

Tematika.

A radioaktivitás és a mikrorészecskék felfedezése.

Atommag és részecskefizika

1. előadás

2011. február 15.

Atommag- és részecskefizika

- 3x45 perc, egy 10 perces szünettel.
- Javaslat: 14:30-16:55
- Vizsga: írásban, mindenkinek EGY időpontban, vizsgaidőszak elején, 90 perc.
Megajánlott jegyek.
Javítás ill. elégtelen esetén szóbeli – tételek.
- Elérhetőség:
Veres Gábor, adjunktus, É. ép. 3.88 szoba
fogadó óra: szerda 14-16
vg@ludens.elte.hu

A radioaktivitás és a mikrorészecskék felfedezése

- A fizika négy aranyéve
- Radioaktív sugárzások fajtái
- Atommag felfedezése
- Hatáskeresztmetszet
- Rutherford-modell
- Atommag alkotórészei

Úton az elemi részecskék felé

- Neutron felfedezése, magerő
- Izospin
- Antianyag
- Pozitron felfedezése
- Müon felfedezése
- Pion felfedezése
- Antiproton felfedezése
- Történeti áttekintés

Kvarkok és neutrínók

- Béta-bomlás energiaspektruma
- Szalay-Csikai kísérlet
- Neutrínók fajtái, müon bomlása
- Leptonszám-megmaradás
- Rezonanciák
- V-részecskék, kaon
- Mezonok osztályozása
- Barionok osztályozása
- Kvarkmodell. Kvantumszámok
- Következmények

Mikrorészecskék kvarkokból

- Elektron-proton szórás
- Nehéz kvarkok
- Elemi részecskék osztályozása
- Ω^- részecske
- Kvarkok színe
- Mikrorészecskék összetétele
- Reakciók a kvark-képben
- A ritkaság megváltozása, gyenge bomlások

Kölcsönhatások az atommagban

- Erős kölcsönhatás
- Gluonok kölcsönhatása
- A kvarkok tömege
- A hadronok szerkezete
- Kvar-k-antikvar-k potenciál
- Magerők és erős kölcsönhatás
- Kölcsönhatások összefoglalása

Atommagok mérete, cseppmodell

- Atommagok mérete, anomális Rutherford-szórás
- μ -atomok karakterisztikus röntgensugárzása
- Nagy energiájú elektronszórás
- Maganyag sűrűségeloszlása, Woods-Saxon
- Ekvivalens magsugár tömegszámfüggése, neutronbőr, n-glória
- Cseppmodell alapjai ($V \sim A$, szomszédok kcsh, telítettség, Coulomb)
- Kötési energia (vas tó), FEKF, egyes tagok jelentése
- Izotóptérkép, stabil magok egyenlete (Colorado)

Radioaktivitás időfüggése, statisztikus jellege, természetes radioaktivitás

- Egyszerű bomlás statisztikája. $\sigma_N^2 = \bar{N}$
 $p(n)$, exponenciális bomlásv. $dN / dt = -\lambda N$
- Soros bomlás időfüggése $N_i(t) = \sum a_i e^{-\lambda_i t}$
- Radioaktív egyensúly, $A \rightarrow L$, radioaktív sorban
- Párhuzamos bomlás
- Indukált radioaktivitás, neutrongenerátor
- Elnyelődés anyagban
- Természetes radioaktív izotópok, bomlásaik (felismerése), ^3H , ^{14}C , ^{40}K , ^{222}Rn , ^{238}U , ^{232}Th
- Mesterséges izotópok a környezetünkben
- Radioaktív izotópok keletkezése (légkör, reaktor, szupernova)
- Természetes radioaktív sorok ($4n+i$)

Alfa-bomlás

- α -részecske energiája (Q , visszalökődés)
- α -részecske energiájának és α -bomlás felezési idejének kapcsolata (Geiger-Nuttal trv.)
- α -bomlás finomszerkezete
- Hosszú hatótávolságú α -bomlás
- α -bomlás mechanizmusa: alagúteffektus
- Geiger-Nuttal trv. Magyarázata
- Természetes vonalszélesség α -bomlásban és máshol
- Rutherford-szórás α -bomló atommagon (potenciálgát magassága)
- Paritássértés α -bomlásban

A gamma-bomlás tulajdonságai

- Az elektromágneses átmenetek tulajdonságai
- Belső konverzió
- Párkeltés
- A paritás operátora
- Elektromos és mágneses módusok
- Multipolaritás
- Perdületmegmaradás
- Példák EM átmenetek multipolaritására

Sugárzás és anyag kölcsönhatása

- Nehéz töltött részecskék ionizációs fékeződése (Bethe-Bloch formula)
- BB következményei (hatótáv, skálatv, részecske azonosítás)
- Elektronok energialeadása (fékeződés, ionizáció, Cserenkov)
- γ -sugárzás és anyag kölcsönhatása (fotoeffektus, Compton, párkeltés)
- Monoenergiás γ -sugárzás detektált spektruma
- Magreakción alapuló neutrondetektorok
- Visszalökődéses neutrondetektor
- Neutronforrások, neutronok osztályozása (E)

Detektorok működése

- Detektorok osztályozása
- Gáztöltésű detektorok, I-U, példák
- Félvezető detektorok működése, példák, felbontóképesség
- Szcintilláció mechanizmusa szerves szcintillátorban
- Szcintilláció szerves szcintillátorban
- Szcintillációs detektorok felépítése, működése, PMT
- Fényképezésen alapuló vizuális detektorok (buborékkamra, ködkamra, nyomdetektor, szikrakamra, magemulzió)
- Helyérzékeny gáztöltésű detektorok, TPC.
- Cserenkov detektorok
- Kaloriméterek

Neutrínódetektorok

- Szalay-Csikai ködkamra
- Reines-Cowan anti- ν_e
- Raymond Davis, ν_e
- Nap-neutrínó rejtély
- ν_e és anti- ν_e különbözősége
- ν_e és ν_μ különbözősége
- ν_μ detektálása, SNO
- Neutrínó-oszcilláció
- Mai ν -detektorok: Kamiokande, Bajkál, Gallex, Borexino,...
- Neutrínók szupernovarobbanásból

Részecskegyorsítók

- Történeti áttekintés
- Cockroft-Walton gyorsító
- Van de Graaff gyorsító
- Lineáris gyorsító
- Cyclotron
- Synchrotron
- Ionforrások
- Luminozitás
- Trigger rendszerek
- A Large Hadron Collider és kísérletei
- Kutatási lehetőségek magyar fizikushallgatóknak

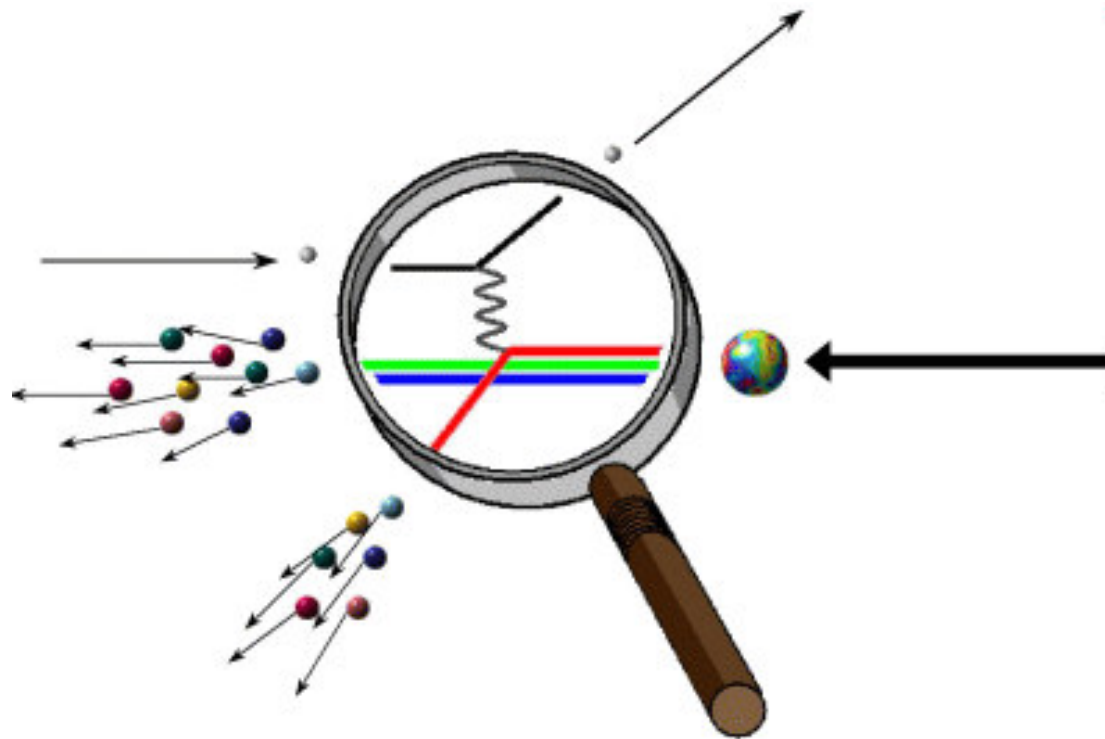
A mai részecskefizika nagy kérdései

- Higgs-mechanizmus, Higgs részecske
- Kölcsönhatások egyesítése
- Problémák a Standard Modellel
- Szuperszimmetria és keresése
- Sötét anyag. Asztrofizikai vonatkozások
- Extra dimenziók, fekete lyukak és keresésük
- Valóban oszthatatlanok a kvarkok?
- A kvark-gluon plazma és az ősrobbanás

Dozimetria

- Kockázat (kényszerített, vállalt, közlekedés, kémia, atom)
- Társadalom – átlagos munkahelyi kockázat
- A radioaktivitás egészségügyi hatása
- Dózis-egységek, D, H, H_{eff}
- Sztochasztikus, determinisztikus dózis, dózis nagyságrendek
- Dóziskorlátozások rendszere
- Természetes dózisok
- Védekezés radioaktív sugárzás ellen. ALARA elv.
- Pontszerű forrás dózisának meghatározása
- Nukleáris balesetek és bombakísérletek, hatásuk

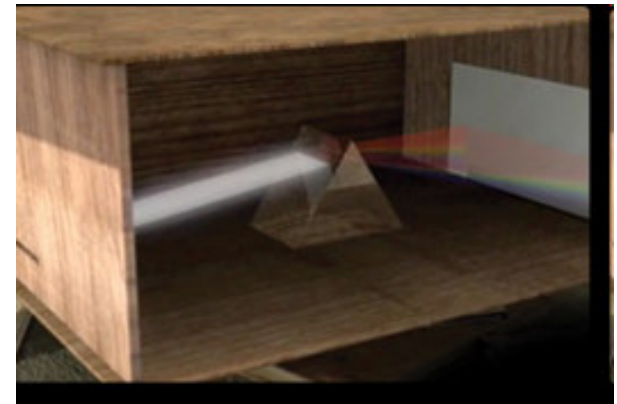
Mikor/hogyan kezdődött a modern részecskefizika?



Ritter: ibolyán túli sugarak

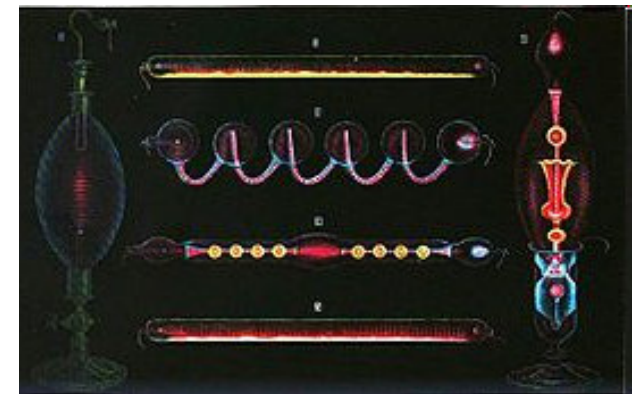


- 1800: Herschel: infravörös
- 1801: Johann Wilhelm Ritter:
„hűtő” sugárzást kereste, de helyette:
„oxidáló sugarak” felfedezése
 - Napsugárzást prizmán felbontotta
 - Ezüst-kloriddal átitatott papír megfeketedése az ibolyán (kicsit) túli sugarakkal (fényel)
 - Láthatatlan sugárzás, kémiai hatása van!
 - Első bizonyíték az ibolyán túli sugarakra
- A spektrum másik fele: hőszugarak
- Mai nevük: ultraibolya és infravörös
 - Ma már tudjuk hogy mindkettőt fotonok alkotják



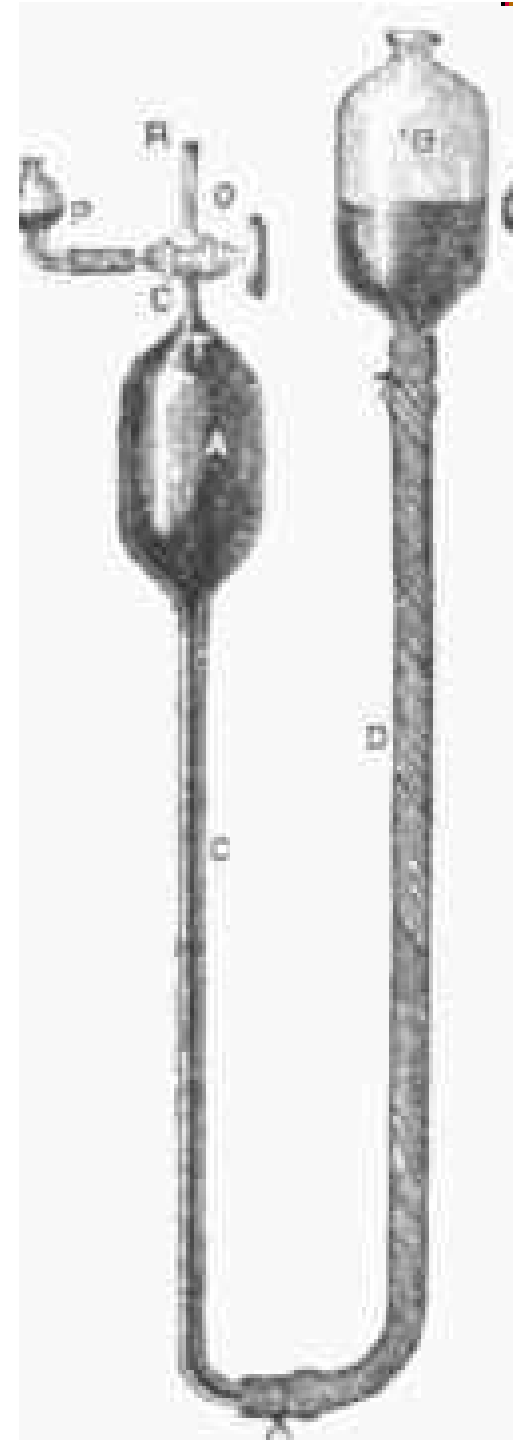
Geissler-cső

- Heinrich Geissler: 1857
- Geissler-cső megalkotása:
 - Kis gáznyomású elektromos kisülési cső (üveg)
 - Ne, Ar, Hg, stb gázokkal
 - Ionizáció (elektromos feszültséggel)
 - Vákuum: saját feltalálású kézzel tekerhető higanyos vákuumpumpával, 0,0001 atm.
- Későbbi technikai alkalmazások: vákuumcső, neoncső, drótnélküli kommunikáció (rádió, TV)



Geissler-pumpa

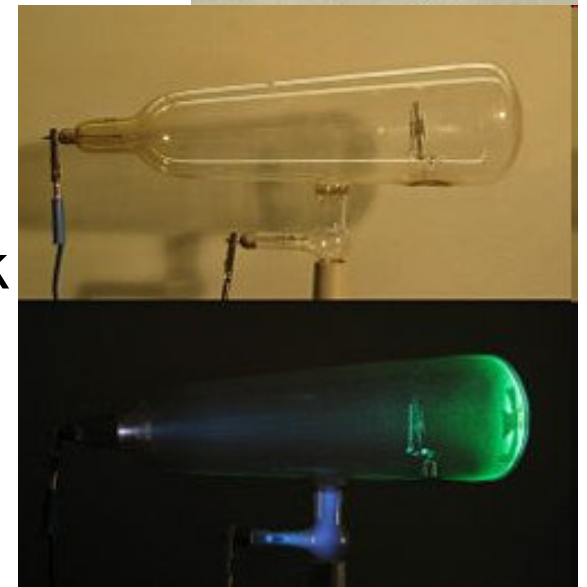
- Toricelli-elv, higannyal
- *A* kiürítendő cső *R*-hez csatlakozik
- *A* *B* tartályt leeresztjük
- Az *A* tartályban leereszkedik a Hg
- *R*-ből szívóhatás
- Csapot elzárjuk
- *B*-t felemeljük
- *A*-ba visszamegy a Hg
- *P*-n keresztül kiáramlik a gáz
- Ismételjük.



Crookes-cső

- William Crookes
- Katódsugárcső megalkotása 1869-75
- Vákuumos üvegcső 2 elektródával
- $1e-6$ – $1e-7$ atm nyomás
- Hidegkatódos
- Természetes ionizációból származó elektronok gyorsulnak a pozitív elektróda felé
- Ionok gyorsulnak a negatív e. felé
- Sok elektront kiütnek: elektron-utánpótlás
- Elektron szabad úthossz $>$ cső hossza
- Nagy impulzus: elektronok továbbrepülnek
- Gerjesztik az üvegben az elektronokat, zölden világít

Később: katódsugarak, azaz elektronok felfedezése,
Röntgensugarak felfedezése



Indukciós tekercs (Ruhmkorff)

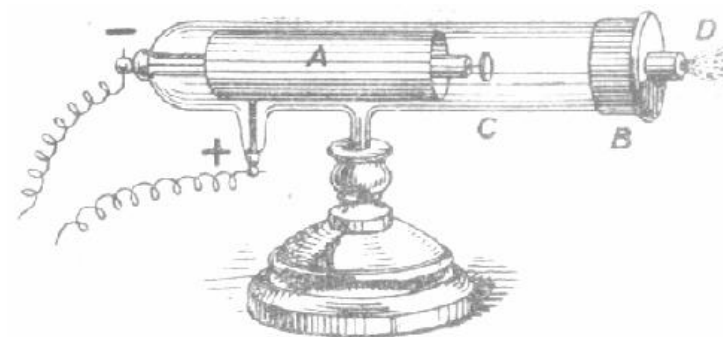
- Kis menetszámú tekercsbe áramot vezetünk
- Nagy közös vasmag
- Nagy menetszámú tekercs a felső elektródákhoz kötve
- Megszakítjuk a kis menetszámú tekercs áramát
- Nagy feszültség indukálódik
- Periodikus megszakítás (csengő elven)

Ez adta a nagyfeszültséget a vákuumcsövekhez



Katódsugárzás vizsgálata

- Lénárd Fülöp, MTA tagja, 1905: első magyar Nobel-díj
- Eötvös Loránd demonstrátora
- 1888 körül: Lénárd-ablakos katódsugárcső megalkotása
- A katódsugarak ezen a vékony fémfólián ki tudtak jutni a csőből
- Katódsugarak elnyelődése a sűrűséggel arányos (nem EM sugárzás)
- Néhány cm-re a levegőben is eljutnak: a sugarak kisebbek mint a levegő molekulái
- Az atomok nagyrészt üresek
- UV fény határása keletkezett sugárzás is olyan mint a katódsugárzás. Hullámhosszfüggés felismerése.



Technológiai újítások vezetnek alapvető fizikai felfedezésekhez!!

A fizika négy aranyéve I.

1895 Wilhelm Conrad Röntgen:

A röntgensugárzás felfedezése és előállítása

(1901: első fizikai Nobel-díj)



Vákuumcső-kísérletek (Crookes-cső), kisülések vizsgálata

Fekete kartondobozzal letakarva, de a dobozon KÍVÜL elhelyezett $\text{BaPt}(\text{CN})_4$ festék felvillant a sötétben!

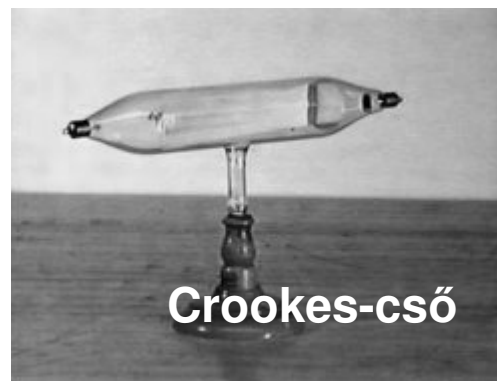
Újfajta sugárzás, áthatol papíron, könyveken.

Publikáció: Nature 53, 274-276 (1896)

Keletkezése:

fékezési sugárzás (bremsstrahlung)

karakterisztikus röntgensugárzás
(fluoreszcencia)



Mire jó még a röntgensugárzás?

- Pl. elemanalízisre, műtárgyak elemösszetételének roncsolásmentes vizsgálatára
- Röntgen-fluoreszcencia-analízis (nem mind arany ami rézlik)
- ELTE Atomfizikai tanszéken is: hallgatói labor
- ELTE I. MSc labor, RMKI: választható mérés:
 - http://atomfizika.elte.hu/magfiz/haladolabor/meresleirasok/9/9_oldal.html
 - <http://pixe.rmki.kfki.hu/>



A fizika négy aranyéve II.

1896 Henri Becquerel:

A radioaktivitás felfedezése (1903: Nobel-díj)



Technika: véletlen + fotopapír

- Teljesen más témán dolgozott:
 - van-e köze a foszforeszkáló anyagoknak és a röntgensugárzásnak?
 - Fekete borítékba tett fotopapírra helyezett foszforeszkáló anyagokat
 - Minden eredmény negatív lett... kivéve az uránsók esetén.
 - Ez viszont előzetes megvilágítás **nélkül** is működött!
- Újfajta sugárzás: Bequerel-sugarak. (ma: gamma-sugarak)

Az uránsók radioaktivitásából a gamma-sugárzást érzékelte – megfeketedés

gamma-sugárzás: atommag gerjesztett állapota megváltozik



A fizika négy aranyéve III.

1897 Az elektron e/m meghatározása:
Joseph John Thomson (1906: Nobel-díj)

Technika: elektromos és mágneses eltérítés

A Lénárd-sugarak sokkal távolabbra hatolnak, mint amit atomi méretű részecskék tudnának.

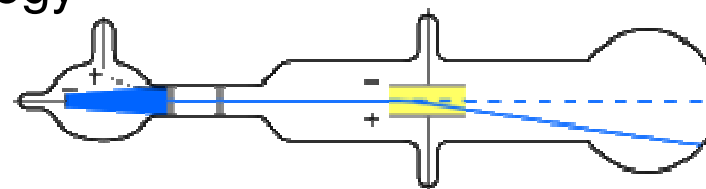
Mérés: mágneses térben való eltérülés és a sugarak fékeződése által keltett hő összevetése

A korpuzkulák tömege független attól hogy milyen anyagból jöttek ki! Univerzális építőelem.

Megfelelő vákuumban az elektromos és mágneses eltérítés összehasonlításával töltés-tömeg arány. Több mint ezerszer nagyobb mint a H-ion esetén!

Atommodellje: elektronok pozitív töltésű pudingban

Jelentősége: elfogadottá vált, hogy az elektron egy részecske, és nem hullám



1886: E. Goldstein: anódsugarak (ionok): sokféle tömegűek, nem elemiek...

Thomson kísérletei I.

- N elektron v sebességgel, Q össztöltéssel becsapódik egy ismert hőkapacitású céltárgyba:

$$Ne = Q$$

$$(1/2)Nmv^2 = W.$$

ρ a pályasugár H mágneses térben:

$$mv/e = H\rho = I$$

Ebből pedig:

$$(1/2)(m/e)v^2 = W/Q .$$

$$v = 2W/QI ,$$

$$m/e = I^2Q/2W.$$

Thomson kísérletei II.

- F elektromos térben l repülési úthosszon, l/v idő alatt ér át a nyaláb. Az eltérülés szöge:

$$\theta = (Fe/m)(l/v^2)$$

- H mágneses tér hatására pedig az eltérülés szöge:

$$\varphi = (He/m)(l/v) .$$

- Ebből pedig:

$$v = (\varphi/\theta)(F/H), \text{ és}$$

$$m/e = H^2\theta/F\varphi^2$$

- A kísérletben H úgy volt beállítva, hogy $\varphi = \theta$; legyen, ebben az esetben pedig:

$$v = F/H$$

$$m/e = H^2/F\theta$$

A fizika négy aranyéve IV.

1898 A radioaktivitás forrásának

meghatározása: Marie Curie
(2 Nobel-díj: 1903, 1911)

Technika: kémiai recept arra, hogyan lehet a *rádiumot* kivonni az uránszurokércből. A rádium és bárium nagyon hasonlóak, nehéz őket szétválasztani.

1 tonna uránércből 0,1g rádium-klorid.

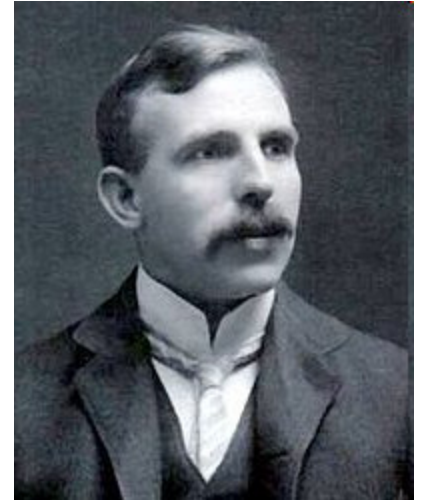
Jelentősége: radioaktív preparátumok előállítása, ettől kezdve megindult a kísérletezés vele

Sugárvédelmi vonatkozások: eredeti jegyzetei csak védőfelszereléssel olvashatók, annyira radioaktívak. Az egészségügyi hatások akkor még ismeretlenek voltak.

<http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz9611/radv9611.html>



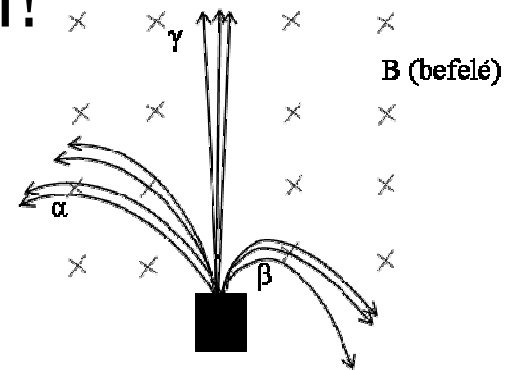
Alfa- és béta-sugárzás



- Ernest Rutherford, 1899
- Nobel-díj (1908) – kémia
- Tórium és uránium sugárzását vizsgálta
- Áthatolóképesség alapján kétféle sugárzás: **alfa** (kis) és **béta** (nagyobb) áthatolóképesség.
- Geigerrel cink-szulfid képernyőn számolták az alfákat, és töltésüket is megmérték: kiderült, hogy 2 a töltése!
- 1907: alfa sugárzást engedtek vákuumcsőbe, a kisülésben megjelentek a hélium színeképvonalai. Tehát a hélium atommagja!

Gamma sugárzás

- Paul Ulrich Villard: a rádium sugárzásában felfedezte a gamma-sugarakat, 1900
- Leárnyékolt rádiumsó sugárzását vizsgálta
- Vékony ólomfóliát tett rá, ezek leárnyékolták az alfa-sugarakat
- A maradék sugárzások egyik fajtáját a mágnes eltérítette
- A harmadik, ismeretlen fajtát nem! Megfeketítette a fotópapírt.
- Rutherford elnevezte ezt a sugárzást gamma-sugárzásnak.



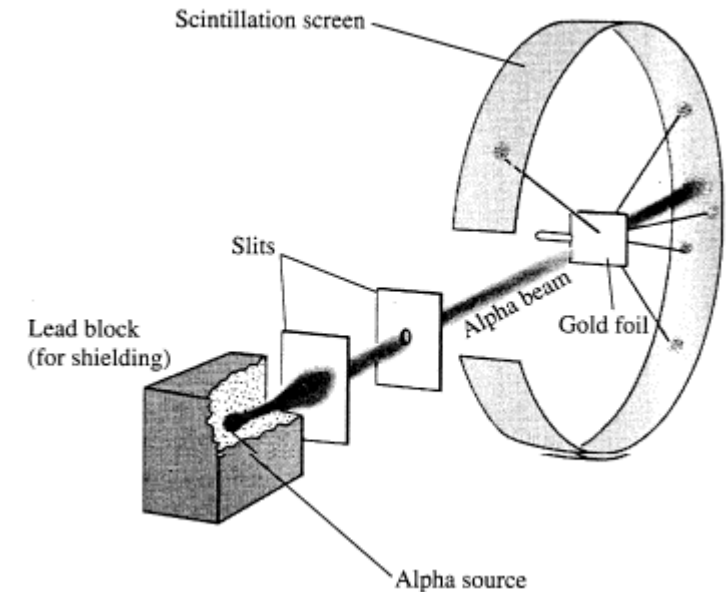
Az atommag felfedezése

Hans Geiger and Ernest Marsden, 1909:
Alfa-részecskékkel bombáztak arany fóliát
(forrás: RaBr_2).

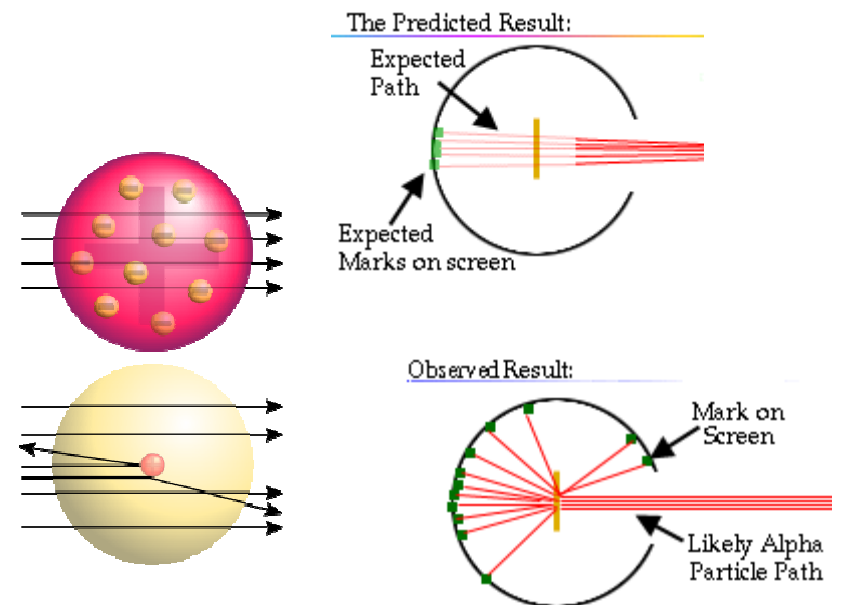
Minden 8000. alfa több mint 90 fokkal
eltérült!

1911 Rutherford: magyarázat: kicsi pozitív
atommag, körülötte elektronok

Eredmény: az arany atommag kisebb mint
45 fm ($=45 \times 10^{-15} \text{ m}$), mivel ennyire tudja
megközelíteni az alfa az atommagot a
Coulomb-térben ($E=5\text{MeV}$ esetén).

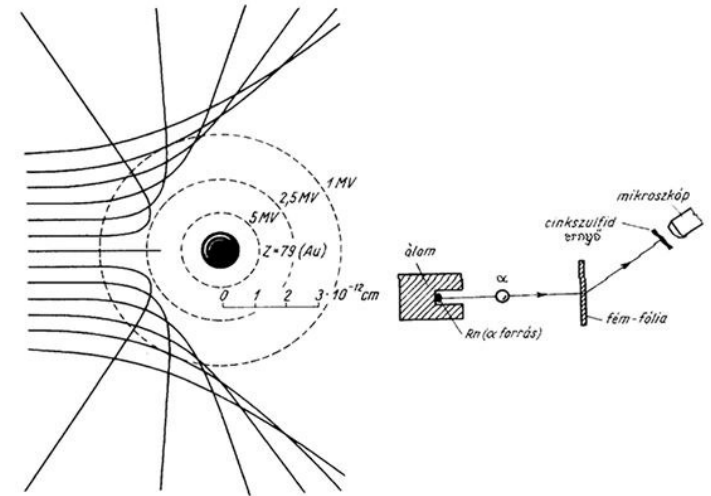


szcintilláló festék ZnS
mikroszkóp
sötétbe edzett szem



A Rutherford-kísérlet eredménye

- A szóródás szögeloszlása
(ϑ szög valószínűsége)
pontszerű szórócentrumnak
megfelelő: $1/\sin^4(\vartheta/2)$



- Az atommag méretére felső határ
a legkisebb megközelítés távolsága:

$$E_{kin} + E_{helyzeti} = \frac{1}{2}mv^2 + 0 = 0 + \frac{Z_{\alpha}Z_{Au}ke^2}{r} = 5MeV$$

$$r = \frac{2 \cdot 79 \cdot 1,44MeVfm}{5MeV} = 45,5 fm$$

Valójában az arany atommag kb 7 fm sugarú, tehát nem történt rugalmatlan ütközés

Rutherford-szórás alkalmazása

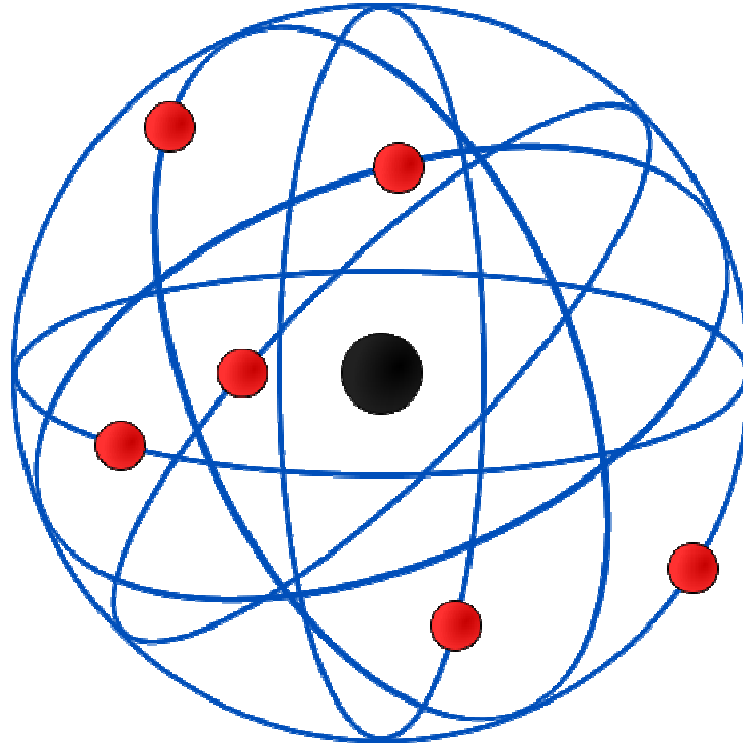
- Most 100 éves a Rutherford-atommag!
- Rutherford-visszaszórás: elemanalitikai módszer, napjainkban is!
- I. éves MSc labor mérés lesz (RMKI, 5 MeV VdG részecskegyorsítónál):

http://atomfizika.elte.hu/magfiz/haladolabor/meresleirasok/6/6_oldal.html

Hatáskeresztmetszet

- Atom és magfizikai reakciók valószínűségére jellemző felület dimenziójú mennyiség, egy reakció valószínűsége: $p = \sigma/A$.
- Fluxus: j , céltárgy magok száma: N_c , részecskeáram: I . Ekkor a reakcióráta:
$$dN_r/dt = \sigma j N_c = \sigma (I/A) (\rho A dx) = \sigma I \rho dx$$
- differenciális hatáskeresztmetszettel:
$$(1/\Delta\Omega)(dN/dt) = (d\sigma/d\Omega) j N_c$$
- egysége: 1 barn = $1 \text{e}-28 \text{ m}^2$ (=100 fm²)

A Rutherford-atommmodell



Az atom tömege kis pontban koncentrálódik, ami pozitív töltésű.
Körülötte elektronok keringenek.
A periódusos rendszerbeli hely (atomszám) és a mag töltése
közötti összefüggést NEM állítja.

Később: elektronok számát röntgensugárzással meg lehetett számolni

Mennyire helyes?

- Nincs benne neutron,
 - Nincs benne proton sem,
 - nem ismeri az elemi részecskék többségét,
 - Nem ismeri az elektronhullámot
 - Az energia nem kvantumos benne
-
- De felismerte az atommag létét
 - Meg lehet határozni az atommag tömegét!
(Adott szögbe szóródott alfák energiájából.) RBS