A fizika története

(GEFIT555-B2, GEFIT555-B, 2+0, 2 kredit)

2026/2027. tanév, 1. félév

Dr. Paripás Béla

7. Előadás (2026.11.02.)

A fizika helyzete 1870 körül

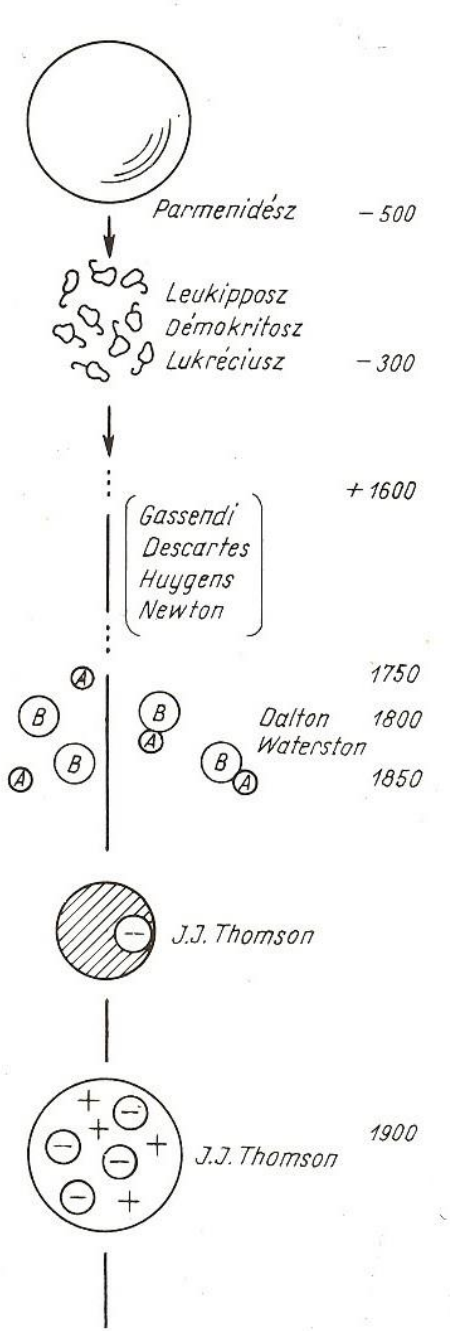
1. Győzött a fény elektromágneses hullám elmélete.

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.

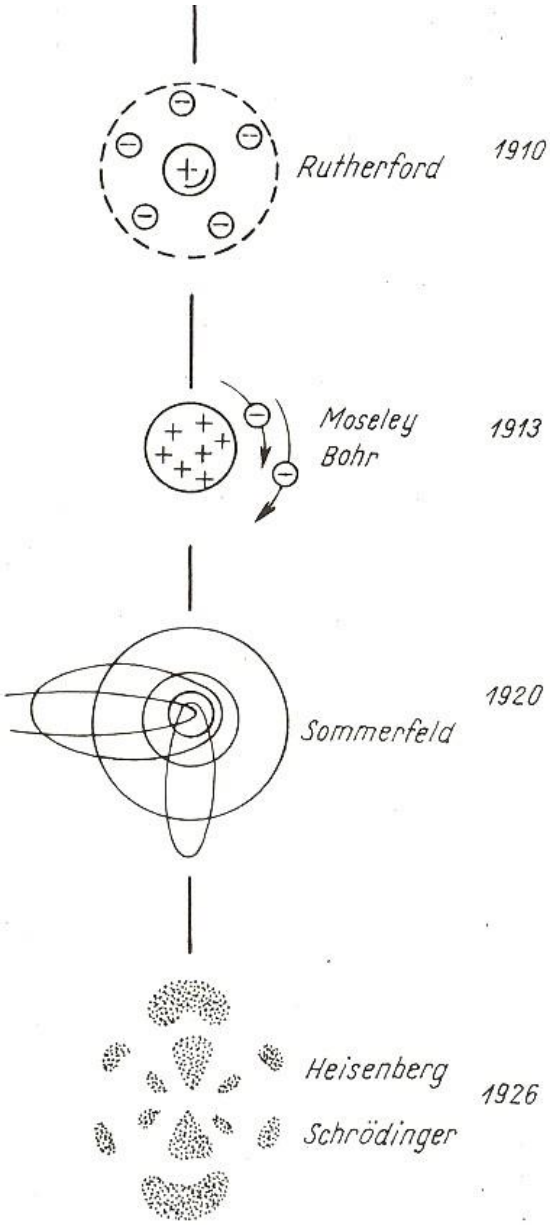
Döntő lépések: az energiamegmaradás törvényének felismerése,
a hő mechanikai egyenértékének megmérése,
a kinetikus gázelmélet sikerei.

Az atomelmélet fejlődése



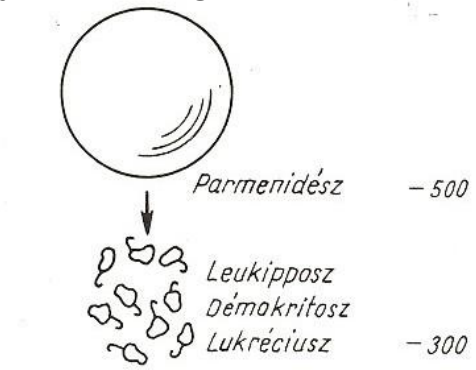
1, az anyag atomos szerkezetének bizonyítása (hogy van az anyagnak tovább már nem bontható elemi egysége)

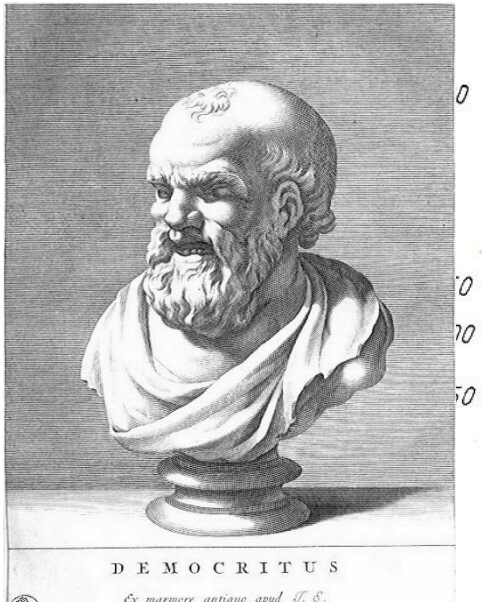
2,az atomok szerkezetének kutatása (a legkisebb egység bontható ugyan, de minőségileg teljesen más részekre)



1, Az anyag atomos szerkezetének bizonyítása:

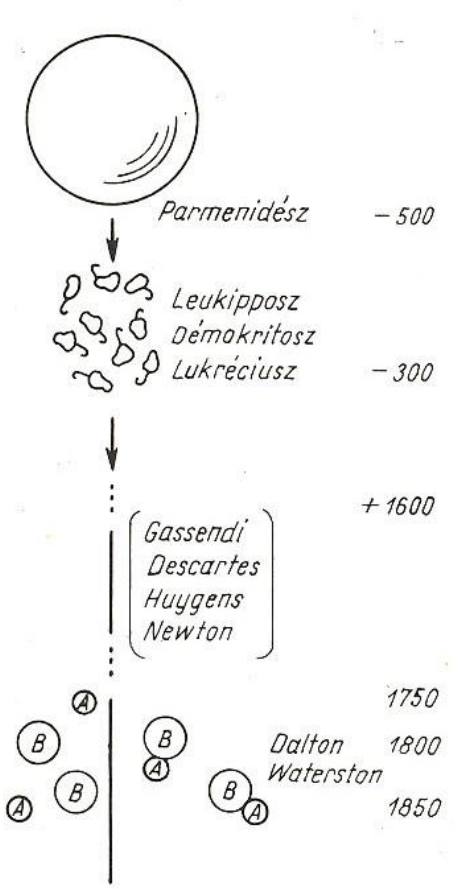
2000 éven át csak spekulatív, legfeljebb filozófiai „bizonyításokat” tartalmazó kvalitatív elméletek voltak.
Ugyanúgy nem volt kísérleti alapjuk, mint az atomelméletet tagadó, az anyag folytonosságát hirdető elméleteknek.





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)

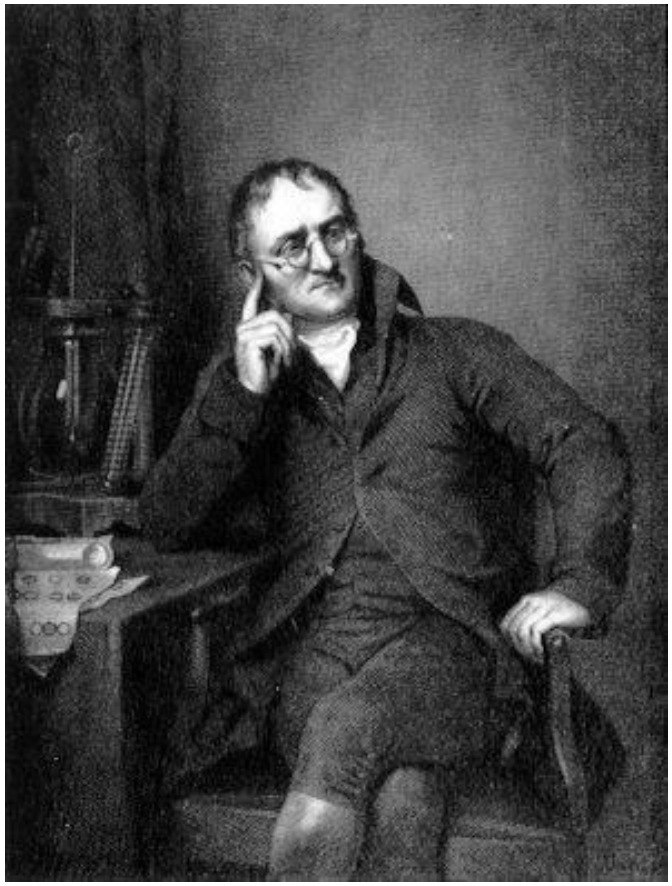
A kémiai folyamatokban az atom a megmaradó mennyiség.

- 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 az ideális gázok elegyeiben a parciális nyomásra vonatkozó Dalton-törvényt.

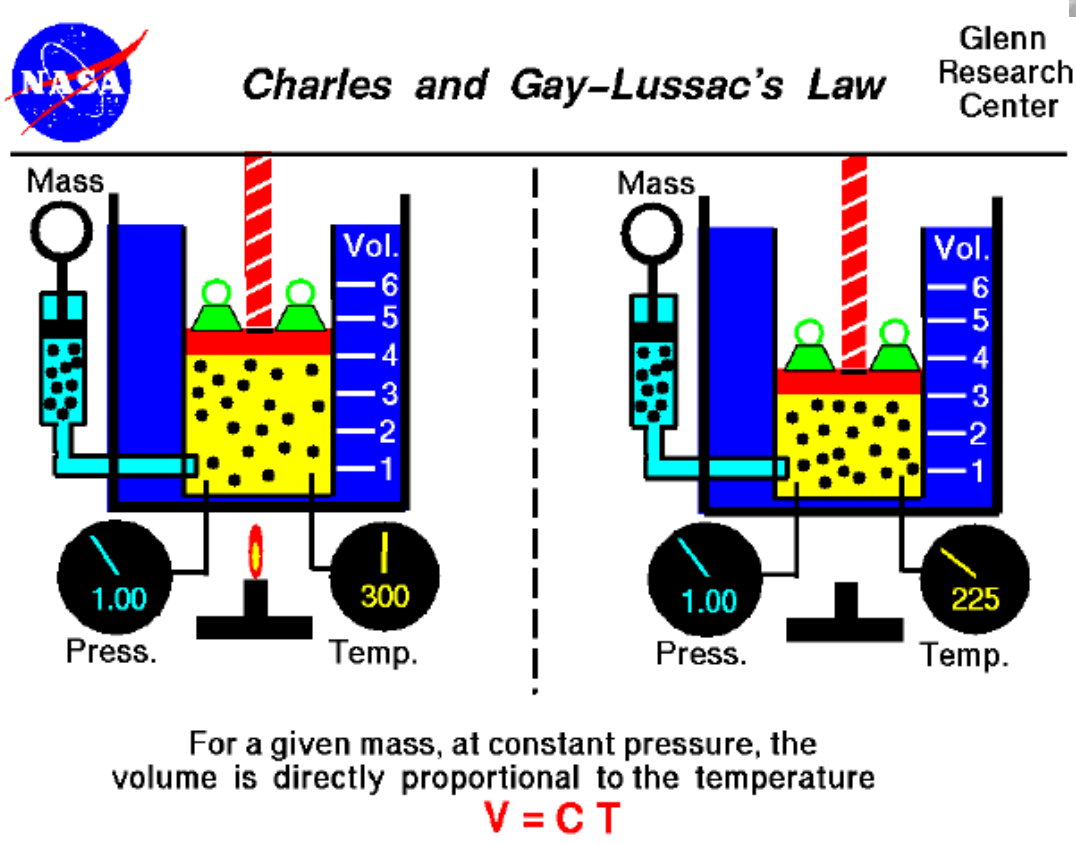


Joseph Louis Gay-Lussac

(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.





Avogadro, Amadeo

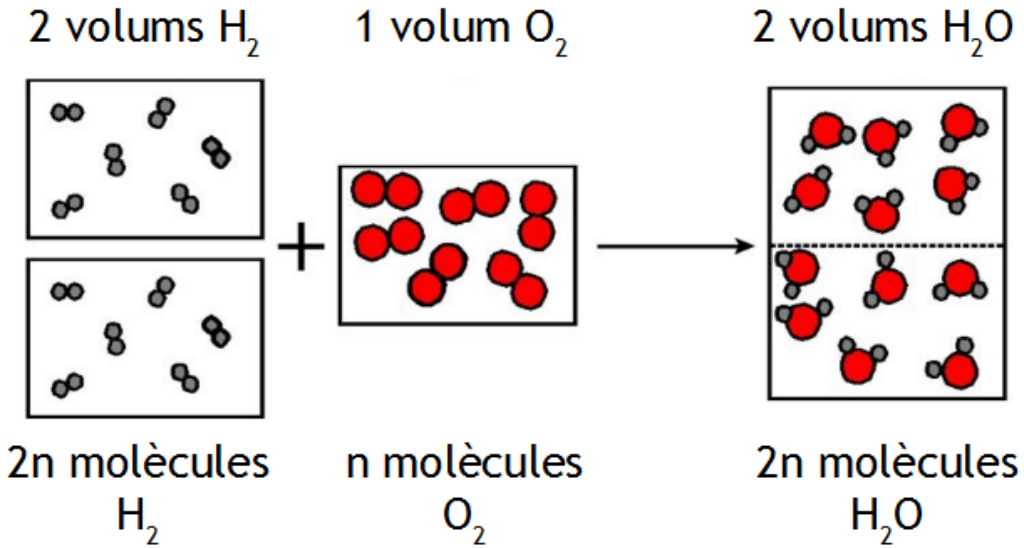


olasz fizikus

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

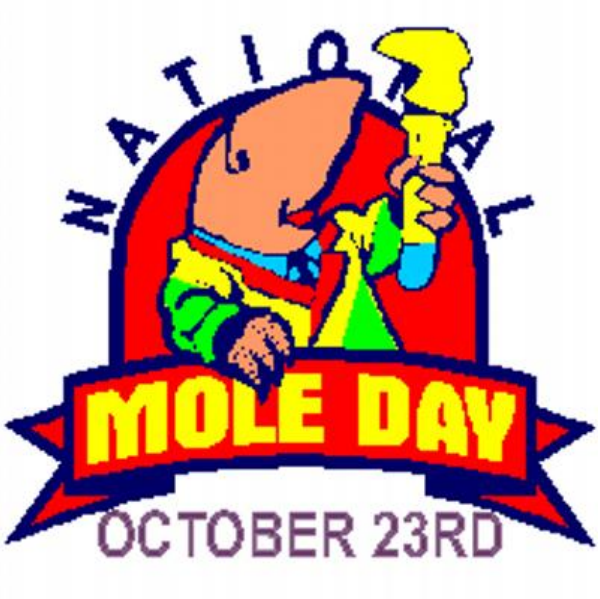
•1820-1850: A rövidebb politikai természetű kényszerszüneteket leszámítva torinói egyetemen tanít



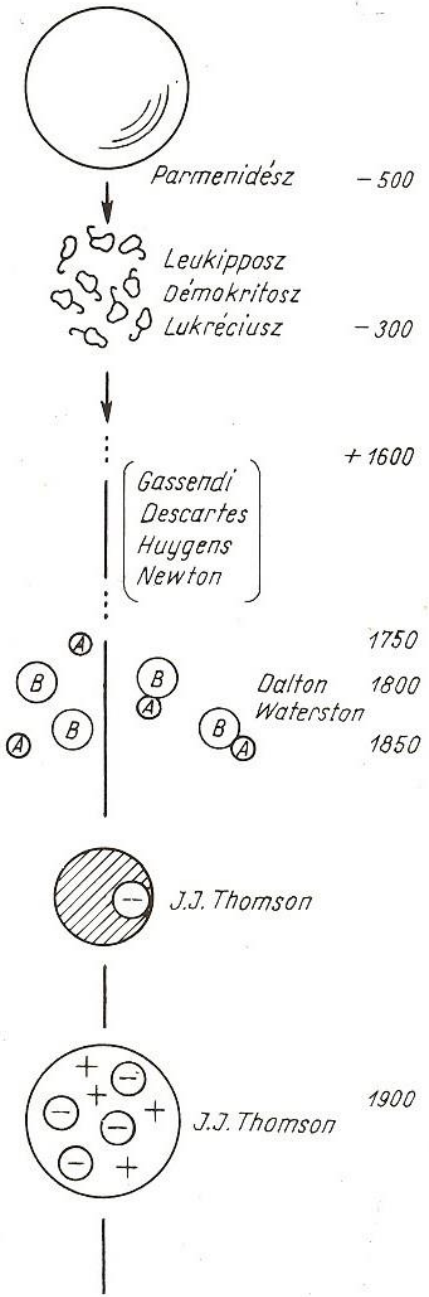
- Az Avogadro-számot nem sikerült Avogadro életében még megbecsülni sem.
- Loschmidt 1865-ben a kinetikus gázelmélet segítségével nagyságrendileg helyesen kiszámolta az ideális gáz molekuláinak átmérőjét, amire 1 nm-t kapott.
- Ebből az Avogadro-számot 1873-ban Boltzmann számolta ki, és ő nevezte ez 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.

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



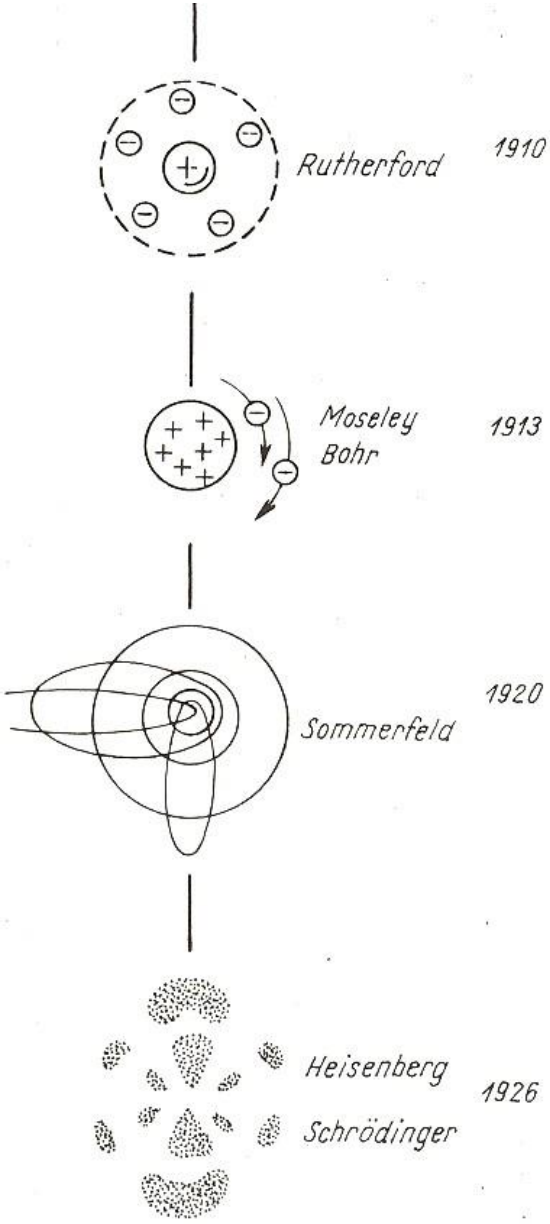


Az atomelmélet fejlődése (folyt.)



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

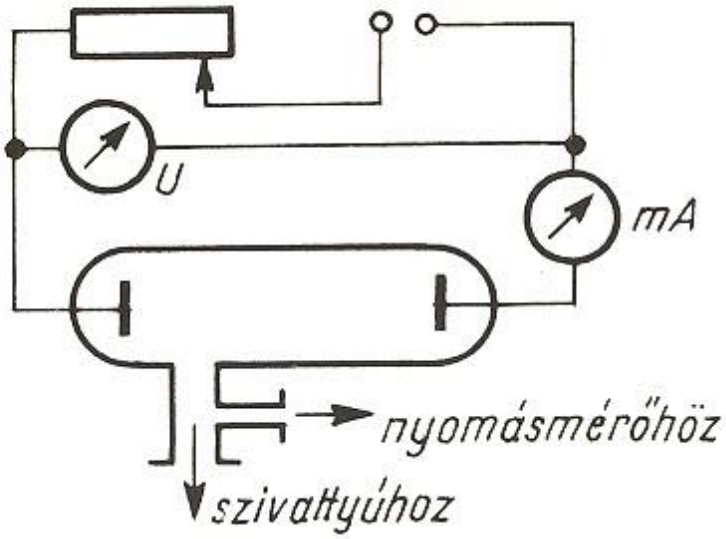
2,az atomok szerkezetének kutatása (a legkisebb egység bontható ugyan, de minőségileg teljesen más részekre)



Az atom szerkezetének feltárásában a XIX. sz. második felében a **katódsugárcső** jelentette az áttörést.

A katódsugarak természete közel 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

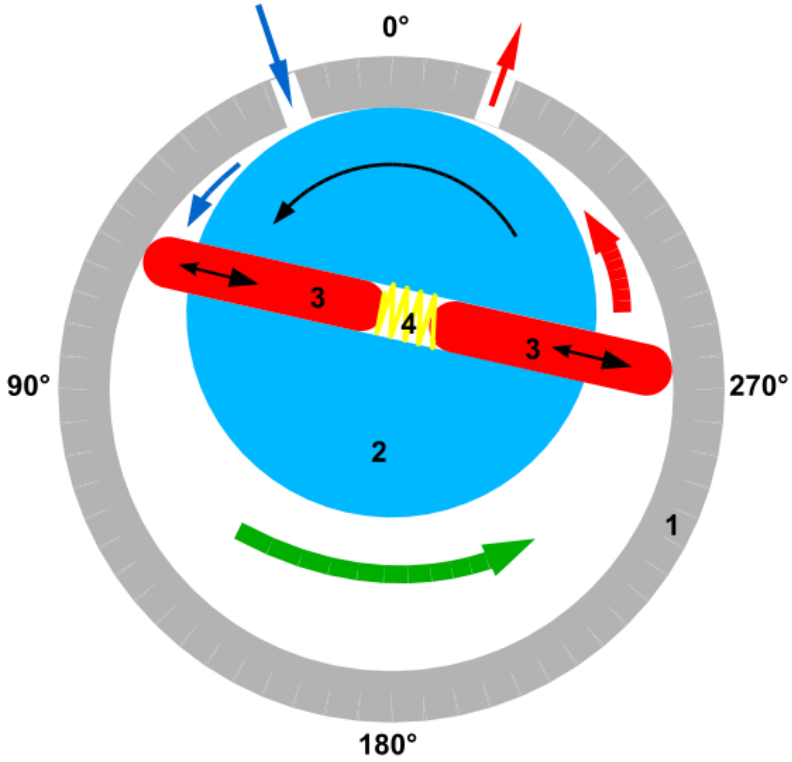


A kulcskérdések technikaiak:

•a vákuumszivattyú és a

•nyomásmérő



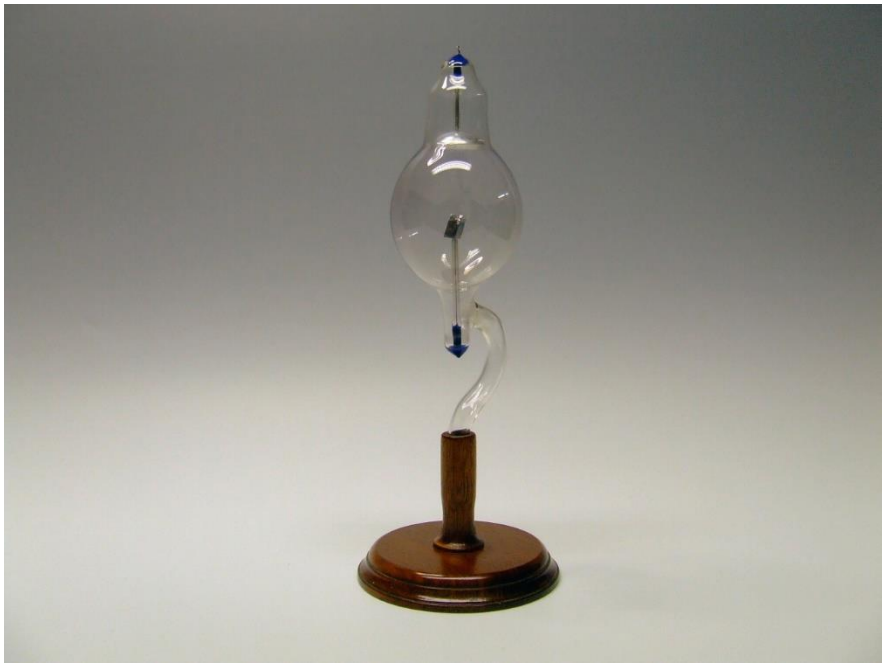


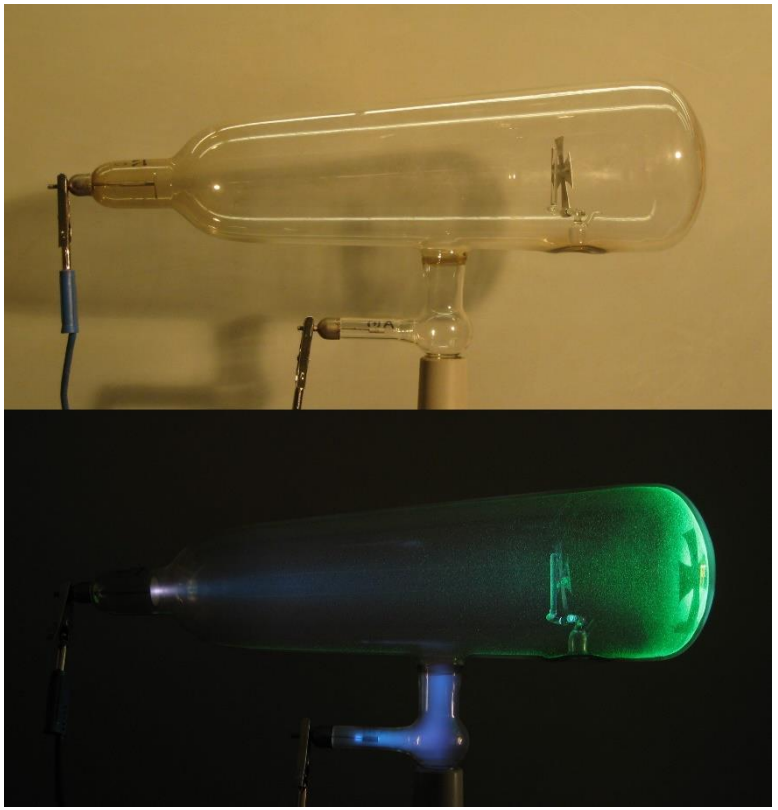
Forgólapátos szivattyú
(Charles C. Barnes, 1874.)
1. szivattyúház 2. forgórész
3. lapátok 4. rúgó

Higanyos vákuumszivattyú (Geissler, 1864)

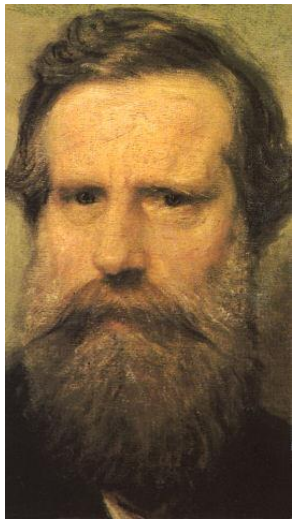


Különböző kisülési csövek (katódsugárcsövek) a XIX. sz. utolsó évtizedeiből (Hittorf, Crookes, Geissler)





A kisülési csövek (katódsugárcsövek) nagyjai





Sir William Crookes (1832 – 1919)

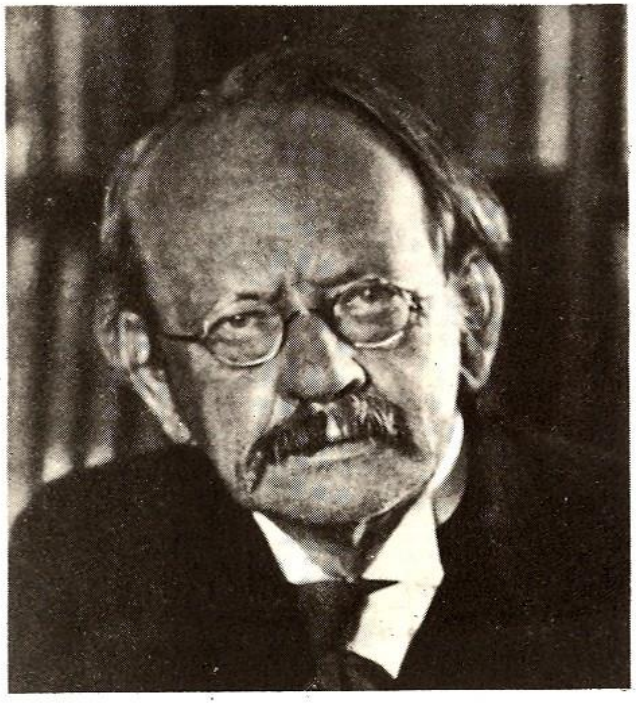
Wilhelm Conrad Röntgen (Lennep, 1845 – München, 1923)
Nobel-díj: 1901



Joseph John („J. J.”) Thomson
(Manchester, 1856 - Cambridge, 1940)
Nobel-díj: 1906



Lénárd Fülöp (németül Philipp Eduard Anton (von) Lenard) (Pozsony, 1862 – Messelhausen, 1947)
Nobel-díj: 1905

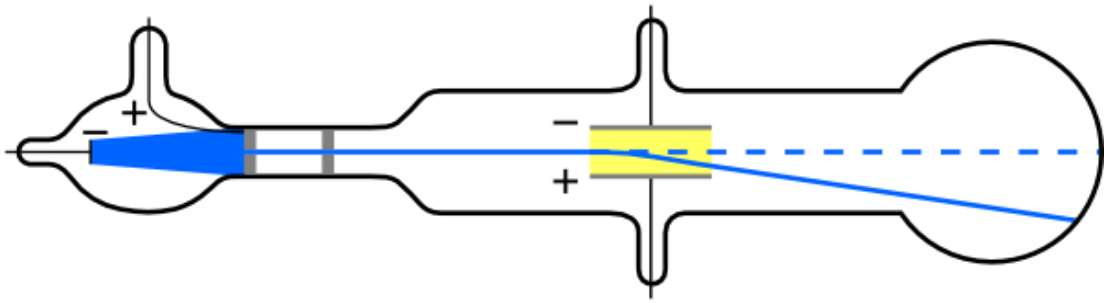


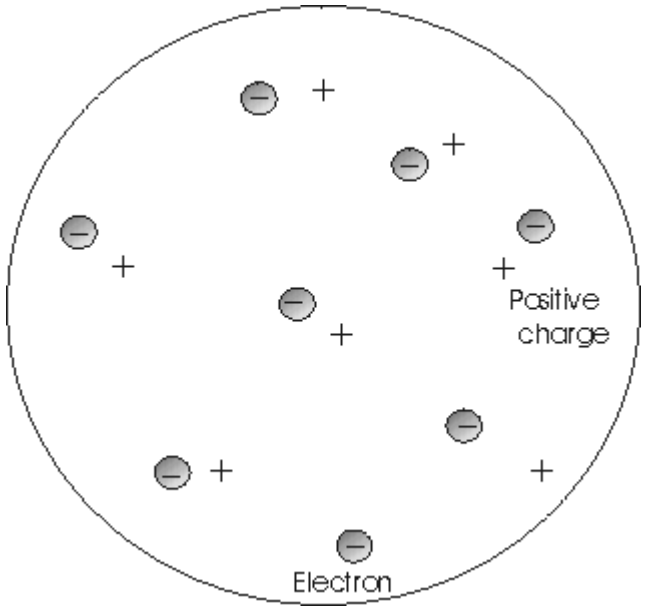
4.6—8 ábra
JOSEPH JOHN THOMSON (1856—1940) mérnöknek készült, majd matematikát és fizikát tanult. 1884-től 1919-ig Cavendish-professzor (Elődei ebben a hivatalban: *J. C. Maxwell*, Lord *Rayleigh*, utódai: pedig *E. Rutherford* és *W. L. Bragg*). 1906-ban Nobel-díjat kapott. Első nevezetes hozzájárulása 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 Müncheni 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)





1897, J.J. Thomson:

a katódsugarak elektronok

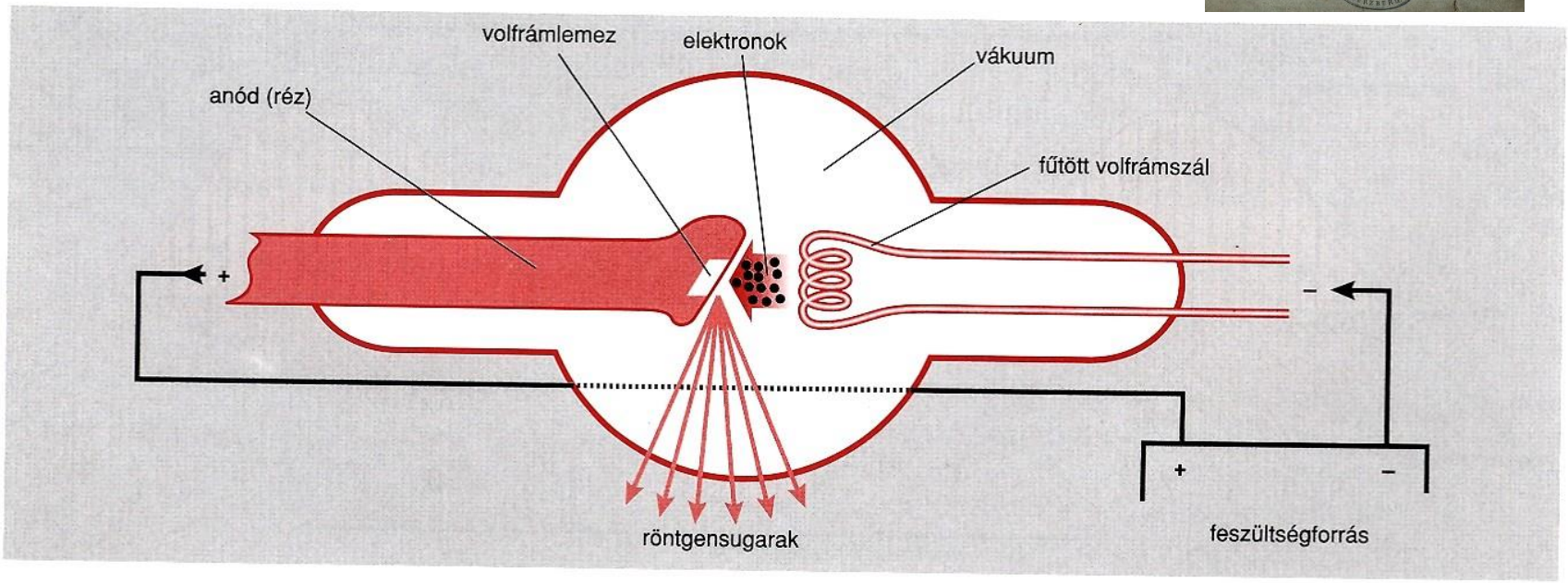
→ minden atomban van elektron.

Az X-sugárzás felfedezése: 1895, Conrad Röntgen

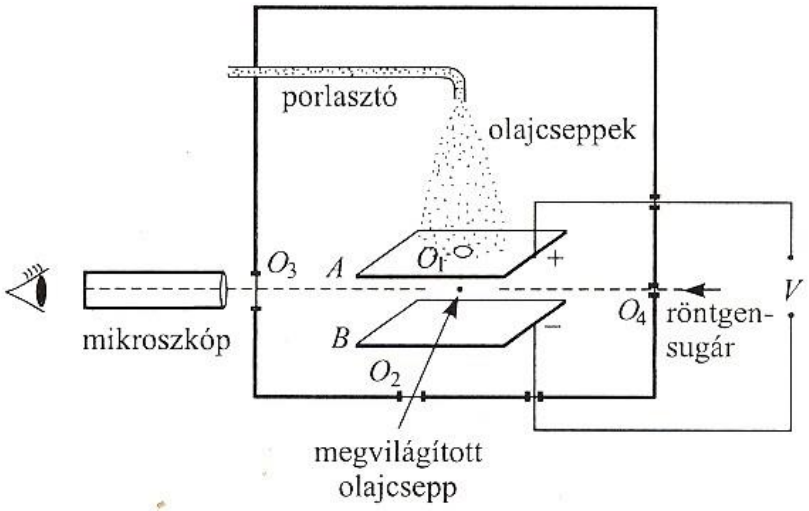
A felfedezés története:

A világ első röntgenfelvétele a feleség kezéről





2.26. ábra. A röntgencső elvi vázlata

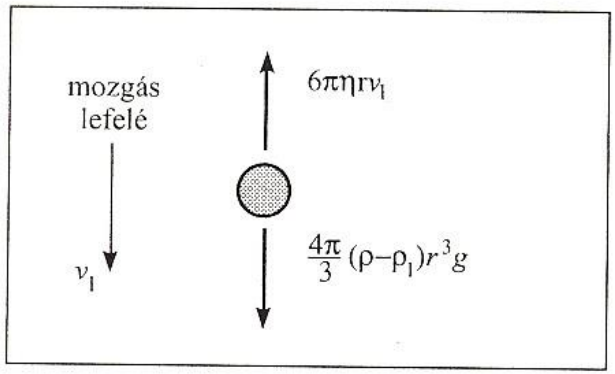


Millikan (1868-1953)

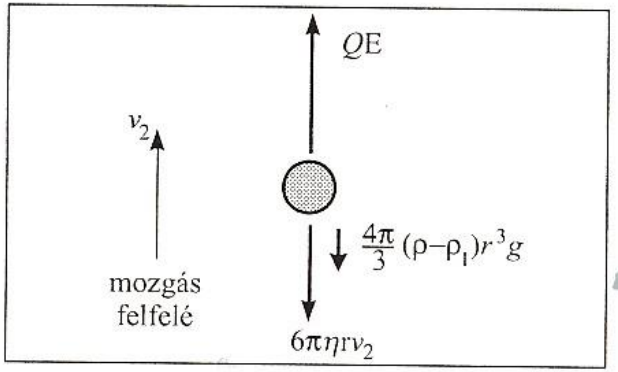
kísérlete (1910-16)

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

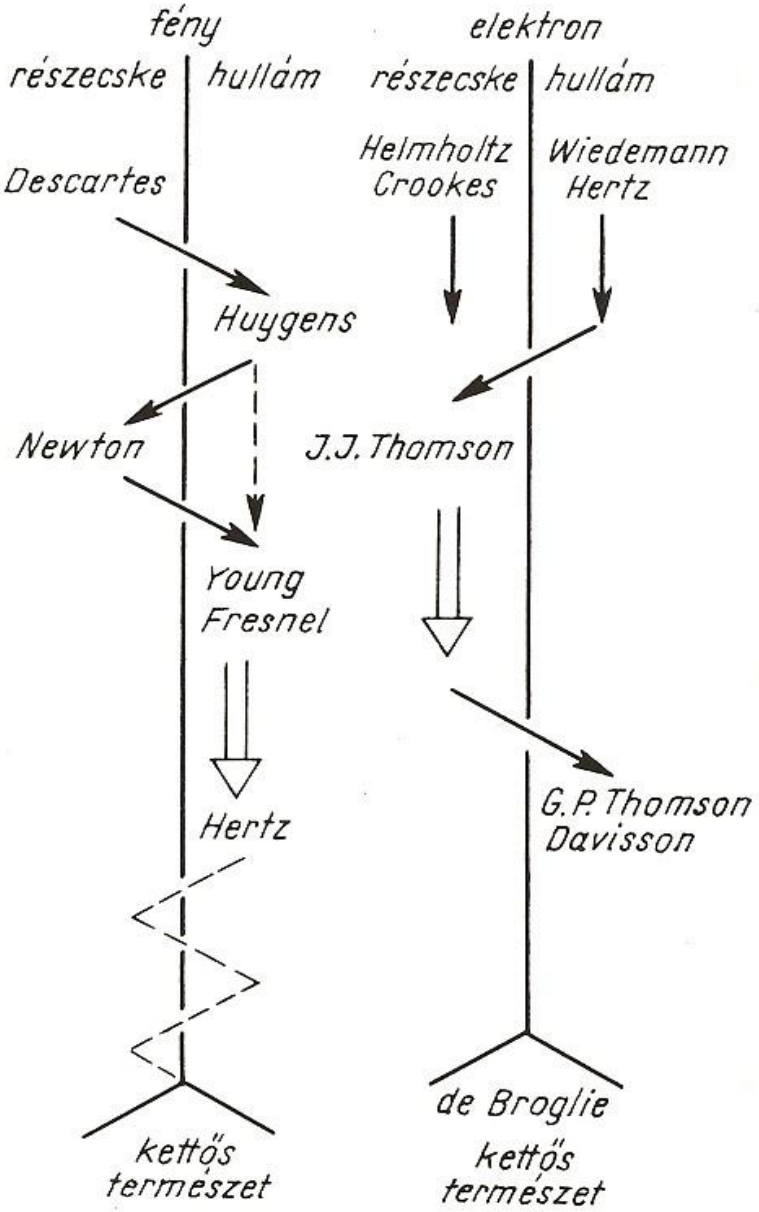
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C



a.

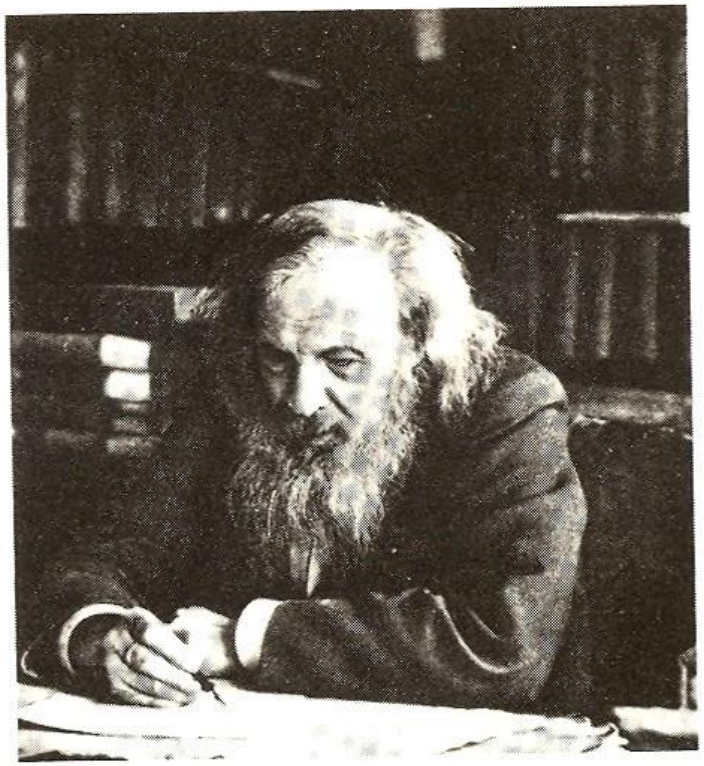


b.



Részecske-kontra hullámtermészet.

A fizikusok felfogásának változása az időben a fény és az elektronok esetében.



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 Pétervároron. 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.

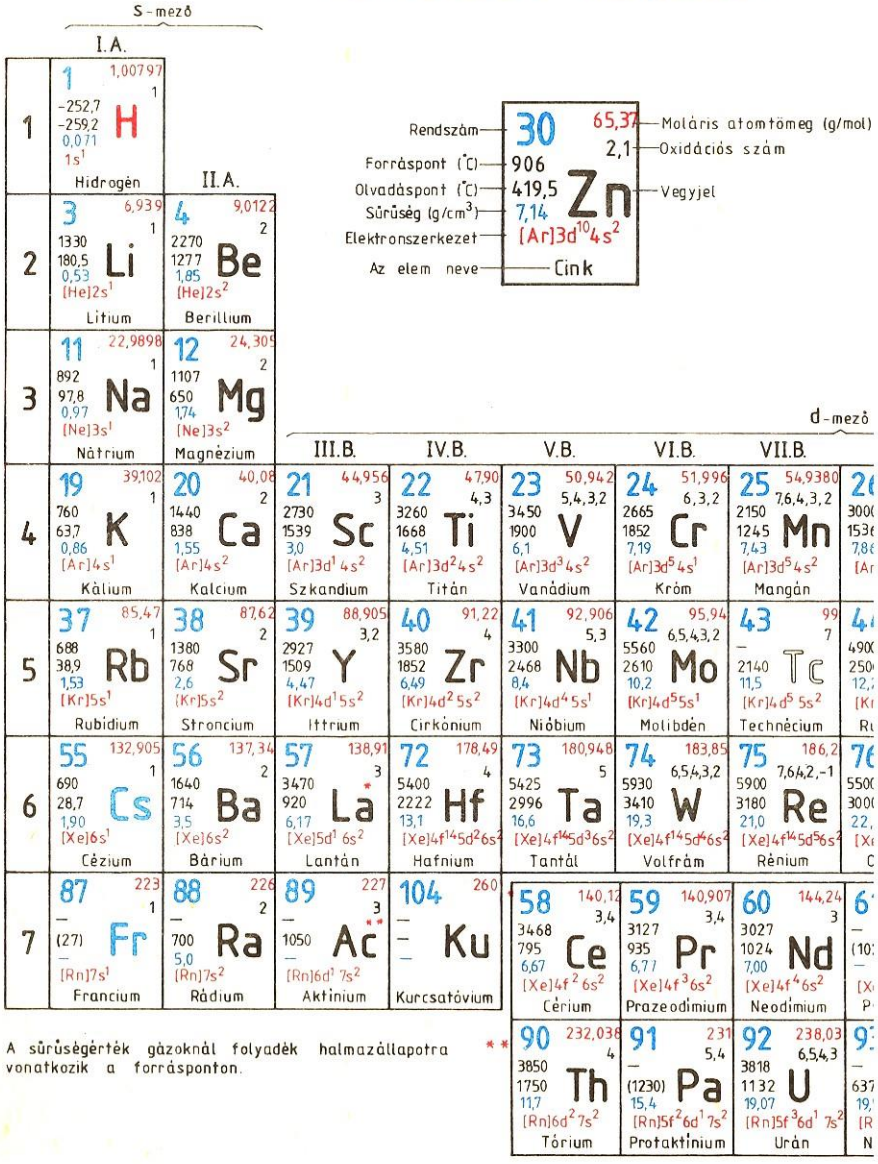
Különösen érdekes a

halogén – nemesgáz – alkálifém –

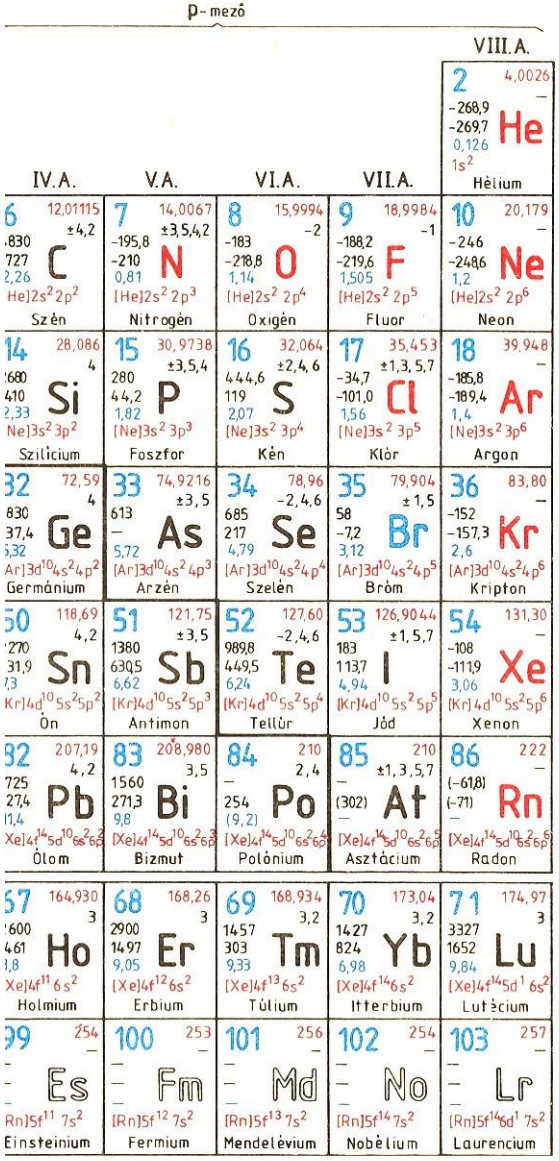
alkáliföldfém

sor négyszeri ismétlődése.

PERIÓDUSOS RENDSZER



A sűrűségérték gázoknál folyadék halmazállapotra vonatkozik a forrásponton.

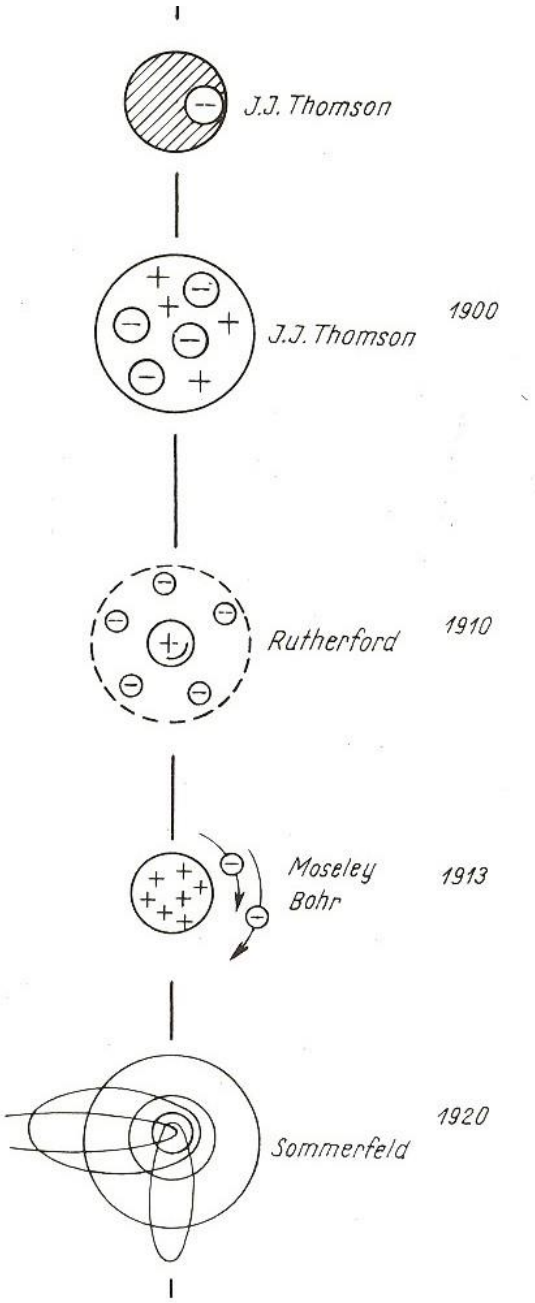


A katódsugarak

a) ultraibolya-sugarak
b) elektronok
c) pozitív ionok
d) röntgensugarak

Millikan kísérletének végkövetkeztetése az hogy,

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

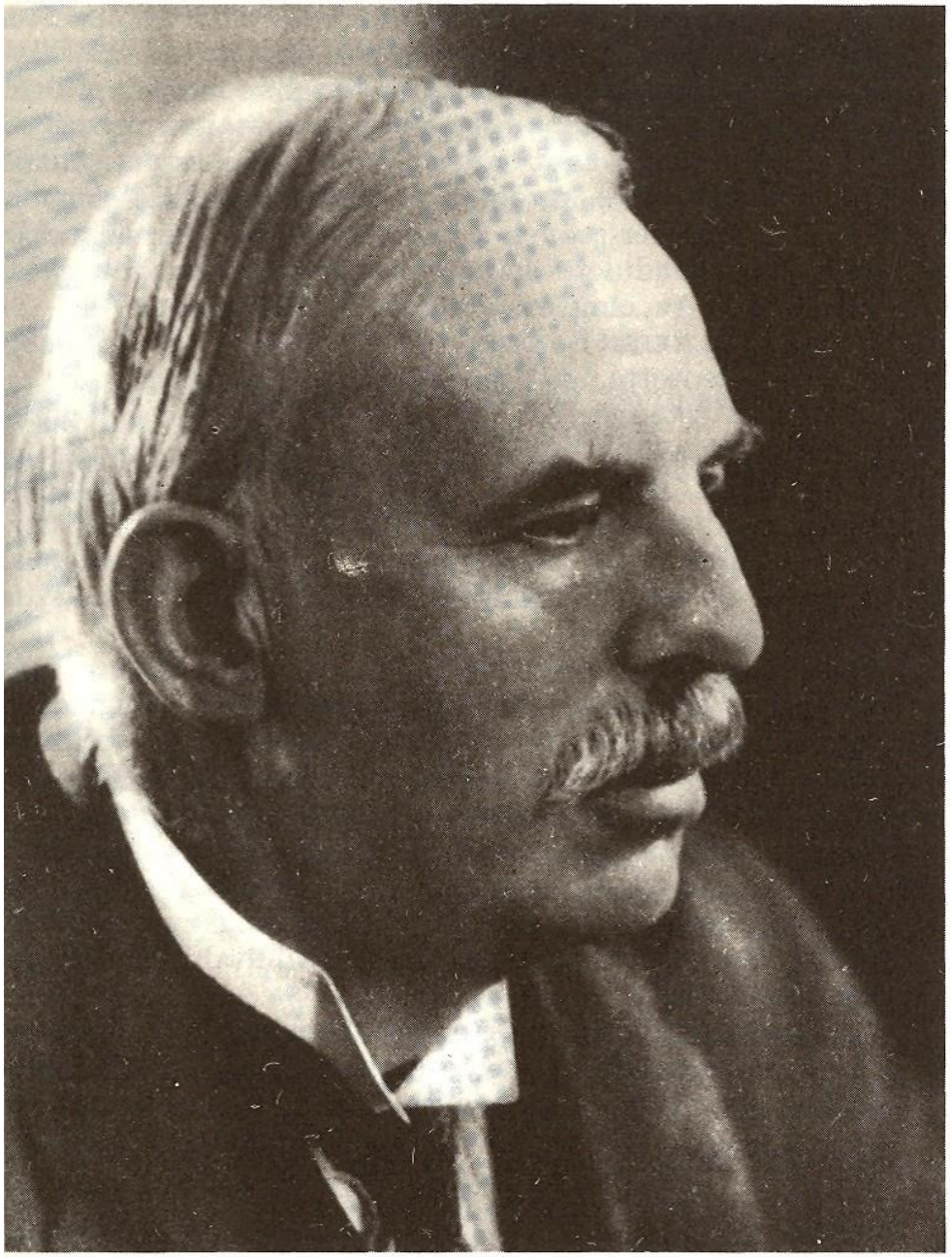


Az atomban van elektron

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



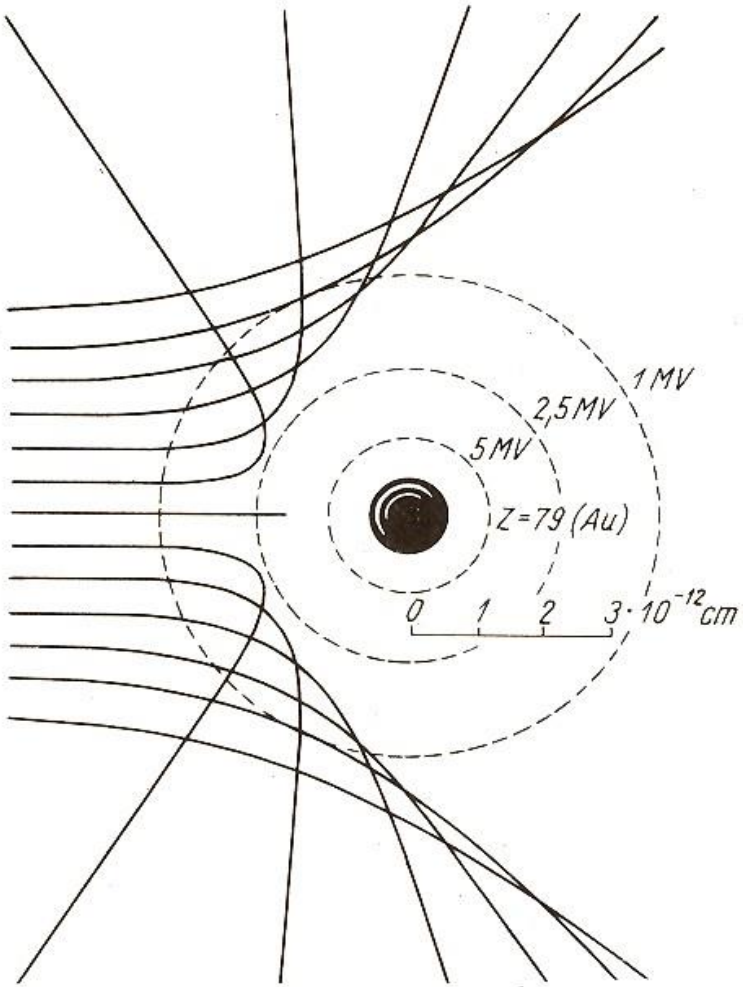
4.6 – 15 ábra

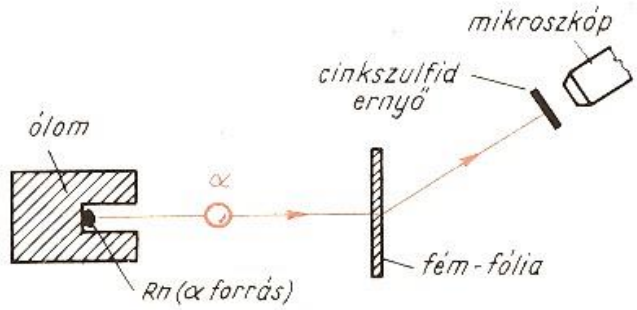
ERNEST RUTHERFORD (1871 –1937) Új-Zélandon született, angol és skót származású szülőktől. Ösztöndíjjal végzett az ottani egyetemen, 1894-ben doktorált, ezután Cambridge-ben *J. J. Thomson* mellett dolgozott. 1898-tól 1907-ig professzor Kanadában a montreali McGill egyetemen. Manchester, majd Cambridge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

Doktori disszertációja a nagyfrekvenciájú elektromágneses rezgések mágneses hatásáról szólt. Mágneses detektorával ½ mérföld távolságból tudott venni jeleket; ez ekkor (1894) világ rekordnak számított. 1895: ionizált gázok tulajdonságai; 1896-tól: radioaktív sugárzás vizsgálata; α-, β -sugárzás felfedezése; 1900: az exponenciális törvény; 1902: radioaktív bomlás elmélete; 1903 – 1908: α-sugárzás természetének tisztázása; 1911: Rutherford-féle atommodell felállítása; 1919: első mesterséges átalakítás; 1920: neutron megsejtése.

Rutherford a századforduló legnagyobb kísérleti fizikusa: az egész fizikatörténetnek is csak egyetlen nála nagyobb géniusza van ezen a téren: *Faraday*. *Rutherford* jelentőségét egyéni teljesítményén túlmenően a hozzá sereglő fiatal tudósok alkotta Rutherford-iskola hangsúlyozza. Ide tartozott: *Bohr*, *Geiger*, *Chadwick*, *Hahn*, *Hevesy*, *Blackett*, *Cockroft*, hogy csak a legismertebbeket említsük.

Epizód életéből: 1909-ben *Marsden* és *Geiger* az α-részek visszafelé szóródását észlelte vékony lemezeken; ez a jelenség vezetett az atommag felismeréséhez. *Rutherford* így emlékezik vissza: „Határozottan ez volt a leghihetetlenebb esemény, amellyel életemben találkoztam. Majdnem olyan hihetetlen volt, mintha valaki egy 15 hüvelykes gránáttal egy selyempapír darabkára tüzelne, és az visszatérve őt magát találná el."



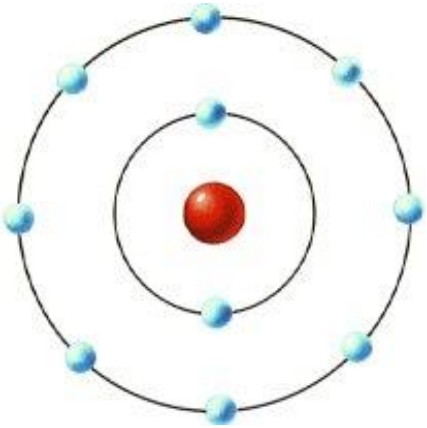


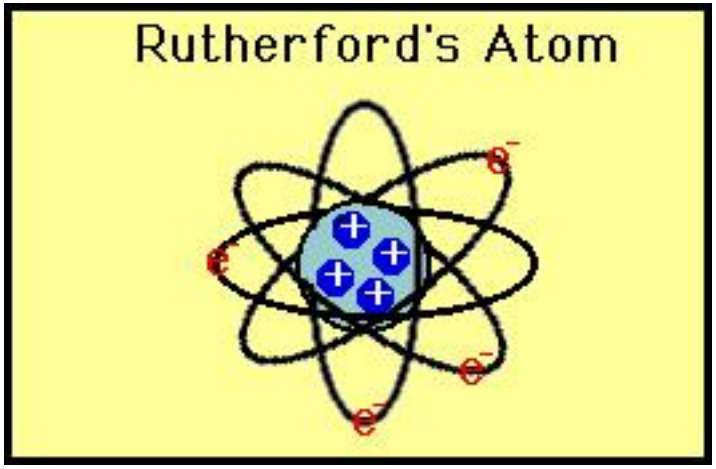
Az atommag felfedezése: a Rutherford kísérlet (1911)

Azok az α-részecskék térülnek el jelentősen, amelyek majdnem eltalálják az atommagot ($p < 10^{-11}$ cm).
Az α-részecskék többsége (> 99%) nem térül el.
Az atom tömegének nagy része (> 99,9%) igen kis térfogatban van (az atom térfogatának kevesebb mint egymilliomod részében).



Cavendish Laboratory, Cambridge





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.

Kezdettől fogva láthatók a hiányosságai:

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

Az atommagra (és Rutherfordra) még visszatérünk!!!

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

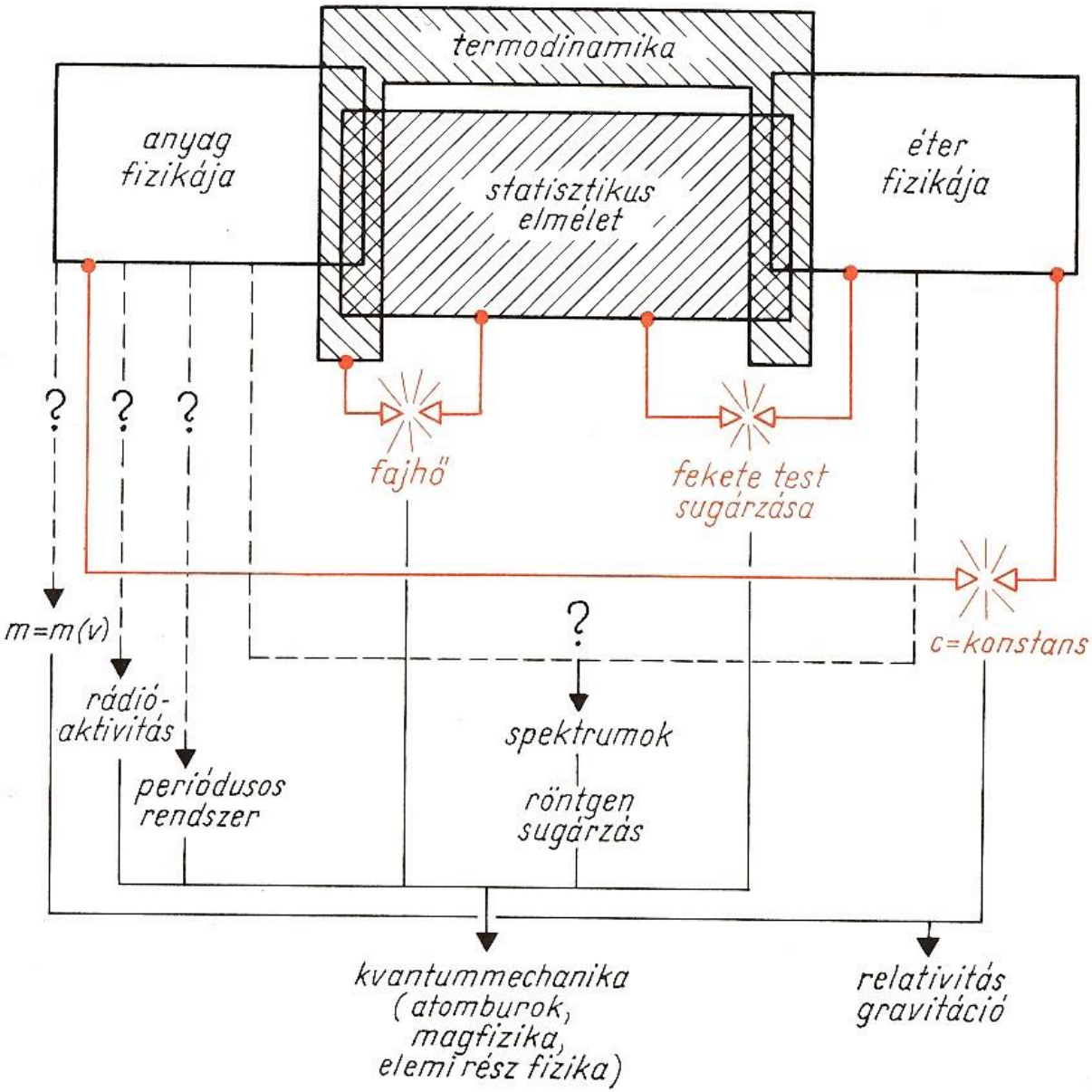
Rutherford eredménye szerint az atommag térfogata az atom térfogatának kb.

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

A XX. század fizikája,
avagy felhők a klasszikus fizika egén

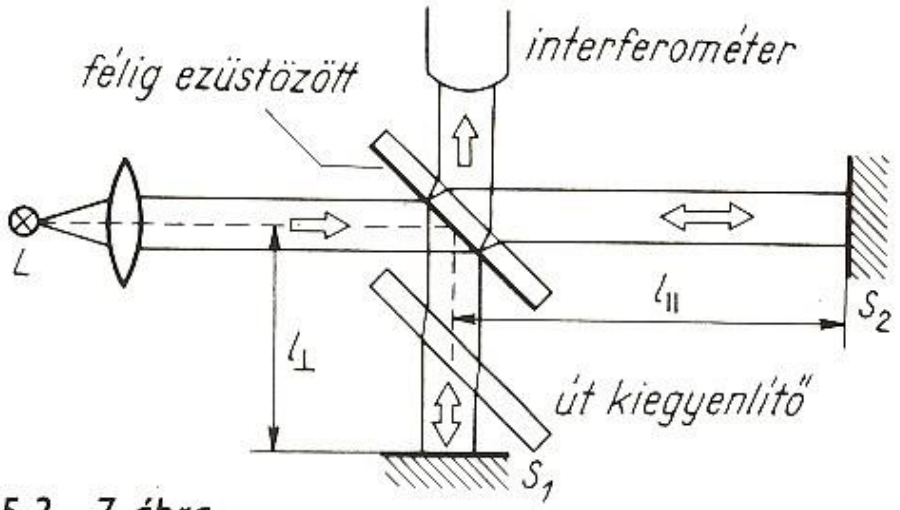
A századfordulón alig néhány fizikai probléma várt megoldásra.
A megoldások azonban végül szétfeszítették a klasszikus fizika kereteit.

„Nem az a baj, hogy még nincs magyarázat, hanem az, hogy már régóta van, de ez nem egyezik a tapasztalattal”


termodinamika
anyag fizikája
statisztikus elmélet
éter fizikája
?
?
?
fajhő
fekete test sugárzása
m=m(v)
?
c=konstans
rádió-aktivitás
periódusos rendszer
spektrumok
röntgen sugárzás
kvantummechanika (atomburok, magfizika, elemi rész fizika)
relativitás gravitáció

Az éter: a világmindenséget betöltő, az elektromágneses jelenségeket (közte a fényjelenségeket) hordozó hipotetikus közeg. A newtoni mechanikus világkép egyik utolsó maradéka, az abszolút tér megtestesítője. Az éterben nyugvó inerciarendszer a kitüntetett rendszer, csak ebben izotróp a fénysebesség.

A fénysebesség irányfüggésének mérésével a Föld sebessége az éterben megmérhető, ez a **Michelson-interferométer**rel megtehető.



5.2—7 ábra.
A Michelson—Morley-kísérlet vázlata. Az egész berendezés függőleges tengely körül elforgatható úgy, hogy $l_{\perp}$ és $l_{\parallel}$ szerepe felcserélődik



5.2—3 ábra.
ALBERT ABRAHAM MICHELSON (1852—1931) az első Nobel-díjas amerikai fizikus. 1880 és 1882 között tanulmányutat tesz Európában. 1880: interferométer (Párizs); 1881: első tájékozódó mérések a Föld éterhez képesti mozgásának meghatározására (Berlin); 1886-tól együtt dolgozik *Edward W. Morley*val. 1893-ban a chicagói egyetem tanára. 1887-ben végezte el (*Morley*val együtt) a világhírűvé vált és a relativitáselmélet alapjául szolgáló kísérletét. Fontos megállapítása: a hosszegység visszavezethető a hullámhosszmérésre.

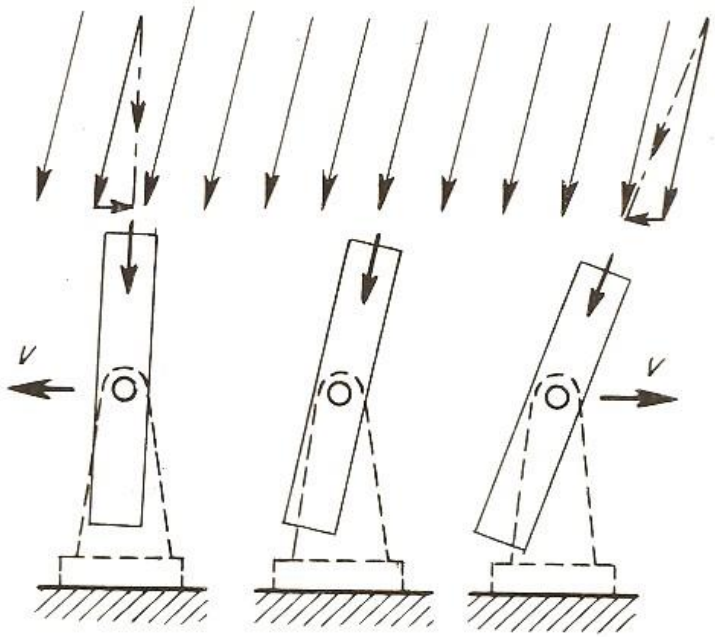
A kísérlet végeredménye

(a Föld minden részén végzett többszáz mérés alapján):

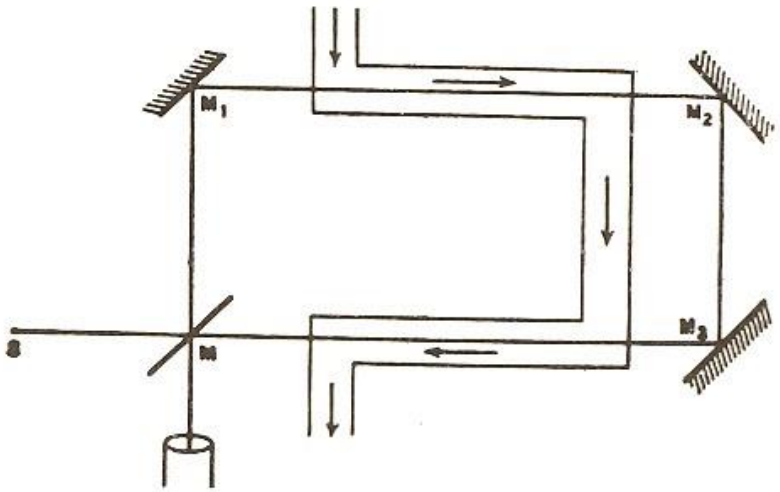
a fény sebessége minden inerciarendszerben minden irányban mindig ugyanannyinak adódik.

c=299792458 m/s

Tehát a Föld „magával ragadja” az étert!?



5.2—4 ábra
Az aberráció jelensége: a távcső tengelyét a Föld mozgása következtében a mozgás és a fény irányától függően más-más szög alatt kell beállítani



5.2—5 ábra
Fizeau kísérleti elrendezése a fény terjedési sebességének mérésére áramló víz esetében

Bradley, 1728: az aberráció mérhető, mintha a Föld nem ragadná magával az étert

Fizeau: mintha a mozgó közeg bizonyos mértékig vinné magával az étert

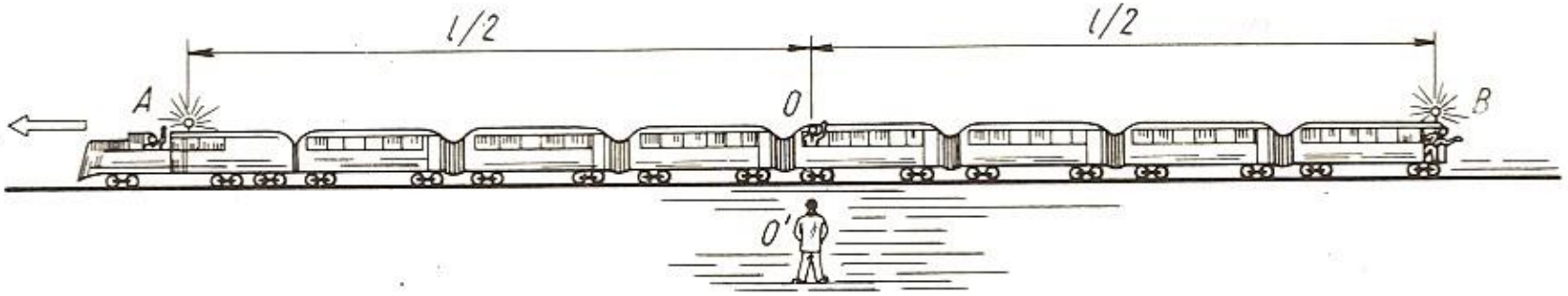
$c' = c/n + (1-n^2) \cdot v$

A megoldás: Einstein, 1905, speciális relativitáselmélet.

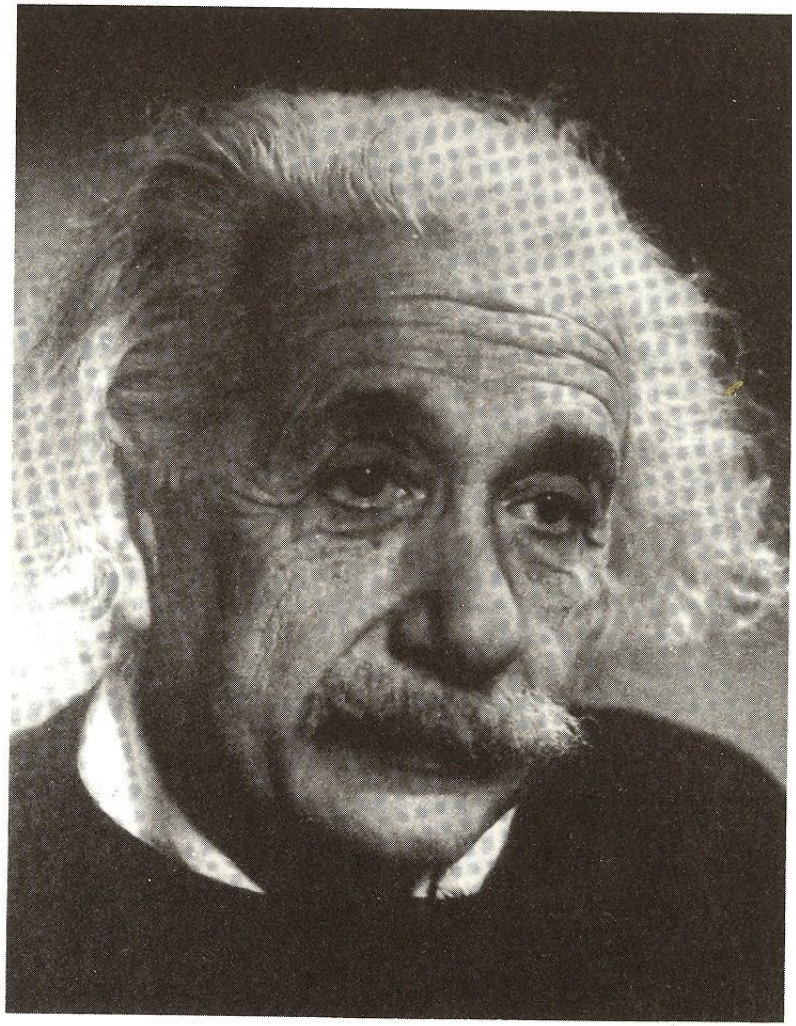
Éter nincs, minden inerciarendszer egyenértékű minden fizikai jelenség szempontjából.

Értelemszerűen a fény minden inerciarendszerben minden irányban ugyanazzal a c sebességgel terjed.

„Súlyos következmény”: nincs abszolút idő sem, minden rendszerben máshogy telik az idő.



A vonat közepén utazó és a pályatesten álló megfigyelőhöz a vonat elején és végén levő felvillanás fénye azonos időpillanatban érkezik: az utas számára ez egyúttal a két felvillanás egyidejűségét jelenti, a pályatesten álló megfigyelő szerint a vonat végén levő lámpának előbb kellett felvillannia



(mc^2)instein

5.2—12 ábra

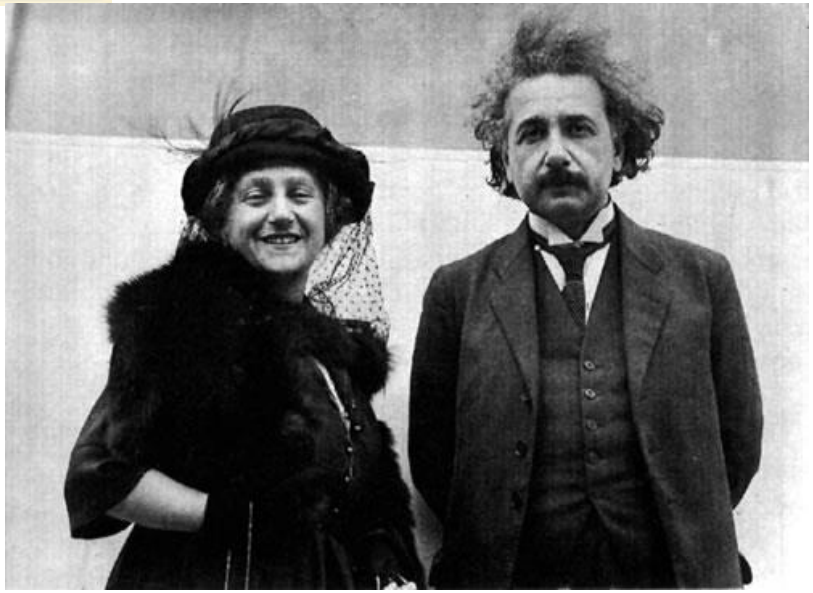
ALBERT EINSTEIN (1879—1955) a XX. század fizikájának — általánosabban —, szellemi életének egyik vezéregyénisége. 1900-ban fizikatanári oklevelet szerzett. A svájci szabadalmi hivatalban dolgozott mint „III. osztályú műszaki szakértő" 1905-ben, amikor nevezetes négy dolgozatát az *Annalen der Physik* folyóiratnak beküldte. 1909-től Zürichben, Prágában, majd ismét Zürichben tanított. 1914-től Berlinben dolgozik mint egyetemi tanár, a Kaiser Wilhelm Institut igazgatója és a Porosz Tudományos Akadémia tagja. 1933-ban az Egyesült Államokba emigrál: haláláig az Institute for Advanced Study (Princeton) professzora.

Négy alapvető dolgozata 1905-ben a Brown-mozgás elméletéről, a speciális relativitáselmélet megalapozásáról, a tömeg—energia-ekvivalencia és a relativitáselmélet kapcsolatáról, illetőleg a fényelektromos effektus elméleti magyarázatáról szól. 1916: általános relativitáselmélet; 1916: a *Planck* sugárzási formulájának statisztikus feltevésén alapuló levezetése. 1920-tól kezdve haláláig intenzíven foglalkozott az „anyag egységes elméleté"-vel. Hiábavaló fáradozása ezen a területen, valamint a kvantummechanika általánosan elfogadott értelmezésével szemben tanúsított kritikai magatartása élete utolsó évtizedeiben bizonyos fokú tudományos elszigeteltséggel járt.



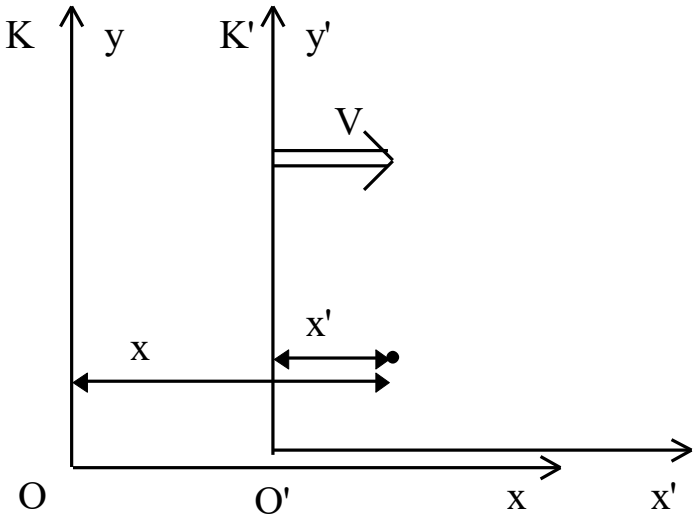
Eduard, Mileva és Hans Einstein

Elsa és Albert Einstein



A Nobel-díjjal járó pénzt teljes egészében Milevának adta kárpótlásul és a gyermekek felnevelésére

A speciális relativitáselméletnek megfelelő koordináta-transzformáció (Lorentz-transzformáció, 1904)



$$x' = \gamma\,(x - Vt) \qquad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} : \text{Lorentz faktor}$$

$$y' = y$$

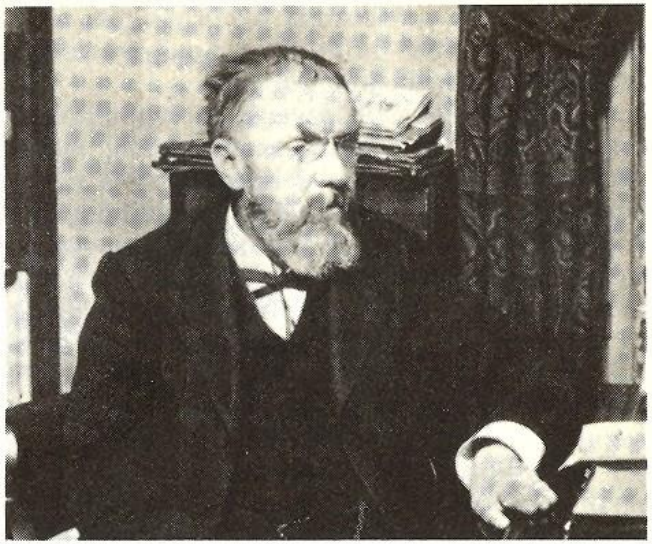
$$z' = z$$

$$t' = \gamma\,(t - \frac{V}{c^2}x)$$

$$\text{ha } V << c \quad \gamma \approx 1\,, \quad \frac{V}{c^2} \approx 0$$

Kis sebességekre továbbra is jó közelítés az x'=x-Vt, t'=t

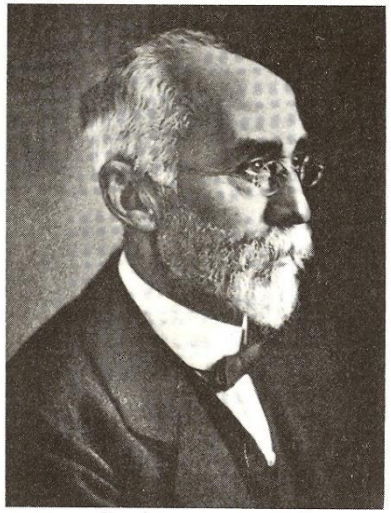
Galilei-transzformáció



5.2—13 ábra

JULES HENRI POINCARÉ (1854—1912) az École Polytechnique hallgatója; doktorátusát a differenciálegyenletek elméletéből a bányászati főiskolán szerzi. Rövid ideig Caenban tanít, 1881-től az Université de Paris professzora. 1906-ban az Académie des Sciences elnökévé választják.

*Poincaré*t elsősorban mint matematikust tartják számon: általános vélemény szerint a századforduló legnagyobb matematikusa; *Analysis situs* (1895): a topológia egységes elmélete; a kiküszöbölés módszere a $\Delta u = 0$ egyenlet megoldására megadott peremfeltételekkel *(Dirichlet* problémája); a differenciálegyenletekkel meghatározott görbékről (1878-tól; szinguláris pontok osztályozása, határciklus fogalma: a ma mérnöke a nemlineáris rezgőrendszerek elméletében találkozik velük); automorf függvények elmélete, kapcsolatuk a nem euklideszi geometriával.



Róla már beszéltünk a klasszikus elektron-elmélet kapcsán

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 electromagnetique* 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

Relativisztikus dinamika → a Lorentz-transzformációnak megfelelő dinamika:

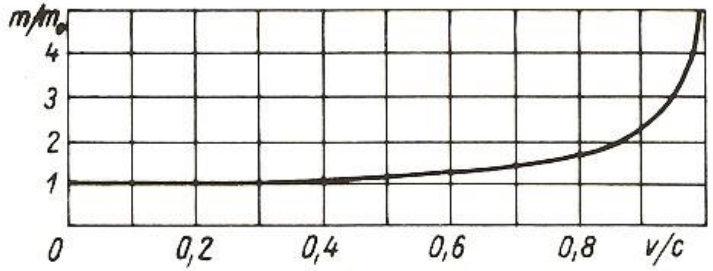
$$\frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}, \quad m\vec{a} = \vec{F}$$

→ a tömeg sebességfüggővé válik.

Einsten, 1905: ha egy test E energiát kibocsájt, akkor tömege E/c^2 –tel csökken.

Planck, 1907: Az **$E = mc^2$** teljesen általános levezetése,

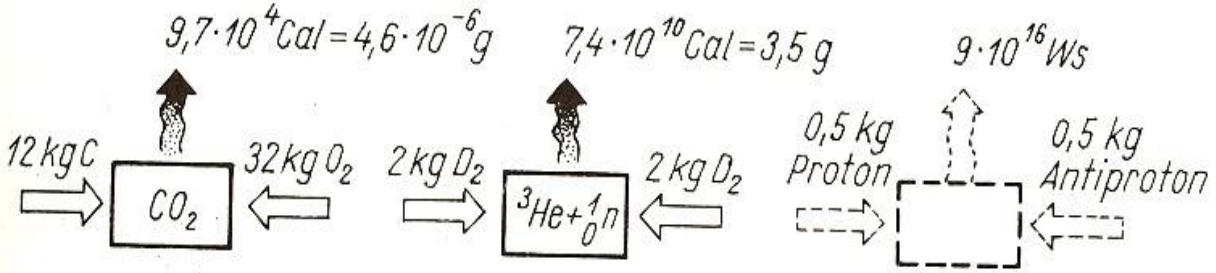
ez a **tömeg-energia ekvivalencia**.



5.2—20 ábra

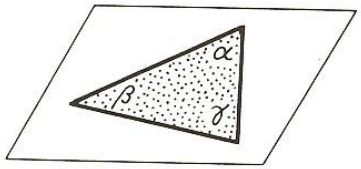
Kaufmann mérése: az elektronok tömegnövekedése a sebesség függvényében.

WALTER KAUFMANN (1871—1947) Berlinben és Münchenben tanult; 1908-tól 1935-ig Königsbergben (ma Kalinyingrád) tanár. 1897-ben megmérte az elektron fajlagos töltését, az akkori idők egyik legpontosabb értékét kapva. A nagysebességű β-részecskék segítségével végzett méréseiről 1902-ben megjelent „*Die magnetische und elektrische Ablenkbarkeit der Becquerelstrahlen und die scheinbare Masse der Elektronen*" című cikkében számol be először. Méréseit *A. H. Bucherer* ismétli meg, ill. pontosítja.



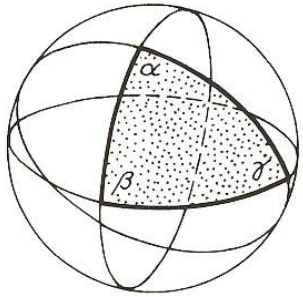
Általános relativitáselmélet
(Einstein, 1916)

(gyorsuló rendszerekben is érvényes)



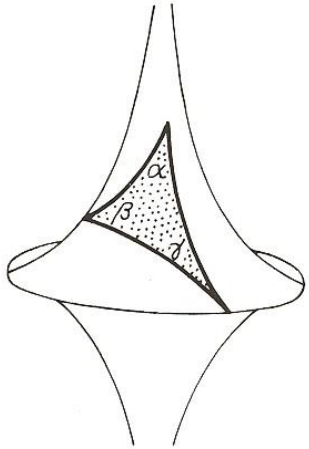
Nem euklideszi görbült terek (Bolyai, Lobacsevszkij, Gauss).

Szemléltetésük 2 dimenzióban:



Ezekben a terekben a távolság: $ds^2 = \sum g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$

A tér görbülete a térben lévő anyaggal van kapcsolatban. Felhasználja a tehetetlen és súlyos tömeg azonosságát is.



Az általános relativitáselmélet alapegyenlete:
görbületi tenzor energia – impulzus tenzor

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = -\kappa T_{ik}$$

2019 - Eötvös-év



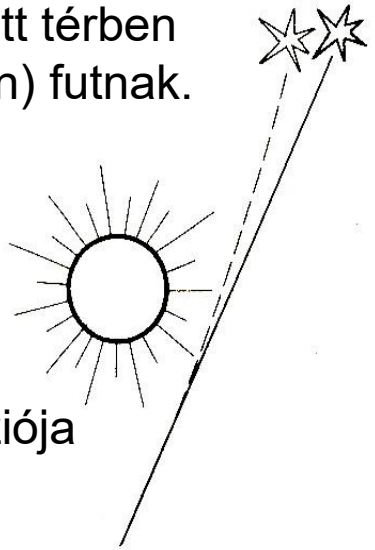
5.2—22 ábra
EÖTVÖS LORÁND (1848—1919) *Eötvös József* író fia. Nevét gravitációs vizsgálatai tették világhírűvé. Az Eötvös-inga a gravitációs tér változását méri. Érzékenysége alkalmassá teszi arra, hogy segítségével a földfelszín alatti viszonyokra következtessünk. A gravitáció és tehetetlen tömeg azonosságát akkora pontossággal (1:200 000) állapította meg, hogy azt csak mostanában tudták túlhaladni. Az általános relativitáselmélet megalkotásánál *Einstein* rá hivatkozik. Ismertebb eredménye még a felületi feszültségre vonatkozó Eötvös-törvény



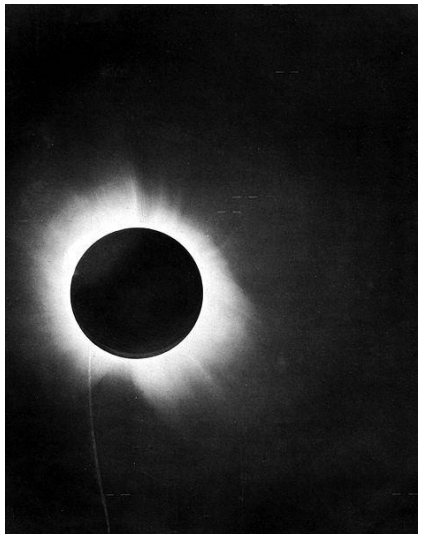
A gravitáció új elmélete:
a bolygók a Nap által meggörbített térben „egyenes pályán” (a geodetikuson) futnak.

Vannak „apró” eltérések a newtoni elmélettől:

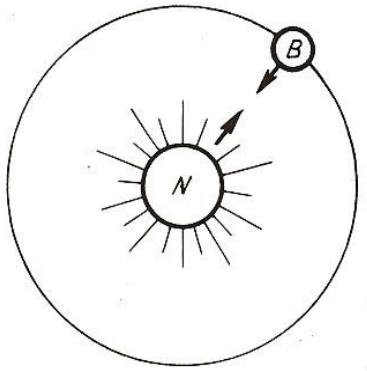
- a Merkúr perihélium precessziója
- gravitációs vöröseltolódás
- a fény útjának görbülése erős gravitációs térben



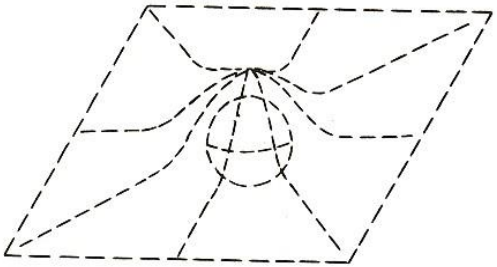
5.2 – 24 ábra
A fény az igen erős gravitációs térben elhajlást szenved



Eddington, 1919



vonzóerő hat az összekötő egyenes mentén
(Newton)



a Nap tömege a geometriai struktúrát változtatja meg
(Einstein)

Melyik állítás nem igaz a relativisztikus dinamika szerint?

a) A tömeg sebességfüggő
b) Az erő az egységnyi idő alatti lendületváltozás
c) Az erő a tömeg és a gyorsulás szorzata
d) A test tömege és energiája arányos egymással

Mi Eötvös Loránd legnagyobb tudományos eredménye?

a) A katódsugarak helyes értelmezése.
b) A speciális relativitáselmélet.
c) A tehetetlen és súlyos tömeg azonosságának megállapítása.
d) A gravitációs vöröseltolódás felfedezése.

Ki nem vett részt a speciális relatvitáselmélet megalkotásában?

a) Lorentz
b) Rutherford
c) Poincare
d) Einstein

A kvantumelmélet története

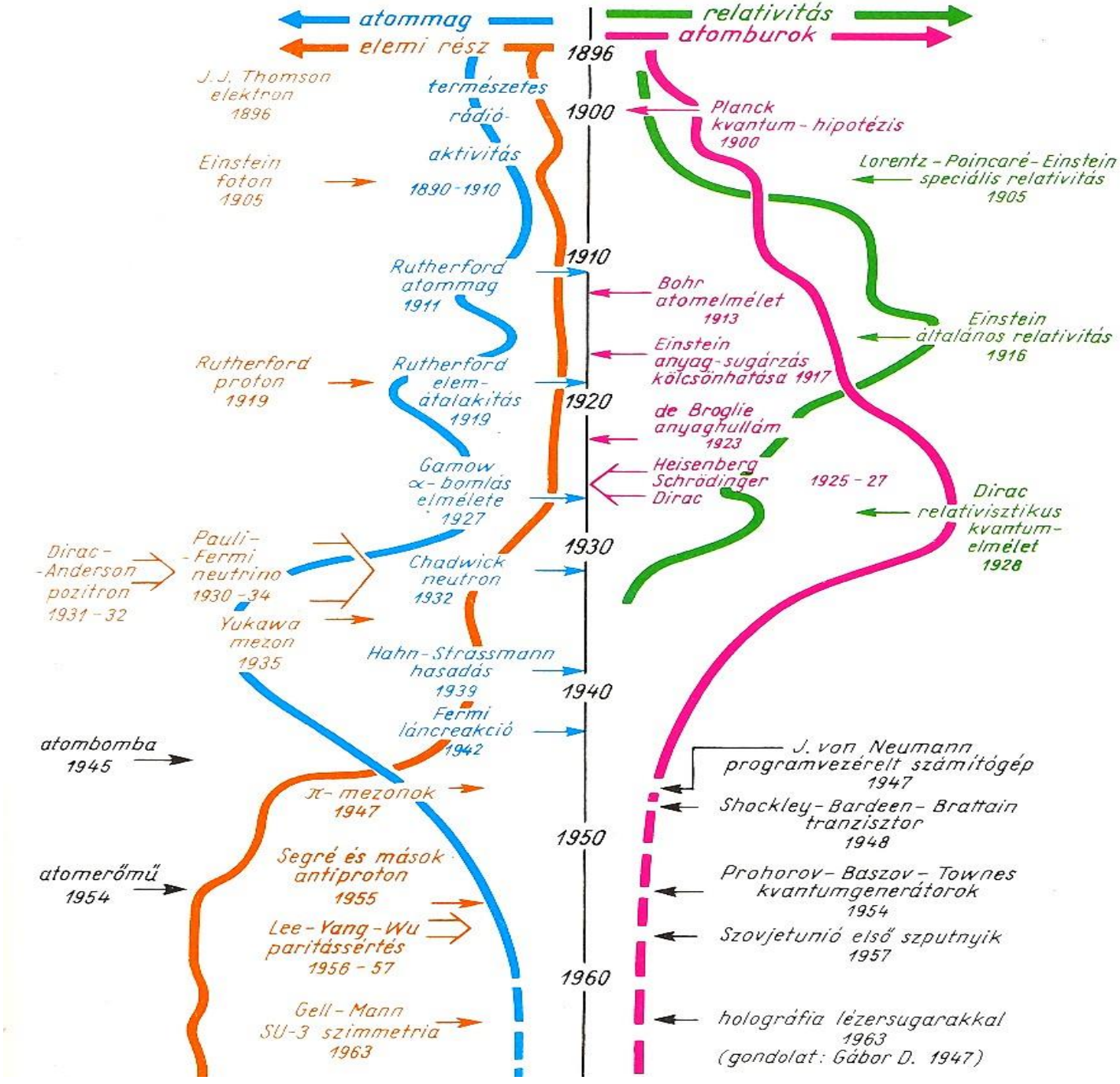
A kérdések-kérdése: tanítsuk-e a kvantumelmélet történetét

A tanítása azért nehéz feladat (többek között), mert a makroszkópikus világból származó szemléletünk nem alkalmas a jelenségek szemléltetésére.

A (meglehetősen bonyolult) egyenletek felírása és megoldása nélkül a lényeg aligha érthető meg.
→ Az elmélet lényegének megértése nélkül kell az elmélet történetét megtanulnunk.

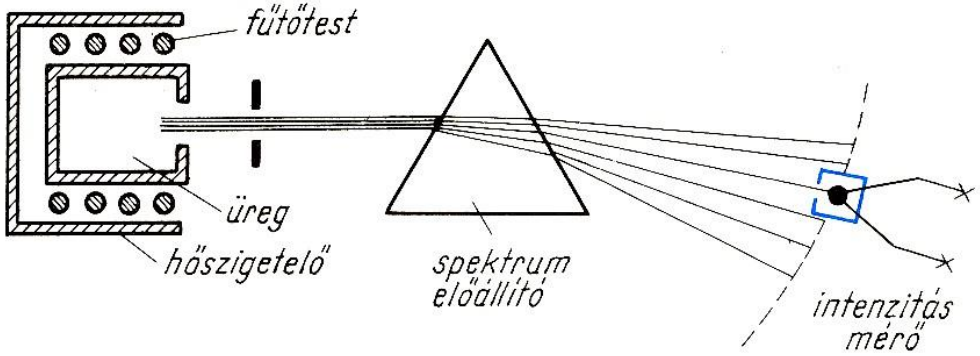
Igen nagy hiba lenne, ha valaki e kurzus után úgy érezné, hogy érti a kvantummechanikát!

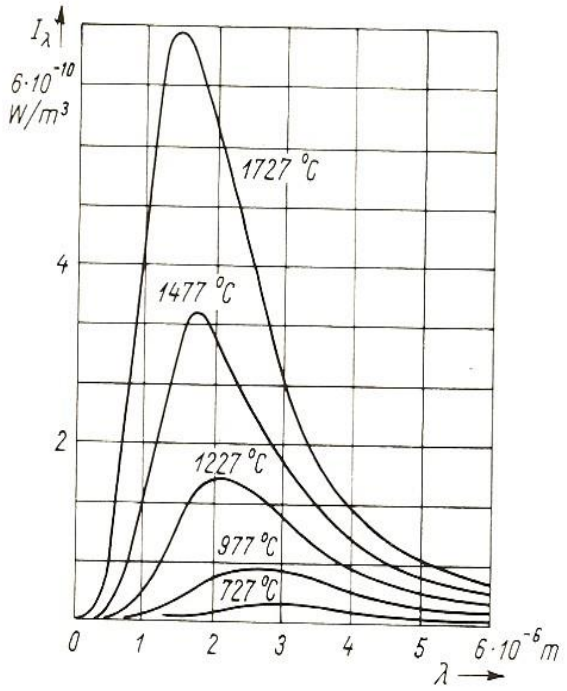
Viszont a diákokat inkább érdekli, mint a klasszikus fizika!


atommag
elemi rész
relativitás
atomburok
1896
1900
1910
1920
1930
1940
1950
1960
J. J. Thomson elektron 1896
természetes rádió-aktivitás 1890-1910
Einstein foton 1905
Planck kvantum-hipotézis 1900
Lorentz-Poincaré-Einstein speciális relativitás 1905
Rutherford atommag 1911
Bohr atomelmélet 1913
Einstein általános relativitás 1916
Einstein anyag-sugárzás kölcsönhatása 1917
Rutherford proton 1919
Rutherford elem-átalakítás 1919
de Broglie anyaghullám 1923
Heisenberg Schrödinger Dirac 1925-27
Dirac relativisztikus kvantum-elmélet 1928
Gamow α-bomlás elmélete 1927
Dirac-Anderson pozitron 1931-32
Pauli-Fermi neutrino 1930-34
Chadwick neutron 1932
Yukawa mezon 1935
Hahn-Strassmann hasadás 1939
Fermi láncreakció 1942
atombomba 1945
J. von Neumann programvezérelt számítógép 1947
π-mezonok 1947
Shockley-Bardeen-Brattain tranzisztor 1948
Segré és mások antiproton 1955
atomerőmű 1954
Prohorov-Baszov-Townes kvantumgenerátorok 1954
Lee-Yang-Wu paritássértés 1956-57
Szovjetunió első szputnyik 1957
Gell-Mann SU-3 szimmetria 1963
holográfia lézersugarakkal 1963
(gondolat: Gábor D. 1947)

A kvantumelmélet közvetlen előzményei: a hőmérsékleti sugárzás.

Az abszolút fekete testek sugárzása független az anyagi minőségtől, spektruma tehát univerzális természettörvény.





A Stefan-Boltzmann törvény ($E = \sigma T^4$) és
a Wien törvény ($\lambda_m T$ = állandó) a klasszikus fizika alapján is levezethető,
a spektrum függvény alakja viszont nem.

Planck (1900. december 14.)

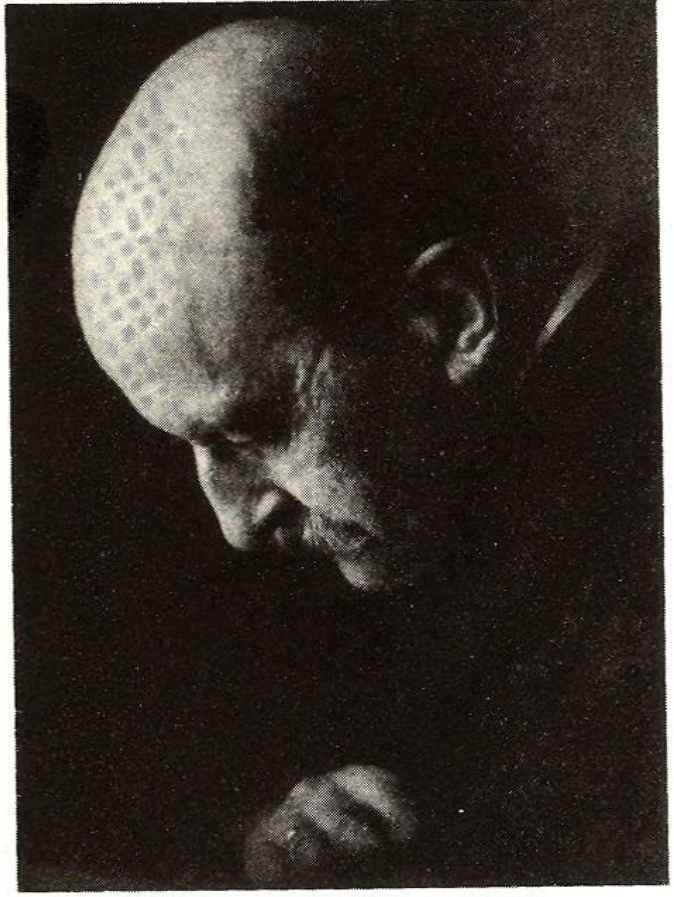
…az oszcillátorok egy véges nagyságú energiaadag egész számú többszörösével rendelkezhetnek. Az energiaadag arányos a frekvenciával.

$$E = n \cdot \varepsilon, \quad n \text{ egész}, \quad \varepsilon = h \cdot f, h = 6,63 \cdot 10^{-34} Js$$

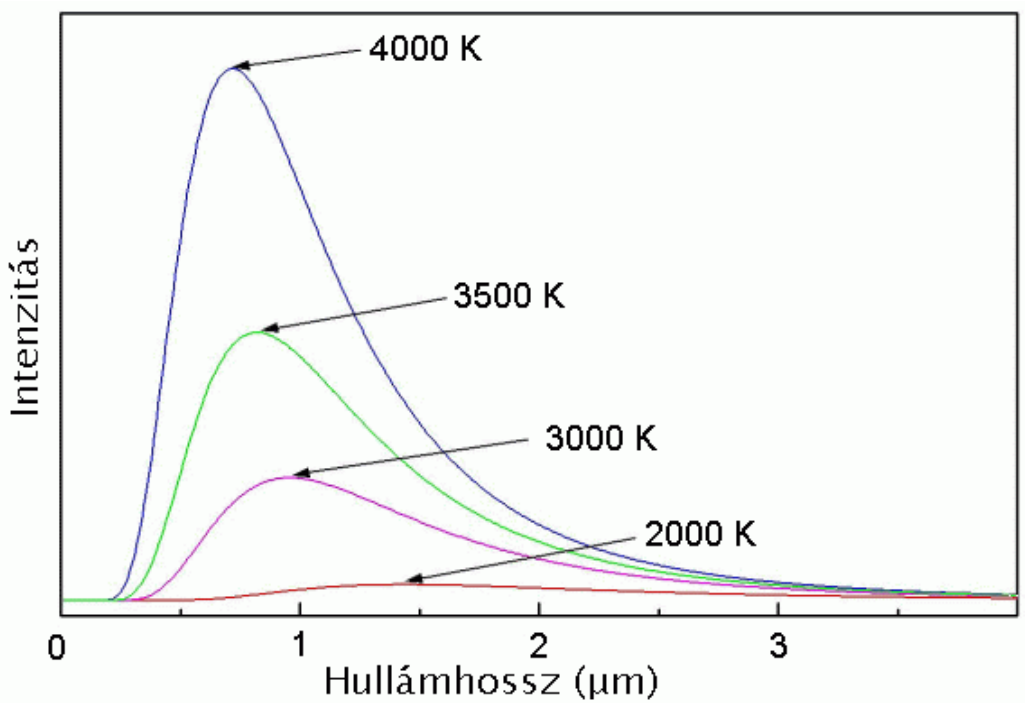
Először jelenik meg az energiakvantum.

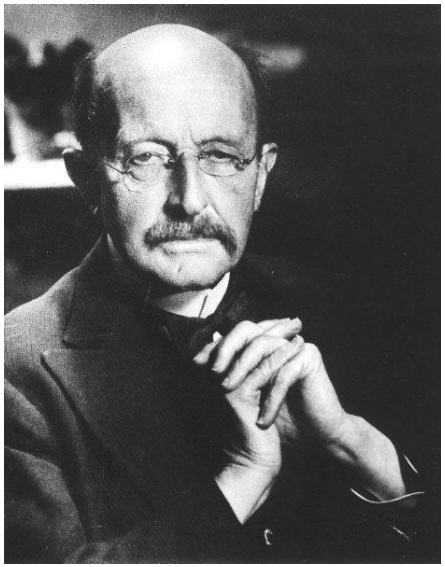
Következmény:
az ekvipartíció sérül: az üregek nagy frekvenciájú sugárzásai, illetve az alacsony hőmérsékletű kristály kisebb energiával rendelkezik az ekvipartíció által megadottól.

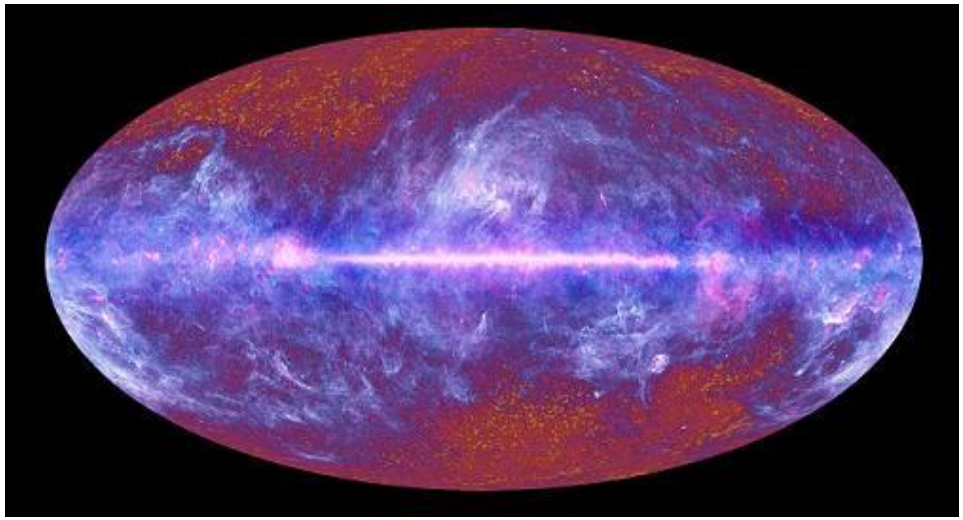
Tragikus családi sors: mind a 4 gyermeke tragikusan és korán meghalt



5.3—2 ábra
MAX PLANCK (1858—1947) Münchenben és Berlinben tanult fizikát. 1879-ben doktorált a termodinamika második főtétele témaköréből. München, majd Kiel után 1889-ben Berlinbe hívják *Kirchhoff* utódjául. *Planck* legnagyobb eredménye a feketesugárzás formulájának levezetése az energia kvantumos természetének feltételezésével (1900). Bár a kvantumelmélet további fejlődését némi fenntartással szemlélte, a legnagyobb intenzitással kapcsolódott be a relativitáselmélet kiépítésébe (1907 relativisztikus kinematika, a tömeg—energia-ekvivalencia pontos fogalmazása).



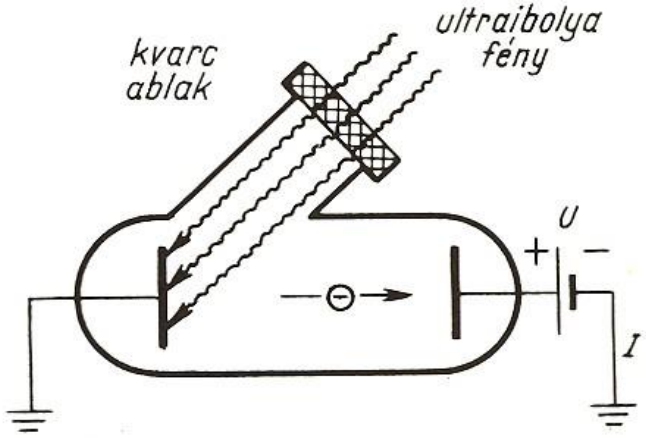




Fent: egy jobb kép Planckról

Balra fent: a Planck-törvény helyesen írja le a fekete testek spektrumát

Balra lent: a mikrohullámú háttérsugárzás eloszlása a Planck-távcsővel mérve



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 koncentrálva.

Lénárd Fülöp (Philipp Lenard)
magyar gyökereiről már volt szó, meg még lesz is.

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 és lendülete is van.

Fényelektromos egyenlete:

$h \cdot f = W_{kilépési} + E_{max}$

Milyen jelenség vizsgálata során vezette be Planck a hatáskvantumot?

a) hőmérsékleti sugárzás
b) fényelektromos jelenség
c) a H-atom leírása
d) radioaktivitás

Az alábbiak közül melyik állítás nem igaz a fényelektromos jelenségre?

a) Fény hatására elektronok lépnek ki
b) Az elektronok energiája a fény intenzitásától függ
c) A határfrekvencia alatt nincs elektronkilépés
d) Kísérletileg Lénárd Fülöp vizsgálta

Állítsuk a felfedezésük sorrendjébe az alábbi részecskéket, részeket!

a) elektron, atommag, foton
b) foton, elektron, atommag
c) elektron, foton, atommag
d) atommag, elektron, foton