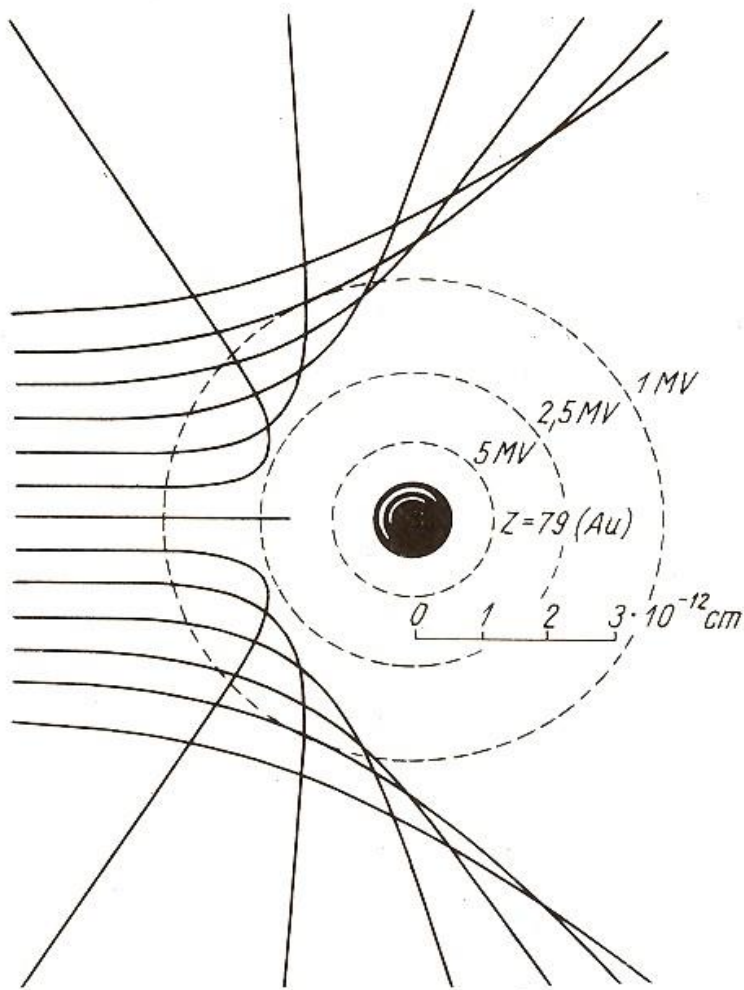


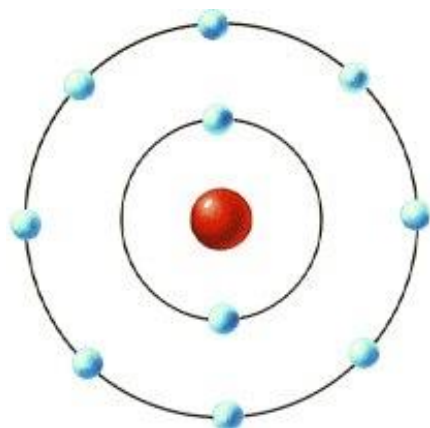
## Az atommag felfedezése: a Rutherford kísérlet (1911)

Azok az  $\alpha$ -részecskék térülnek el jelentősen, amelyek majdnem eltalálják az atommagot ( $p < 10^{-11}$  cm).

Az  $\alpha$ -részecskék többsége ( $> 99\%$ ) nem térül el.

Az atom tömegének nagy része ( $> 99,9\%$ ) igen kis térfogatban van (az atom térfogatának kevesebb mint egymilliomod részében).





Rutherford's Atom



## A Rutherford-féle atommodell (1911)

Az atom tömegének nagy része ( $> 99,9\%$ ) igen kis térfogatban van (az atom térfogatának kevesebb mint egymilliomod részében).

Ezt a pozitív töltésű kis részt nevezzük atommagnak.

Az elektronok az atommag körül „bolygók módjára” keringenek. A körpályán a Coulomb-erő tartja őket.

Kezdetől fogva láthatók a hiányosságai:

- Csak meghatározott körpályák vannak, miért?
- A keringő elektron miért nem sugároz?

Az újabb atommodellek ebbe a tárgyba sajnos már nem férnek be!!!



Az atommag felfedezésére vezető Rutherford kísérletben

- a) katódsugarak eltérülését
- ☒ b) alfa részecskék eltérülését
- c) röntgen sugarak eltérülését
- d) elektromágneses hullámok eltérülését vizsgálták

Rutherford eredménye szerint az atommag átmérője az atom átmérőjének kb.

- a) 10 %-a
- b) 1-2 %-a
- ☒ c) 0,01-0,1 %-a
- d) kb. egymilliomod része

Rutherford eredménye szerint az atommag térfogata az atom térfogatának kb.

- a) 10 %-a
- b) 1-2 %-a
- c) 0,01-0,1 %-a
- ☒ d) kevesebb, mint egymilliomod része

***Itt a tananyag vége – de csak annak és nem a  
fizika történetének***