

Fizika II. (2011. május 9.)

Tartalom

Az elektromos mező	4
Elektromos alapjelenségek, elektromos töltés.....	4
Elektromos erő: térerősség	5
<i>Coulomb törvénye.....</i>	5
<i>A dipólus.....</i>	6
<i>Árnyékolás, szigetelés, polarizáció, elektrosztatikus feltöltődés</i>	10
Az elektromos feszültség, potenciál.....	10
<i>Feszültség.....</i>	11
<i>Potenciál.....</i>	12
Elektromosság a közlekedésben.....	16
<i>A munkavégzés legkisebb védőtávolsága</i>	16
<i>Elektromos járművek.....</i>	17
Kondenzátorok	18
Az elektrosztatikus mező hatása az anyagra	22
<i>Polarizáció</i>	22
<i>Ferroelektromosság.....</i>	23
<i>Piezo – elektromosság.....</i>	23
<i>Piroelektromos hatás.....</i>	24
Az elektromos áram és a mágneses mező.....	25
Az elektromos áram	25
<i>Áramforrások.....</i>	26
<i>Fogyasztók.....</i>	29
<i>LED</i>	30
<i>Áramkörök felépítése.....</i>	32
Mágneses mező	33
<i>A Föld mágneses mezeje.....</i>	36
A mágneses erő	38
A mágneses indukció jelensége.....	41
Mágneses mező az anyagokban	41
Generátorok – erőművek	43

Elektromos motorok	46
<i>Szénkefés egyenáramú motor</i>	46
<i>Léptetőmotor</i>	48
<i>HUB-motor</i>	49
A váltakozó áram	51
<i>A szinuszosan váltakozó áram matematikai leírása</i>	52
<i>Tranzisztorok, vezérelt kapcsolók</i>	54
Az elektromágneses hullámok.....	57
<i>Hogyan alakul ki a hullámmozgás?</i>	57
<i>A fény elektromágneses hullám</i>	58
<i>Maxwell egyenletek</i>	60
<i>Az elektromágneses hullámok családja</i>	63
<i>A színek</i>	64
<i>Polarizáció, folyadékkristályok</i>	65
<i>Színképek</i>	66
<i>Az atomok és a fény</i>	69
<i>Hologrammok, interferencia</i>	71
Kommunikáció elektromágneses hullámokkal	73
<i>Digitális és analóg jelek</i>	73
<i>Antenna, moduláció</i>	75
<i>GSM, Bluetooth</i>	78
Képzőmódszerek	80
<i>Fényképezés, a fényelektromos hatás</i>	80
<i>Atomerő-mikroszkóp</i>	82
<i>Hőmérsékleti sugárzás</i>	85
<i>Radar</i>	85
<i>Röntgen sugarak</i>	87
Atomfizika – Radioaktivitás.....	87
<i>A radioaktív sugárzás három összetevője</i>	88
<i>Bomlástörvény</i>	92
<i>Hétköznapi sugárzások</i>	93
<i>Sugárveszély</i>	94
Miből van a világ? - Kvantumfizika	96
<i>Részecske, hullám kettősség</i>	96
<i>Az atom különböző energiájú állapotai</i>	96
<i>A kvantumfizikai modell</i>	98

<i>Az atom finomított Bohr modellje</i>	99
<i>energiasávok, szilárdtestek</i>	102
<i>Sárga és rózsaszínű arany</i>	103
<i>Fém – nanoshell anyagok</i>	105
A mechanika kiterjesztése nagy sebességű mozgásokra	106
<i>Hétköznapi tapasztalatok</i>	106
A fény sebessége	106
<i>A Lorentz-transzformáció</i>	107
<i>A téridő</i>	108
A világegyetem felépítése: csillagok, bolygók, galaxisok, fénysebesség, a tér és időskálák	109
Eszköze: megfigyelés – kísérlet - mérés:	110
<i>Égi ködfoltok távolságának mérése</i> :.....	110
<i>Más galaxisok szinképeinek elemzése: vöröseltolódás</i>	110
<i>Kapcsolat a távolság és a vöröseltolódás között</i> :.....	111
<i>Mi a lehetséges magyarázat?</i>	112
A mérési adatokat számolással kell megmagyarázni!!.....	113
Olvasmányok	113
A galaxisokról	114
Csillagászat – történet	117
1. fejezet - A csillagászat történetének fontosabb eseményei	119
I. Kőkorszaki csillagászat	120
II. Csillagászat az ókorban	123
<i>II/1. Keleti kultúrák</i>	123
<i>II/2. Az ókori Hellász</i>	127
III. Csillagászat a kora középkorban (VI–XV. sz.)	133
<i>III/1. Arab csillagászat</i>	133
<i>III/2. Európai csillagászat a kora középkorban</i>	134
<i>III/3. A Távol-Kelet és Amerika</i>	137
IV. A késő középkor csillagászata Európában	138
<i>IV/1. Nikolausz Kopernikusz (1473–1543)</i>	138
<i>IV/2. Tycho Brahe (1546–1601)</i>	140
<i>IV/3. Johannes Kepler (1571–1630)</i>	142
<i>IV/4. Galileo Galilei (1564–1642)</i>	145
V. A gravitációelmélet és az égi mechanika születése	148
<i>V/1. Descartes örvényelmélete</i>	148

V/2. Newton munkássága.....	148
V/3. Az égi mechanika kifejlődése	149
VI. A távcsöves megfigyelések fejlődése	150
VI/1. A XVII. század nagy megfigyelő csillagászai	150
VI/2. Charles Messier (1730–1817)	153
VI/3. William Herschel (1738–1822)	154
VII. A modern csillagászat kezdetei	155
VII/1. A színeképelemzés és a modern asztrofizika kialakulása.....	156
VII/2. Új égitestek a Naprendszerben	158
VII/3. A Tejútrendszer felfedezése	159
VIII. A XX. század nagy felfedezései.....	162
VIII/1. Az extragalaxisok felfedezése	162
VIII/2. Az Univerzum tágulása	164

Az elektromos mező

Elektromos alapjelenségek, elektromos töltés

Hétköznapi tapasztalatok: A pulóver, nadrág szikrázik, a frissen mosott haj az égnek áll, a bevásárló kocsik szikráznak.

A pulóverrel megdörzsölt vonalzó magához vonz papírfecniket, majd eltaszítja azokat. A megdörzsölt léggömb a kezünkhöz ragad. Villámok, festés

Az anyagok atomokból állnak, az atomok pedig még kisebb, ún. **elemi részecskékből**. Az elemi részecskék egyik fontos tulajdonságát a fizikusok **töltésnek** nevezték el. Kétféle töltés van, az egyiket **pozitívnak**, a másikat **negatívnak** nevezik. (De lehetne például moha és páfrány is, az elnevezés nem fontos) Az atommagban pozitív töltésű protonok és töltés nélküli neutronok vannak. Az atommag körül negatív töltésű elektronok. Az atomokban általában ugyanannyi proton van, mint elektron. Ezért az atom – és általában a környezetünkben lévő anyagok – **elektromosan semlegesek**. Az elektromosan semleges anyagban vannak töltött részecskék, de a kétféle töltés mennyisége azonos, egyensúlyban vannak.

Ha két anyag szorosan érintkezik, vagy dörzsölődik, elektronok kerülnek árt az egyikről a másikra. Ezért az anyagokban a pozitív vagy negatív töltések túlsúlya alakul ki. Ilyenkor mondjuk, hogy a tekintett anyagnak **elektromos töltése van**, vagy **elektromos állapotban van**.

Ha egy anyag elektromos állapotban van, akkor képes más anyagokat vonzani vagy taszítani, a nélkül, hogy hozzájuk érne!

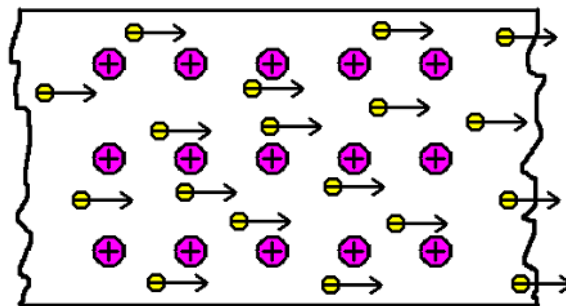
Hogyan képzelhető ez el?

A töltött anyag maga körül úgynevezett **elektromos mezőt** hoz létre. (láthatatlan, de ott van.)
Ez az elektromos mező olyan tulajdonságú, hogy erőt fejt ki a benne lévő töltött testekre.

A természetben zajló folyamatok a felborult töltésegyensúly visszaállítására törekszenek.

A pulóver egyes részeiben az öltözés közbeni dörzsölés miatt elektrontöbblet, máshelyen elektronhiány alakul. A szikra segítségével áll helyre a töltések egyensúlya. A szikrában, az áramban töltések töltött részecskék mozognak, hogy újra kialakítsák a töltések egyensúlyát, a semleges állapotot.

Az úgynevezett **vezetőkben** a töltött részecskék könnyen elmozdulhatnak. A fémek jó vezetők, bennük elektronok mozognak szabadon.



fém

A **szigetelőkben** a töltött részecskék nem, vagy csak nehezen mozdulhatnak el. Ilyenek a műanyagok, szerves anyagok, fa.

Az elektromos töltésnek van legkisebb mennyisége, ez egyetlen elektron töltése, az un. elemi töltés.

$$Q_{\text{elektron}} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C (coulomb) (2)}$$

Elektromos erő: térerősség

Coulomb törvénye azt fogalmazza meg, hogy a pontszerű (vagy gömbszimmetrikusan elrendeződő töltésekkel rendelkező) töltött testek között milyen nagyságú és irányú erő hat.

Gimnázium, Coulomb törvénye:

Coulomb törvénye szerint két pontszerű Q_1 és Q_2 töltés (azaz töltött részecske) között ható erő egyenesen arányos a két töltés nagyságának a szorzatával, és fordítottan arányos a közöttük

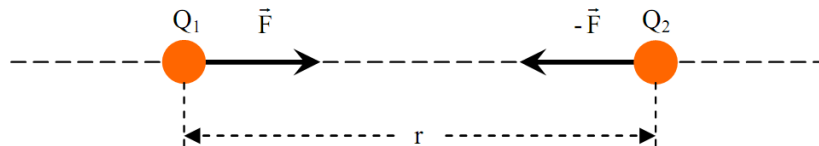
lévő távolság négyzetével. Az azonos fajtájú töltések taszítják, az különböző fajtájú töltések vonzzák egymást.

(2)

Figyelni!

töltés – töltött részecske

töltés nagysága!



Q_1, Q_2 – elektromos töltésmennyiségek

r – távolság

k – arányossági tényező

($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$)

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Egyetem: A Coulomb-törvény vektoros felírása

lásd: előadáson

A töltött test maga körül elektromos mezőt hoz létre. Az elektromos mező erőt fejt ki a benne lévő (másik) töltött testre.

Az elektromos mezőt a tér pontjaiban levő **elektromos térerősség** írja le. Jele E , vektormennyiség, mértékegysége N/C

Ha a tér egy P pontjába egy Q töltésű testet helyezünk, az arra a testre ható elektromos erő éppen a Q töltés (előjeles fizikai skalármennyiség) és az elektromos mező P -pontbeli térerősségének (vektor) szorzata. (vektort szorzunk skalárral)

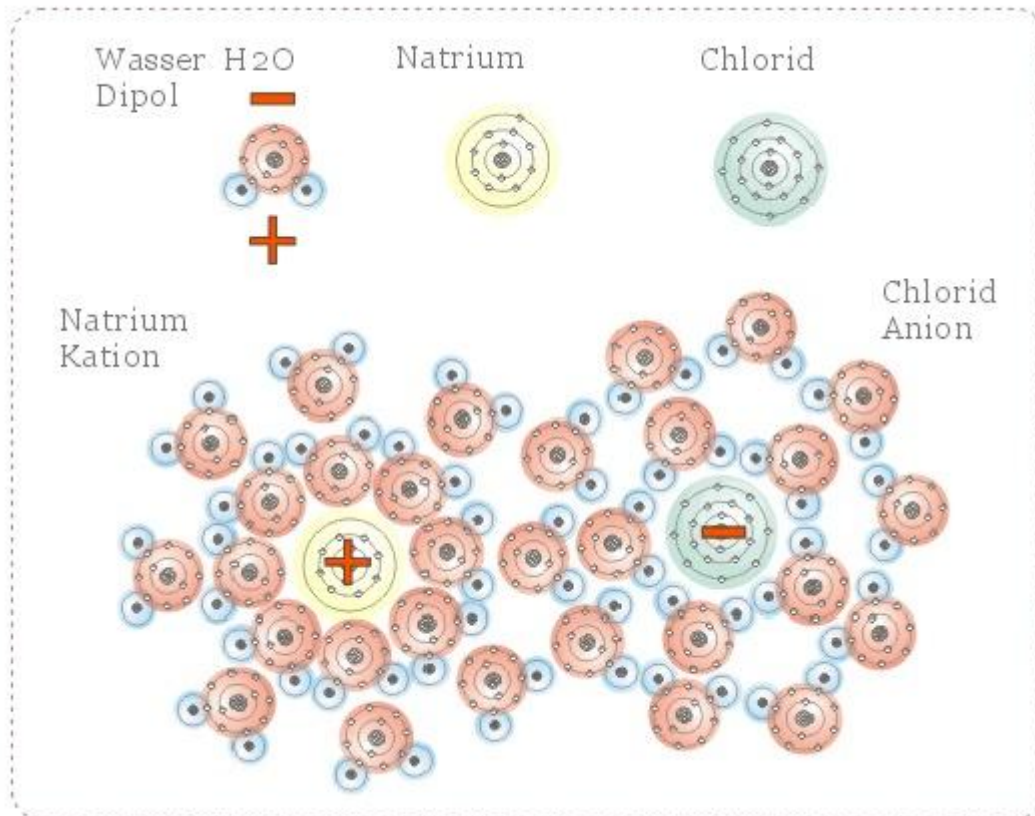
$$\vec{F} = Q \cdot \vec{E}$$

A Coulomb törvényből látható, hogy a pontszerű pozitív és negatív töltés körül milyenek a térerősség-vektorok.

(szimuláció, kép, vektormező)(2)

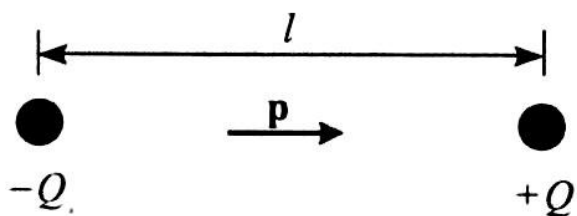
A dipólus

A természetben található részecskék egy része olyan, mint a pontszerű töltés (ionok), más része elektromosan semleges, de a töltések eloszlása nem egyenletes. (vízmolekula, dipólus)



A só oldódása

A dipólus modellje és elektromos tere:



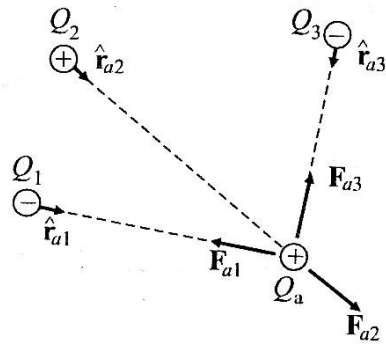
elektromos dipólmomentum-vektor:

A töltés nagyságát kell szorozni a $-Q$ -ból (a dipólus negatív töltése) a $+Q$ -ba mutató vektorral.

$$\vec{p} = |Q| \cdot \vec{l}$$

Elektromos erők szuperpozíciójának elve

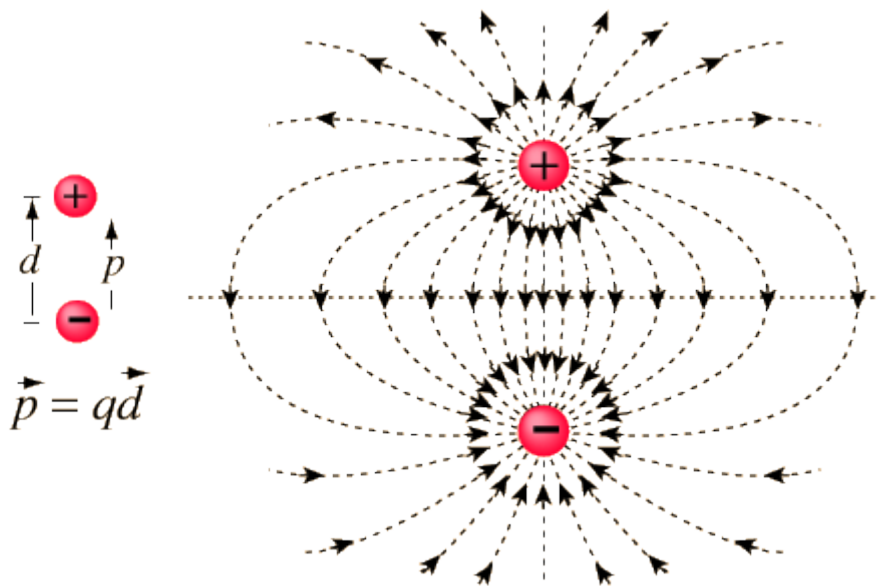
Tetszőleges számú
ponttöltésekből álló
rendszerben bármely
töltésre ható erő egyenlő
az összes többi töltéstől
származó Coulomb-erők
vektori összegével



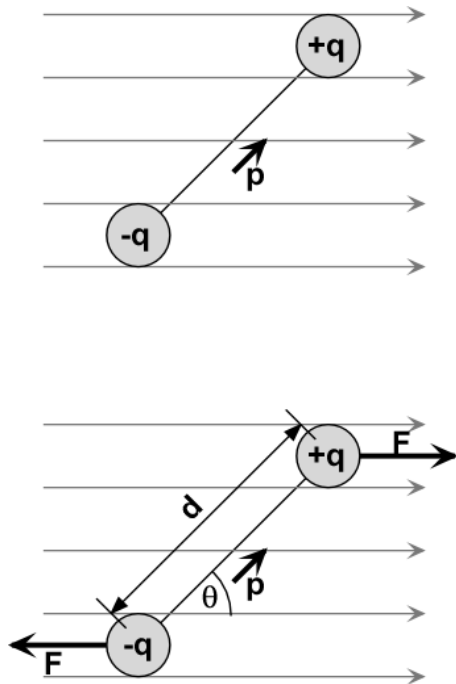
$$\mathbf{F}_a = \mathbf{F}_{a1} + \mathbf{F}_{a2} + \dots + \mathbf{F}_{aN} = \sum_{i=1}^N \mathbf{F}_{ai} = \sum_{i=1}^N K \frac{Q_a Q_i}{r_{ai}^2} \hat{\mathbf{r}}_{ai}$$

A tétel a térerősség-vektorokkal is megfogalmazható.

Az elektromos mező térerősség vektorainak mezejét a dipólus körül ezek után bárki fel tudja rajzolni.



A homogén elektromos mező a térerősséggel párhuzamos irányba fordítja a dipólust, az inhomogén, mint a ponttöltés körüli magához vonzza.



A két erő hatására a dipól elfordul. (2)

Elektromos dipólus

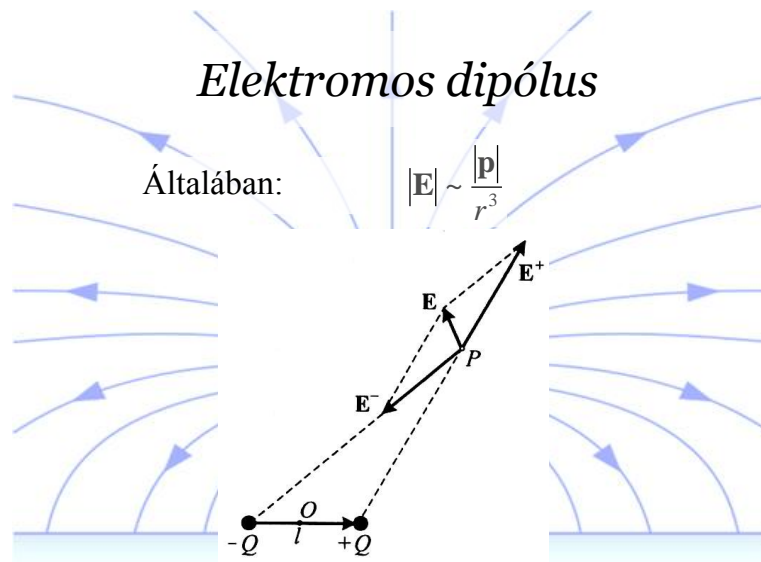
Az elektromos dipólus momentuma: \mathbf{p}

$\mathbf{p} = Ql$

A dipólus tere

$$\mathbf{E}_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2\mathbf{p}}{r^3}$$

$$\mathbf{E}_B = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{p}}{r^3}$$



Gauss tétele:

A tétel azt fogalmazza meg, hogy a töltött testek milyen elektromos mezőt hoznak létre maguk körül.

Árnyékolás, szigetelés, polarizáció, elektrosztatikus feltöltődés

A fémekben könnyen elmozduló elektronok képesek közömbösíteni a külső elektromos teret a fémen belül. A fémháló ezért védi a vezetéket a külső elektromos zajtól. (Árnyékolt kábel)

Az elektrosztatikus feltöltődés és a miatta bekövetkező szikra az elektronikus áramkörök idő előtti tönkremenetelének egyik fő oka.

A külső elektromos tér hatására a szigetelő anyagok molekulái polarizálódnak, illetve a tér irányának megfelelően rendeződnek.

Az elektromos feszültség, potenciál

Miért nem veszélyesek a 10000V-os pulóver szikrák?



Feszültség:

Az elektromos mező erőt fejt ki a benne mozgó töltött testre, ezért munkát végez azon. Ha a test a mező egy A pontjából a mező egy B pontjába jut, az elektromos mező által végzett munka általában nem függ attól, hogy milyen pályán halad a töltött test, csak a kezdeti és végső helyzettől függ.

(Ez akkor igaz, ha az időben állandó elektromos mezőt töltések hozzák létre.)

A végzett munka kiszámolható, ha ismert a **két (A és B) pont közti feszültség**.

A feszültség jele: U , mértékegysége volt (V). Mindig két pont között értendő. $U=U(A,B)=5V$.

Ha a test töltése Q coulomb, akkor az elektromos mező éppen

munkát végez a töltött testen, miközben az a mező A pontjából a mező B pontjába mozdul el.

Tehát $W=Q*U$, ahol W a mező által végzett munka, Q a test töltése, U a két pont közötti feszültség.

A pulóver szikra tényleg 10000V-os, de a szikrán átugró töltés mennyisége csekély, nincs számottevő munkavégzés.

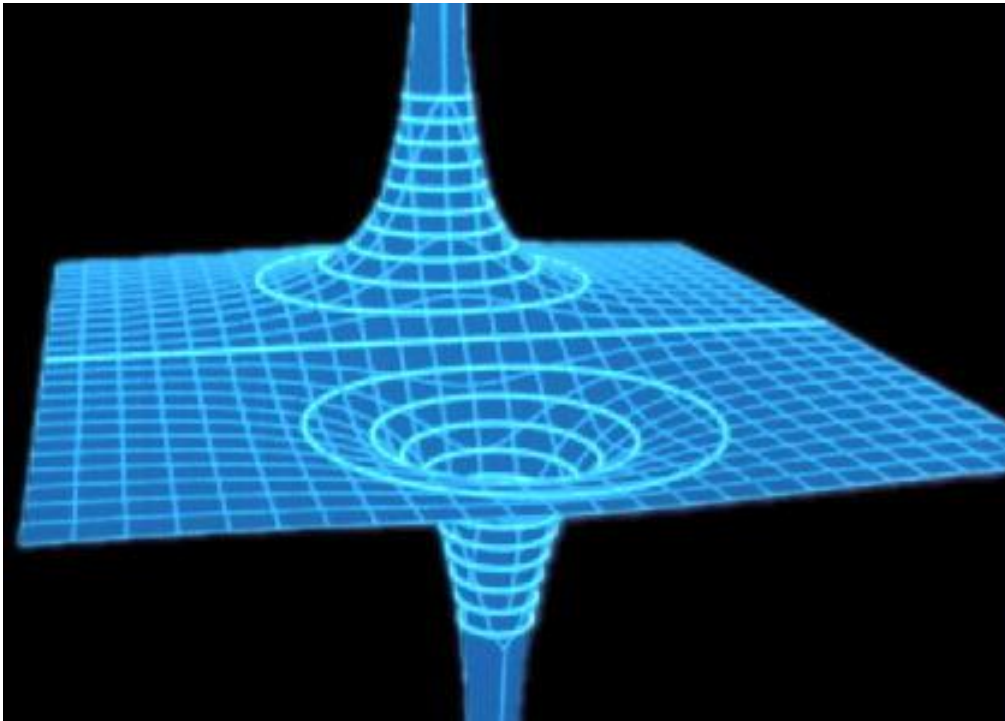
A hálózati feszültség ugyan csak 220V, de áramütés alkalmával sokkal több töltés mozog, a munkavégzés jelentős, az áram által közvetített energia lerombolja a sejteket, akár éget is.

Potenciál:

Az elektromos mező, vagy elektromos hálózat **egy adott pontjának potenciálja** az adott pontnak egy választott 0-ponthoz, az un. földhöz viszonyított feszültsége. (földelés, föld)
 $U(A)=U(A,0)$

A potenciál és a feszültség nevű fizikai mennyiségek segítségével könnyen jellemezhető az elektromos mező munkavégzés szempontjából. Néha ez könnyebb és hasznosabb, mint térerősségvektorok sokaságát felrajzolni.

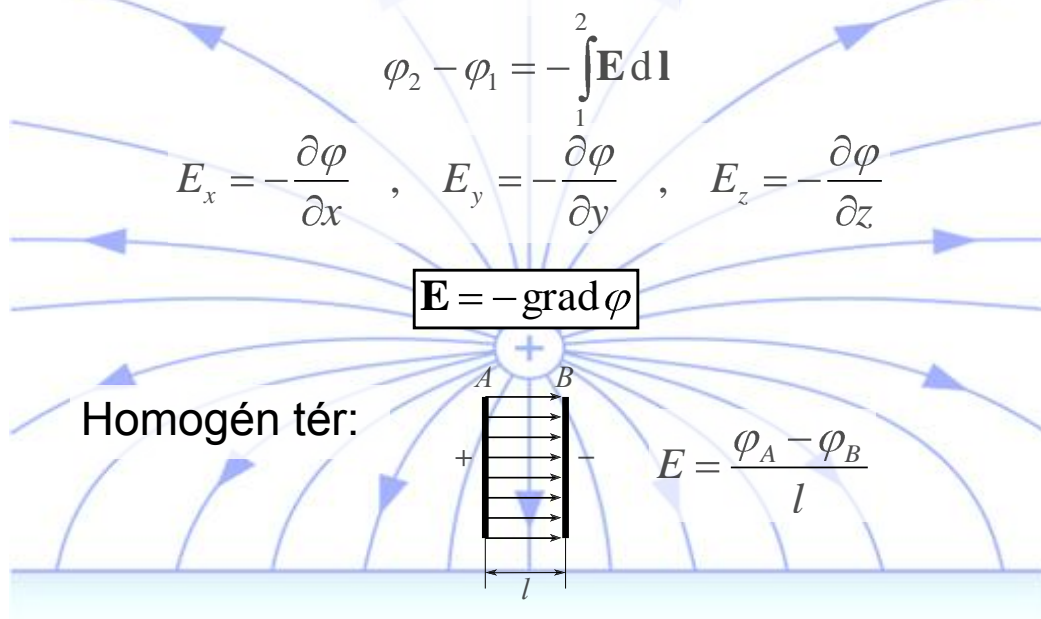
Az azonos potenciálú pontok között mozgó töltött testen az elektromos tér nem végez munkát, azokat nem gyorsítja vagy lassítja. Az azonos potenciálú pontok ekvipotenciális vonalakat, felületeket alkotnak. Ezek jól ábrázolják az elektromos teret, ahogyan a magasságot a szintvonalak a térképen.



A pozitív töltést potenciál hegy, a negatívát potenciál völgy veszi körül.
(2)

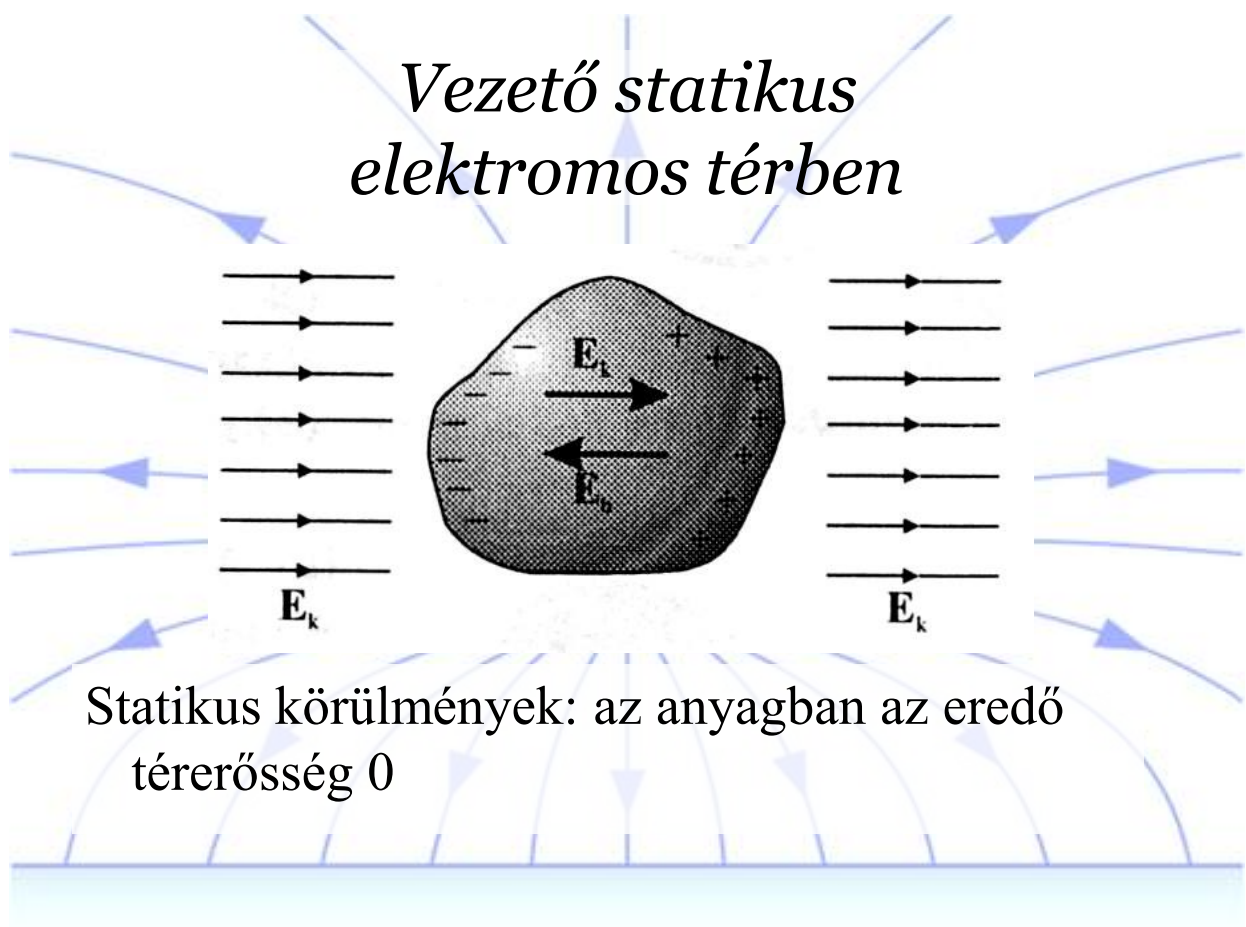
Szemléltetés: ponttöltés és dipólus körüli ekvipotenciális vonalak.- szimuláció
(2)

E és φ kapcsolata



Merre folyik a víz? Amerre legjobban lejt a talaj.

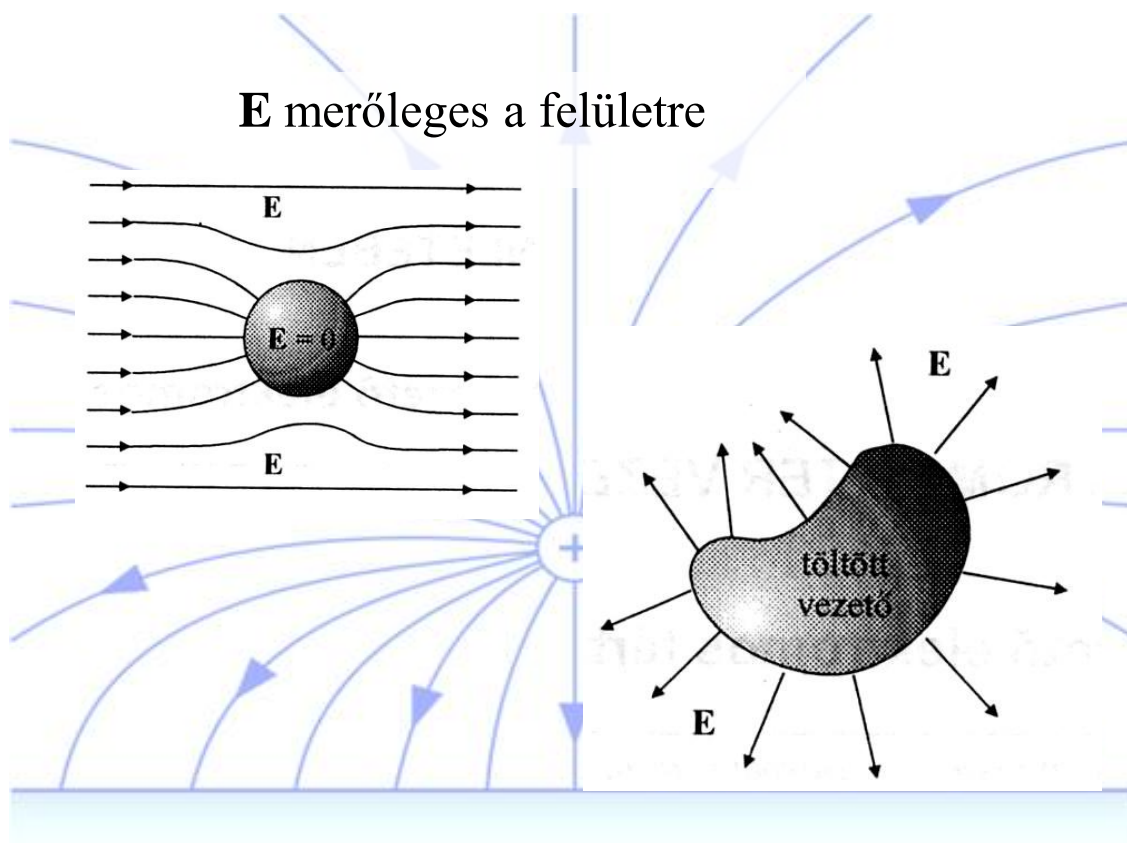
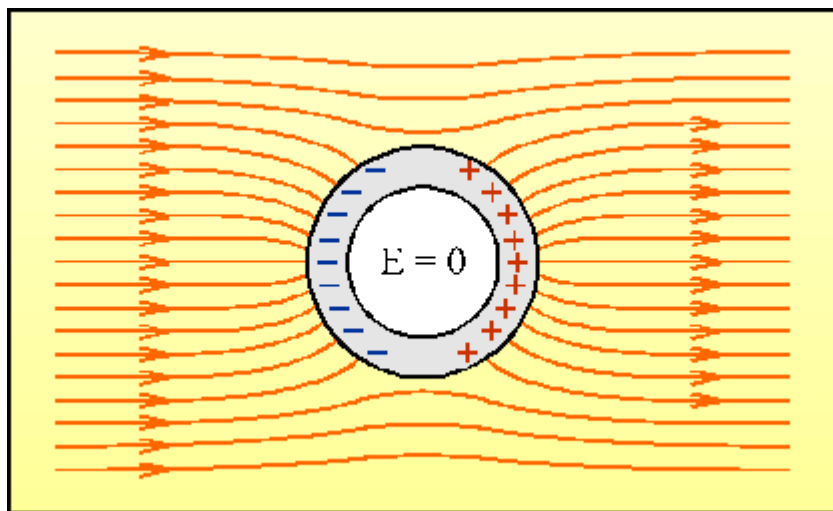
Vezető statikus elektromos térben

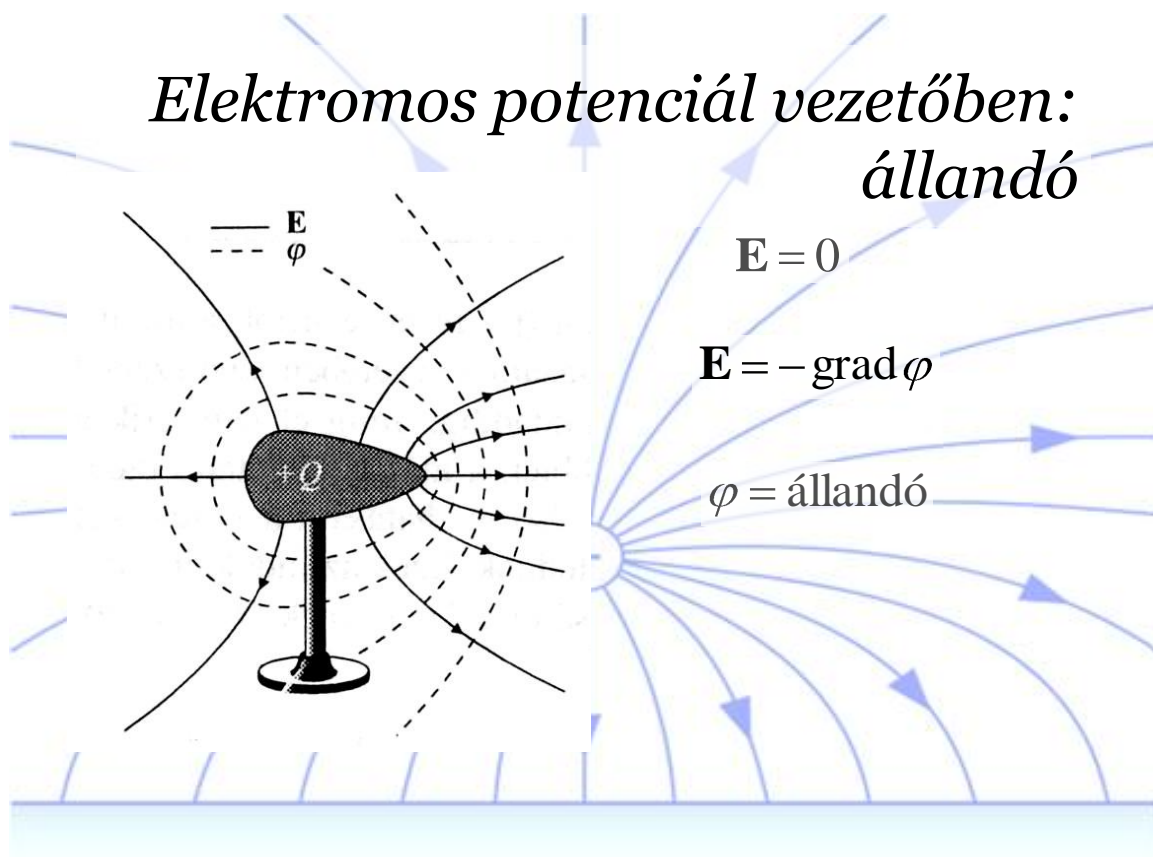


A külső elektromos tér hatására a vezető anyagban levő töltések elmozdulnak és úgy

helyezkednek el, hogy az általuk keltett elektromos tér és a külső tér összege a vezetón belül nulla legyen.

A fémes vezető így lenullázza a külső elektromos zavarokat → árnyékolás



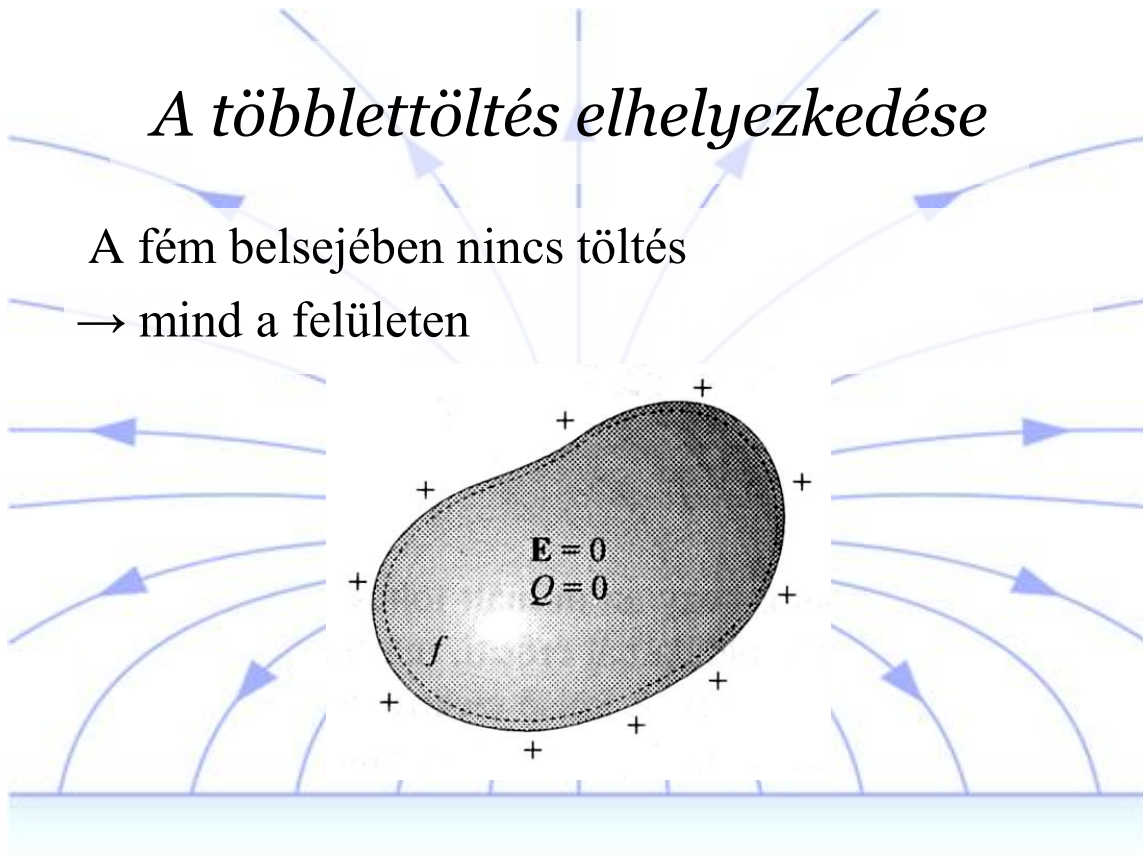


Csúcs hatás: A csúcsok közelében nagy az elektromos térerősség—Átütés, villámcsapás

A többlettöltés elhelyezkedése

A fém belsejében nincs töltés

→ mind a felületen



Elektromosság a közlekedésben

A munkavégzés legkisebb védőtávolsága (a veszélyes övezet külső határa):

Az a levegőben mért legkisebb távolság, amelyet a feszültség alatt álló csupasz rész és a munkavégző teste, testrésze, szerszáma, védő- vagy segédeszköze, illetve munkagépe között tartani kell ahhoz, hogy villamos átívelés (átütés) az előforduló legnagyobb villamos igénybevétel esetén se következzen be.

A berendezés névleges feszültsége, kV	A munkavégzés legkisebb védőtávolsága, m
10	0,18
15, 18, 20	0,3
30, 35	0,4
120	1,1
220	2,2
400	3,2
750	6,4

Elektromos járművek

Míg a villamosnál az áramforrás (betáp) második pólusa maga a sín, addig a trolibusznál a jármű földelése nem megoldott. Ez az oka annak, hogy a trolibusznak kettős felső vezetékre van szüksége. **A legelterjedtebb vontatási feszültség a világon a 600 V-os egyenáram.**

Minden nagyfeszültségű felső vezetékről működő elektromos járművön probléma a villamos berendezést megfelelően elszigetelni az emberektől. A sínen közlekedő járműveknél a szigetelések bármilyen problémája legfeljebb zárlathoz vezet, ám az utasok csak a körülmények rendkívül szerencsétlen együttállása esetén lehetnek az áramütés veszélyének kitéve (eltekintve attól a lehetőségtől, hogy valaki szándékosan belenyúl egy nagyfeszültségű berendezést tartalmazó dobozba). Ennek az az oka, hogy a kocsitest mindig földelve van a sínen keresztül, így az utas alapesetben nem érhet hozzá két olyan fémesen vezető ponthoz, amelyek között potenciálkülönbség lenne.

A trolibuszok azonban, gumikerekük miatt nincsenek leföldelve, így fennáll a veszélye, hogy szigetelési hiba esetén a kocsitest a földhöz képest feszültség alá kerül: ekkor a le- vagy felszálló utason keresztül, aki legalább az egyik lábával a földön áll, a kezével pedig a trolibuszt fogja, záródhat az áramkör. Ezt hívják testkötésnek. (A trolibusz belsejében tartózkodó utasokat ilyen jellegű szigetelésihiba továbbra sem veszélyezteti, még akkor sem, ha annyira durva a szigetelésihiba, hogy a vontatási feszültség jelenne meg a kocsitesten. Gondoljunk csak a villanyvezetéken ülő madarakra, amelyeket azért nem ér áramütés, mert egész testük azonos potenciálon van.)

Ennek megelőzésére naponta kötelező vizsgálni a járművek szigetelési állapotát. Négyféle elektromos jelenség okozhat bajt trolibuszon:

- Statikus elektromosság: ez valójában minden gumikerekű járművön előfordulhat, a statikus töltés keletkezése független a felső vezetéktől, a fizikaórán megismert Van de Graaf-generátoron megjelenő nagyfeszültségű szikrákhoz hasonlóan. **Autón, autóbuszon ezért lehet robbanás, ha nem vagyunk eléggé körültekintőek (a tankolás előtt a töltőpisztolyt egy pillanatra a kocsik fém részéhez kell érinteni!).** Érdemes ott is csúszóföldelést alkalmazni. A statikus töltés levezetésére a trolibuszokon földelőláncot alkalmaznak.
- 24 V-os segédáramköri szigetelésihiba: a trolibuszok az autóbuszokhoz és a személygépkocsikhoz hasonlóan rendelkeznek akkumulátoros áramkörrel az elektronikus berendezések, valamint a világítótestek működtetésére. Ennek az áramkörnek a feszültségét úgy választották meg, hogy ne okozhasson veszélyes áramütést, legfeljebb csípést lehessen érezni.
- Szivárgóáram: a nagyfeszültségű berendezések üzem közben elkoszolódhatnak. Különösen esős-párás időben az átnedvesedett por gyengén vezetővé válhat. A szivárgóáram mértékét naponta mérik a trolibuszokon, de még a megengedett határérték fölötti szivárgóáram is csak ritka körülmények között okozhat észrevehető áramütést, ha igen, akkor is leginkább csípést.
- Zárlat: a legdurvább eset a 600 V-os berendezések szigetelésének meghibásodása, ilyenkor megjelenhet a teljes vontatási feszültség a kocsitesten. Ekkor következhet be halálos áramütés.



Szovjet gyártmányú, ZIU-9-es trolibusz Budapesten.

A testkötéses áramutések kivédésére a következő technikákat alkalmazzák:

- Földfüggetlen felsővezeték-hálózatok: az olyan hálózatokon, ahol az áramátalakítókról nem üzemel közösen villamos és trolibusz, nincs szükség az egyik pólust földelni. Ez esetben ha egy helyen leromlott a szigetelés a trolibuszon, zárt áramköri út hiányában így sem következhet be áramütés. A magyarországi trolibuszüzemek nem ilyenek, mert mindegyik vállalat közös áramátalakítóról üzemeltet villamost és trolibuszt.
- Kettős szigetelésű járművek: A korszerű trolibuszokban a szigeteléseken álló nagyfeszültségű elektromos berendezéseket olyan zárt ládatérbe helyezik el, amely maga is el van szigetelve a kocsitesttől. A kocsitest és a ládatér közötti ellenállást a vezetőállásba beépített műszerrel mérik, így azonnal kiderül, ha a megengedettnél nagyobb áramszivárgás jelenne meg az erősáramú berendezések felől. A Magyarországon közlekedő trolibusztípusok közül egyedül a ZIU-9-es nem rendelkezik ezzel a védelmi berendezéssel – ezt a típust kivonják a forgalomból.

Összességében: halálos, vagy maradandó károsodást okozó áramütést (tudomásunk szerint) még nem okozott trolibusz. Évente azonban előfordul néhány áramütéses eset, amelyek javarészt veszélytelenek (hiszen azokról a tünetekről sosem számoltak be az érintettek, amelyeket egy igazi zárlat esetén fellépő 600 V-os áramütés okozna). Az ilyenkor szokásos eljárás szerint azonban minden esetben – megfigyelésre – kórházba viszik az áramütés elszennvedőjét, mivel a helyszínen megállapíthatatlan, hogy a fenti négyféle lehetőség közül melyik következett be. Ezeket az eseményeket hajlamos a bulvársajtó – eltúlozva – életveszélyként tálalni. A Budapesten üzemelő ZIU-9-es szovjet gyártmányú trolit viszont igyekeznek kivonni a közlekedésből földelési problémái miatt.

Kondenzátorok

A kondenzátor olyan eszköz, amely képes elektromos töltések tárolására. Két egymáshoz közeli vezető anyagból (fegyverzetek) áll, melyeket valamilyen szigetelő választ el egymástól. Ha az egyik fegyverzetre Q töltést visznek (feltöltik a kondenzátort) a másik fegyverzeten $-Q$ töltés jelenik meg, az elektromos erők hatására. Így a kondenzátor elektromosan semleges, nem hoz létre maga körül számottevő elektromos teret. A két fegyverzet közötti feszültség (U) arányos a felvitt töltéssel (Q). Az arányossági tényező a kondenzátor felépítésétől függ, kapacitásnak nevezik. Jele C , mértékegysége F (farád).

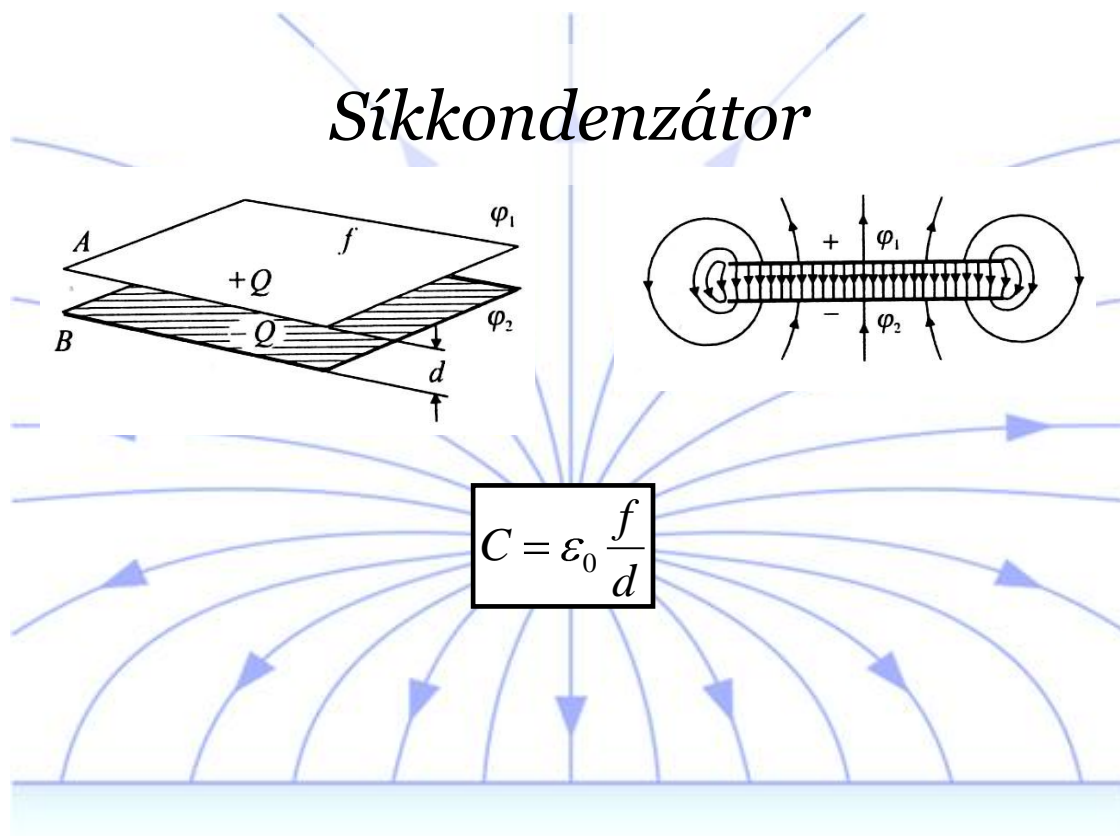
(kucu törvény)

A nagyobb kapacitású kondenzátor ugyanannyi töltés felvitele esetén kisebb feszültségű lesz.

Ha a kondenzátor feszültsége meghaladja az un. átütési feszültséget, akkor a fegyverzetek között, a szigetelő anyagon át szikrakísülés alakul ki, ami tönkreteszi a kondenzátort. (pukkanás, füst)

Jellemző kapacitások a mikroelektronikában: mikrofarád, nanofarád, pikofarád (2)

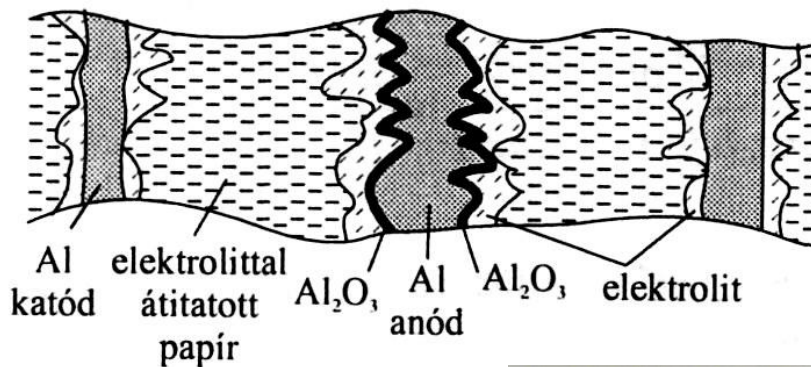
Az úgynevezett síkkondenzátor felépítése és kapacitása:



Kondenzátorfajták

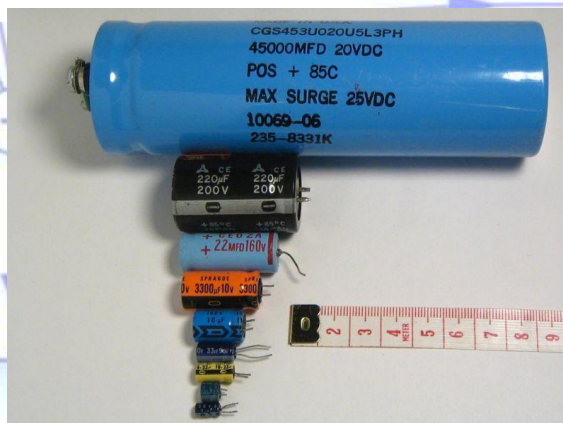


Fólia kondenzátor (1nF – 10uF; – 2 kV)



Elektrolit kondenzátor
Polarizált!

(0.1uF – 10mF; – 250 V)





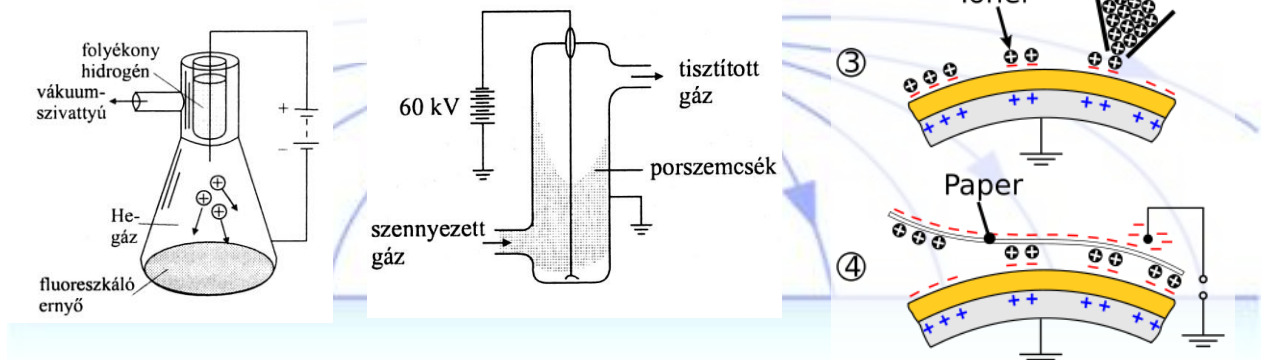
Kiemelt termékek - Kondenzátorok



Manapság inkább fém-oxid kondenzátorokat, félvezető (bipoláris) kondenzátorokat használnak.

Elektrosztatika alkalmazásai

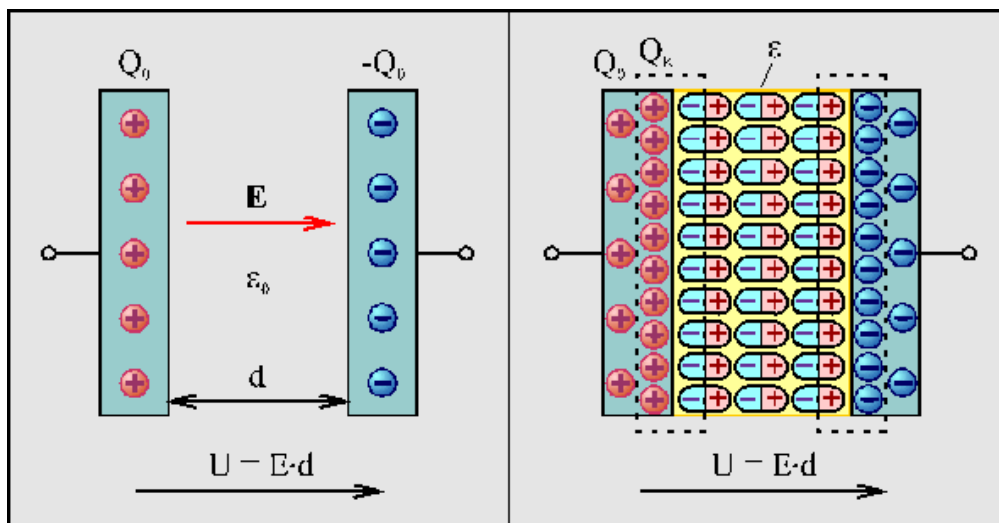
- Levegő/gázok tisztítása
- Fénymásoló/lézernyomtató
- Festés
- Téremissziós mikroszkóp
- Atomfizika



Az elektrosztatikus mező hatása az anyagra

Polarizáció

Az elektrosztatikus mezőbe helyezett szigetelők különböző mértékben de gyengítik a külső elektromos mezőt. A mező dipólusokat hoz létre bennük, a meglévő dipólusokat a térerősségvektor irányának megfelelően rendezi.



A dielektrikummal kitöltött kondenzátor kapacitása megnő!

Relatív dielektromos állandó (permittivitás)

$$\frac{C}{C_0} = \frac{V_0}{V}$$

$$\epsilon_r = \frac{C}{C_0} > 1$$

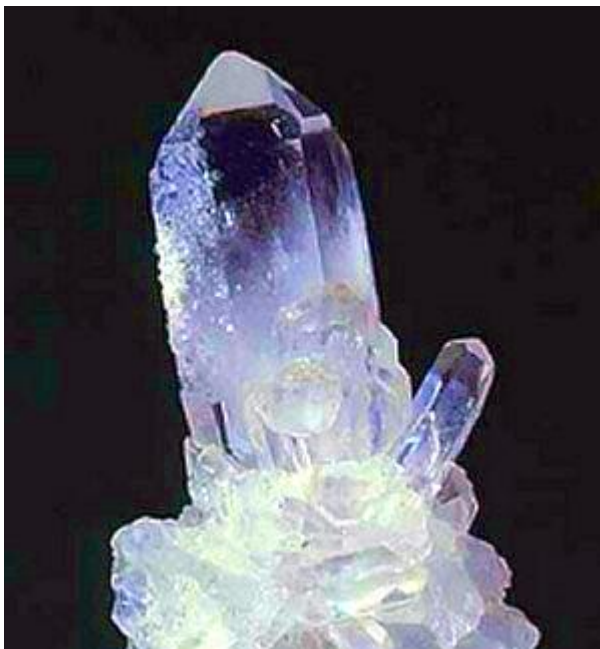
$$C = \epsilon_r C_0$$

Anyag	ϵ_r	Anyag	ϵ_r
Vákuum	1	Üveg	4-7
Levegő	1,00054	Titán-dioxid	100
Víz	80	Bárium-titanát	1000-2000
Papír	3-7	Ricinusolaj	4,6

Ferroelektromosság:

A bárium-titanát úgynevezett ferro-elektromos anyag. A benne lévő részecskék dipólusok és nagy részben eleve rendezettek. Ezért a külső tér könnyen növeli tovább a rendezettséget. A ferroelektromos anyagok nagyon jó szigetelők.

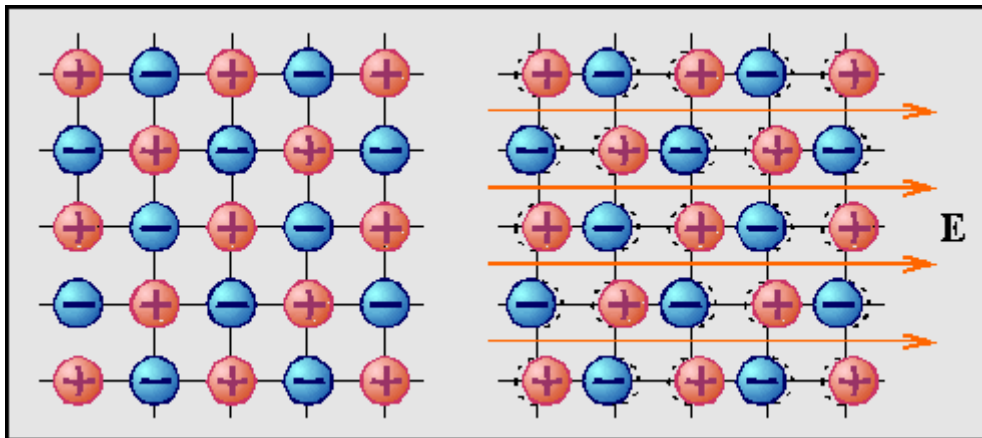
Piezo – elektromosság:



A Curie házaspár fedezte fel, hogy bizonyos kristályok - leggyakoribb a kvarc - felületén deformáció hatására töltések jelennek meg. Ez a piezoelektromos hatás. Egy ilyen kristályt két fémlap közé helyezve, majd összenyomva azt, a fémlamezek töltötteké válnak, szikrát lehet ütni, a módszer ezért elsősorban öngyújtókban terjedt el.

Az effektus fordítottja az elektro-strikció, amikor a villamos térbe helyezett kvarckristály felülete deformálódik, egyik irányba megnyúlik, másikba összenyomódik, azaz rezegni kezd. Ezen az elven működnek pl. a kvarcórák.

Hogyan hat az elektromos mező a kristályra?



így kell elképzelni a kristályrácsot.

A jelenség tehát már régóta ismert, ám a Texasi A&M Egyetem kutatói csak most fedezték fel, hogy bizonyos mérettartományban a deformáció hatására létrejövő töltés fordítottan arányos a kristálymérettel. A kísérlet során a kutatók ugyanis azt tapasztalták, hogy a bárium-titanát kristályok 23 nanométeres méretben kétszer annyi elektromos töltést képesek leadni, mint az e méret feletti. Ez a felfedezés rendkívüli jelentőségű, hiszen ebben a mérettartományban már a beszédhang keltette rezgés is kellő nyomást biztosít ahhoz, hogy a kristályok felületén töltés jöjjön létre.

Tahir Cagin, a kutatás vezetője szerint még évekbe, sőt akár évtizedekbe is telhet, mire sikerül a technológiát a gyakorlatban is használhatóvá tenni. Ám ha végül sikerül kellően nagy felületű rétegeket létrehozni, és ezeket a készülékbe integrálni, akkor lehetővé válik, hogy a mobiltelefonok működéséhez szükséges energiát a beszédhang biztosítsa.

Piroelektromos hatás:

Bizonyos kristályok esetén tapasztalható jelenség, amikor megfelelő határfelületeiken a hőmérséklet megváltozásakor ellentétes töltések keletkeznek.

Különösen a hemimorf és hemiedrikus alakú kristályoknak az a tulajdonsága, hogy egyenletes melegítés mellett poláros tengelyük irányában elektromos polárosságot mutatnak, azaz a tengely egyik vége fel pozitív, másik vége felé negatív töltésűvé válnak.

Hűtés által a keltett elektromosságok ellenkező előjelűvé válnak.

A jelenséget először a turmalinon (a képen) figyelték meg.



Minden egyéb kristály csak akkor mutat piroelektromosságot, ha részeit egyenlőtlen hőváltozásoknak teszik ki.

Az ilyen tulajdonsággal rendelkező kristályokat piroelektrikumoknak nevezik.

A fentebb említett a turmalin mellett ilyen pl. a lítium-[trioxo-niobát (V)].

A spontán polarizáció (piroelektromos anyagok) függ a hőmérséklettől: hőmérsékletváltozásra polarizáció-változás, a felületi polarizációs töltéssűrűségének változása következik be. Mivel ez a jelenség a piroelektromos anyagokban lép fel piroelektromos effektusnak nevezik. Az effektusnak fontos gyakorlati alkalmazása az ún. piroelektromos detektor, amelynek működési elve a következő. Ha egy szigetelő polarizálódott, akkor a felületén polarizációs töltések jelennek meg, ezért elvileg ezt az állapotot a felületi töltések kimutatásával lehetne észlelni. Ezek a töltések azonban általában közvetlenül nem figyelhetők meg, mert az anyag belsejéből vagy a környező közegből (pl. levegő vagy a felületekhez csatlakozó vezetők) töltések áramlanak a felületre és a polarizációs töltéseket semlegesítik. Ha tehát egy piroelektromos anyagból készült lapkára elektródokat szerelünk, és az így kapott kondenzátort egy áramkörbe kapcsoljuk, akkor áramot nem fogunk észlelni, mert a fémvezetékben megosztással létrejött szabad töltések semlegesítik a polarizációs töltéseket. Ha azonban az anyagot melegítjük, akkor a polarizációs töltéssűrűség a piroelektromos effektus miatt megváltozik, így a fémvezetékben a feleslegessé vált kompenzáló töltések átrendeződnek, vagyis a kondenzátor egyik lemezéről a másikra töltések áramlanak át. Az így keletkezett áramot polarizációs áramnak nevezik.

Az elektromos áram és a mágneses mező

Az elektromos áram

A töltött részecskék rendezett mozgását elektromos áramnak hívják. A rendezett szó fontos, mivel az anyag részecskéi állandó, rendezetlen mozgásban vannak. Ez, a hőmérséklet növelésével megélnéknélő mozgás azonban nem eredményezi az elektromos töltés tartós áramlását, csak véletlenszerű, helyi ingadozásokat a töltések eloszlásában.

Ha elektromos áram folyik egy vezetékben (vagy anyagban), akkor annak egy kiválasztott felületén, keresztmetszetén az áram erősségének megfelelő nagyságú töltött részecske, töltés halad át.

Az elektromos áramot az úgynevezett áramerősség jellemzi. jele: I , mértékegysége: amper, jele: A. Az elektromos áram iránya alatt a pozitív töltésű részecskék mozgási irányát értik. Ha tehát elektronok

áramlanak balra, akkor negatív töltésük miatt azt mondják, hogy az áram jobbra folyik. Az áram erősségének előjele kifejezheti az áram irányát. az ellenkező irányú áramok előjele ellentétes legyen.

Az egyenáram (jele: DC) áramerőssége nem változik, időben állandó.

pl: $I=2A$, az áramerősség egyenlő 2 amperrel.

A váltakozó áram (jele AC) erőssége periódikusan változik.

Ha a vezeték egy A pontjából egy B pontjába elektromos áram folyik, akkor az áram által egy adott dt idő alatt az A pontból a B pontba szállított töltést az áramerősség és az adott idő szorzata adja meg.

(2)

A 2 amper erősségű áram 30 másodperc alatt 60 coulomb töltést szállít.

A fenti összefüggés csak akkor használható, ha az áram erőssége az adott idő alatt nem változik. Ha igen, akkor az áramerősség idő szerinti integrálja (t_1 kezdeti és t_2 végső időpont közötti határozott integrál) adja meg az átszállított töltést:

$i(t)$ az áramerősség-idő függvényt jelenti.

Áramforrások

Az elektromos áram mindig a nagyobb potenciálú helyről folyik a kisebb potenciálú hely felé, és a potenciálkülönbség csökkenéséhez vezet, saját magát szünteti meg.

Az áramforrások hosszabb ideig közel állandó potenciálkülönbséget tartanak fenn kivezetéseik között (kapocsfeszültség) ezért segítségükkel áramkörök építhetők, amelyekben tartósan folyik az áram.

(2)

Teljesítmény

Az áram energiáját a fogyasztók hő, fény, mozgási energiává alakítják. Az egyenáramú fogyasztó által egy adott idő alatt felvett elektromos energia a rajta átfolyó áram erősségének, a kivezetésein mérhető feszültségnek, valamint az adott időnek a szorzata.

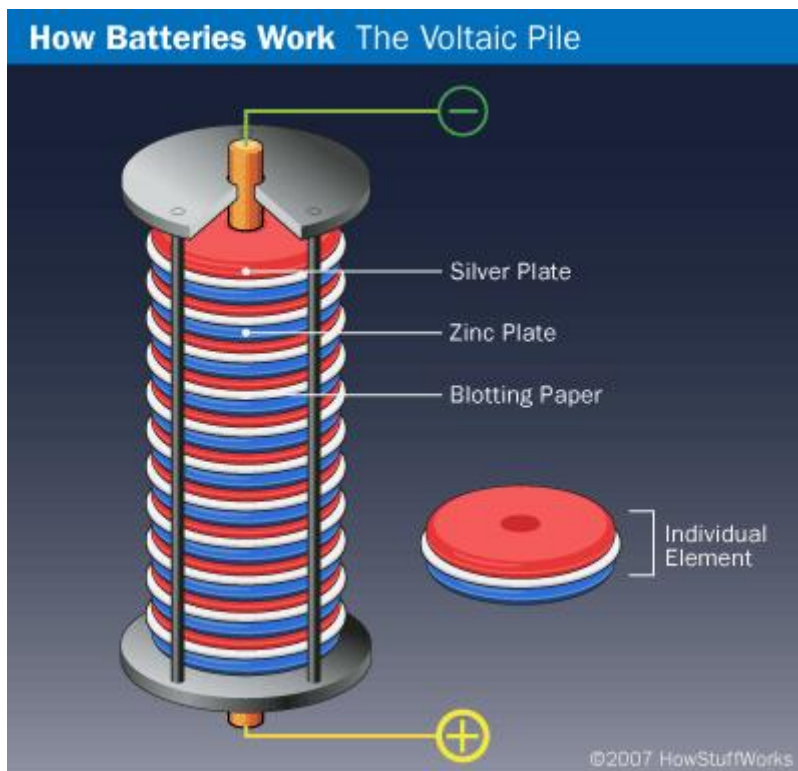
Ebből a feszültség és az áramerősség szorzatát a fogyasztó teljesítményének nevezik. Jele: P (power), mértékegysége: W, kW

Ha egy fogyasztó teljesítménye 10 kilowatt, akkor egy óra alatt 10 000 szer 3600 J (joule), azaz 36 megajoule energiát vesz fel. Az 1 kWh az az energia, amit az 1 kW-os fogyasztó 1 h működés során vesz fel.

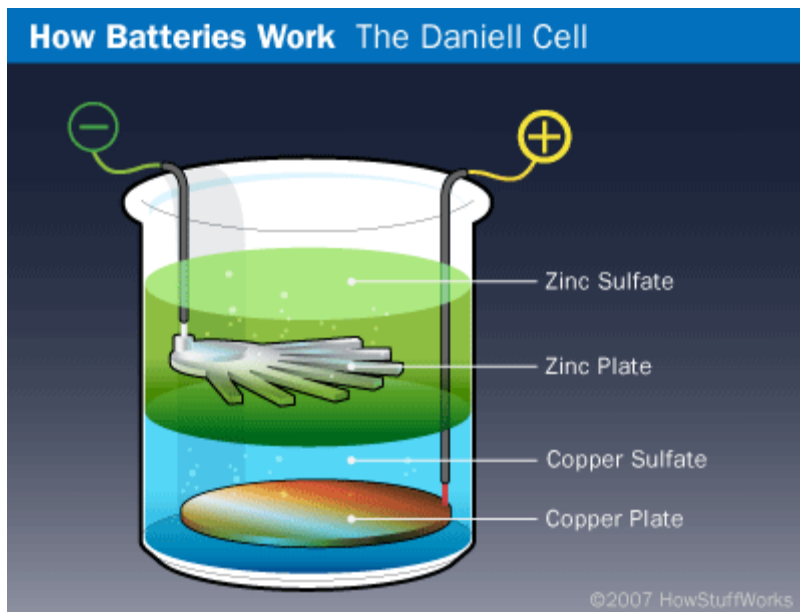
(2)

Ha a feszültség és az áram időben változnak, a felvett energiát integrálással lehet kiszámolni:

Áramforrásként generátorok, elemek és akkumulátorok jönnek szóba.



Volta első eleme a fémek érintkezésekor kialakuló érintkezési elektromosságot használta fel.



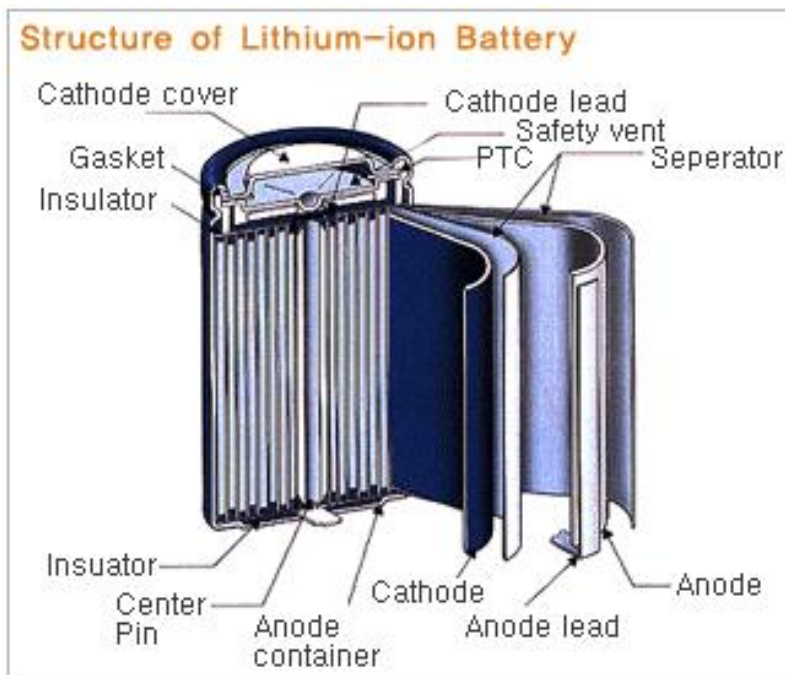
A kémiai elven működő elem.

Egy áramforrást az jellemez, hogy mekkora feszültséget szolgáltat, mekkora teljesítményt képes leadni, milyen tartós, milyen erős áramot visel el jelentős melegeedés nélkül. (2)

Az alábbi táblázat a tölthető és nem tölthető elemek fajtáit sorolja fel:

- **Zinc-carbon battery** - Also known as a **standard carbon** battery, zinc-carbon chemistry is used in all inexpensive AA, C and D dry-cell batteries. The electrodes are zinc and carbon, with an acidic paste between them that serves as the electrolyte.
- **Alkaline battery** - Alkaline chemistry is used in common Duracell and Energizer batteries, the electrodes are zinc and manganese-oxide, with an alkaline electrolyte.
- **Lithium-iodide battery** - Lithium-iodide chemistry is used in pacemakers and hearing aids because of their long life.
- **Lead-acid battery** - Lead-acid chemistry is used in automobiles, the electrodes are made of lead and lead-oxide with a strong acidic electrolyte (rechargeable).
- **Nickel-cadmium battery** - The electrodes are nickel-hydroxide and cadmium, with potassium-hydroxide as the electrolyte (rechargeable).
- **Nickel-metal hydride battery** - This battery is rapidly replacing nickel-cadmium because it does not suffer from the [memory effect](#) that nickel-cadmiums do (rechargeable).
- **Lithium-ion battery** - With a very good power-to-weight ratio, this is often found in high-end [laptop computers](#) and [cell phones](#) (rechargeable).
- **Zinc-air battery** - This battery is lightweight and rechargeable.
- **Zinc-mercury oxide battery** - This is often used in hearing-aids.
- **Silver-zinc battery** - This is used in aeronautical applications because the power-to-weight ratio is good.

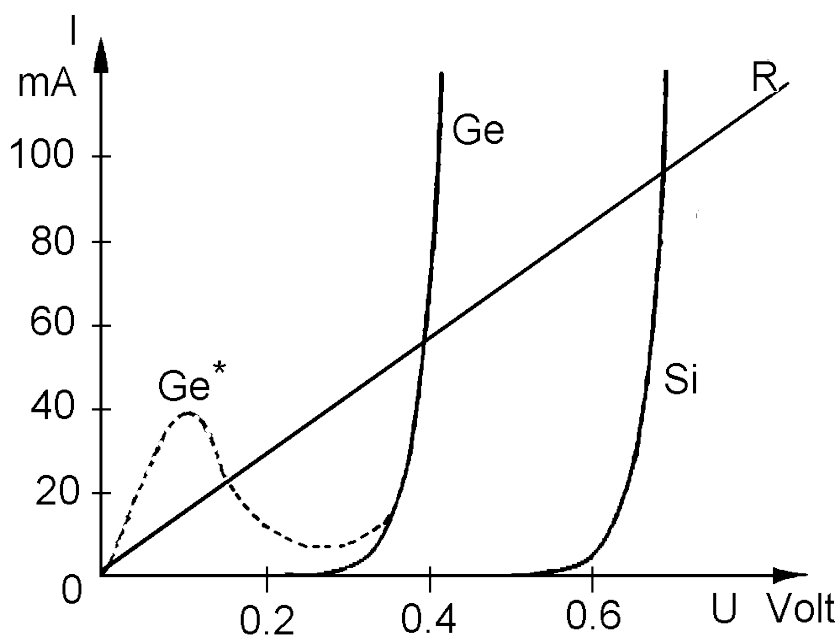
Lithium-ion elem:



A feltölthető akkumulátorok jellemző adata, hogy hány mAh-ak. Ez az adat valójában az akkumulátor által leadott teljesítményt árulja el, mivel az akku kapcsolófeszültsége általában állandónak tekinthető a használat során. Egy 1.5V-os 2500mAh-ás akku egy óra alatt $1.5V \cdot 2500mA = 3.75$ watt teljesítménnyel $3.75W \cdot 3600s$ azaz 13,5kJ energiát képes szolgáltatni.

Egyenáramú tápegység: A hálózati váltófeszültséget egyenirányítani kell, a kimeneti feszültségnek vagy áramnak a terheléstől és működés közbeni felmelegedéstől függetlennek kellene lennie. A szokásos tápegységeket 100ohmnál kisebb ellenállással nem jó terhelni: melegedés, esik a kapcsolófeszültség. (2)

Fogyasztók



Al. 2/a. ábra

ellenállás:

A fogyasztókat az jellemzi, hogy adott feszültség hatására milyen áram folyik rajtuk át. Az $I(U)$ függvény az áramköri elem karakterisztikája.

A legegyszerűbb fogyasztó egy fémdarab. Ha nem melegszik nagyon, érvényes Ohm közelítése, U és I egyenesen arányos. A hányados a fémdarab elektromos ellenállása.

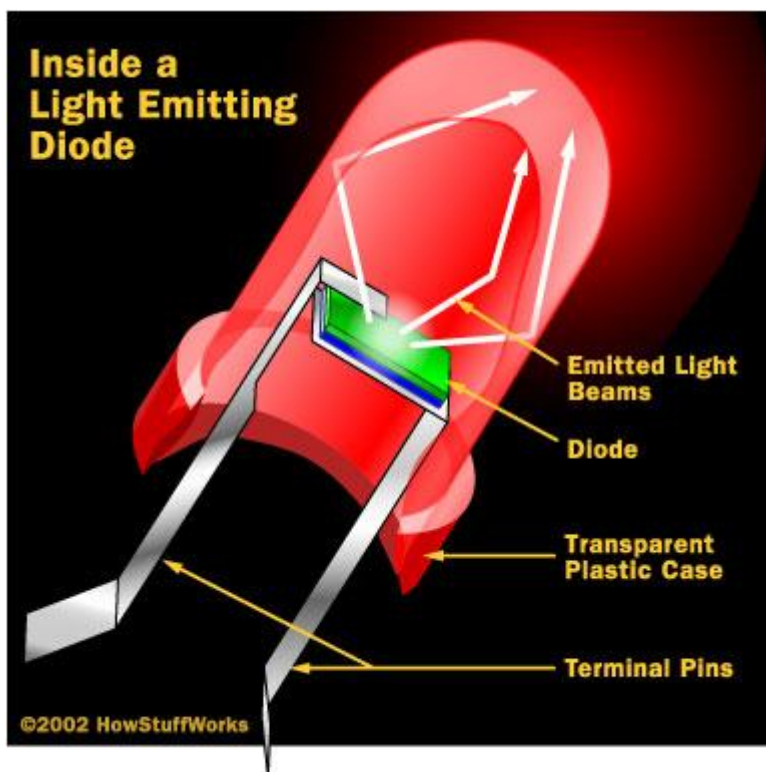
jele:

R mértékegysége: ohm

Az ellenállás függ a hőmérséklettől és a fém alakjától is. A vezetékek ellenállása lényegében nulla, több méter vezeték ellenállása 1 ohm.

A **dióda** félvezetőkből (Si,Ge) álló áramköri elem, jellegzetes karakterisztikával. Az áramot csak az egyik irányba engedik át.

LED



A félvezető rétegen áthaladó áram gerjeszti az atomokat, amelyek világítanak.

Mi a LED?

A LED (**light-emitting diode**) egy kétlábú áramköri elem, mely inkoherens keskeny-spektrumú fényt bocsájt ki elektromos áram hatására, más szóval világít. A LED-ek diódák, tehát csak az egyik irányban engedik át az áramot, csak egy polaritású feszültség hatására világítanak.

A LED-ek nyitófeszültsége 3,2-3,6 Volt. Ezen feszültség alatt nem, vagy csak halványan világítanak.

A LED-eket köthetjük sorosan, párhuzamosan vagy kombinálva.

Ha a LED-eket sorosan kapcsoljuk, a meghajtásukra szükséges feszültség: a LED-ek száma szorozva 3,6V-al. Tehát 4db sorba kötött LED-hez már 14,4V szükséges, elegendő azonban

12V így meghajthatjuk univerzális tápegységről. Ennél többhöz azonban már különleges tápegységre van szükség.

Egyszerűbb, ha a LED-eket párhuzamosan kötjük, így a feszültség mindegyiken 3.6 V, a felvett áram azonban a LED-ek számával arányosan nő. Egy átlagos LED áramfelvétele 10-20mA. Párhuzamos kapcsoláshoz a LED-ek azonos hosszúságú lábait kell egymáshoz forrasztani (anódhoz az anódhoz, katódhoz a katódhoz).



A LED-ek azonos lábait a LED-ek fejében lévő fémrész alakja alapján is megtalálhatjuk.

A LED-eket lehetőleg ne kapcsoljuk túl nagy feszültségre, mert jelentősen megrövidíti az élettartamukat, 6V szinte azonnali halálhoz vezet.



Az szükségesnél alacsonyabb feszültséget jól viselik bár jelentős fényerőcsökkenéssel járhat. 3V-on kellemesen világít.

Ha a LED-eket a vártnál nagyobb feszültségről szeretnénk meghajtani, ellenállást kell sorba kötni velük, hogy a fölösleges feszültség ezen essen, ne a LED-en. Az előtét ellenállást egyszerű ohm törvényből számolhatjuk:

Tápfeszültség: 6V, LED feszültsége: 3,6V, egy LED felvett árama kb:10mA

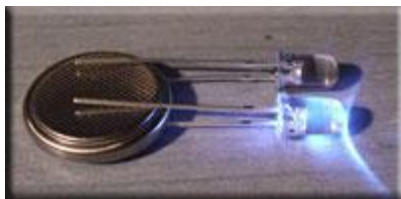
Tehát a különbség: $6 - 3,6 = 2,4$ V

Ekkora feszültséget kell ejteni az előtétellenálláson: $R = U / I$

Egy LED esetén: $R = 2,4 / 0,01 = 240$ ohm, ekkor a szükséges ellenállás. Több led esetén az áramot meg kell szorozni a ledék számával, tehát: $R = \text{feszültségtöbblet} / \text{LED-ek száma} * 10\text{mA}$.

Tanulság: ha nem akarsz számolgatni ne használj nagy feszültséget. 3db tölthető akkumulátor feszültsége $= 3 * 1,2\text{V} = 3,6\text{V}$, tökéletes! A 3V-os univerzális táp(adapter) is megfelelő.

A legegyszerűbb BonsaiLED



A legegyszerűbb BonsaiLED egy 3V-os elemre kötött LED. Látható, hogy nem mindegy milyen polarításban kötjük be a LED-et. A fordítva bekötött LED nem fog világítani.





Sok LED párhuzamos kapcsolásban történő összeforrasztása igen bonyolult végeredményre vezethet, az egyes LED-ek egymáshoz forrasztásakor azonban mindig egyértelmű, hogy az adott LED párhuzamosan van-e kötve a többi LED-el.

Ha kell, minden beforrasztott LED után ellenőrizhetjük hogy világít-e még az összes. Ha egyetlen lábat is rövidrezárunk, az egészet rövidre zárjuk és nem fog világítani.

Ne kössünk párhuzamosan különböző típusú/színű LED-eket!!! A LED-ek az átfolyó áram hatására világítanak. Ha valamelyik LED kisebb ellenállású/más a nyitási karakterisztikája, nagyobb áram folyik rajta mint kéne, hamarabb kiég, majd az eddig rajta átfolyó áram is a többire jut, így szépen sorban az összes meghal.

Áramköri elemek: termisztor (NTC, PTC), kondenzátor, induktivitás, tranzisztor, műveleti erősítő, szenzorok, elektromos gépek, motorok, mérőműszerek, kapcsolók, tápegységek stb

Áramkörök felépítése

Ha két fogyasztón ugyanaz az áram folyik át, (a vezetékek a fogyasztók között nem ágaznak el, vagy ha igen, az új ágban nem folyik áram) azt mondjuk, a fogyasztók sorba vannak kapcsolva.

Ha a fogyasztók végei vezetékkel össze vannak kötve, akkor párhuzamosan vannak kapcsolva.

A legegyszerűbb fogyasztók a különböző anyagok, fémek. Az egyszerű fogyasztókra általában igaz, hogy a kivezetéseik között mérhető feszültség és a rajtuk átfolyó áram erőssége egymással egyenesen arányos. Az arányossági tényező éppen a fogyasztó ellenállása. Ez azonban csak általában igaz, egyfajta közelítés. Az ellenálláson hő fejlődik, ami melegíti azt.

Különleges fogyasztó a rövidzár, aminek két vége között mindig nulla feszültséget lehet mérni, bármekkora áram folyjon is át rajta. A vezeték ellenállása olyan kicsi, hogy általában rövidzárnak tekinthető.

A szakadás pont fordítva: Bármekkora feszültséget kapcsolunk is rá, a rajta átfolyó áram erőssége nulla.

A nyitott kapcsoló lényegében szakadás, a zárt kapcsoló pedig rövidzár.

Több fogyasztó vezetékkel való összekapcsolásával elektromos hálózat alakítható ki. A gyakorlatban fontos egyenáramú hálózatok viselkedését két alaptörvény írja le:

A csomóponti törvény szerint a hálózat bármely csomópontjába az oda befolyó és onnan elfolyó áramok erősségének előjeles összege nulla.

A huroktörvény szerint a hálózatban bármilyen zárt útvonalon haladjunk is végig, az áramköri elemeken mérhető feszültségek megfelelően előjelezve (a mérőirányt következetesen állandóan tartva) és összeadva nullát adnak. Ez a törvény akkor is igaz, ha nyitott kapcsoló vagy szakadás van az áramkörben.

A fenti két törvény alkalmazása sokszor bonyolult, ezért a hálózatok számításakor egyszerűsítő eljárásokat használunk.

Egymással sorba kapcsolt fogyasztókat helyettesíthetünk egyetlen fogyasztóval, melynek ellenállása az egyes fogyasztók ellenállásainak összege.

Egymással párhuzamosan kapcsolt két fogyasztó esetében az ismert replusz műveletet kell használni. Az eredő ellenállás mindig kisebb lesz, mint bármelyik párhuzamosan kapcsolt tag ellenállása. N darab párhuzamosan kapcsolt, R ellenállású fogyasztó eredő ellenállása R/N .

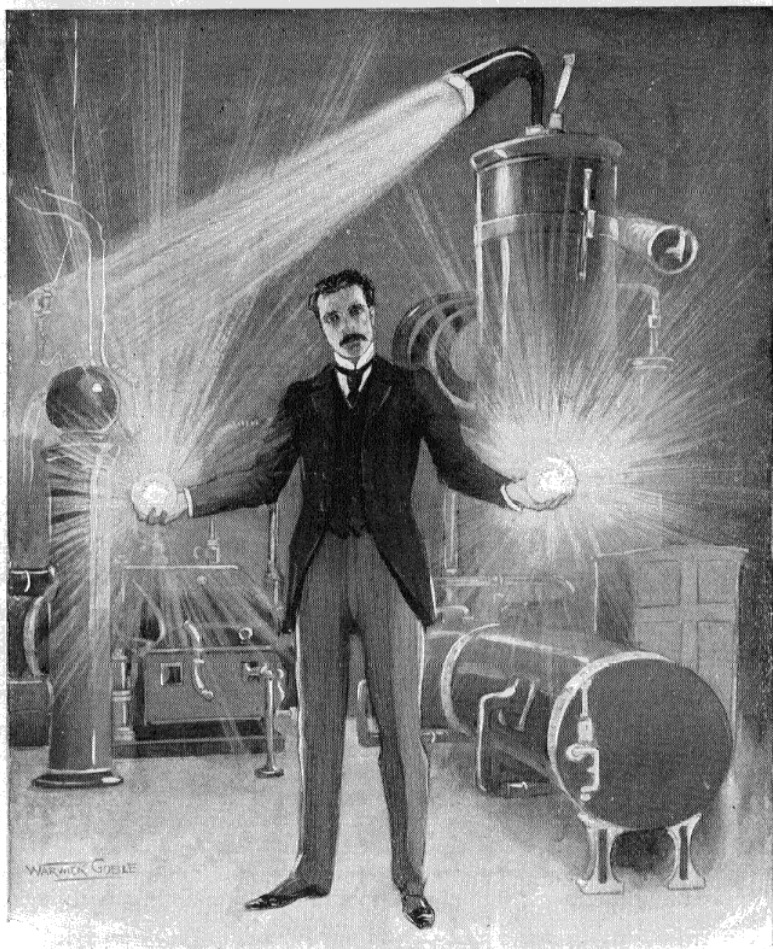
Mágneses mező

A mozgó töltések maguk körül mágneses mezőt keltenek. A mágneses mező mozgó töltésekre hat.

A mágneses mezőt a mágneses indukcióvektorral írjuk le.

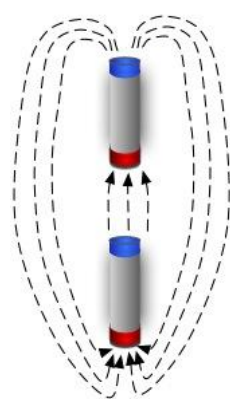
Jele: B , mértékegysége: tesla, jele: T , —

$B=2T$, a mágneses indukció nagysága 2 tesla.

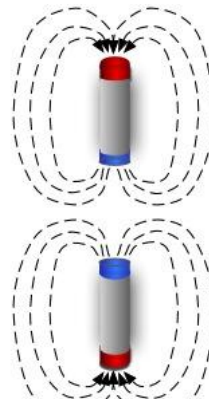


Nikola Tesla holding in his hands balls of flame

A természetben vannak mágneses anyagok. Ezekben az atomok körül mozgó elektronok hozzák létre a mágneses mezőt. A természetes mágnesek mindig két pólusúak.

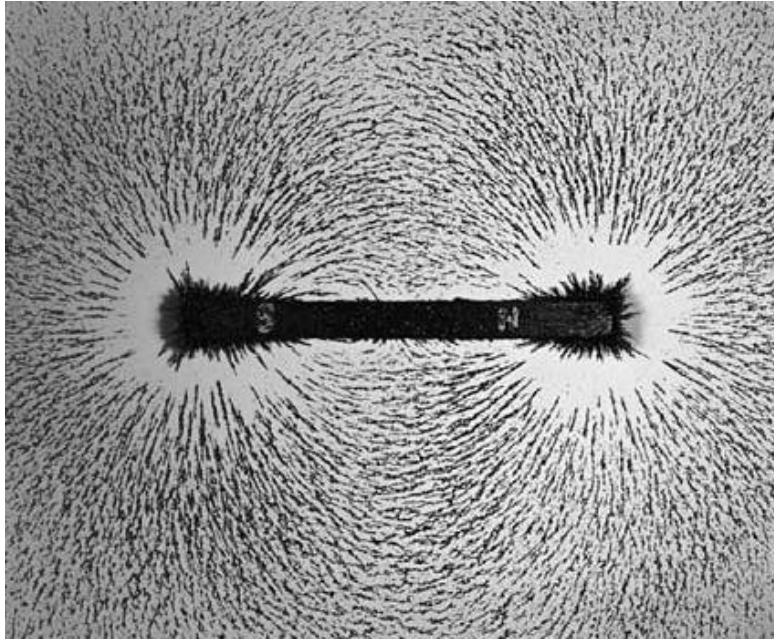


Magnetic Attraction
(conventional view)

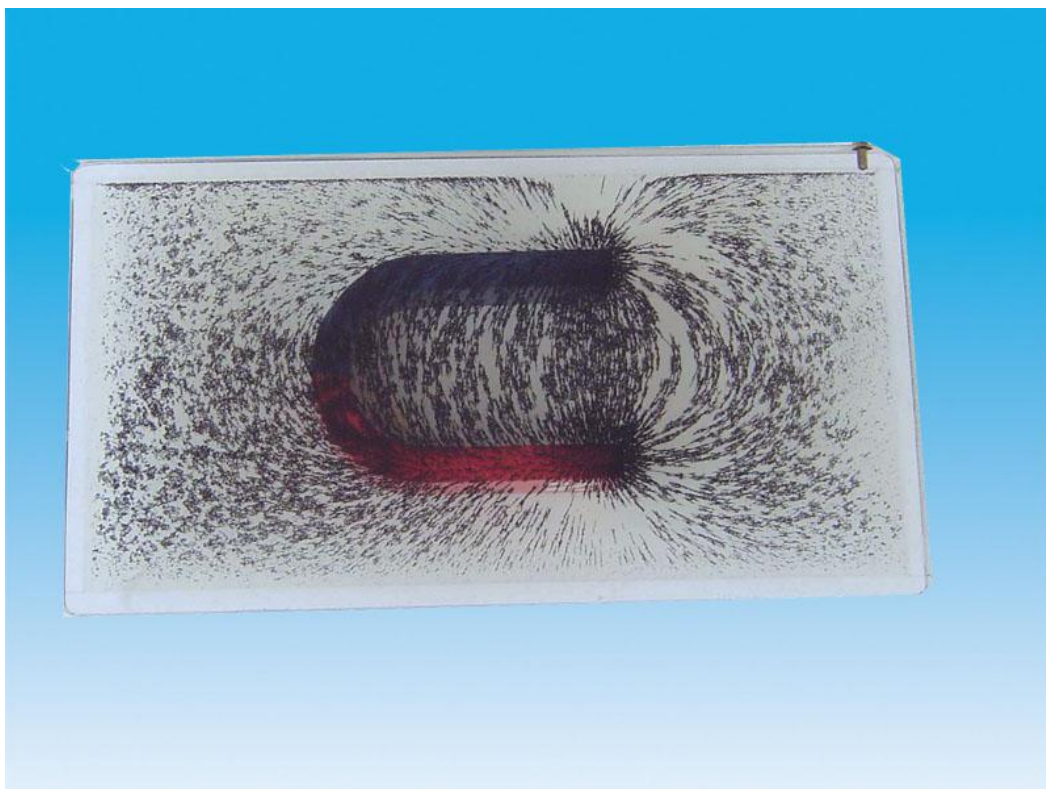


Magnetic Repulsion
(conventional view)

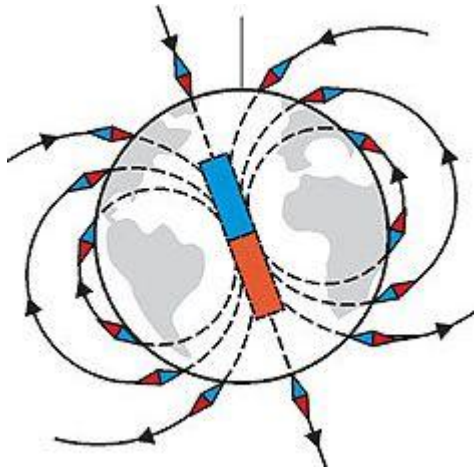
Az azonos pólusok vonzzák, a különböző pólusok taszítják egymást. A mágneses anyagok vonzzák a fémeket. (hűtőmágnes)



A természetes mágnes a körülötte levő mágneses mező szerkezetének megfelelően rendezi el a vasreszeléket. Megfigyelhető az északi és déli pólus.



A patkómágnes mágneses mezeje. Kék színnel az északi, Piros színnel a déli pólust jelölik. A mágneses indukcióvektor délről észak felé mutat.



A Föld mágneses mezeje

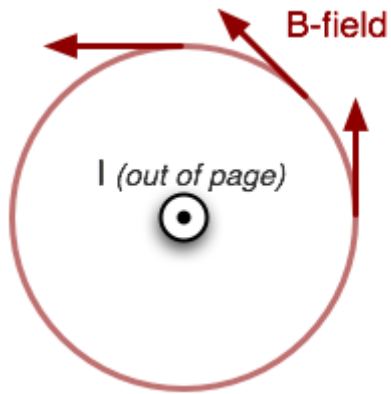
A Földnek is van mágneses mezeje, ami meghatározott irányba állítja a mágneses anyagokat. (iránytű)

„A földi mágneses mező egy mágneses dipólus, melynek egyik pólusa a földrajzi Északi-sark közelében, a másik pólusa a földrajzi Déli-sark közelében található. A mágneses pólusokat összekötő képzeletbeli tengely körülbelül $11,3^\circ$ -kal tér el a Föld forgástengelyétől. A mágneses mező valószínű oka a bolygó belső szerkezetében működő dinamó-mechanizmus. A mező 10 000 km-es nagyságrendben terjed ki a világűrbe, ezt magnetoszférának nevezzük.

A mágneses sarkok helye állandóan változik, évente akár 15 km-rel is. A sarkok egymástól függetlenül vándorolnak, ezért nincsenek feltétlenül a Föld két átellenes pontján.

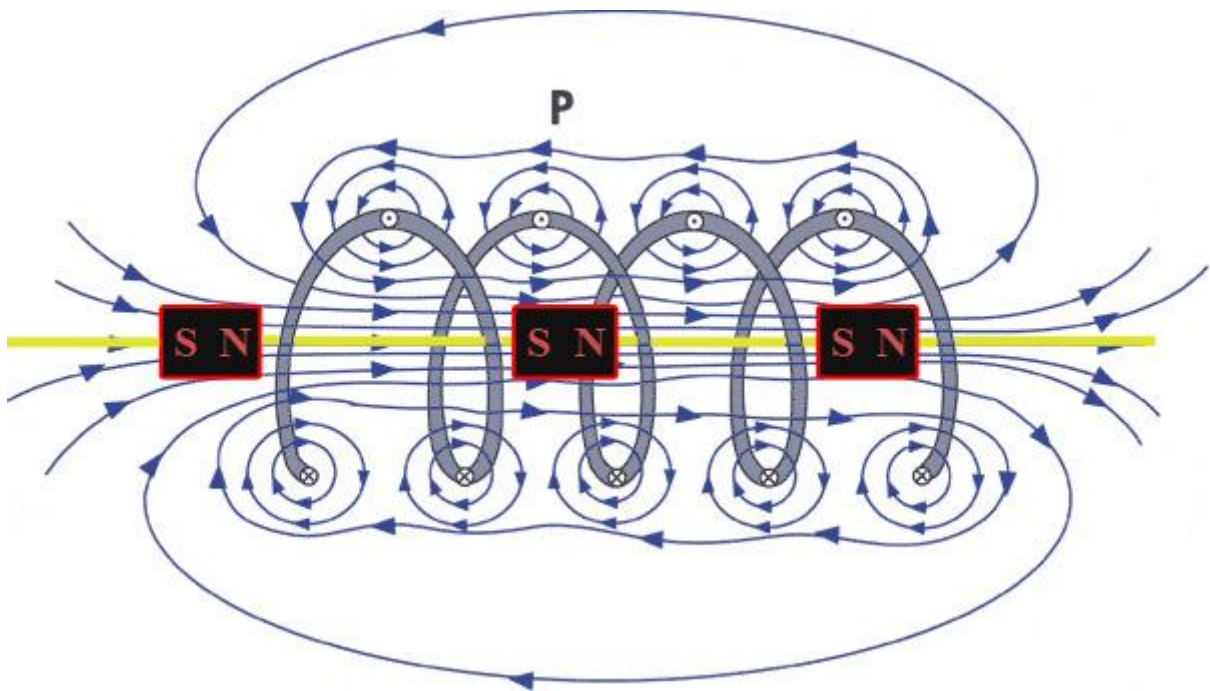
A Föld bármely pontján a mágneses tér három forrásból tevődik össze. A legfontosabb forrás a Föld magjában rejlik, ahol rendkívül magas a hőmérséklet és a nyomás értéke is. A második forrás a földkéreg, amely nagy mennyiségben tartalmaz magnetitet. A Föld mágneses terét ez a két hatás hozza létre. A földi mágneses tér harmadik összetevőjét azok az elektromágneses sugárzások alkotják, amelyek a légkör felső rétegeiben uralkodnak. A Föld mágneses terének megváltozását főként a magmában lezajló folyamatok okozzák (a magma áramlása).”

A mágneses pólusváltás divatos katasztrófaelmélet. A mágneses mező védi a Földet a nagy energiájú kozmikus sugárzástól. A részecskéket a sarkok felé tereli, ezek belépve a légkörbe okozzák az északi fényt vagy sarki fényt. Ha sérülne a Föld mágneses tere a káros sugárzás végigsöpörne a bioszférán.



A lapból kifelé irányban folyó áram keltette mágneses mező. (jobbkézszabály)

B nagysága:

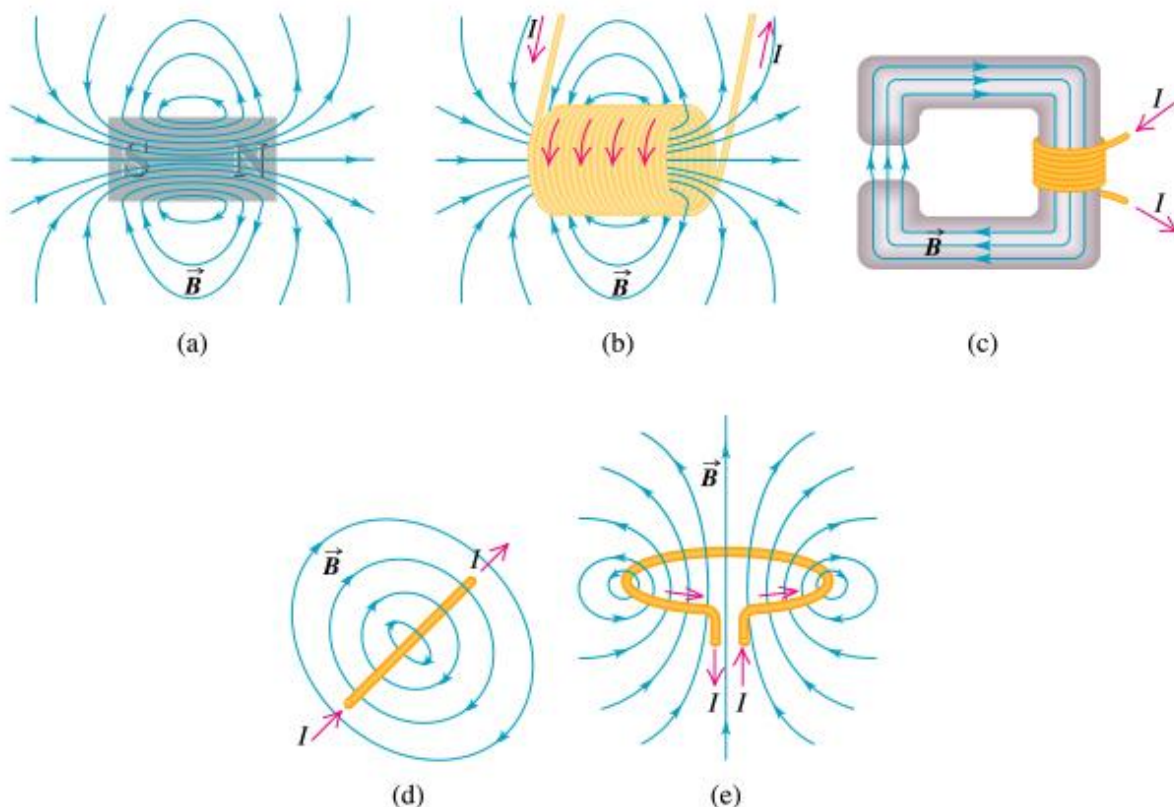


B nagysága és iránya a tekercs belsejében. (jobbkézszabály)

$$B = \mu_0 \cdot \frac{I \cdot N}{l}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{A}$$

mű null a vákuum permeabilitása.



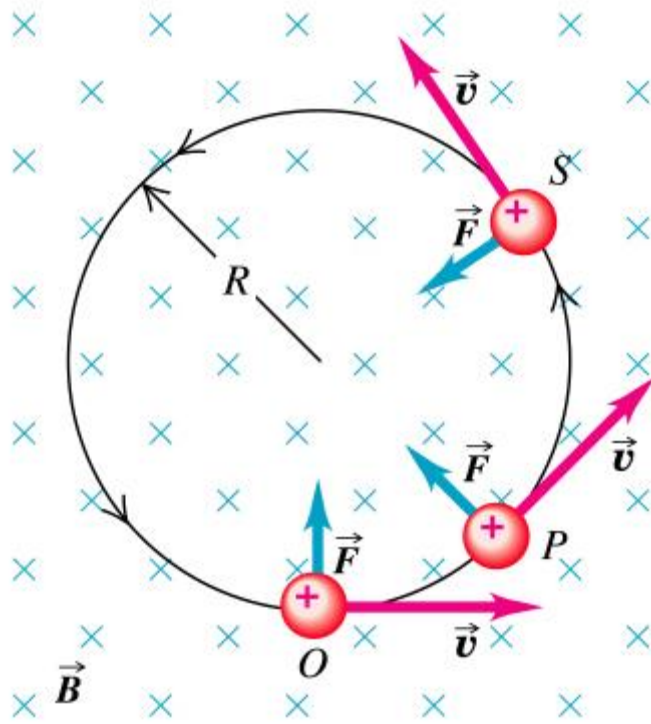
Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

A mágneses erő

Ahol a q a részecske töltése, v a sebessége, B a mágneses tér indukcióvektora.

A mágneses mezőben mozgó részecskére a mező erőt, úgynevezett mágneses erőt fejt ki. Az erőt úgy kell meghatározni, hogy a sebesség és az indukcióvektor vektori szorzatát szorozzuk a részecske töltésével, mint előjeles számmal.

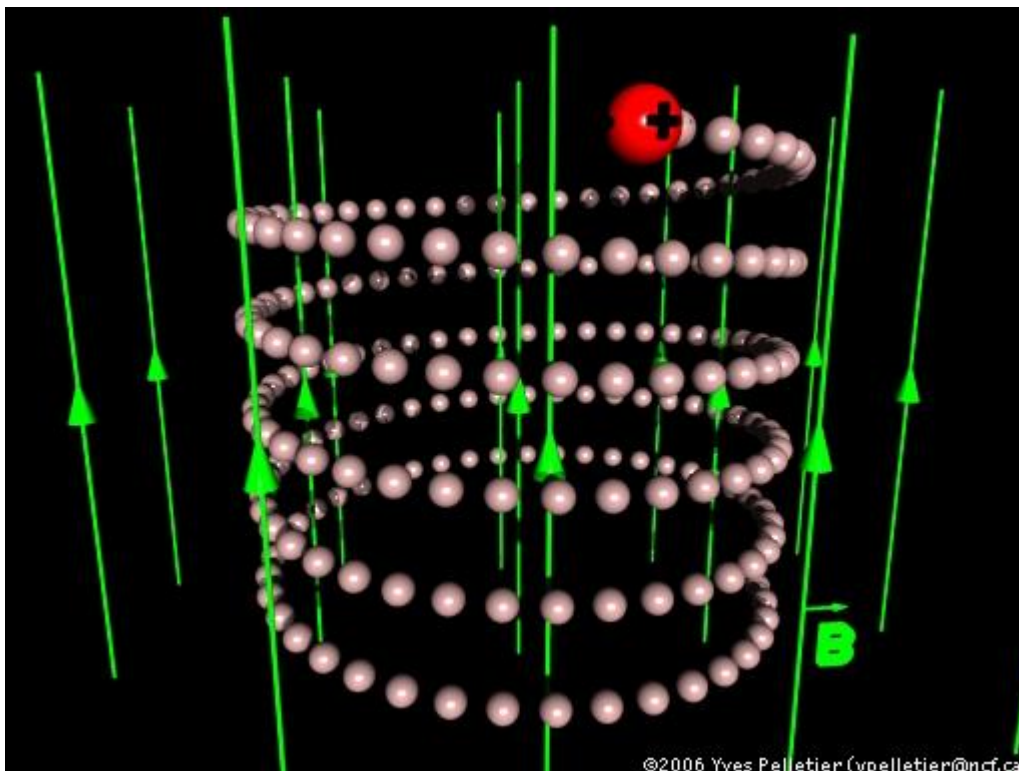
Az erő nagysága és iránya a vektori szorzat tulajdonságaiból adódik.



(a)

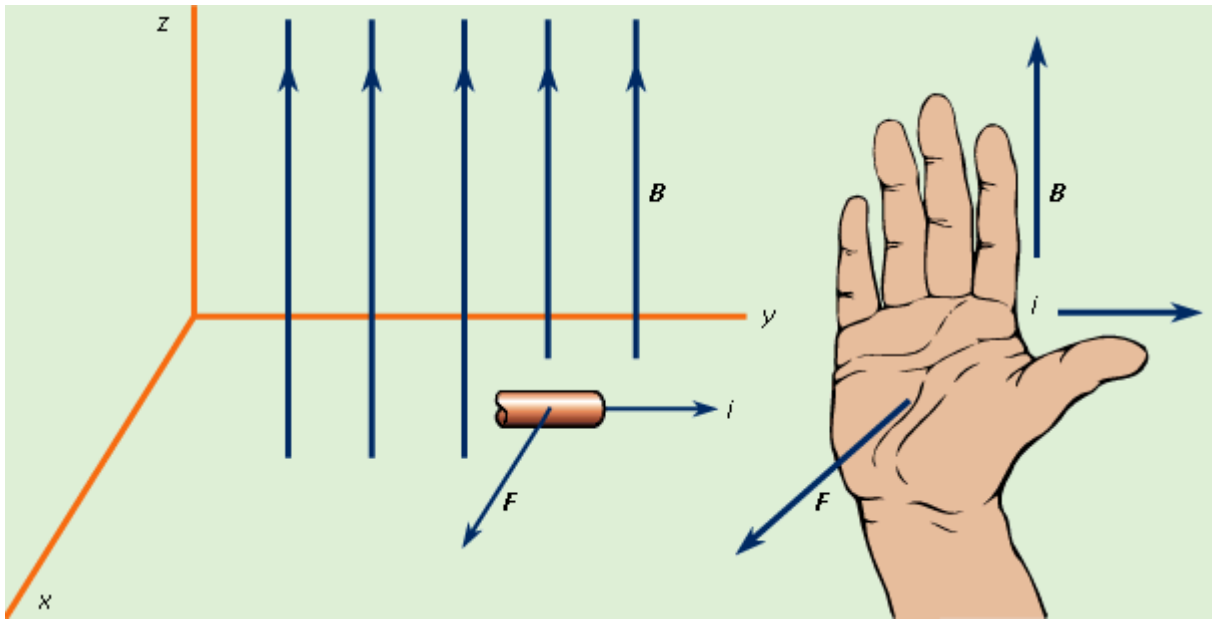
Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

A mágneses mező hatására a töltött részecske körpályán, vagy spirál mentén mozog.

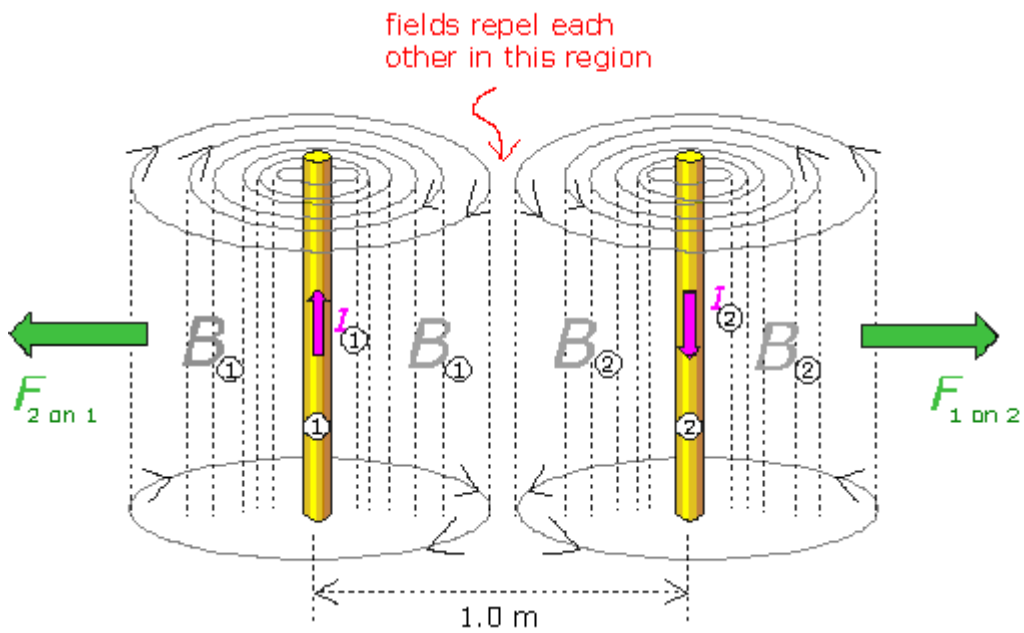


©2006 Yves Pelletier (ypelletier@ncf.ca)

Az áramra is mágneses erő hat.



Az árammal átjárt vezetékek között is mágneses erő hat.





A kanapében mágnes van.

A mágneses indukció jelensége

A mágneses indukció jelenségét nem szabad összekeverni a mágneses indukció vektorral, noha röviden mind a kettőt mágneses indukciónak szokták nevezni.

A mágneses indukció jelensége:

A változó mágneses mező elektromos mezőt hoz létre maga körül. (indukált elektromos mező) Ha ebbe a mezőbe vezetőket helyezünk, abban áram indul meg. (indukált áram)

A vezeték körül változhat úgy is a mágneses mező, hogy valójában a vezeték az, ami mozog. Ez a mozgási indukció jelensége.

Ha a vezeték áll, akkor a mágneses mező változhat például patkómágnes mozgatása, vagy a mezőt létrehozó tekercs áramának változtatása révén.

szimuláció

Mágneses mező az anyagokban

A nagy relatív permeabilitású ferromágneses anyagok a belsejükben megsokszorozzák a külső mágneses mezőt. Az anyaggal kitöltött tekercs belsejében az indukcióvektor nagysága:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{I \cdot N}{l}$$

Ahol a μ_r szám, az anyag relatív permeabilitása adja meg, hogy hámszoros a növekedés a levegővel töltött tekercshez képest.

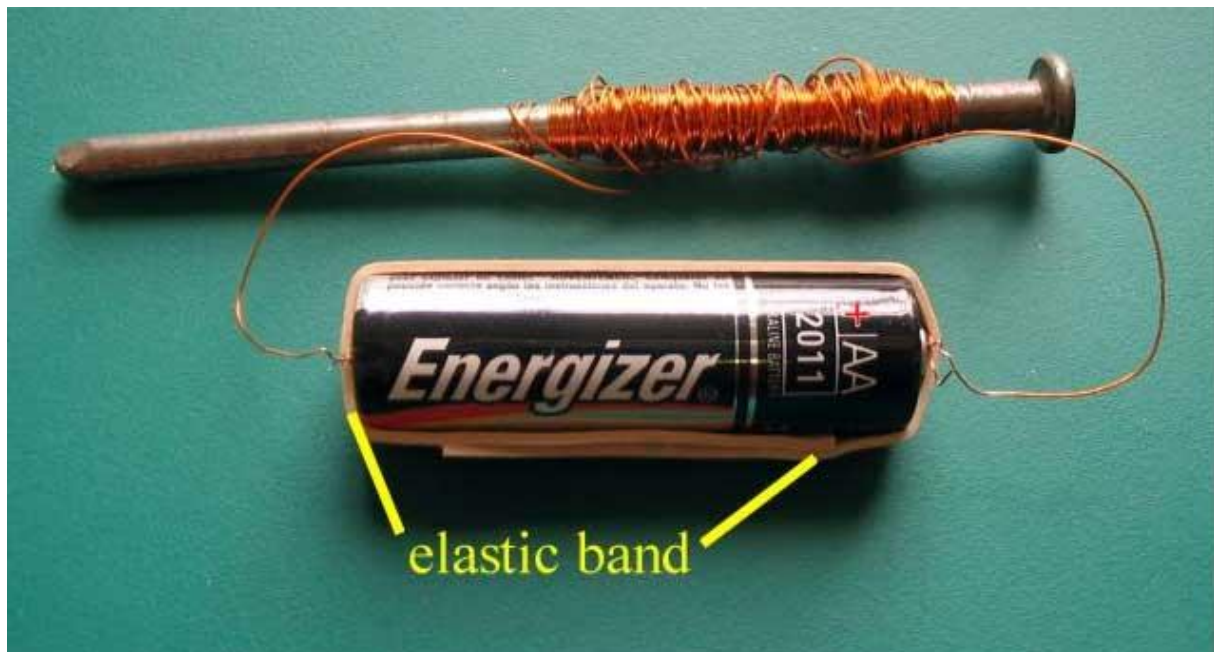
Ha a tekercsbe vasat, kobaltot, vagy nikkelt teszünk, akkor a mágneses indukció 200-1000000 szeresére nő.

Ha a tekercsbe alumíniumot, vagy mangánt teszünk, akkor a mágneses indukció alig növekszik. Ezek a paramágneses anyagok.

Ha a tekercsbe rezet, vagy aranyat teszünk, akkor a mágneses indukció kis mértékben csökken. Ezek a diamágneses anyagok.

Az atomok körül mozgó elektronok mágneses mezőt hoznak létre. A ferromágnesekben az atomi mágnesek bizonyos mértékben már rendezettek, a külső mágneses tér könnyen növeli tovább a rendezettséget.

A ferromágneses anyagok felhasználásával nagyon erős elektromágneseket lehet készíteni.



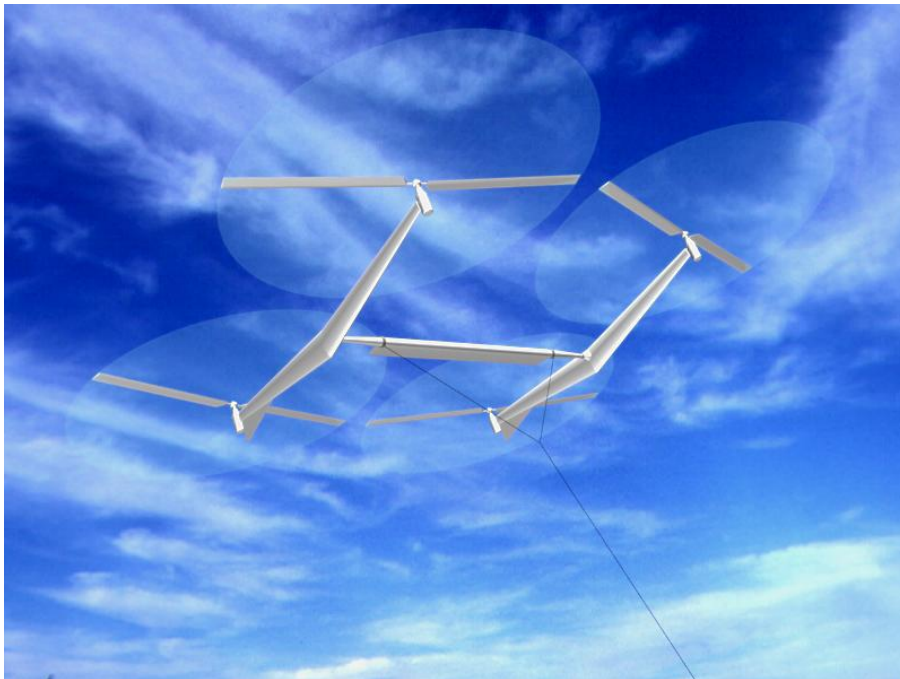


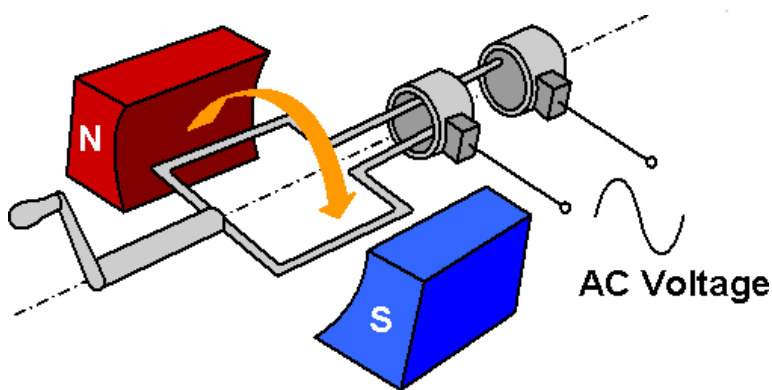
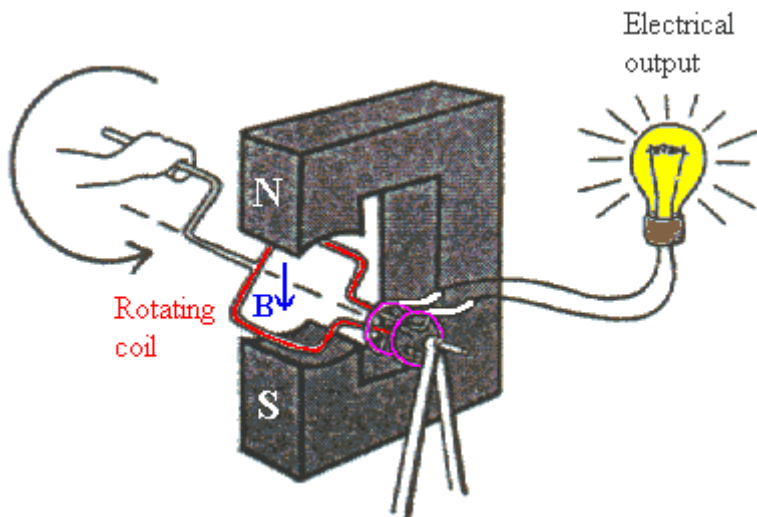
Elliptical Electro Magnet

Szemét szétválogatás

A fémekben olyan áramok indulnak, amelyek saját mágneses mezeje csökkenti a fémbe behatoló külső mágneses mezőt.

Generátorok – erőművek





A kérdés: mi forgassa vezetőket?

Mi a legkedvezőbb elrendezés? (mérnökök)

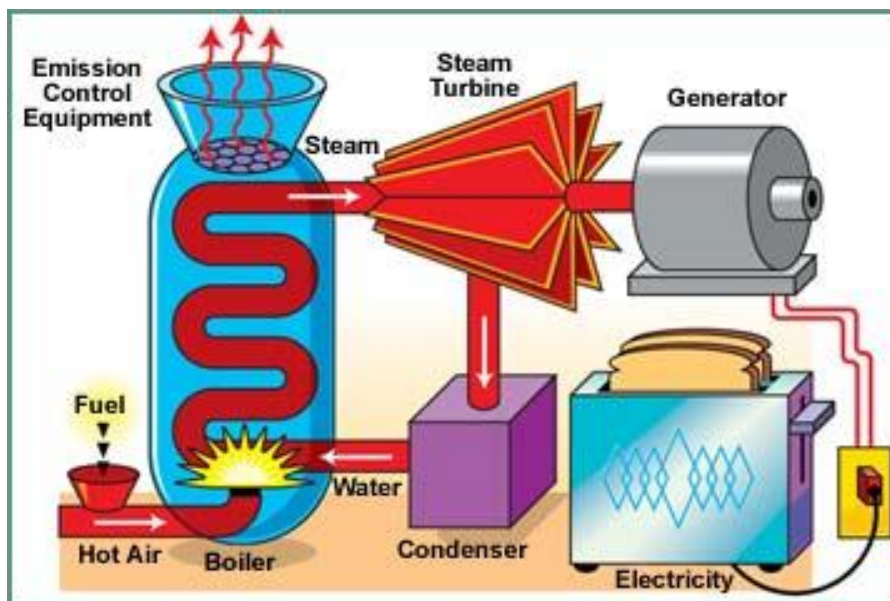
A generátor váltóáramot termel: Az áram iránya és nagysága folyamatosan változik.





Hullám erőmű

Vízi erőmű



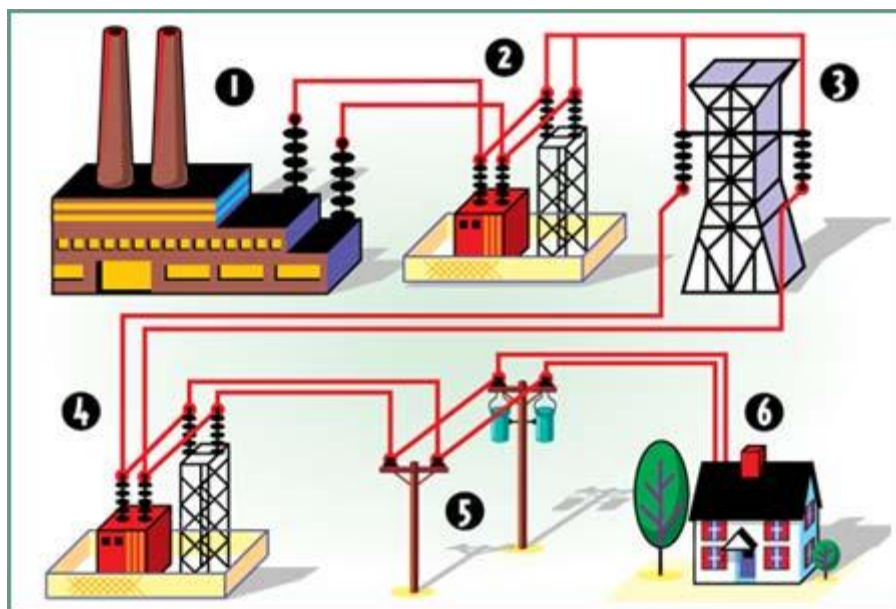
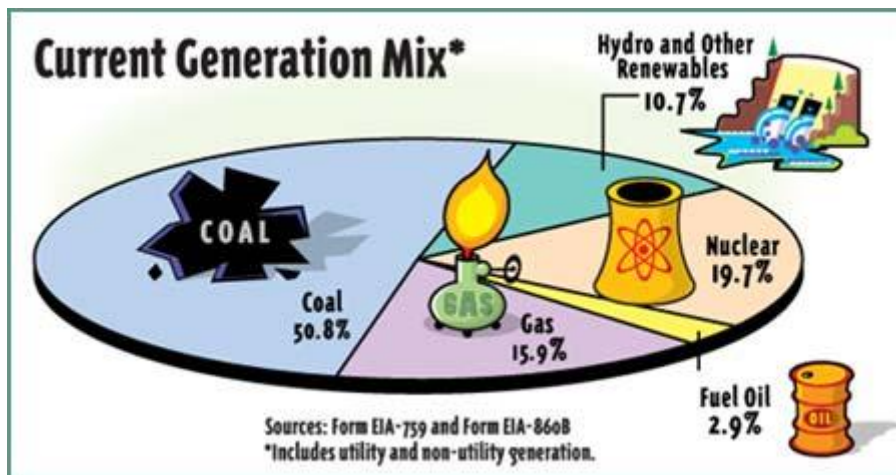
Gőz-turbinával hajtott generátor

Mivel fejlesztik a gőzt?

Hőerőmű

Atomerőmű

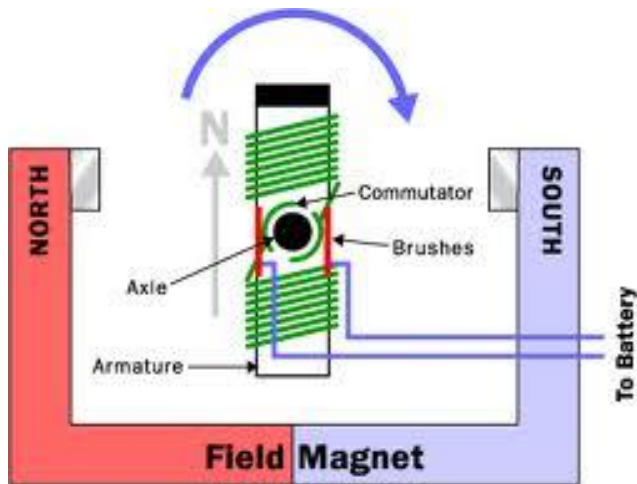
Energiatermelés a Földön



Elektromos motorok

Szénkefés egyenáramú motor

A mágneses mezőben elhelyezett áramjárta vezetékre mágneses erő hat.



©2003 HowStuffWorks

A forgó részben vannak a tekercsek, az álló rész a mágnes.

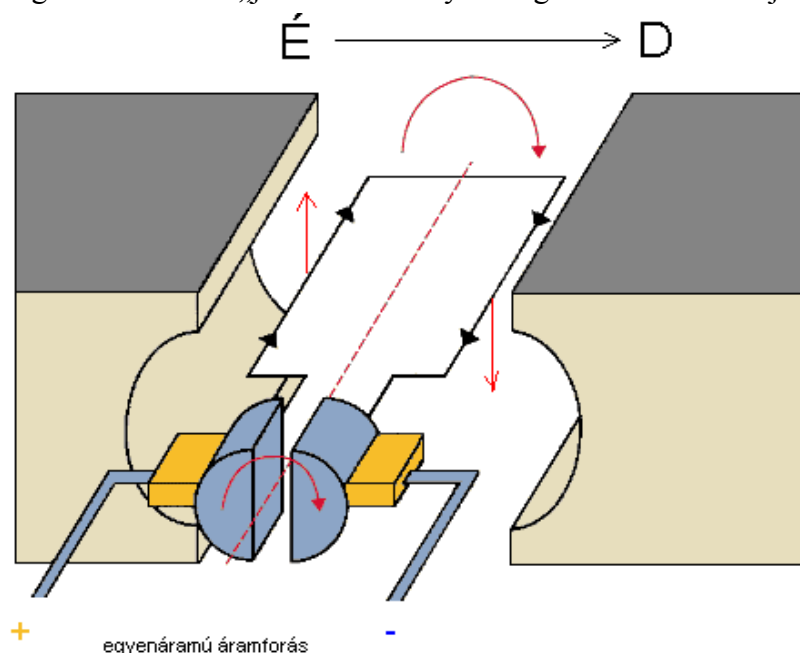
„egyenáramú gép. egyenárammal működő villamos gép, amelynek komutátoros forgórésze és kiálló pólusú állórésze van. Működhet generátorként vagy motorként. ...”

Tehát az egyenáramú gépnek a lexikális meghatározása szerint két fő része van:

- a forgórész (rotor)
- az állórész (sztator)

Az állórészben vannak az úgynevezett gerjesztőtekercsek, ezek egyenáram hatására mágneses teret gerjesztenek. Ez egy állandó, álló mágneses tér. Az állandó mágneses teret mágnesek is létrehozhatják - ezt a megoldást főleg a kisebb, egyszerű motorokban alkalmazzák. A kialakítástól függetlenül az állórész feladata az állandó mágneses mező létrehozása. A mágneses erővonalak az északi mágneses pólustól mutatnak a déli mágneses pólus felé. Ebben a mágneses mezőben fog forogni a rotor.

A forgórész tulajdonképpen egy tekercs, melynek a kivezetései a forgórész tengelyén gyűrűkre vannak rögzítve, egymástól elektromosan elszigetelve. Ezekhez a gyűrűkhöz csatlakozik a komutátor. Ennek feladata az, hogy a forgórész tekercsének a kivezetéseit a motor külsejére kivezetni ezáltal lehetővé tenni a tekercs táplálását egyenárammal. A működési elv alapja a mágneses mezőben áramátjárta vezetőre ható Lorentz erő. A Lorentz erő irányának meghatározására a „jobbkeéz-szabály” szolgál. E szerint ha a jobb kezünk



Az egyenáramú motor működési elve

hüvelykujját az áramirány, mutatóujját a mágneses mező szerint állítjuk be, akkor a középső ujjunk mutatja a fellépő Lorentz erő irányát. Amennyiben egyenáramot kapcsolunk a forgórész tekercsére, akkor ez az erő fogja forgásba hozni és forgásban tartani a forgórészt. A forgórészben minden félfordulat után megváltozik az áram iránya a gyűrűk és a komutátor miatt. Ez biztosítja, hogy a rotorra minden fordulat alatt ugyanabban az irányban ható Lorentz erő fog hatni.

A komutátor feladata lényeges, nagy mértékben befolyásolja a motor működését. Elsősorban tökéletes elektromos kapcsolatot kell létesítenie a tápforrás és a forgórész tekercse között minimális szikraképződés mellett. A megvalósítás szempontjából a komutátor rézlemez-párból, vagy szénkefe-párból áll. Az előbbit főleg a nagyon kicsi motoroknál használják, míg az utóbbi az elterjedtebb a többi típusnál. A szén ideális anyag a komutátor keféihez, mert puha, nagyon könnyen megmunkálható és jó elektromos vezető. A minél tökéletesebb elektromos kapcsolat létrehozásához a szénkefét egy rugóval szokták a forgórész gyűrűjéhez szorítani. Tökéletes kapcsolat azonban így sem létesül a kefe és a gyűrű között, ezért elkerülhetetlen a szikrázás a kefe és a rotor között amikor a rotor forogni kezd. Ez a jelenség káros a motor működése szempontjából, mert feszültségesést okoz, a kefék melegeledését és kopását okozza. Előfordul az is, hogy a szénkefe teljesen elkopik vagy elég, ekkor természetesen a motor megáll, hiszen a rotor nem kap tápfeszültséget. Szerencsére a motor javítása ebben az esetben nagyon egyszerű, csupán az elkopott szénkefét (vagy szénkefe párat) kell kicserélni. Mivel ezek szabványosítottak ezért ez nagyon egyszerűen és gyorsan meg lehet tenni, miután a motor újra működőképes. Komolyabb meghibásodásnak számít a forgórész tekercselésének a szakadása. Ez ritkábban mechanikai behatás miatt történik meg, gyakrabban a túlságosan magas, helytelenül megválasztott tápfeszültség miatt vagy a motor tengelyének a beragadása miatt történik meg. Ezekben az esetekben az üzemkimaradás leggyorsabb orvoslása a motor cseréje.

Léptetőmotor

Az évek folyamán nagyon sok új típusú egyenáramú motor jelent meg. Az egyik a léptetőmotor. Ez a fajta motor már digitális jellel, jelsorozattal vezérelhető ezért működése valamivel bonyolultabb, illetve a digitális jelsorozat előállítására is külön áramkört igényel. Éppen ezért ezeket a motorokat főleg a számítástechnikai berendezésekben alkalmazzák, ahol már eleve digitális jelekkel dolgoznak. A leismertebb példák: a hajlékonylemez egységek, merevlemez egységek, optikai lemez egységek fejének a mozgatása, nyomtatók fejének a mozgatása.

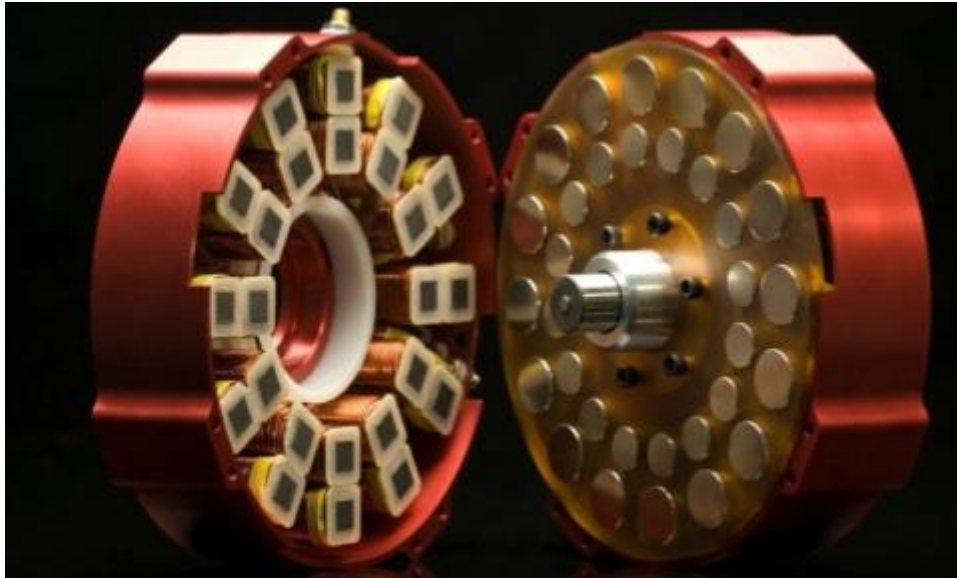


Léptetőmotorok

A léptetőmotor nem szabályos forgómozgást végez, hanem a kapott digitális impulzus szerint a teljes fordulat egy tört részét hajtja végre – hogy pontosan mennyit az a motorban levő tekercsek számától függ.

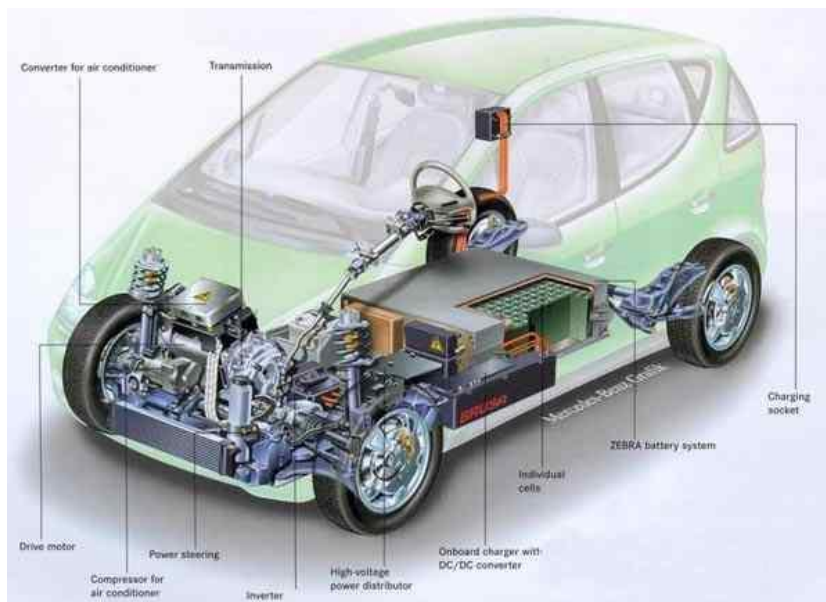
Ennek a motornak az egyik előnye, hogy nagyon pontos mozgásokat tud végrehajtani. Amennyiben nagyon gyors egymásutánban kapja a vezérlő impulzusokat, akkor forgómozgás végzésére is képes. A legnagyobb előnye azonban az, hogy nem használ keféket, így kiküszöbölhető az ott fellépő veszteségek.

HUB-motor

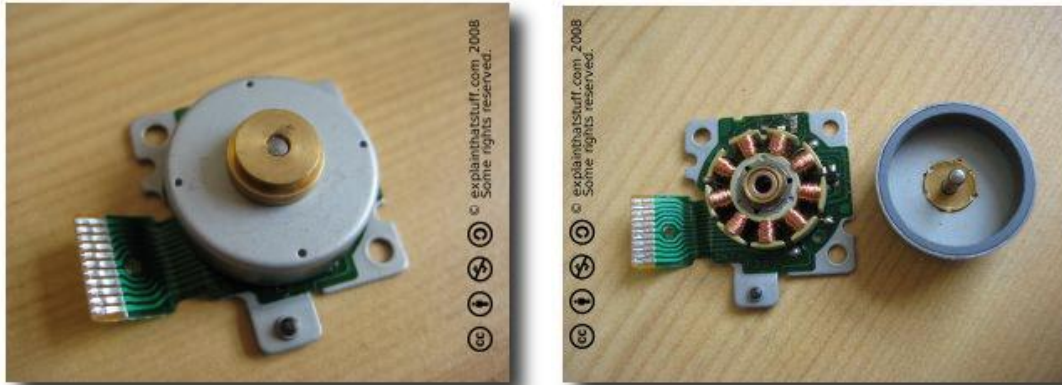


A mágnesek a forgó részen vannak. Váltóárammal működtetett motor.

Sokkal nagyobb a nyomatéka és jobban gyorsul mint a benzines motor. A gond az elektromos energia tárolása.



A motor lényegében a kerékben van. A forgó rész a felni mágnesekkel, az agyban vannak a tekercsek, amibe a váltóáramot vezetik. (HUB motor)



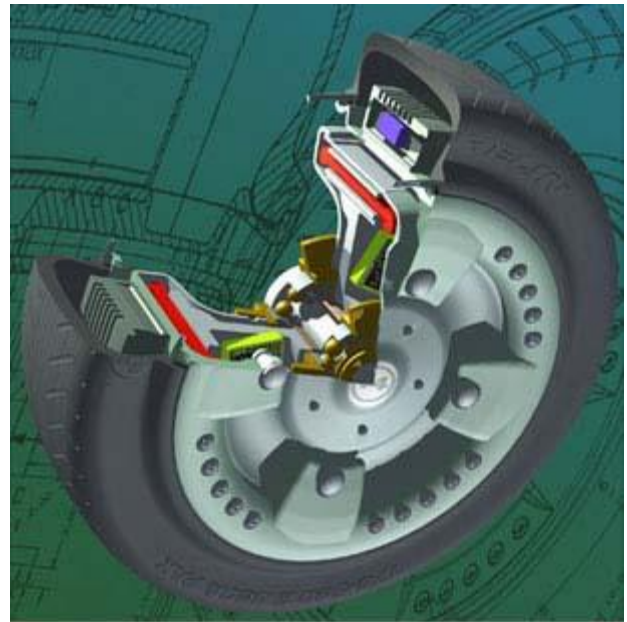
HUB motor

Ez a típus nyomatéka alapján alkalmas közlekedési eszközök meghajtására, sőt méreténél fogva egyenesen a jármű kerekébe szerelhető. Az elgondolás, hogy a motor a legmegfelelőbb helyre kerüljön azaz a kerékbe, nem új a Közlekedési Múzeumban látható egy ilyen irányú próbálkozás de nem HUB motorral. Napjainkban ilyen típusú motort főleg biciklikbe szerelnek, de létezik autóba szerelt prototípus is. Létjogosultságát legjobban az támasztja alá, hogy a holdjárművet is ilyen motor hajtotta.



Biciklikerek HUB motorral

Maga a motor egy komutátor nélküli motor. Tehát ennél a típusnál sem jelenhetnek meg a kefe miatti veszteségek. Az állórészen több tekercs helyezkedik el és egy áramkör biztosítja, hogy a megfelelő időben a megfelelő tekercs kapjon áramot biztosítván a motor állandó forgását. Előnye a súlymegtakarítás. Az elektromos motorral hajtott járműnek nincs szüksége sebességváltóra és maga az elektromos motor is könnyebb lesz mint a belsőégésű motor az összes kiszolgáló berendezéssel. Hátránya az, hogy erősebb kell legyen a hajtott kerék illetve súlyfelesleget az akkumulátorok jelenthetnek, de ezek kapacitása egyre nő, méretük és súlyuk egyre csökken. Áruk viszont elég magas.



Akkumulátor a vázban. Motor a kerékben.

A váltakozó áram

A váltóáram – periódusidő, frekvencia

A hálózati váltóáram erőssége szinuszosan változik. Az elektronok előbb megindulnak és egyre gyorsulva mozognak az egyik irányba, majd lelassulnak, megállnak, gyorsulva elindulnak az ellenkező irányba, majd újra visszafordulnak és ugyanezt az oda-vissza mozgást ismétlik, másodpercenként kb ötvenszer. A hálózati váltóáram frekvenciája ezért 50Hz (hertz). Azt, hogy mennyi idő alatt zajlik le egy periódus a frekvencia reciproka adja meg. A

hálózati váltóáram periódusideje ezek szerint 0.02s. (két század másodperc, ami az egy ötvened másodperc bővített formája.) A váltóáram tehát tartósan nem szállít töltést egyik irányba (a vezetéken előre és hátra) sem. Hőt azonban fejleszt, hiszen az ide-oda mozgó elektronok ütköznek a vezeték helyhez kötött atomjaival.

Amikor azt mondjuk, hogy a váltóáram **effektív áramerőssége** 2A, akkor arra gondolunk, hogy a váltóáram azonos körülmények között ugyanannyi hőt fejleszt, mint amennyit a 2A-es egyenáram fejlesztene. Hőhatás szempontjából a 2A-es egyenárammal egyenértékű, de más szempontból nem. pl. töltést nem szállít. (2)

A szinuszosan váltakozó áram matematikai leírása

1. Egy szinuszos váltakozó áramú jel 15s alatt 143-szor ismétlődik. Az áramerősség maximális értéke 2mA, a bekapcsolás pillanatában értéke éppen -2mA.

- Adja meg a jel periódusidejét századmásodpercekre kerekítve.

M:

$$T = \frac{15s}{143} = 0,1048951s = 0,10s$$

- írja fel az áramerősség-idő függvény képletét.

M:

$$f = \frac{1}{T} = 10hz$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 62,8hz$$

$$i(t) = 2mA \cdot \sin(62,8hz \cdot t - \frac{\pi}{2})$$

-Ábrázolja az i(t) függvényt.

Az effektív áramerősség kiszámolása:

—

Ahol T a váltakozó áram periódusideje.

Az időben változó áramerősség négyzetének periódusidőre vonatkozó határozott integrálját kell kiszámolni, osztani a periódusidővel majd négyzetgyököt vonni.

Váltakozó áram ellenálláson

Ha a 2A effektív értékű váltóáram 2Ω-os ellenálláson halad keresztül, akkor az ellenállás végei között 4V effektív feszültséget mérhetünk, (Az effektív értékekre igaz az OHM-törvény) és a feszültség változása pillanatról pillanatra követi az áramerősség változását, az áramerősség és az ellenállás szorzata mindig megadja a mérhető feszültséget. A teljesítményt az effektív feszültség és az effektív áramerősség szorzata adja. A váltóáramú mérőműszerek az effektív értékeket mutatják, de az olcsóbb kézi műszerek az úgynevezett abszolút középértéket mérik. Ebből a jelalak csúcstényezője (crest faktor) segítségével kapják meg az effektív értéket.

(2)

A kondenzátor

A kondenzátor töltések tárolására alkalmas eszköz. Legegyszerűbben két, nagy felületű és egymáshoz közel elhelyezett fémlemez segítségével készíthető. Ha az egyik fémlemezre töltések áramlanak (árammal feltöltjük a kondenzátort) akkor a másik lemezen ellentétes előjelű töltések jelennek meg, amelyek kifelé semlegesítik a felvitt töltéseket. A kondenzátor lemezei között azonban a felvitt töltés nagyságával egyenes arányban nő a feszültség, amíg a kondenzátor teljesen fel nem töltődik. Ekkor újabb töltések már nem jutnak a lemezre és a töltőáram megáll, a feltöltött kondenzátor az egyenárammal szemben szakadás. A töltés tárolási kapacitás éppen a felvitt töltés és a hatására kialakult feszültség hányadosa. A kondenzátor legfontosabb jellemzője a kapacitása.

A váltóáram áthalad a kondenzátoron, hiszen a váltóáramban a töltések tartósan nem mozognak egy irányba, a kondenzátor folyamatosan feltöltődik és kisül. Ha a váltóáram effektív feszültségét osztjuk az $X_c = 1/(2 \cdot \pi \cdot C \cdot f)$ mennyiséggel, ahol C a kondenzátor kapacitása, f pedig a váltóáram frekvenciája, megkapjuk a kondenzátoron átfolyó áram effektív értékét. Ebben az értelemben X_c az egyenáramú ellenállással hasonló szerepű mennyiség. A frekvencia növekedtével csökken, azaz a nagyfrekvenciás árammal szemben a kondenzátor ellenállása egyre kisebb.

Az induktivitás

Induktivitást legegyszerűbben egy vasmagra felcsévélte vezeték segítségével hozhatunk létre. Az így kapott tekercs legfontosabb jellemzője az ún. önindukciós együttható (L). Ha a tekercsen váltóáram folyik, akkor a tekercs végei között feszültséget mérhetünk. Az átfolyó áram effektív áramerőssége és az $X_L = L \cdot 2 \cdot \pi \cdot f$ mennyiség szorzata adja a feszültség effektív értékét. (f ismét a váltóáram frekvenciája). Az X_L mennyiség az egyenáramú ellenálláshoz hasonló szerepű. Látható, hogy kis frekvencia esetén a tekercs végei között mérhető feszültség is kicsi.

A fáziskülönbség

A gyakorlatban fontos esetekben minden, a hálózatban szereplő váltóáramú generátor frekvenciája megegyezik egymással. Ekkor a mérhető áramerősségek és feszültségek is ugyanabban, a generátorok frekvenciája által kijelölt ritmusban változnak. Előfordulhat azonban, hogy az azonos frekvenciájú jelek egymáshoz képest időben elcsúsznak, sietnek vagy késnek. Két váltóáram között nulla a fáziskülönbség, ha pontosan együtt változnak. Ekkor mindkét vezetékben egyszerre éri el az áramerősség a maximumot és az elektronok mozgási iránya is megegyezik. Az ilyen áramok találkozásakor a kialakuló áram effektív erőssége az egyes áramok effektív erősségeinek összege. 180 fok vagy pi radián a fáziskülönbség (ellentétes fázis), ha az áramerősségek egyszerre érik el a maximumot, de az elektronok ellentétes irányban mozognak. Ilyenkor, ha a tekintett maximumok ugyanakkorák, az áramok összege mindig nulla, általában pedig a kialakuló áram effektív áramerőssége az egyes áramok effektív áramerősségeinek különbsége. Hasonló a helyzet a váltóáramok feszültségével is. A fáziskülönbség következménye az, hogy az effektív értékekre nem igaz a csomóponti törvény és a huroktörvény. (A komplex értékekre igaz). Akár az is előfordulhat, hogy a csomópontba futó két vezetéken az áramerősség mérő IA-t, a harmadikon pedig OA-t mutat.

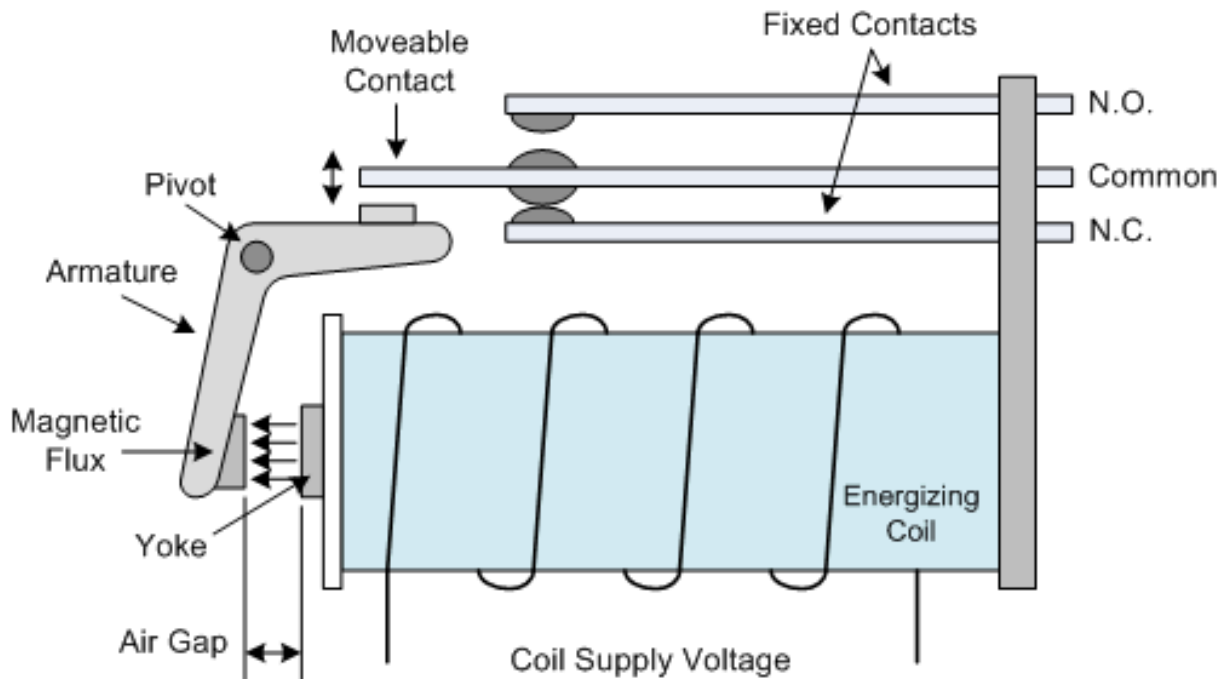
A komplex módszer alkalmas arra, hogy közbülső esetben is meghatározzuk az eredő áramerősséget és más elektromos jellemzőket.

A kondenzátort és tekercset is tartalmazó fogyasztók esetében a rajtuk átfolyó áram és a kivezetéseiken mérhető feszültség között fáziskülönbség van. Egyetlen kondenzátor esetén az

áramerősség 90 fokkal megelőzi a feszültséget, tekercs esetében a feszültség kilencven fokkal megelőzi az áramot. A váltóáramú fogyasztók teljesítményét úgy kell számolni, hogy az effektív áramerősség és effektív feszültség szorzatát az áram és a feszültség fáziskülönbségének koszinuszával is szorozzuk.

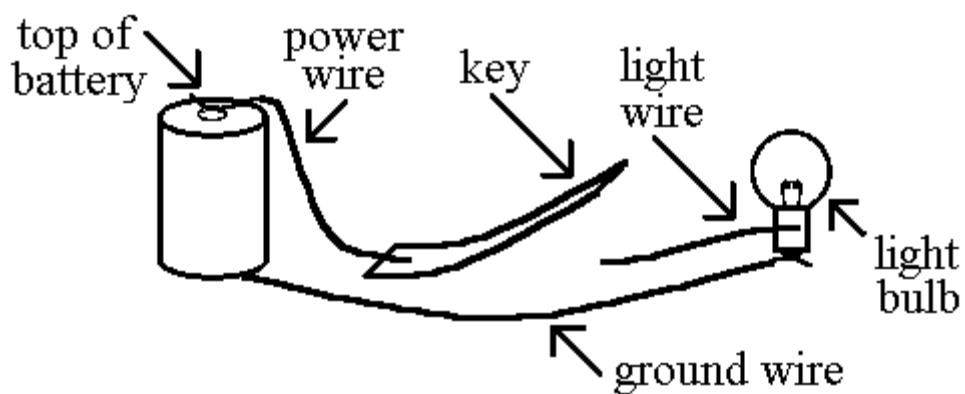
Tranzisztorok, vezérelt kapcsolók

Az elektromos berendezések egyik fontos összetevője a relé. A relé egy olyan, általában elektromágnest tartalmazó mechanikus kapcsoló, amelyet árammal lehet be és kikapcsolni.

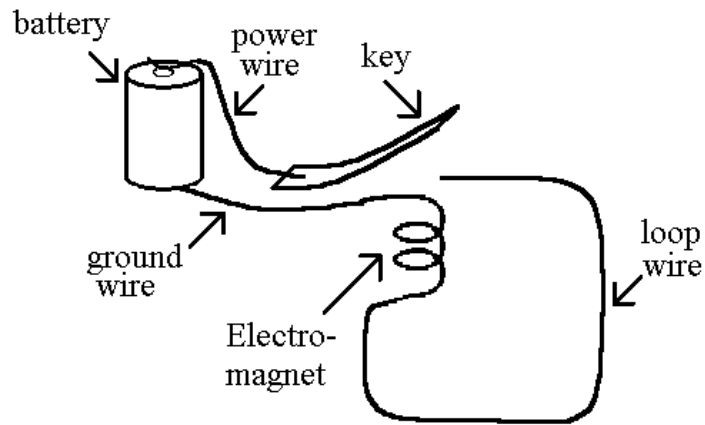
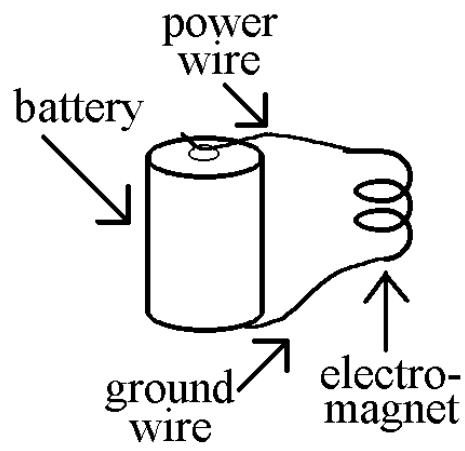


Az első mechanikus számítógépekben relét használtak. Ha a relé a saját áramkörét kapcsolja be, elektromechanikus memóriaként használható.

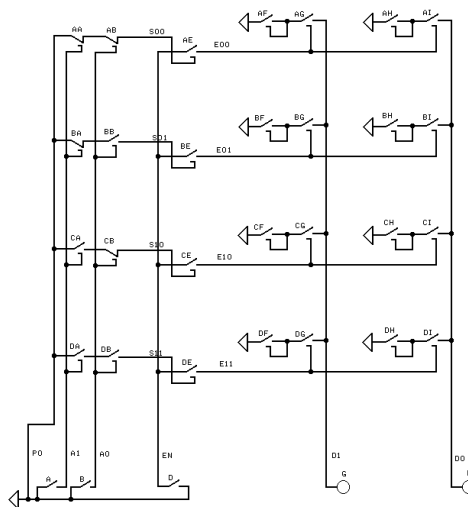
áramkör kapcsolóval:



áramkör elektromágnessel:

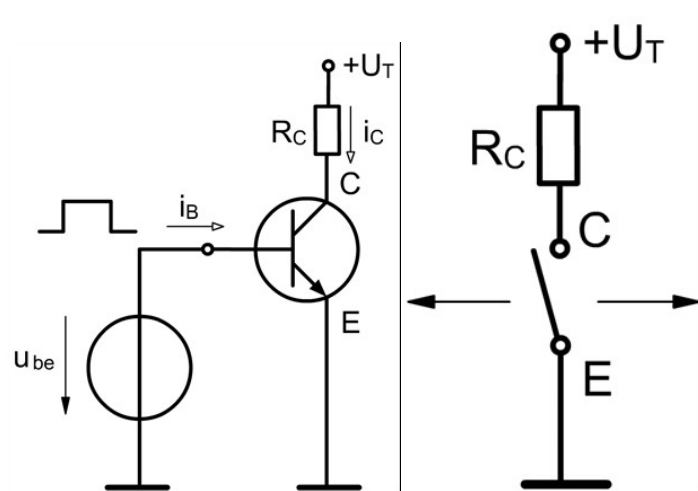


Memória áramkör: megőrzi bekapcsolt állapotát.

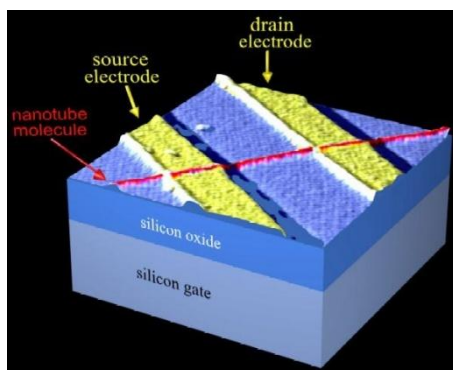


Címezhető 2 bites memória áramkör reléekkel.

A mai elektronikus számítógépekben tranzisztorokat használnak vezérelt kapcsolóként. A tranzisztor három lába: emitter, bázis, kollektor. A megfelelően bekötött tranzisztorok a bázisáram kis változásával vezérelhető kapcsolókként működtethetők.



A félvezető rétegekből kialakított térvezérlésű tranzisztorok millióit helyezik el az integrált áramkörökön:



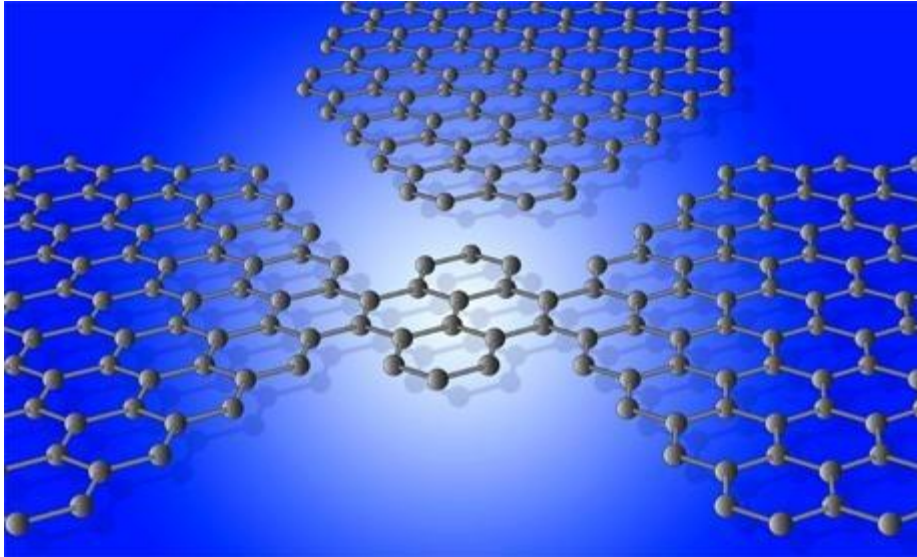
A jövőben atomokból rakják össze a tranzisztorokat.

A leading contender to replace silicon as the basis for computing has made another step forward.

Transistors one atom thick and ten atoms wide have been made by UK researchers. They were carved from graphene, predicted by some to one day oust silicon as the basis of future computing.

For 40 years computing has been dominated by a rule of thumb named [Moore's law](#), which predicts that the number of transistors on a chip will double roughly every two years.

Yet silicon, the material that has so far been used to keep up with Moore's law cannot form stable structures below 10 nanometres in size. And today's newest chips already have features just 45 nm across. The hunt is on for a replacement for silicon. (2009)



A világ jelenlegi legkisebb tranzisztora grafén-ből készült. Egy atomi réteg vastag, néhány atomból áll. (gyémánt, grafit, fullerén, nanocső, grafén, nanotechnológia)

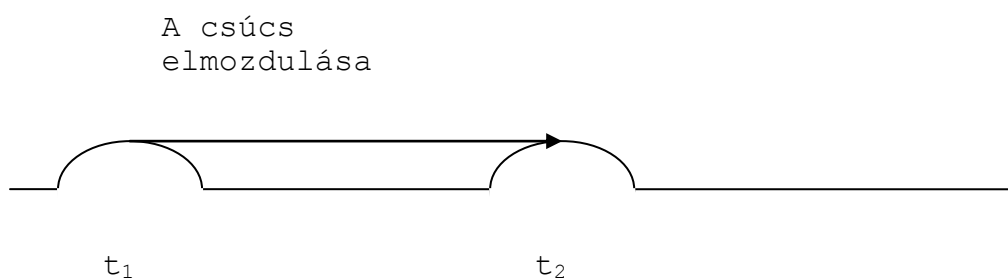
A tranzisztorokból felépülő erősítőket, a diódás egyenirányítókat, a kondenzátoros és tekercses alul, felülvágó és sávszűrőket gyakran használják az elektronikus berendezésekben, audio-videotechnikában.

Az elektromágneses hullámok

Hogyan alakul ki a hullámmozgás?

A hullámmozgás kialakulásához szükséges valamilyen közeg (levegő, gumikötél, víz). Legegyszerűbben gumikötélen figyelhetőek meg a hullámok.

A közeg egy pontját megütve a hullám (ha alulról felfelé van megütve, akkor egy dombot látunk) végigfut a kötélen. A hullám terjedési sebessége az eltelt idővel megszorozva megadja a domb bármelyik pontjának (a csúcának vagy az elejének) az elmozdulását.



$$\Delta \vec{r} = \vec{c} \cdot \Delta t,$$

ahol $\Delta t = t_2 - t_1$, \vec{c} a hullám terjedési sebessége, $\Delta \vec{r}$ a csúcs a nyíllal megjelölt elmozdulása.

Ha a közeg egy pontja – a hullámforrás – periódikus mozgást végez, akkor nem egy domb, hanem a forrás mozgásától függően különböző, térben periódikus mintázat jelenik meg a kötélén.

Érdekes megfigyelni, hogy amíg a térbeli minták a hullám sebességének irányába mozognak, addig a kötélpontjai abba az irányba egyáltalán nem!

A hullámmozgás lényege:

A közeg minden pontja megismétli szomszédja (azaz a hullámforrás) mozgását, időkéssel. Az időkéssel megszorozva a hullám terjedési sebességének nagyságával megkapjuk a közeg két pontjának távolságát.

A hullámot jellemző fizikai mennyiségek:

A hullámforrás mozgásának periódusidejét T -vel jelölik.

A periódusidő reciproka a periódikus mozgás frekvenciája, ezt nevezik a *hullám* frekvenciájának is. $f = \frac{1}{T}$, mértékegysége $\frac{1}{s}$, amit hertz-nek neveznek, rövidítve Hz. Ez a

két mennyiség a valóságnak ugyanarra az elemére vonatkozik, mindkettő a hullámforrás mozgásának *időbeli* periodicitását írja le, teljesen egyenértékűek.

A hullám terjedési sebességének nagysága megszorozva a periódusidővel megadja a hullámhosszat, ami a közegben kialakuló *térbeli* periódikus mintázatra jellemző. Amikor a hullámforrás befejezte saját mozgásának első periódusát, a hullám eleje éppen hullámhossznyi távolságra jutott a hullámforrástól.

$$\lambda = T \cdot c$$

ahol λ a hullámhossz, amit méterben szokás megadni.

A fény elektromágneses hullám

A fény sebességét először Olaf Römer mérte meg a következő módon, az 1600-as évek végén: Távcövével megmérte, hogy mikor kerül a Jupiter a Ganimédész nevű holdja és a Föld közé, azaz mikor fed el a Jupiter a holdat. Két egymást követő fedés idejét ismerve az elkövetkező fedések ideje megjósolható, hiszen a Ganimédész keringése időben is periódikus jelenség. Mindig ugyanannyi idő telik el két fedés között. Az előre megjósolt fedési időkhöz képest a valóságban Römer azt tapasztalta, hogy a hold késik, a fedés a vártnál percekkel később következik be. Ennek az az oka, hogy időközben a Föld eltávolodott a Jupitertől és a

fedés képét rögzítő fénynek hosszabb utat kellett megtennie a Földig. Ez alapján meg tudta

becsülni a fény sebességét, 10 százalékos hibával. ($270000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$)

Kétszáz évvel később Maxwell egyenletei azt mutatták, hogy az elektromágneses mező létezik forrásoktól és töltésektől függetlenül is. Ilyenkor az örvényes, változó mágneses és

elektromos mezők egymást keltik. A terjedési sebessége Maxwell $300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ -ot kapott. Mivel ez gyanúsan megegyezett a fény, Römer óta sokkal pontosabban megmért sebességével csak arra lehetett következtetni, hogy az egyenletek által megjósolt szabadon terjedő elektromágneses mező a fény.

A teljes elektromágneses spektrum:

Hosszúhullámú rádióhullámok, a hullámhossz kb. 1km.

Rövidhullámú rádióhullámok: 400m

Ultrarövidhullámok (URH): 1-2m

Mikrohullámok: cm

Infravörös hullámok: „hősugárzás, 1000 nm (nanométer= 10^{-9} m)

A látható fény színei:

Vörös (700nm), narancs, sárga, zöld(480nm), kék, ibolya (a szivárvány színei)

Ultrarövid hullámok (UV)

Lágy röntgensugárzás (gyógyászat)

Kemény, nagyenergiájú röntgensugárzás (atomfizika, kozmikus sugárzás).

Az elektromágneses hullám általában több, különböző hullámhosszú komponens bizonyos arányú keveréke. Spektrumról akkor beszélnek, ha megadják az összetevők arányát. A Napfény spektrumát vizsgálva kiderül, hogy a napfény a zöld színnek megfelelő fényből tartalmaz a legtöbbet. Nem véletlen, hogy ilyen színűek a növények és erre a legérzékenyebb az emberi szem is.

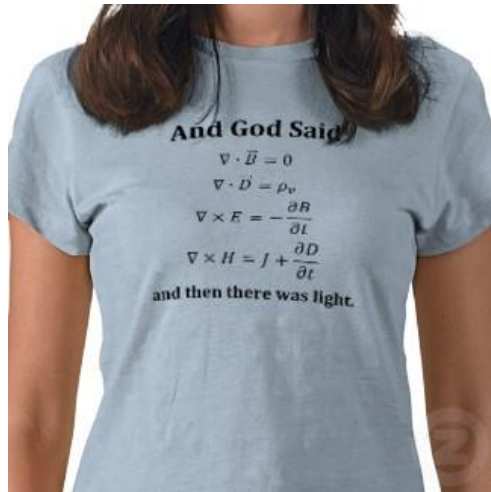
Minden test állandóan elektromágneses sugárzást bocsát ki (hőmérsékleti sugárzás), csak ennek legerősebb összetevője általában nem esik a látható tartományba. A melegvérű élőlények teste leginkább az infravörös tartományban sugároz. Ebben a tartományban látnak a sötétben vadászó állatok.

Kérdés:

Mi hullámszám az elektromágneses hullámban?

Ha a tér egy olyan pontján állunk, ahol éppen egy elektromágneses hullám halad át, akkor az elektromágneses mezőre jellemző fizikai mennyiségek, azaz az elektromos térerősség és mágneses indukció periódikus változását tapasztaljuk. (De ilyen érzékszervünk persze nincs. kivéve, ha az elektromágneses hullám hullámhossza a látható tartományba esik. Talán a repülő vándormadaraknak van, azok ugyanis a Föld mágneses mezeje alapján tájékozódnak.)

Maxwell egyenletek



A képen a Maxwell egyenletek differenciális formája látható. Az egyenletekből levezethető, hogy az egymást kölcsönösen létrehozó elektromos és mágneses mezők elektromágneses hullámok formájában szabadon terjedhetnek. A Maxwell által levezetett terjedési sebesség éppen a fény sebességével esett egybe. Ebből jöttek rá, hogy a fény tulajdonképpen elektromágneses hullám.

Maxwell's Equations

Integral form

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{a}$$
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{a} = 0$$
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc} + \mu_0 \epsilon_0 \int \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{a}$$

Az elektromos mező térerősségének egy adott felületre vonatkozó fluxusa:

Első lépésként fel kell venni a tekintett felületet. A felületre merőleges vektort nevezik normálvektornak. Ez a felület minden pontjában meghatározható.

Utána fel kell osztani a felületet olyan kis darabokra, amelyek már síknak tekinthetők, és amelyek mentén a térerősség már gyakorlatilag nem változik.

Utána minden felületdarab területét meg kell szorozni a helyi térerősségnek a normálvektorral párhuzamos irányú komponensével. (Ez valójában a felületre merőleges komponens)

Az így kapott részletszorzatokat össze kell adni, az összeg lesz az elektromos mezőnek a benne felvett felületre számolt fluxusa.

A mágneses indukció fluxusát ugyanígy kell számolni.

A térerősségének egy adott görbére vonatkozó integrálja:

Fel kell venni egy irányított görbét, azaz meg kell adni, hogy a két végpont közül melyik a kezdő és melyik a végpont.

Fel kell osztani a görbét olyan kis darabokra, melyek már egyenesnek tekinthetők és melyek pontjaiban a térerősség gyakorlatilag nem változik.

Össze kell szorozni a térerősségnek a kis darabok irányával párhuzamos komponensét a darabok hosszával.

Az így kapott részletszorzatokat össze kell adni, az eredmény megadja az elektromos mezőnek az adott görbére vonatkozó integrálját, amit zárt görbe esetén cirkulációnak neveznek.

A mágneses mező cirkulációját ugyanígy kell számolni.

Maxwell egyenletei

Maxwell a XIX.sz. második felében írta fel egyenleteit, melyek lényegében az összes elektromágneses jelenségre magyarázatot adnak.

Gauss tétel:

Az elektromos mezőben felvett bármilyen zárt felület fluxusának egy állandóval (annak az anyagnak a dielektromos állandójával amiben az elektromos mező létrejön-ez az „ ϵ_0 ”) való szorzata éppen a felület által határolt térrész töltését adja.

Megállapítás: a felület normálvektora minden pontban a bezárt térrészből kifelé mutat.

Ennek mágneses megfelelője:

A mágneses mezőben felvett zárt felületre számolt fluxus mindig nulla, bármilyen legyen is a felület és a mező.

Faraday-Lenz törvény:

Az elektromos mezőben felvett irányított zárt görbe cirkulációja egyenlő a mágneses mező a görbe által meghatározott felületre számolt fluxusa deriváltjának -1 szeresével.

A felület normálvektorait egységesen úgy kell felvenni, hogy a normálvektorok irányából visszatekintve a felületre a határoló zárt görbe irányítása az óramutató járásával ellentétes legyen. (jobbkézszabály)

Ampere féle gerjesztési törvény kiegészítéssel:

A mágneses mező cirkulációja egyenlő a görbe által meghatározott felületen átfolyó áram erősségének és a teret kitöltő anyag mágneses permeabilitása μ_0 -szorzatának, valamint a tekintet felületen az elektromos mező fluxusának deriváltja dielektromos állandóval és mágneses permeabilitással való szorzatának összegével.

A Maxwell egyenletek szerint az elektromos mezők egy csoportját töltések keltik, az ilyen mezők erővonalai mindig a pozitív töltésekről indulnak és a negatívokon végződnek. (forrásos elektromos mező)

A mágneses mező változása is elektromos mezőt kelt, az ilyen mezők örvényesek, az erővonalak önmagukba záródó görbék.

Forrásos mágneses mezők nincsenek. A lehetséges mágneses mezők mind örvényesek, amelyeket áramok keltenek, vagy az elektromos mező változása.

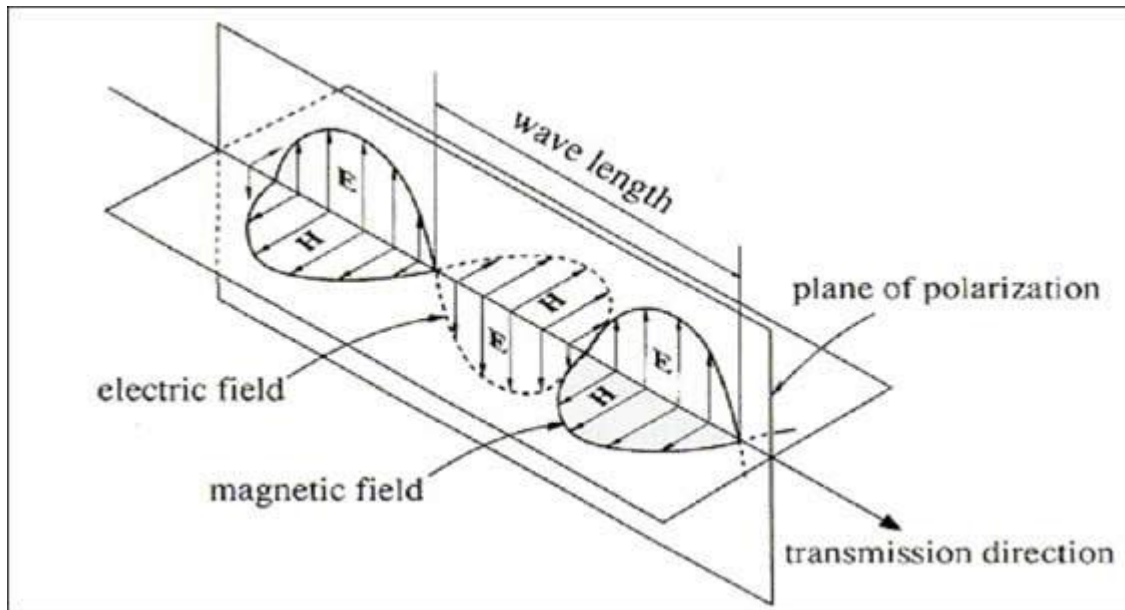
Mivel a mágneses mező változása elektromos mezőt kelt és az elektromos mező változása mágneses mezőt, az örvényes mezők képezik önmagukat fenntartani. Egy ilyen elektromágneses mező az elektromágneses hullám, amelynek terjedési sebessége:

300 000 km/s

Ez az elektromágneses hullám a fény.

A bekeretezett tagokból következik az elektromágneses hullámok (sugárzás) léte. Ehhez gyorsan változó elektromos és mágneses mezőre van szükség.

A legegyszerűbb elektromágneses hullám az úgynevezett síkhullám.



Az elektromos és a mágneses mező szinuszosan változik, egyszerre, a B és E vektorok egymásra merőlegesek, a hullám a vektorokra merőleges irányba terjedve (jobbkezes szabály: terjedési irány, elektromos térerősség, mágneses térerősség) energiát szállít.

Az elektromágneses hullámok frekvenciáját a hullámokat létrehozó jelenség határozza meg. A frekvencia nem függ attól, milyen közegben halad az elektromágneses hullám, nem változik meg ha a hullám az egyik közegből a másikba lép.

Az elektromágneses hullámok terjedési sebessége elsősorban attól függ, milyen közegben haladnak. A nagyon ritka levegőben az elektromágneses hullámok nagyon gyorsan terjednek. A fény és a többi elektromágneses hullám a légkörben nagyjából 300 000 km-t tesz meg másodpercenként.

A fény nagyjából 8,5 perc alatt jut el a Napról a Földre.

A fény sebessége üvegben kb 200 000 km/s.

Vízben 230 000 km/s

Gyémántban 124 000 km/s

Az elektromágneses hullámok családja

Bár csak a fényt látjuk, nagyon sok elektromágneses hullám vesz körül bennünket. Az elektromágneses hullámokat gyakorlati okokból a levegőben – vákuumban mérhető hullámhosszuk alapján szokták csoportosítani. A csökkenő hullámhosszal fordított arányban nő a hullámok frekvenciája.

Az alábbi táblázatban rendszerezve olvasható az elnevezéseket, és a hozzájuk tartozó hullámhosszakat:

Hullámhossz levegőben	elnevezés	felhasználás
méter, kilométer	rádióhullámok	rádióadások továbbítása
centiméter	mikrohullámok	mikrohullámú sütő
tized – ezred milliméter	infravörös hullámok, hőszugárzás	melegítés
néhány száz nanométer	látható fény	látás
nanométer	ultraibolya sugárzás	szolárium
pikométer	röntgensugarak, gamma sugarak	Röntgen-átvilágítás,
anyagvizsgálat		
pikométernél kisebb	kozmosz sugárzás	

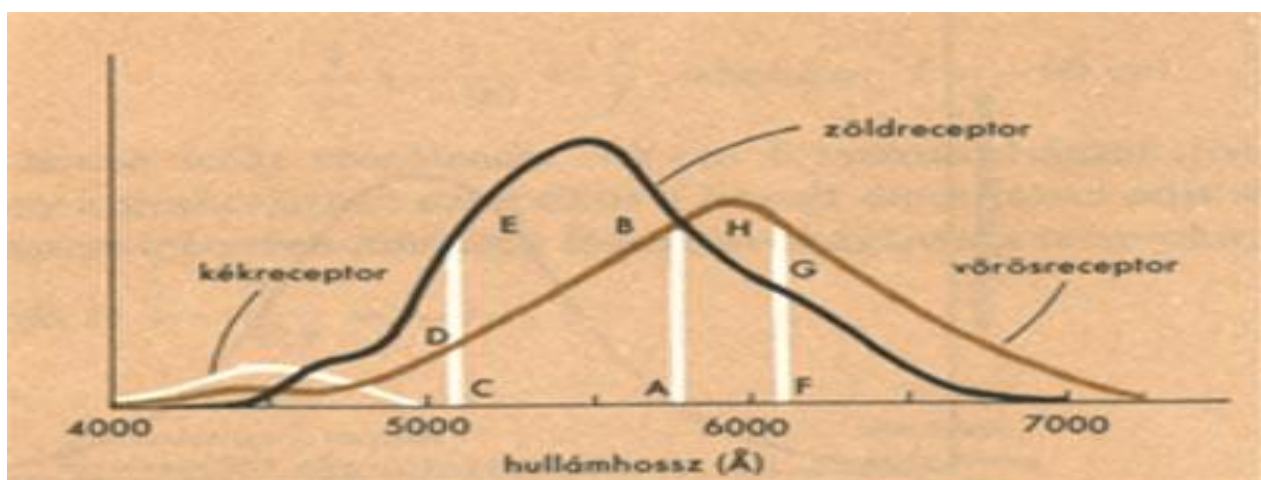
A nanométer 10^{-9}m , a pikométer 10^{-12}m .

Az elektromágneses hullámok kölcsönhatásba lépnek azzal az anyaggal, amiben terjednek. Általános szabály, hogy minél rövidebb a hullámhosszuk (és nagyobb a frekvenciájuk) annál inkább egyenes vonalban terjednek és annál több energiát képesek átadni az anyagoknak. Az átlátszó anyagok csak kevésbé elnyelnek a hullám energiáját. Az átlátszóság erősen függ a frekvenciától. A rádióhullámok áthatolnak a téglafalon, az adás a szobában is fogható. A fény viszont kölcsönhatásba lép a téglafallal. Részben visszaverődik a felületéről részben behatol a falba és energiáját gyorsan leadja a fal anyagában található elektronoknak. Melegíti a falat.

A színek

A fehér fényt prizmán átvezetve hasonló színes csíkokat lehet létrehozni, mint a CD-lemez segítségével. A fehér fény színekre bomlik, akárcsak a szivárvány kialakulása során. Sorrendben vörös, narancs, sárga, zöld, kék, ibolya színű csíkok követik egymást. A csíkok fénye tovább már nem bontható, úgynevezett homogén fény.

A jelenség magyarázata: A fehér fény összetett fény, sok különböző frekvenciájú, hullámhosszú fény van benne, amelyeket más és más színűnek látunk. A zöld színű fény jellemző hullámhossza levegőben 500nm , a vörösé 700nm . A prizmán való áthaladásuk után kicsit más irányba haladnak tovább, mivel a vörös fény valamivel gyorsabban halad, így kevésbé törik meg, mint a zöld, vagy a kék.



Milyen hullámhosszúságú fényre a legérzékenyebbek a kék, zöld és vörösreceptorok?

Kicsit egyszerűsítve az ember által látott szín attól függ, hogy mennyit tartalmaz a vörös, kék, zöld alapszínekből.

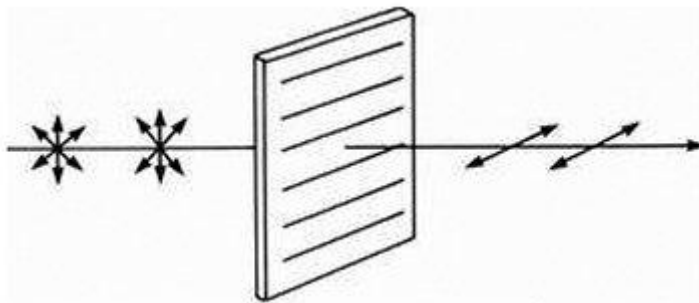
Név	Felbontás	Színmélység
Herkules	720x348	2
CGA (Color Graphics Adapter)	640x200	2/16
	320x200	4/16
EGA	640x350	16/64
VGA	640x480	16
SVGA	640x480	A vezérlő memóriájától függően: 16-16,8 millió
	800x600	
	1024x768	
	1280x1024	
	1600x1200	

A monitorok a színek megjelenítését tekintve nagyon hasonlóan működnek, mint az emberi szem.

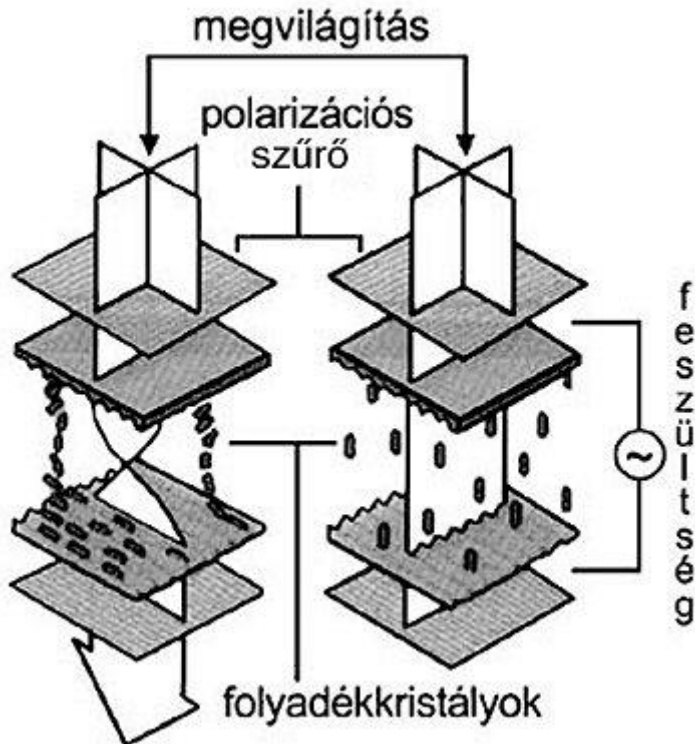
A képernyő kis pixelekből áll. Egy pixelnek van vörös, kék és zöld tartománya. A pixel fényereje folyamatosan szabályozható, a színe pedig annak megfelelően alakul, hogy mennyire világít a vörös, kék, zöld tartomány. Ha mindhárom egyformán erősen világít, a képernyőn fényes fehér pont jelenik meg, ha a kék és a zöld egyformán világos, de a piros sötét, akkor sárga színű fénypontot látunk – a kék és a zöld keverékét. A pixelek megvilágításának módja és

vezérlése többféle lehet.

Polarizáció, folyadékkristályok



A természetes fényben az elektromos mező több síkban is rezeg. A polarizátor csak egy bizonyos síkban rezgő hullámokat enged át. Két, egymásra merőlegesen elhelyezett polarizátor képes megállítani a fényt.



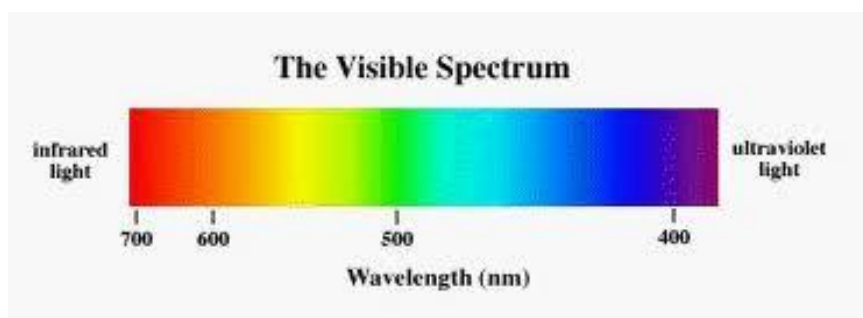
A folyadékkristály olyan különleges anyag, ami 90 fokkal elforgatja a rajta áthaladó fény rezgéseinek síkját. így, ha két, egymásra merőleges polarizátor között folyadékkristály van, a rendszer átengedi a fényt, a képernyő pixele világít. A folyadékkristály szerkezete megváltozik a rá kapcsolt feszültség hatására és a módosult szerkezetben már nem változtatja meg a rezgési síkot. A feszültségre kapcsolt pixel így sötét marad.

Színképek

A prizmán átvezetett fényt ernyőn felfogva a különböző frekvenciájú fénysugarak egy kicsit más helyen hagynak foltot, színes vonalat. A kapott úgynevezett színkép tehát elárulja, hogy a kevert fény milyen frekvenciájú összetevőkből áll.

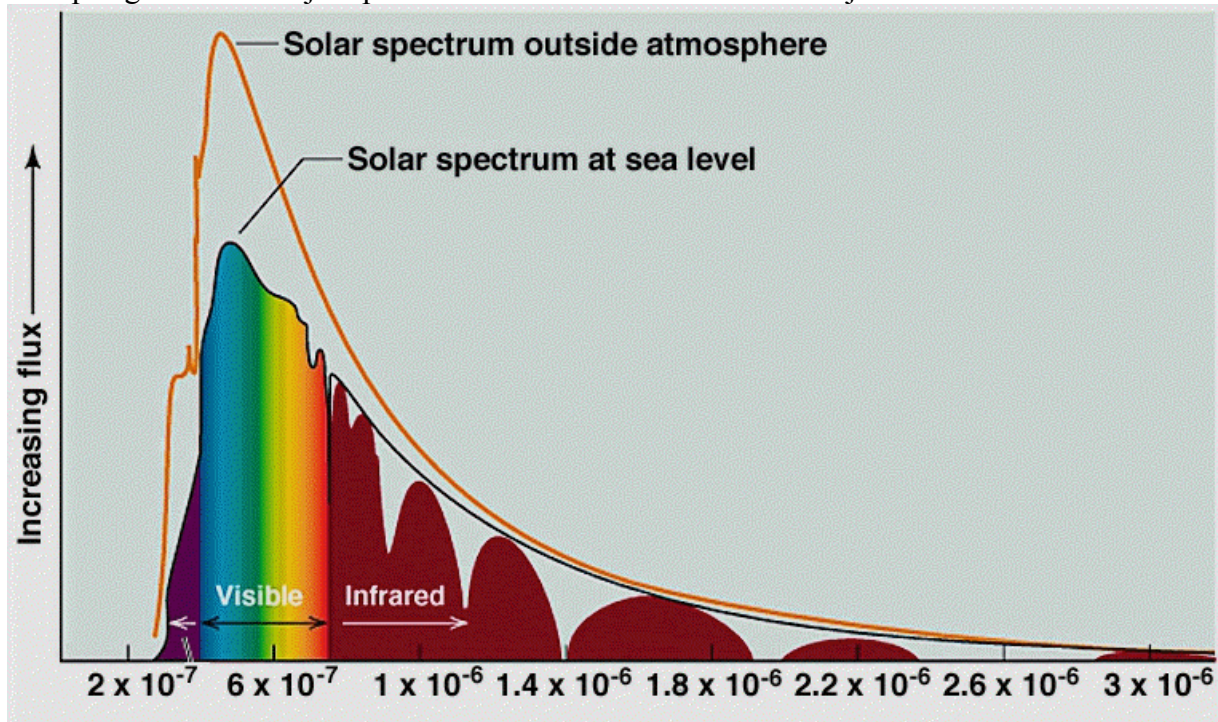
A színképben minden frekvenciának egy keskeny tartomány felel meg. Ahol sötét a kép, oda nem érkezik fénysugár, olyan frekvenciájú összetevője nincs a vizsgált fénynek.

A Nap fényében minden frekvencia megtalálható. A színkép nagyjából folytonos a vöröstől az ibolyáig.



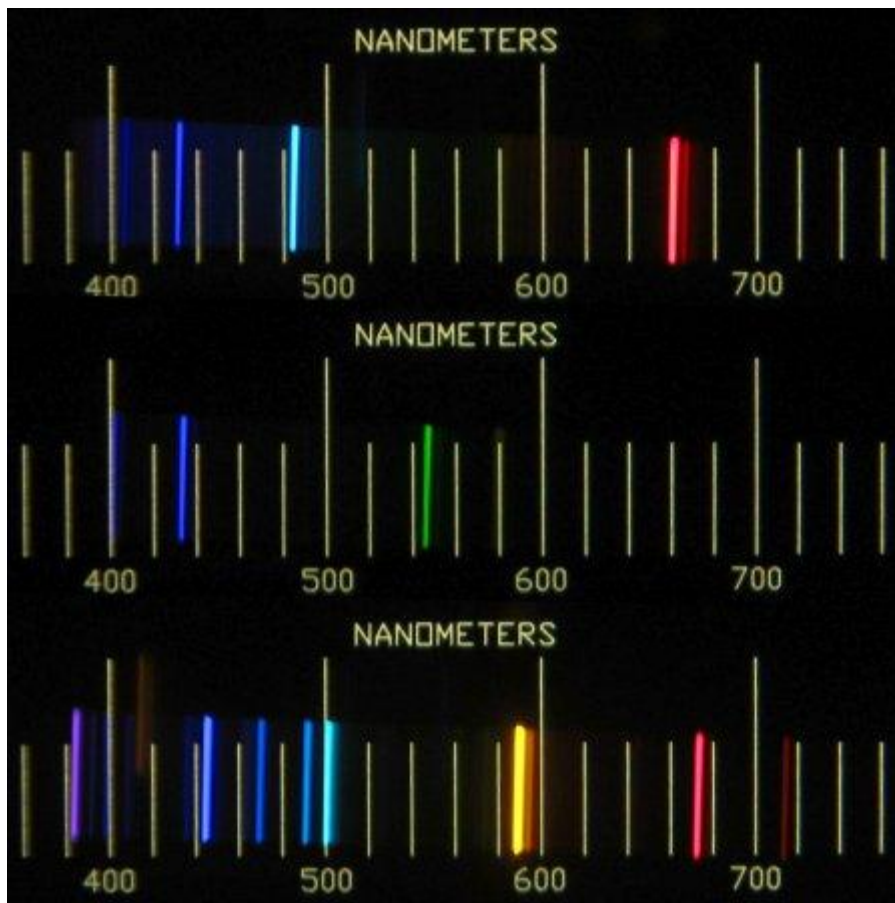
A látható spektrum (<http://architectureideas.info/2008/10/vastu-shastra-factors-the-sun-and-its-effects/>, 2011)

A Nap sugárzásának teljes spektruma az atmoszférán kívül és a rajta való áthaladás után:



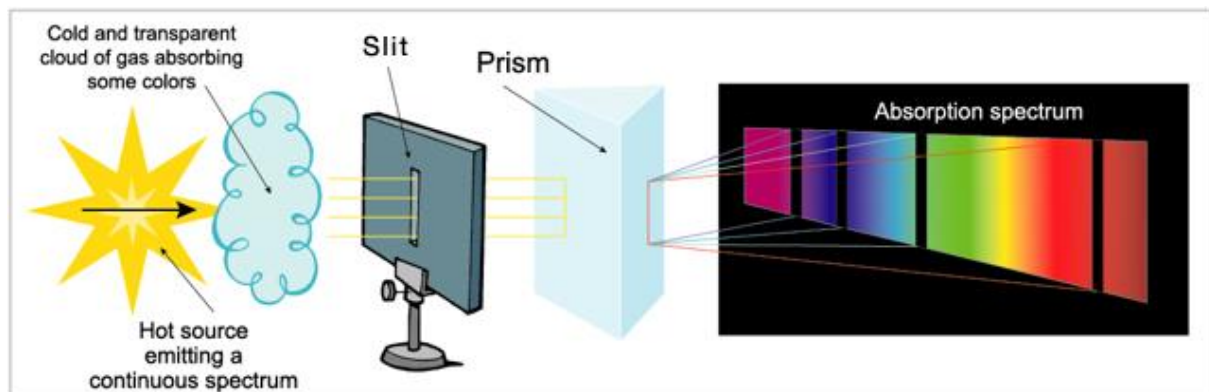
<http://www.thaispaceweather.com/April07.html>, 2011

A neoncső színe nem folytonos, abban jól elkülönülő vonalakat látunk. A színek neve ezért vonalas színek. A neoncsőben izzó gáz csak bizonyos, rá jellemző frekvenciájú fényt tud kibocsátani. (vonalas kibocsátási színek)



<http://technology.niagarac.on.ca/lasers/Chapter2.html>, 2011

A Nap és a csillagok folytonos színeképét jobban megvizsgálva, azokban fekete vonalak látszanak. Az ilyen frekvenciájú fény hiányzik a spektrumból, mert valami elnyelte. (elnyelési színekép)



http://www.astro-canada.ca/_en/a3300.html, 2011

Az izzó gőzök atomjai többféle, de jól meghatározott, az adott atomra jellemző frekvenciájú fényt képesek kibocsátani. Színeképükben mindig ugyanazok a színeképvonalak láthatóak. Ezért vonalás a kibocsátási színekép. Ugyanezeket a meghatározott frekvenciájú fénysugarakat a gázok el is nyelik, a rajtuk áthaladó fényből. Ezek a fekete elnyelési vonalak láthatóak például a Nap színeképében.

Az atomok és a fény

Atommodellek

Az anyag oszthatatlan építőköveinek elképzése sok esetben sikeresnek bizonyul. Az ütköző golyókkal jól meg lehetett magyarázni a gázok viselkedését, az elektromos áramot. Az 1800-as évek végén atomokra és az anyag felépítésére vonatkozó tapasztalatok gyorsan gyarapodtak.

Katódsugárzás

A katódsugárcső egy olyan üvegcső, amiben légritkított tér van. A cső egyik végébe egy fém elektródát forrasztanak, (katód) amelyet kis feszültségű váltakozó árammal lehet fűteni. A cső közepébe egy másik elektródát forrasztanak, (anód) amelyet a katódhoz képest nagy, mondjuk -10000 V feszültségre kapcsolnak. A cső másik végét gyakran Cink-szulfiddal vonják be. Azt tapasztalták, hogy a feszültség hatására a forró katódból sugárzás indul el. Ezt nevezték katódsugárzásnak.

Az elektron felfedezése

1897-ben J.J. Thomson azt tapasztalta, hogy a katódsugárzás iránya mágneses és elektromos térben is megváltozik. Másrészt a Cink-szulfid réteget elérő sugárzás ott felvillanásokat okoz. Az eltérülés és a felvillanások magyarázatára Thomson feltételezte, hogy a katódsugárzás töltött részecskékből áll. Meghatározta a részecskék fajlagos töltését is, (töltés osztva tömeggel) ami az addig ismert legnagyobbnak bizonyult. Thomson arra következtetett, hogy az elektromos töltés hordozóját, az elektront fedezte fel a katódsugárzásban. Később Millikan meghatározta az elektron töltését. Ez az elemi töltés, minden elektromos állapotú test (ionok) töltése az elemi töltés egész számú többszöröse. Soha nem mértek fél, negyed, stb elemi töltést.

Az elektron tömege:

Az elemi töltés:

A Thomson modell

Mivel az anyagot semlegesnek tapasztaljuk, másrészt tömörnek, szükséges valamilyen pozitív töltésű alkotóelem.

Thomson úgy képzelte el az anyagot, hogy a pozitív töltésű egyenletesen eloszló kötőanyagban („pudding”) helyezkednek el az elektronok. („mazsolás pudding”)

Egy ilyen rendszert az elektromos erők valóban összetartanak, sőt, egyfajta kristályszerkezet létre is lehet következtetni, másrészt meg lehet magyarázni a katódsugárzást is.

A radioaktív sugárzás

1896-ban Henry Becquerel véletlenül olyan sziklával takarta le fémfóliába csomagolt, előhívatlan fotólemezeit, ami uránt tartalmazott. A lemezek tönkre mentek, fényt kaptak. Becquerel arra következtetett, hogy az ércből egy addig ismeretlen fajta sugárzás jön, ami képes áthatolni a fémfólián.

A sugárzás három komponensét különítették el. Az egyik, elektromos térben eltérülő részből kiderült, hogy elektronok alkotják.

Találtak egy semleges összetevőt, ami nagy energiájú elektromágneses sugárzás (gamma-sugárzás).

A harmadik összetevőt pozitív töltésű, az elektronnál jóval nagyobb tömegű részecskék alkotják. Ezeket alfa részecskéknek, a sugárzást alfa sugárzásnak nevezték el. Később kiderült, hogy az alfa részecskék valójában Hélium atommagok, tehát két protont és két neutronot tartalmaznak.

Hamar kiderült, hogy a radioaktivitás jelenségét mutató anyagokban természetes atommag-átalakulás, bomlás megy végbe. A sugárzó anyag magától átalakul egy mási anyaggá. (radioaktív bomlás)

A folyamatban a legérdekesebb, hogy egy atom elbomlásának valószínűsége nem függ az atom korától, időben állandó. Ez azt eredményezi, hogy a radioaktív anyag felének elbomlásához mindig ugyanannyi idő kell. Ebből levezethető a radioaktív bomlástörvény, ami szerint a sugárzó anyag mennyisége, tehát a sugárzás tapasztalt intenzitása is az időnek csökkenő exponenciális függvénye. A csökkenés gyorsaságát felezési idő adja meg. A radioaktív sugárzást a fizikusok addigi ismereteik alapján nem tudták magyarázni.

A Rutherford modell

Az 1900-as évek legelején Ernst Rutherford alfa részecskék nyalábját bocsátotta vékony aranyfólián át, és a fólia túl oldalán, a cink-szulfid ernyőbe becsapódó részecskék okozta felvillanásokat figyelték.

Azt tapasztalták, hogy a részecskék zöme irányváltoztatás nélkül, vagy kis irányváltoztatással halad át a fólián, csak ritkán láttak felvillanást a nyaláb eredeti irányától távol.

Pontos, matematikailag megfogalmazott vizsgálatokkal Rutherford meg tudta magyarázni az alfa részecskék szóródásának ezt a különös tulajdonságát.

Kiderült, hogy a részecskék egy pozitív töltésű, kisebb mint 10^{-15} m sugarú szóró-centrummal való találkozása okozza a tapasztalt jelenséget. Ez a szóró-centrum az atommag. A magot körülvevő, százezerszer nagyobb és sokkal ritkább elektronburkon való áthaladást a nagy tömegű alfa részecskék szinte meg sem érzik.

Az atomok színeképe.

A Nap fényét prizmán átvezetve, a prizma túloldalán elhelyezett felfogó ernyőn a szivárvány színei jelennek meg. A jelenség magyarázata, hogy a nagyobb hullámhosszú elektromágneses sugárzás, fény kevésbé törik meg a prizmán való áthaladásakor, mint a rövidebb. Így ezek útja a prizmán, üvegen való áthaladás után a kicsit szétválík, és külön helyre érkeznek az ernyőn – más-más színű foltot hagyva.

Ugyanilyen módszerrel megvizsgálva izzó gőzök, például hidrogén által kibocsátott fényt, a kapott színek teljesen más jellegű. Abban csak bizonyos színek fordulnak elő.

(színeképvonalak) Ezek helyzete (frekvenciája) és erőssége az atomra jellemző, olyannyira, hogy a hélium elemet a nap színeképe vizsgálatára során fedezték fel az ismeretlen, addig másutt korábban nem látott színeképvonalak alapján.

Az atomok színeképe magyarázat – a Bohr féle atommodell

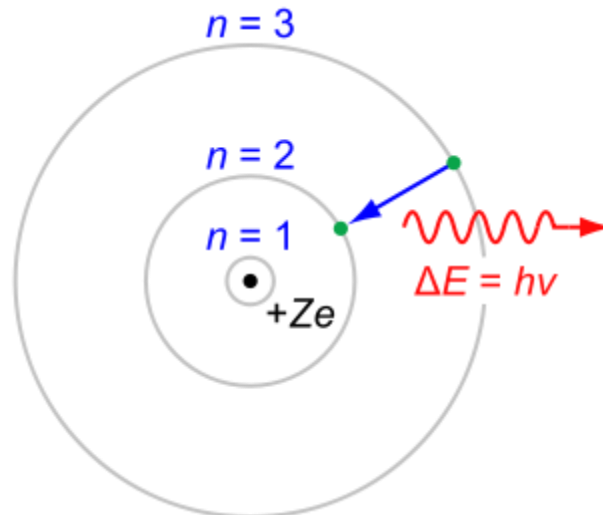
Az atommag körül az elektronok a mag elektromos vonzásának hatására körpályákon mozognak.

A Bohr -féle kvantumfeltétel:

A pályák sugara nem lehet akármekkora, csak egy alapsugár, a Bohr-sugár valahányszorososa. A Bohr-féle kvantumfeltételből rögtön következik, hogy az atomok energiája sem lehet akármekkora, csak meghatározott energiájú állapotok létezhetnek.

Ha az atomot megvilágítással, vagy más módon gerjesztik, akkor egy nagyobb energiájú gerjesztett állapot alakul ki. Ebből az atom visszatérhet a kisebb energiájú állapotba, és ilyenkor energia szabadul fel, ami fény formájában távozik. A fény frekvenciája csak meghatározott lehet, az energiakülönbség és a Planck állandó hányadosa.

A Bohr modell tehát elég pontosan megmagyarázta az atomok vonalas szinképét.



<http://reich-chemistry.wikispaces.com/Fall.2008.MMA.Gels.Forte.Timeline>, 2011

A fénykibocsátás magyarázata a Bohr modell segítségével.

Hologrammok, interferencia

A 3 dimenziós fényképek a hologrammok.



Tegyük fel, hogy az A-pont és a B-pont pontosan ugyanolyan fényhullámokat bocsát ki. Ha a P-pont egyenlő távol van A-tól és B-től, a találkozó fényhullámok erősítik egymást, hullámhegy hullámheggyel, hullámvölgy hullámvölgygel találkozik, az eredmény erősebb hullámozás, a P-pont fényes.

Ha viszont az A-pont éppen egy fél hullámhossznyival a B-pont mögött van, az A-ból érkező hullámoknak hosszabb utat kell megtenniük a P-ponthez. Ekkor hullámhegyek és hullámvölgyek találkoznak. Az eredmény gyengébb hullámozás, az is lehet hogy a hullámhegyek és völgyek éppen kioltják egymást. Ilyenkor a P-pont sötét, noha két fényforrás is megvilágítja!

A P-pont fényereje tehát attól függ, hogyan helyezkedik el a két együtt rezgő forrás a térben.

A természetes fényforrásokban az atomok általában rövid ideig tartó, szabálytalan fényimpulzusokat bocsátanak ki, amelyek segítségével nem lehet megfigyelni a fenti jelenséget. Speciális kísérleti elrendezésre, vagy különleges megvilágításra van szükség ahhoz, hogy a fényhullámok találkozására miatt létrejövő fényes és sötét pontok elrendezése időben tartós, megfigyelhető legyen.

Az ilyen tartósan megfigyelhető mintázatot nevezik interferenciának.

Interferencia kísérletek:

A fehér fényt kettős résen átvezetve interferencia mintázat figyelhető meg. A kísérlethez kis méretű és egymáshoz közeli részek szükségesek, amelyek ugyanolyan fényhullámokat kibocsátó fényforrásként viselkednek.

Lézer interferencia

A boltokban is kapható lézer-mutató általában olyan gyenge lézersugarat bocsát ki, ami véletlenül nem okoz szemsérülést. A lézer-mutató fényét szövetdarabon átvezetve különös mintázat vetíthető a falra, ami nem más, mint interferencia.



<http://www.zene.ro/zenei-hirek/jean-michel-jarre-magyarorszagon/attachment/jean-michel-jarre-laser-harp1/>, 2011

A lézerefény azért különleges, mert az atomok összehangolt módon bocsájtják ki, szemben az izzó gőzökkel vagy gázokkal, ahol a fénykibocsátás rendezetlenül történik. Az atomok összehangolt viselkedése miatt a lézerefény könnyen hoz létre interferencia mintázatot, ha akadályba ütközik.

A hologram készítése során lézerefényt használnak. A lézerefényt két nyalábra választják szét. Az egyik nyalábot közvetlenül vetítik rá a fényérzékeny lemezre, másik nyalábot előbb a tárgyra irányítják, majd onnan vetül rá a fényérzékeny lemezre, ahol a két nyaláb találkozik és interferencia mintázatot hoz létre. A mintázat rögzül a fényérzékeny filmen. A 3 dimenziós kép előhívásához a filmet csak a közvetlenül érkező nyalábbal kell megvilágítani. A megfelelő irányból nézve a filmen áthaladó fényt, a tárgy térbeli képe jelenik meg.

Kommunikáció elektromágneses hullámokkal

Digitális és analóg jelek

A maig napig kaphatóak bakelit hanglemezek és az azokat lejátszó lemezjátszók. Az igazi rajongók szerint ezek jobban szólnak, mint a CD-lemezen rögzített zeneszámok. A bakelit lemezbe a felvett hang rezgésinek megfelelő barázdákat nyomnak, lejátszáskor egy tű halad végig a lemezen és követi a barázdák mozgását. A tű folyamatos mozgása egy mágnes segítségével folyamatosan változó feszültséget indukál, ezt vezetik a hangszóróba. A keletkezett feszültség az időben folyamatosan változó, úgynevezett analóg jel.

Az analóg jel könnyen torzul a felvételkor, lejátszáskor, vagy a kábelen vagy a levegőben való továbbítása során.

A CD lemezen úgynevezett digitális formában tárolják a hangot, képet.

A digitális jel két lehetséges értéket vehet fel. Olyan, mintha egymást követő impulzusokat látnánk.

Amikor a valójába analóg hangot, képet digitálissá alakítják biztosan torzul egy kicsit, az átalakítás minőségétől függően. A digitális jelek azonban már gyorsabban és jobb minőségben továbbíthatóak, mint az analóg jelek.

Információ továbbítás

A látható fény segítségével csak látótávolságon belül küldhetünk üzeneteket, ahogyan őseink is tették, jelzőtüzek, füstjelek, fényvillanások segítségével.

FÉNYKÉP: Világítótorny



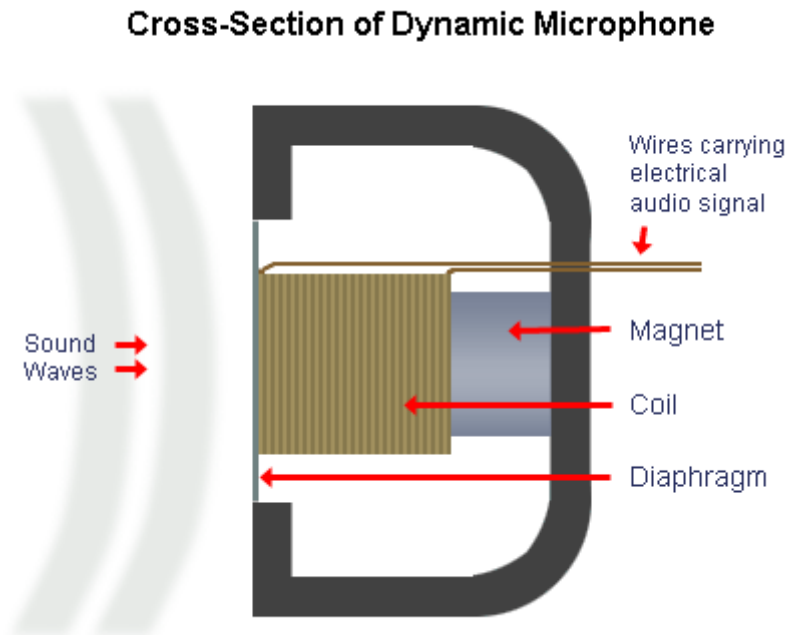
http://www.galeria_termeszet_hatterkepek.abbcenter.com/?galstep=1&id=225037&PHPSESSID=08d389938c43dccc9955de0e38f32dd7, 2011

A látható fényénél kisebb frekvenciájú és nagyobb hullámhosszú rádió és mikrohullámok segítségével az egész Földet átfogó kommunikációs hálózatok alakultak ki, amelyek segítségével képek, hangok, videók küldhetők el világszerte, vagy akár élő beszélgetést folytatható a bolygó különböző pontján a számítógép előtt ülő résztvevőkkel.

Antenna, moduláció

Az elküldendő információt előbb elektromos jellé kell alakítani. A hangot például a mikrofon alakítja elektromos jellé, a képet a kamera.

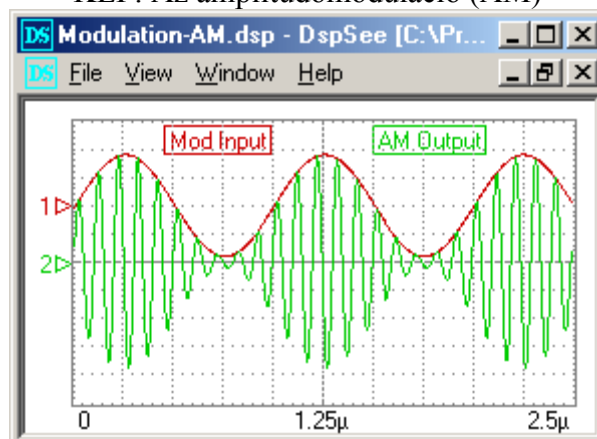
KÉP: A mikrofon működése



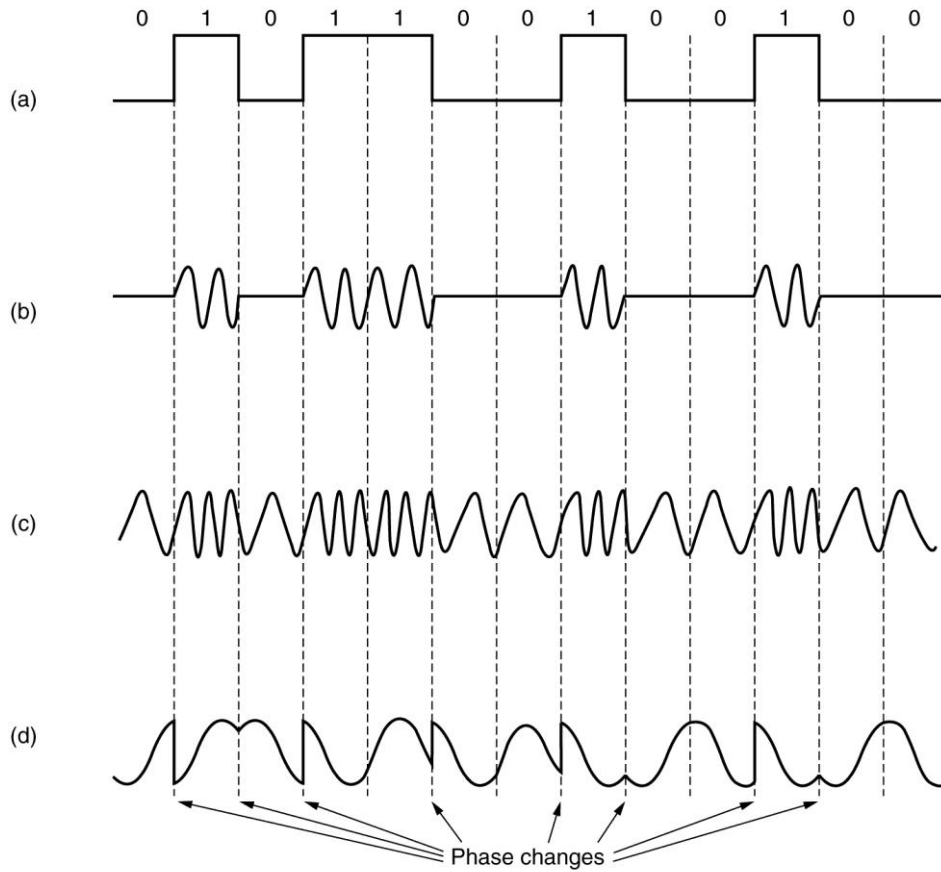
<http://onlinephys.com/magnetism.html>, 2011

Az elektromos jeleket megfelelő frekvenciájú vivőhullámra ültetik, ezt a folyamatot nevezik modulációnak. Az amplitúdómoduláció során a modulált jel amplitúdója változik a továbbítandó jelnek megfelelően, a frekvenciamoduláció (FM) esetén a frekvenciája.

KÉP: Az amplitúdómoduláció (AM)



NETPONT: Digitális jelek továbbítása modulációval

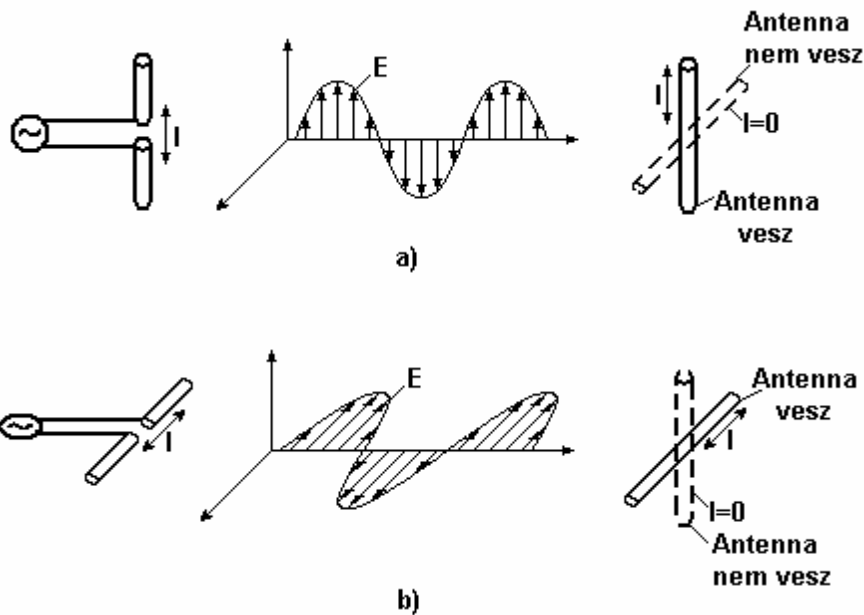


Digitális jel továbbítása amplitúdó, frekvencia és fázismodulációval

<http://www.computing.dcu.ie/~humphrys/Notes/Networks/physical.phone.html>, 2011-04-02

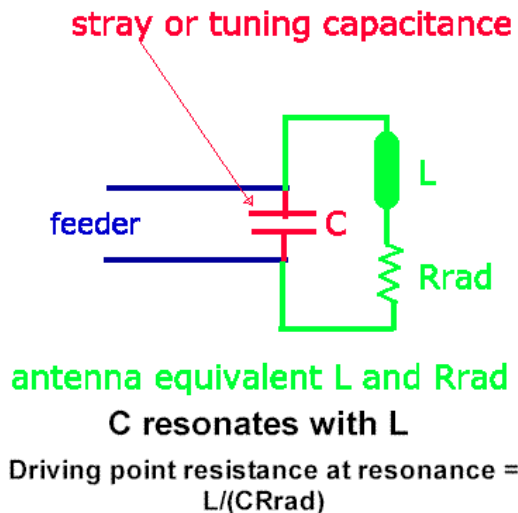
A modulált vivőhullámokat antennák segítségével a szabad térbe sugározzák, vagy elektromos és optikai kábeleken keresztül továbbítják.

A legegyszerűbb antenna a dipólantenna.



KÉP: A dipólantenna és sugárzása

A dipólantennára kapcsolt szinuszosan váltakozó feszültség hatására az antenna karjaiban szinuszosan váltakozó áram jön létre, a karokban található szabad elektronok rezgőmozgást végeznek. A rezgő töltések változó elektromos teret keltenek maguk körül, a változó elektromos tér mágneses teret, a változó mágneses tér elektromos teret. Az egymást keltő változó elektromos és mágneses terek elektromágneses hullámként szabadon terjednek a térben. A vevőantennához érve a változó elektromos tér hatására rezgésbe jönnek az antenna elektronjai, váltakozó áram alakul ki.



A dipólantenna sugárzásáról:

- A térben szabadon terjedő hullámok polarizáltak, a rezgés síkját az antenna állása szabja meg. A gyakorlatban általában vízszintes vagy függőleges irányban polarizált hullámokat használnak, ezeket ugyanilyen állású antennával lehet venni.
- A sugárzás az antennára merőleges irányban a legerősebb.
- A megfelelő működéshez az antenna hosszának a kisugárzandó hullámok hullámhosszának felével kell egyenlőnek lennie. Általában a rövidebb hullámhossz rövidebb antennát jelent.

- Az antenna működését nagyban befolyásolja a környezete. Az antenna közelében elhelyezett vezetőben az antennához hasonló áramok indulnak meg, befolyásolva az adás illetve a vétel minőségét.

A jelek továbbítására használt vivőhullámok tartományát frekvenciasávokra osztják fel. A nagyobb frekvenciájú vivőhullám több információt tud szállítani, ám egyre nehezebben juttatható el nagyobb távolságokra.

A frekvenciasávok:

LW (long wave), LF (low frequency): A hosszúhullámok sávjában a frekvencia kisebb, mint 300 kHz, a hullámhossz nagyobb mint 1km. A hullámok követik a Föld görbületét és messzire, akár 2000 km-re is sugározhatóak, így alkalmasak a nemzetközi rádióadások továbbítására.

MW, MF: A középhullámok frekvenciája 300 kHz és 3 MHz közzé esik, jellemző hullámhosszuk néhány száz méter. Hasonlóan terjednek, mint a hosszúhullámok, de hatótávolságuk kisebb. A nemzeti rádiók műsorait hordozzák.

HF, SW: A rövidhullámok frekvenciája 3-30 MHz közzé esik, jellemző hullámhosszuk néhányszor tíz méter. Gyakorlatilag egyenes vonalban terjednek, nem követik a Föld görbületét mégis nagy távolságokra eljutnak, mert visszaverődnek a földi légkör felső részéről, az ionoszférából. Az amatőr rádiósok és a CB rádiók használják ezt a sávot.

Az ennél rövidebb hullámhosszú sugárzás a fényhez hasonlóan gyakorlatilag egyenes vonalban terjed. A jó vételhez látni kell a kis mértetű antennát, amit célszerű magasan elhelyezni.

VHF(very high frequency): A 30-300 Mhz tartományban sugároznak a helyi (FM) rádiók, digitális rádiók.

UHF(ultra-high frequency): 300-3000 Mhz, helyi tévék és mobiltelefonok.

Mikrohullámok: 3000 Mhz-nél nagyobb frekvencia, cm-nagyságrendű hullámhossz. A műholdas kommunikációban és a mobiltelefonok használják.

GSM, Bluetooth

A mobil telefonok egyre több mindenre képesek:

Elérhetőségek tárolása

Emlékeztetők, napirend rögzítése

Egyszerűbb számolások

E-mailek küldése és fogadása

Információk (időjárás, menetrend, árak) lekérdezése az internetről

Játékok

Tv-nézés, rádiózás

Szöveges üzenetek küldése

GPS funkciók

Zenék lejátszása, mp3 formátum kezelése

Képek küldése

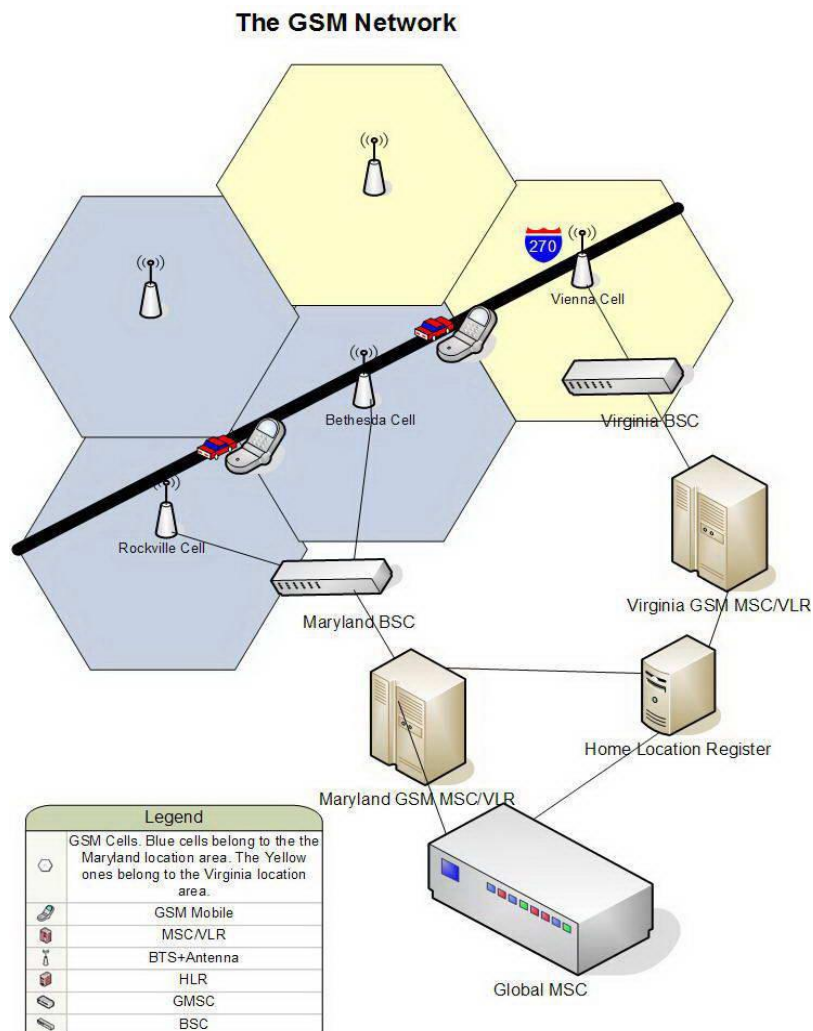
A mobiltelefon valójába kis teljesítményű rádió adóvevő. A rádió és a telefon előnyeit először egyesítő rádiótelefon továbbfejlesztett változata.

A mobilok által használt frekvenciák:

- 850 MHz – Észak-Amerika
- 900 MHz – Világszerte, Észak-Amerikát kivéve
- 1800 MHz – Világszerte, Észak-Amerikát kivéve
- 1900 MHz – Észak-Amerika

A GSM (Global System for Mobile Telecommunications) rendszer egy nemzetközi szabvány, melyet 1987-ben tizenhárom európai ország hozott létre azért, hogy Európában kiépítsenek egy egységes, ezáltal egymás közt kompatibilis telekommunikációs rendszert a 900 megahertzes frekvenciasávon.

A GSM rendszer minden információt digitális jelekké alakít és továbbít.



KÉP: A GSM hálózat. A bázisállomások valójában 3 cella határán helyezkednek el és nem egy cella közepén. A hatszögletű cellával a teljes lefedettségre való törekvést érzékeltet a rajz.

A rendszer lelke a sok bázisállomás. Egy bázisállomás 3 szomszédos területen, úgynevezett cellában folytat párbeszédet a SIM kártyával azonosított, éppen ott tartózkodó telefonokkal. Minnél közelebb van a telefon a bázisállomáshoz, annál kisebb teljesítmény (néhány watt) szükséges a telefonálás során. A bázisállomások egymással és a felhasználók adataival a központi helyzetben levő csomópontok (telefonközpontok és felügyelő állomások) segítségével tartják a kapcsolatot. A csomópont keresi meg az üzenet címzettjét, illetve a megfelelő bázisállomást. A bázisállomások folyamatosan tartják a kapcsolatot a telefonokkal és ha a telefon az egyik cellából a másikba mozog, az egyik bázisállomás átadja a másiknak. Távolabbi cellákban a telefonálás során két telefon akár ugyanazt a frekvenciát is használhatja, zavaró áthallás nélkül.

A GSM technológiát a közeljövőben a hasonló de gyorsabb adattovábbítást lehetővé tevő szélessávú rendszerek váltják majd fel. Ilyen az Universal Mobile Telecommunications System, UMTS. A hagyományos GSM sebessége kb 120kb/s, az UMTS esetében 2Mb/s

A Bluetooth egy másik kommunikációs szabvány. Nagyjából 2400 Mhz frekvenciájú rádióhullámokat használ, 0.003watt teljesítménye miatt a hatótávolság maximum 10m. Bluetooth-al több eszköz, mobiltelefon kapcsolódhat össze és a GSM-nél gyorsab adatátvitel lehetséges. (2.1Mb/s)

Képkalkotó módszerek

Fényképezés, a fényelektromos hatás

A fényképezőgép egyik fontos eleme az optika. Ez – a legegyszerűbb esetben egyetlen domború lencse – vetíti a tárgy fordított állású kicsinyített képét a lencsétől nagyjából fókusz távolságra elhelyezett ernyőre.

A hagyományos gépek esetében az ernyő valójában egy megfelelő bevonatú film, amelyik a megvilágítás hatására megfeketedik, így a tárgy negatív képe jelenik meg a filmen, amit a sötétkamrában végzendő előhívás során stabilizálni, nagyítani és invertálni kell. A fénykép csak jóval az exponálás után válik láthatóvá. Nagy vívmány volt a Polaroid fényképezőgép, ami speciális film segítségével néhány perc alatt készített papírképet. A kép a természetes fény hatására lassan jelent meg a fényképezőgépből kikúszó filmen.

A digitális képrögzítés alapja a fényelektromos hatás. Ezt használják a fényérzékelő szenzorok és ezen az elven működnek a napelemek is.

A fényelektromos hatás

A fizikusok az 1800-as évek végén vizsgálták az anyag és a fény kölcsönhatását. Ha negatív elektromos állapotú, tehát elektrontöbblettel rendelkező fémlemezt megvilágítanak, az elveszíti töltését, többletelektronjait. Ez a fényelektromos hatás.

A jelenség további részletei azonban igen különösek voltak.

1. Az elektronok kilépése csak akkor volt megfigyelhető, ha a megvilágító fény frekvenciája meghaladott egy, az adott fémre jellemző értéket. A fény erősségét hiába növelték, ha a frekvencia kisebb volt a küszöbnél.
2. Másrészt a kilépő elektronok maximális energiája is kizárólag a megvilágítás frekvenciájától függött, nem pedig a fény erősségétől, intenzitásától.

A rejtélyt Albert Einstein oldotta meg, különös feltételezéssel:

Feltételezte, hogy a fény az energiát adagokban szállítja, egy ilyen részecskét fotonnak nevezett el. A foton energiája a fény frekvenciájával arányos. Az arányossági tényezőnek a Planck állandó adódott.

A Planck állandót először Max Plank, német fizikus használta.

ahol ϵ a foton energiája, h a Planck állandó, f a fény frekvenciája.

Minden test elektromágneses sugárzást bocsát ki. Ennek az úgynevezett hőmérsékleti sugárzásnak a színeképét azonban a fizikusok nem tudták megmagyarázni, sőt, a legjobb magyarázatok is teljesen képtelen eredményre vezettek (ultraibolya-katasztrófa). Planck feltételezte, hogy az adott frekvenciájú elektromágneses sugárzás energiája nem lehet akármekkora, csak egy legkisebb energiaadag, kvantum többszöröse. A kvantum pedig a Planck állandó és a frekvencia szorzata. Ezt a gondolatot vette át Einstein.

Planck feltevésének semmilyen szemléletes magyarázata nem volt, sőt, ellentétes volt a hétköznapi, érzékszervi tapasztalatokkal. A hőmérsékleti sugárzást tulajdonságait viszont csak ezzel lehetett megmagyarázni.

Einsetin írta fel a fényelektromos egyenletet, ami a jelenséget, a fényelektromos hatást matematikailag is leírja:

A fényelektromos hatás során a fém elnyeli a fotont, annak teljes energiája a fém egy elektronjának adódik át. Ha ez az energia elegendően nagy, akkor az elektron elhagyja a

fémet, de mozgási energiája nem lehet több, mint a foton energiájának és a kilépési munkának a különbsége.

Einstein egyenlete megmagyarázta azt a tényt, hogy ha a megvilágító fény frekvenciája nem elég nagy, nem jön létre fényelektromos hatás, akármilyen erős, nagy intenzitású legyen is a megvilágítás!

Ezer zseblámpa sem okoz fényelektromos hatást, mert a fotonok energiája nem elég nagy, az elektron fémből való kiütéséhez.

A cink olyan fém, amiből könnyen kilépnek az elektronok. A közönséges zseblámpa fénye azonban nem elég, hogy a cinkből elektronokat szabadítson fel. Ehhez ultraibolya fényforrásra, kvarclámpára van szükség.

Hogyan használják a fényelektromos hatást a digitális kamerákban?

A digitális kamerákban a film helyén fényérzékeny félvezető eszköz helyezkedik el, amely sorokban és oszlopokban elhelyezett pixelekből áll. Egy pixel a digitális fénykép egy képpontjának felel meg. A 8 Mpixel-es kamera képe közel 8 millió pixelből, képpontból áll. A pixelekre eső fény elektronokat szabadít fel, a fényelektromos hatás révén. Az erősebb megvilágítás több elektront, a keletkező töltés nagyságát megfelelő elektronika alakítja számmá. A számokat kettes számrendszerben ábrázolva, feszültség impulzusok formájában jegyzi meg a memória áramkörök.

Atomerő-mikroszkóp

A nagyítás egy arányszám, ami megadja, hogy hányszor nagyobb a kép a tárgynál. A boltokban kapható 900X-os nagyítású fénymikroszkóp a 0.2 mm-es hajszálat 180 mm, azaz 1,8 cm vastagnak mutatná, ha ez a kép beleférne a látómezőbe!

A felbontás egy meghatározott távolság. A tárgyon ennél a távolságnál közelebb lévő pontokat már nem tudunk megkülönböztetni a képen, egy pontnak látjuk azokat.

A fénysugarakkal működő mikroszkóp segítségével működő mikroszkópok jellemző nagyítása és maximális felbontó képessége: 1500 szoros, illetve 200nm

Amikor a vizsgált tárgy méretei már olyan kicsik, mint a fény hullámhossza, a fellépő interferencia jelenségek miatt a fénymikroszkóp már nem használható.

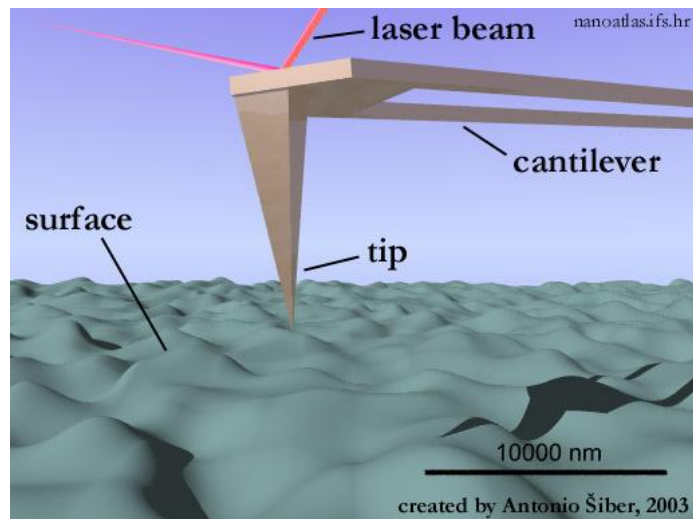
Ahogy a fénysugarak a lencsével, az elektronsugár elektromos és mágneses mezőkkel fókuszálható. Elektronsugarat használva sokkal nagyobb nagyítás (500 000) és felbontás (1nm) érhető el, mint a fénymikroszkópok esetén.

A pásztázó elektronmikroszkóp használata során az átlátszatlan tárgy felületéről visszaverődött elektronok segítségével hozzák létre a képet, egyébként a mikroszkópok használatakor általában át kell világítani a vizsgált tárgy vékony metszetét.



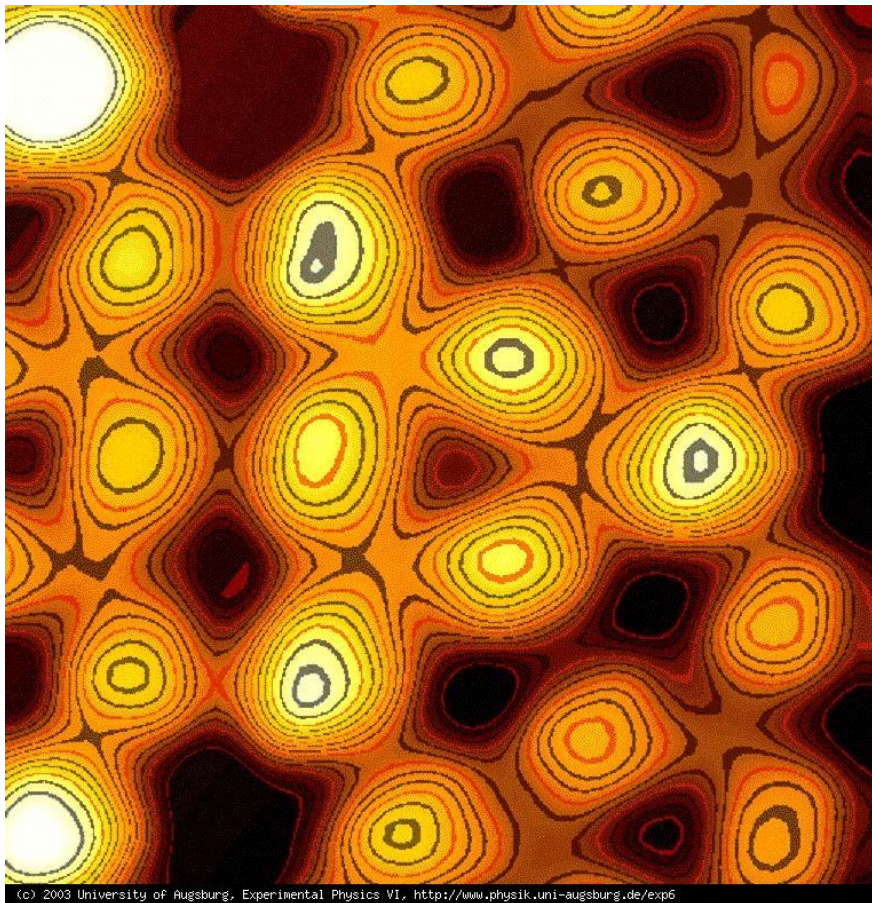
Conductivity data for a germanium surface reveal the existence of 1D electronic states in the troughs between the straight self-organized platinum nanowires. [Nuri Oncel, Arie van Houselt, Jeroen Huijben, Ann-Sofie Hallbäck, Oguzhan Gurlu, Harold J. Zandvliet, and Bene Poelsema, Phys. Rev. Lett. **95**,116801 (2005)]

Az anyagok felszíne a legjobban az atomerő mikroszkóp (AFM), vagy alagútmikroszkóp (STM) révén vizsgálható. Az atomerő mikroszkóp lelke egy olyan hegyes tű, aminek a csúcsa egyetlen atom. Ha ezt az atomi csúcsot közelítjük az anyag felületéhez, elegendően közel kerülve áram indul meg a felület és a tű között. Ha a felület nem egyenletes, a tűt mozgatva az áram nagysága változik. Ha a tűt úgy mozgatják, hogy az áram értéke állandó maradjon, a tű mozgása kirajzolja a felület domborzatát. Felbontás: 6 angström - látszanak és megmozgathatóak az egyes atomok.

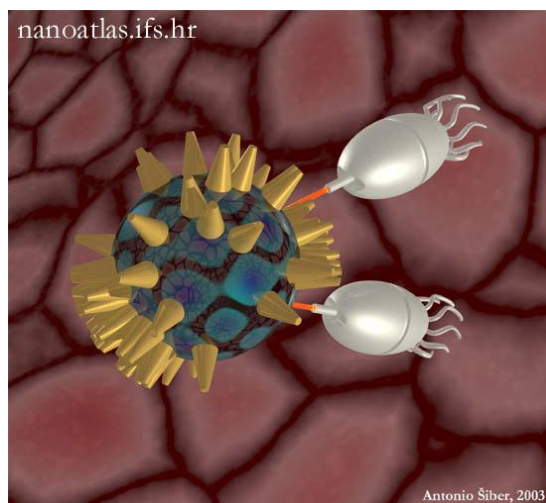


http://www.nanotech-now.com/Art_Gallery/antonio-siber.htm

Az atomerő mikroszkóppal a felületen elhelyezkedő egyes atomok is láthatóvá válnak.



A nanotechnológia az anyagok megmunkálásának olyan kifinomult módja, amikor az egyes atomok helyzete akár külön-külön is módosítható.
A nanotechnológia révén különösen erős anyagok, különleges kémiai tulajdonságú anyagok, miniatűr áramköri elemek alakíthatóak ki.



Hőmérsékleti sugárzás

Minden test bocsát ki elektromágneses hullámokat. A melegvérű élőlények erősen sugároznak az infravörös tartományban.

Az infravörös sugárzást elnyeli a bőr. Az elnyelt sugárzás károsíthatja a szöveteket, mivel felmelegíti a sejteket.

Az infravörös sugárzást felhasználják melegítésre, sütésre.

Infravörös fényre érzékeny kamerával kimutatható, ha egy testrész melegebb a környezeténél. Ez kóros folyamatokra utalhat, ezáltal sok betegség korai stádiumban diagnosztizálható. Infra kamerával működnek az éjjellátó berendezések. Infravörös fényre érzékeny szemével fedezi fel a kígyó sötétben is melegvérű áldozatát.

Az optikai szálakban látható fény helyett infravöröst használnak, mivel kevésbé nyeli el az üveg, mint a látható fényt.

Infravörös impulzusokkal működnek a különféle távirányítók.

A távirányítók infravörös jele lefényképezhető digitális fényképezőgéppel, mert a CCD érzékenyebb az infravörös sugárzásra, mint a szem.

Radar

A mikrohullámok hullámhossza rövidebb a rádióhullámokénál de hosszabb az infravörös hullámokénál.

Jobban irányíthatóak mint a rádióhullámok, és áthatolnak a Föld légkörén, ezért használják őket a műholdas kommunikáció során.

A mikrohullámok behatolnak az ételekbe és felmelegítik azokat. Ezért használják mikrohullámú sütőkben.

A mikrohullámokat használó egyik legelterjedtebb berendezés a radar.

A rádióhullámokkal működő radar segítségével minden olyan tárgyat észre lehet venni, amiről a rádióhullámok visszaverődnek. Ezek lehetnek hajók, repülők, ellenséges harci járművek, tereptárgyak, akár zivatarfelhők. Ennek megfelelően a radart tájékozódásra, navigációra használják a hajózásban, felderítésre a hadászatban, időjárás előrejelzésre a meteorológiában. A radar elengedhetetlen, ha rosszak a látási viszonyok, sötét van, vagy köd.



A hajózásban használatos navigációt segítő radar működési elve:

Nagyjából 1 milliomod másodpercig tartó rövid 9,5 Ghz frekvenciájú, azaz 3,2cm hullámhosszú impulzust bocsát ki a radar antennája egy meghatározott irányba. A rádióhullámok nagy része szétszóródik, egy kis hányada azonban a környezetben lévő tereptárgyokról visszaverődik az antennához, ami vevőként is szolgál. Az impulzus kibocsátásának és visszaérkezésének idejéből, tudva, hogy a hullámok fénysebességgel terjednek a tereptárgy vagy hajó távolsága kiszámítható. A megfigyelt tárgy irányát az antenna iránya adja. Az antennát percenként 20-30-szor körbeforgatva a radar képes letapogatni környezetét és a monitoron kirajzolódik a radar környezetében található tárgyakat ábrázoló radarkép.



A 2 világháborúban az Angoloknak utánpótlást szállító amerikai hajókat megsemmisítették a német tengeralattjárók. Az angoloknak azonban sikerült kifejleszteniük egy nagy teljesítményű mikrohullámú adóvevőt, amelyet repülőkre és hajókra telepített radarokban használtak fel a német tengeralattjárók felderítésére.



Az amerikai lopakodó-bombázót különleges anyagú borítása és a rádióhullámokat szétszóró sík lapjai szinte elrejtik a hadászati radar szeme elől. Nem ver vissza több rádióhullámot, mint egy csapat galamb.

Röntgen sugarak

A nagy energiájú Röntgen-sugarak áthatolnak a szöveteken, de elnyelődnek a csontokban és vastag fémlapokban. A Röntgen-felvétel (átvilágítás) segítségével megállapítható, hogy milyen sérülés keletkezett a csontokban, észrevehetőek a lágyabb szövetek nagyobb elváltozásai is.

A Röntgen-sugárzás energiája olyan nagy, hogy károsodást okoz a sejtekben, szövetekben. Ezért csak indokolt esetben készíthető Röntgen-felvétel.

A CT (számítógépes tomográfia) -vizsgálat során sok Röntgen-felvétel készül. A test egy-egy szeletének képéből állítják össze a nagy felbontású, 3 dimenziós képet. A kapott kép részletesebb és sokkal pontosabb, mint egyetlen felvétel, de jóval nagyobb sugárterhelést jelent a vizsgált személy számára.

Röntgen-sugarakat használnak a repülőtéren csomagok átvilágítására is. Az esetleges fegyverek és robbanó anyagok kimutathatók a biztonsági ellenőrzés során.

Fékezési és karakterisztikus röntgen-sugárzás

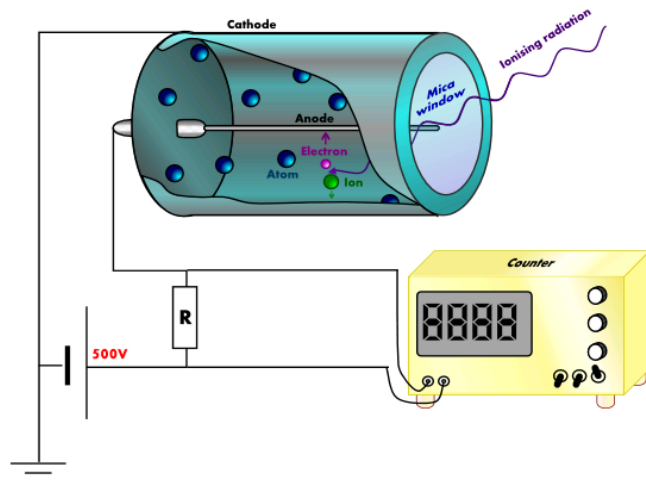
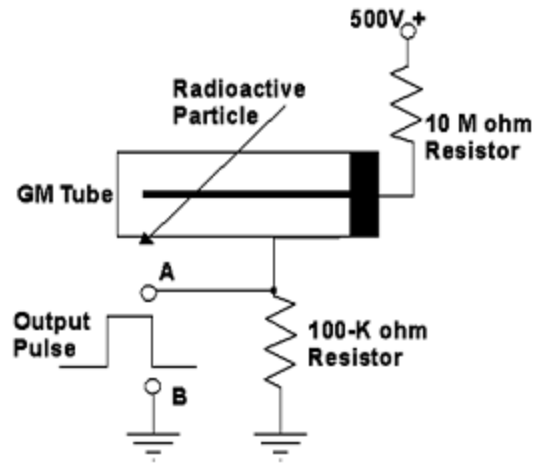
A röntgen sugarak kristályos anyagokon való szóródása során létrejött interferencia mintázat segítségével létrehozható a kristályt alkotó atomok, molekulák képe. (röntgen diffrakció)

Atommagfizika – Radioaktivitás

A radioaktív sugárzást Henri Becquerel fedezte fel 1896-ban. Papírba csomagolt fényérzékeny fényképlemezeire egy kulcsot, arra urántartalmú nehezéket tett. Amikor a lemezeket használni akarta, kiderült, hogy azok tönkrementek, kivéve azt a kis részt, amit a kulcs eltakart. Arra következtetett, hogy az urántartalmú nehezék olyan, a rádióhullámokhoz hasonló sugárzást bocsát ki, ami átmegy a szigetelő papíron de visszaverődik a fémről. Innen a rádió – aktivitás elnevezés.

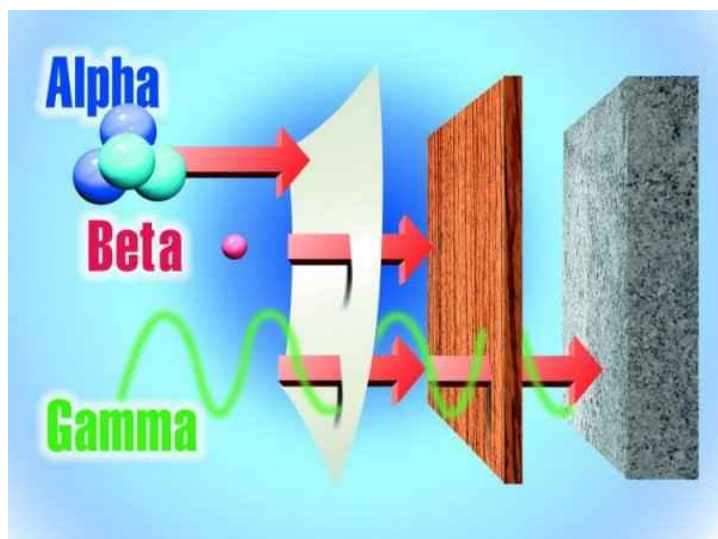
A radioaktív sugárzás észlelésére kifejlesztett egyik eszköz a Geiger-Müller számláló, röviden GM-cső. A GM cső egy megfelelő gázzal töltött csőben elhelyezett kondenzátor, melyre

elegendően nagy feszültséget kötnek. A radioaktív sugárzás hatására a kondenzátor kisül, feszültség impulzus keletkezik. A felhasználó számára kattanó hang jelzi ezt. A sugárzás erősségét az egy másodperc alatt bekövetkező kattanások számával, az úgynevezett beütésszámmal lehet megadni.



A csőben ritka töltőgáz (pl Argon) van. A beérkező sugárzás ionizálja a töltőgáz atomjait, az ionizáció során felszabaduló elektron az anódra jut, az ion a katódra. (kép) Elegendően nagy feszültség esetén a radioaktív sugárzás keltette ionok még a csőbe felgyorsulnak és további ionokat keltenek. (lavinahatás)

A radioaktív sugárzás három összetevője

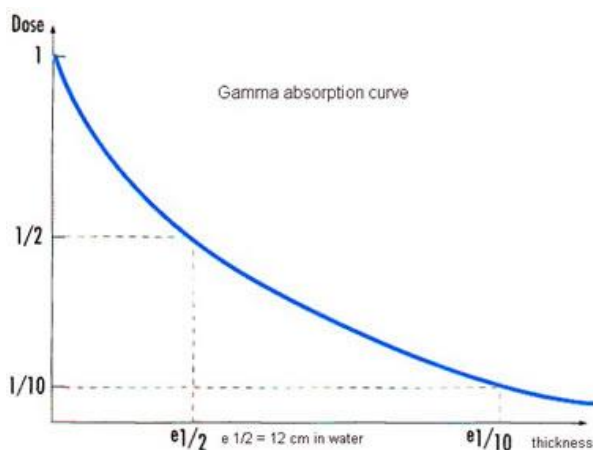


Az alfa sugarak pozitív töltésűnek bizonyultak és nem mentek át a papíron, élő szöveteken, bőrön.

A béta sugarak negatív töltésűnek bizonyultak és átmentek a papíron, szigetelő anyagokon, de nem mentek át a vékony fémlémezen.

A gamma sugarak nem mutattak töltést, de mélyen behatoltak a szigetelő anyagokba, sőt áthatoltak a vékony fémlémezen is. Az ólom és a vastag beton jelentett számukra akadályt.

Behatolás – elnyelődés



A gamma sugárzás erőssége 12cm-es vízben való áthaladás során csökken a felére.

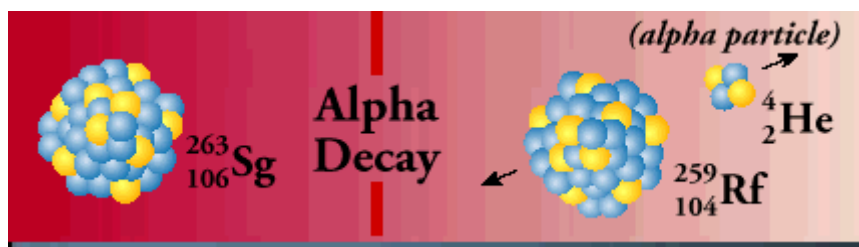
Hamarosan az urán mellett további új, radioaktív elemeket is felfedeztek. (polónium, rádium)

Az atommag pozitív töltésű protonokból, és semleges neutronokból áll. A kémiai elemek atomjai ugyanannyi protont tartalmaznak, ez a szám, a rendszám jellemző az adott kémiai elemre. A neutronok száma azonban változhat a kémiai elem atommagjában. Az azonos protonszámú, de eltérő neutronszámú atommagokból álló anyagokat egymás izotópjainak nevezzük. Egy kémiai elem létezhet stabil formában, olyan atommagokkal, amelyek nem bomlanak. Izotópjai között azonban lehetnek instabil és ezért radioaktivitást mutató atommagok.

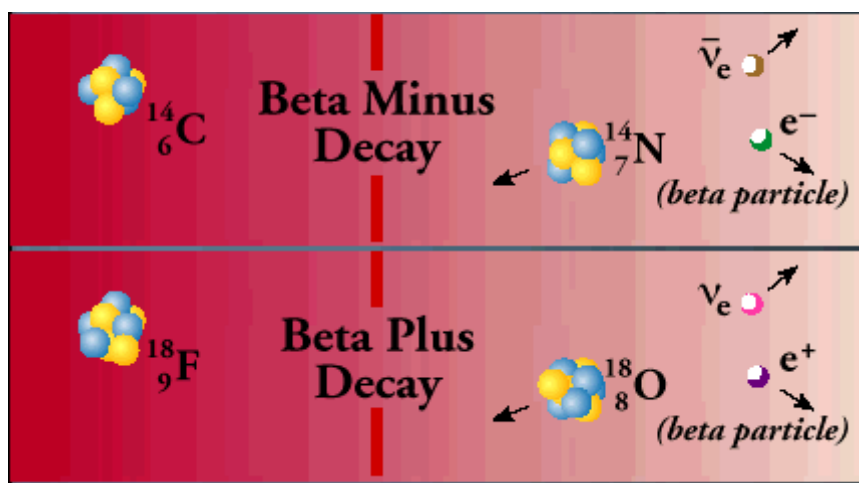
A természetben található atomok egy része stabil, magától nem alakul át. Vannak azonban olyan atomok is, amelyek magja elbomlik. A bomlás során új atomok és radioaktív sugárzás keletkezik. Az ilyen, nem stabil atommagok bomlása véletlenszerű folyamat.

A későbbi részletes vizsgálatok alapján kiderült, hogy az alfa sugárzás két protonból és két neutronból álló hélium atommagok árama.

Az alfa bomlás révén keletkezik:



A béta sugárzás gyors elektronok árama. Az elektronok a béta-bomlás révén keletkeznek. Ennek során az atommagban egy neutron alakul át protonná, miközben elektront és antineutrínót bocsát ki, vagy a proton bomlik pozitronra és neutrínóra.

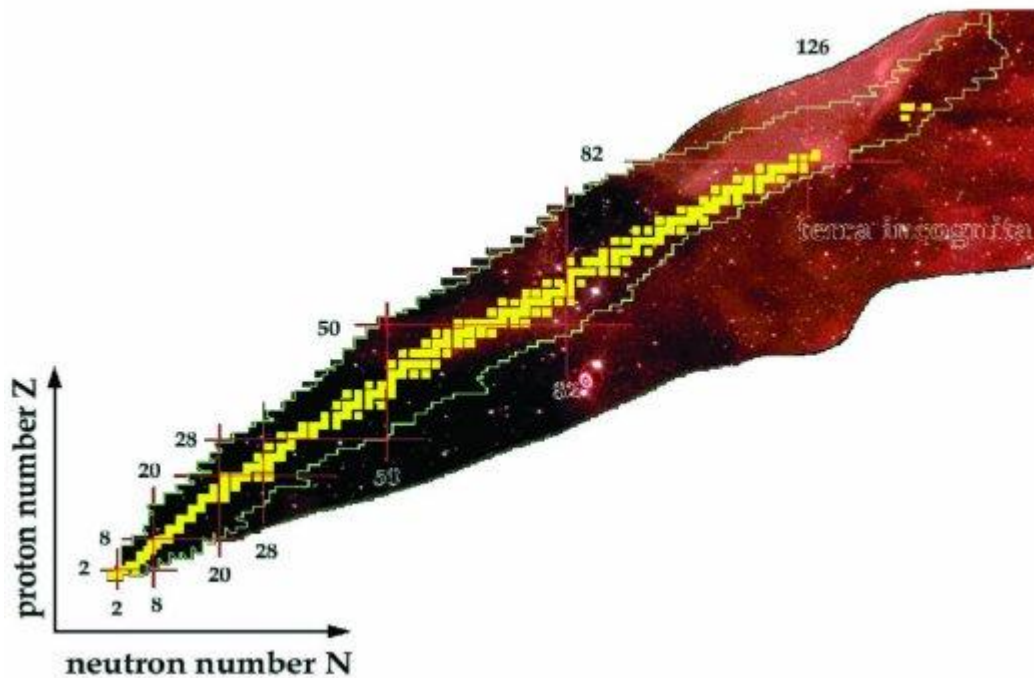


A gamma-sugárzás valójában töltéssel nem rendelkező nagy frekvenciájú elektromágneses hullám. A gamma sugarak energiája, frekvenciája nagyjából megegyezik a Röntgen-sugarak frekvenciájával és energiájával.



<http://nuclearenergypsa.blogspot.com/2008/02/types-of-radiations-produced-from.html>, 2011

A radioaktív bomlások révén az atommagok stabilabb állapotba kerülnek. (Stabilitási felület)



A sárgák a stabil atommagok.

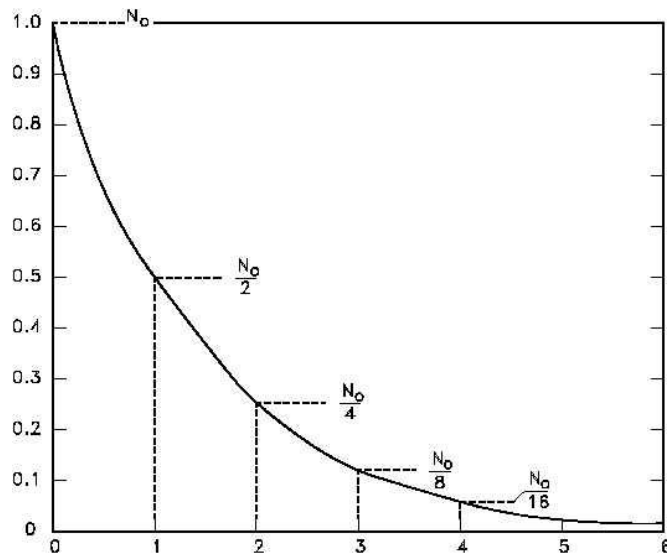
A radioaktív sugárzás mindhárom összetevője ionizáló hatású. A besugárzott anyag atomjaiból képes elektronokat eltávolítani. Ilyen módon az eredetileg semleges atomból pozitív töltésű részecske, ion lesz. Az ionizáció károsítja az élő szöveteket, sejteket.

Bomlástörvény

A radioaktív minta aktivitása az egy másodperc alatt elbomló atomok számát jelenti. Ha a minta aktivitása nagyobb, akkor erősebben sugároz.

GM-csővel mérhető, hogy hogyan változik egy minta aktivitása az idő múlásával, mivel a beütésszám arányos az aktivitással.

Az adatokból kiolvasható szabályszerűség: Ahhoz, hogy a minta aktivitása megfelezzjön, mindig ugyanannyi időre van szükség. Ezt az időt a radioaktív izotóp felezési idejének nevezik, a szabályszerűséget radioaktív bomlástörvénynek.



$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

Az eredeti minta bomlása során keletkezett izotópok (leányelemek) maguk is lehetnek radioaktívak, ilyenkor a sugárzás a grafikonon ábrázolt ütemnél lassabban csökken.

Az emberek öregsznek. Ez azt jelenti, hogy minél idősebb egy ember annál valószínűbb, hogy a következő egy évben meghal. Persze ez a szabályszerűség is statisztikusan érvényesül. Nagyon sok ember közül egyre többen halnak meg a kor előre haladtával.

Az atommagok bomlása azonban nem ilyen. A bomlás valószínűsége a régi atomok esetében is ugyanakkora, mint az újak esetében. Pontosan ez jelenik meg a radioaktív bomlástörvényben, és ezt jelenti az örökifjúság. Az idő múlásával a radioaktív bomlás valószínűsége nem nő, az atommagok nem öregsznek. Bomlásuk nem valamilyen elhasználódás következménye, hanem véletlen folyamat. A kvantumfizika írja le, hogy hogyan lehetséges, hogy a sokáig stabilan létező atommag egyszer csak magától elbomlik. A jelenség neve alagúthatás.

Hétköznapi sugárzások

A szervezetbe juttatott radioaktív izotóp helye könnyen felderíthető az általa kibocsátott radioaktív sugárzás mérésével.

A radioaktív jód izotóp segítségével vizsgálhatóak például a vesék. Az egészséges vesében felhalmozódik a radioaktív jód, majd kiürül. Ennek megfelelően, miután a beteg megitta a radioaktív jódot tartalmazó oldatot, a veséjénél emelkedő, majd csökkenő aktivitás mérhető. Ha az aktivitás nem, vagy csak lassan csökken, akkor a vese nem működik megfelelően.

Miért éppen jódiotópot használnak?

A felezési ideje 8 nap, néhány hét alatt teljesen elbomlik a radioaktív anyag.

Gamma sugárzó, tehát a sugárzás átmegy a szöveteken és kívülről mérhető.

Az elbomló jódiotópot bomlástermékei már nem radioaktívak.

Radioaktív mérések segítségével meghatározható egy régészeti tárgy kora. Az élő szervezetek egy kis mennyiségű radioaktív szénizotópot tartalmaznak. Amikor a szervezet elpusztul, ez a

mennyiség csökkenni kezd 5600 éves felezési idővel. Minél kevesebb tehát egy csontban a radioaktív szénizotóp aránya a stabil szénhez képest, annál öregebb a csont.

A kőzetek életkora hasonló módon a 4500 millió éves felezési idejű uránizotóp mennyiségének mérésével történik. Az uránizotóp bomlásának végterméke az ólom. Ha a kőzetben ugyanannyi uránatom van mint ólomatom, akkor éppen 4500 millió éves.

A gamma sugárzást használják:

Élelmiszerek sterilizálására, mivel elpusztítja a baktériumokat.
Ráksejtek elpusztítására

A Co-60 izotópból eredő radioaktív sugárzás célzott nyalábjával elpusztíthatóak a rákbetegséget okozó rendellenes sejtek, de éppen maradnak a daganatot körülvevő egészséges szövetek.

Persze a sugárterápiás kezelés károsíthatja a szervezetet, mint minden radioaktív sugárzás, de sokkal kevésbé kockázatos, mint maga a betegség.

Megfelelően koncentrált gamma sugárzással operálni is lehet!

Sugárveszély



A GM csővel a szabadban, épületekben is mérhető radioaktív sugárzás. Ez a háttérsugárzás, ami mindennapi életünk része. Egy embert egész életén át sokféle forrásból ér radioaktív sugárzás:

A világűrből érkező nagy energiájú töltött részecskék, kozmikus sugarak (310)

A föld és az épületek (360)

Élelmiszerek (370)

A levegőben található radioaktív anyagok (800)

Orvosi beavatkozások (500)

Atomfegyver kísérletek (10)

Repülés (8)

Atomerőművek (3)

A levegőben felszaporodott radioaktív radon (a földből vagy a téglából), illetve az égésből származó pernye olyan radioaktív források, amelyek felszaporodva károsíthatják az egészséget.

Esőben a természetes háttérsugárzás akár a 20-szorosára is emelkedhet, az esőcseppekkel radioaktív anyagok is jutnak a felső légkörből a föld közelébe.

A radioaktív sugárzás növeli a rák kockázatát. Az erős sugárzás következménye biztosan sugárbetegség, a kisebb dózisok azonban nem szükségszerűen okoznak betegséget. Létezik egy olyan dózis, amely alatt a betegség kockázata nem nagyobb, mint például a közlekedés során egy lehetséges baleset kockázata, vagy az épületekben használt egyéb rákkeltő anyagok használatának (benzol, freonok, azbeszt) kockázata. A radioaktív sugárzással dolgozó embereknél gondosan mérlegelik, hogy ne tegyék ki őket szükségtelenül az átlagos emberi tevékenységből fakadó egyéb kockázatoknál nagyobb veszélynek.

Az orvosi kezelése során az orvos dönti el az alkalmazható dózis nagyságát.

Ha egy ismerősöd például radioaktív jódot kapott és hazaengedik a vizsgálat után, érdemes betartani a biztonságos távolságot.

Jó tudni:

A sugárzás hatása összegződik. A rövid ideig tartó erős sugárzás hasonlóan károsít, mint a hosszabb ideig tartó gyenge.

A sugárzás energiája egyenletesen oszlik el a térben, az adott aktivitású sugárzó anyagtól való távolság növekedésével a sugárzás károsító hatása nagyon gyorsan csökken. A levegő el is nyeli a béta és alfa sugárzás egy részét.

A legjobb védekezés tehát gyorsan minél messzebb kerülni a sugárforrástól. Egy két méter is sokat számít! Utána lehet gondolkozni a további védekezési teendőkön: sugármentesítés, árnyékolás

Az emberi szervezetet ért sugárhatás biológia hatását leíró mennyiség az egyenérték dózis. mértékegysége a sievert. Egy átlagos magyar lakos évente átlagosan 3-4 mSv dózisu sugárzást kap, ennek egy része természetes, másik része az emberi tevékenység következménye.

Egy korszerű röntgengéppel készített felvétel során 0,2mSv dózist kap a beteg. Egy egész testre vonatkozó CT vizsgálat nagyjából 8mSv többlet sugárterheléssel jár.

A sugárzásból eredő veszélyt gyakran eltúlozzák a Tv-ben, rádióban az egyéb veszélyforrásokhoz képest. A tudósok jelenleg is vitatkoznak, hogy a természetes háttérsugárzás 2-3 szorosa valóban káros-e. Vannak adatok arra vonatkozóan is, hogy a kicsit megemelkedett háttérsugárzás előnyös a szervezetre nézve. (+1 mSv = 50 mikrorizikó?)

Veszélyesek-e az atomerőművek?

Az atomerőművek elhasznált fűtőanyaga erősen radioaktív és több ezer évig radioaktív marad. Megfelelően őrzött és árnyékolt tárolókban tartják. Csak a tárolók megsérülése esetén veszélyesek.

Az atomerőművekben esetleg elszabadulhat a láncreakció, a termelődő hő elpusztíthatja az erőmű épületét és az izzó fűtőelem radioaktív anyagokat juttathat a légkörbe. A radioaktív felhő a balesettől távolabb is sugárszennyezést okozhat. Az 1986-os Csernobili baleset során több, mint 100 000 embert kellett kitelepíteni.

2011 – Fukushima: A kiégett fűtőelemek tárolója sérült meg. Erős radioaktív sugárzás

Miből van a világ? - Kvantumfizika

Részecske, hullám kettőség

A mikrorészecskéket nem golyóknak kell elképzelni. Bizonyos körülmények között valóban úgy viselkednek, mint a golyók, máskor viszont mint a hullámok.

Elektronok (és más részecskék) interferenciáját figyelték meg.

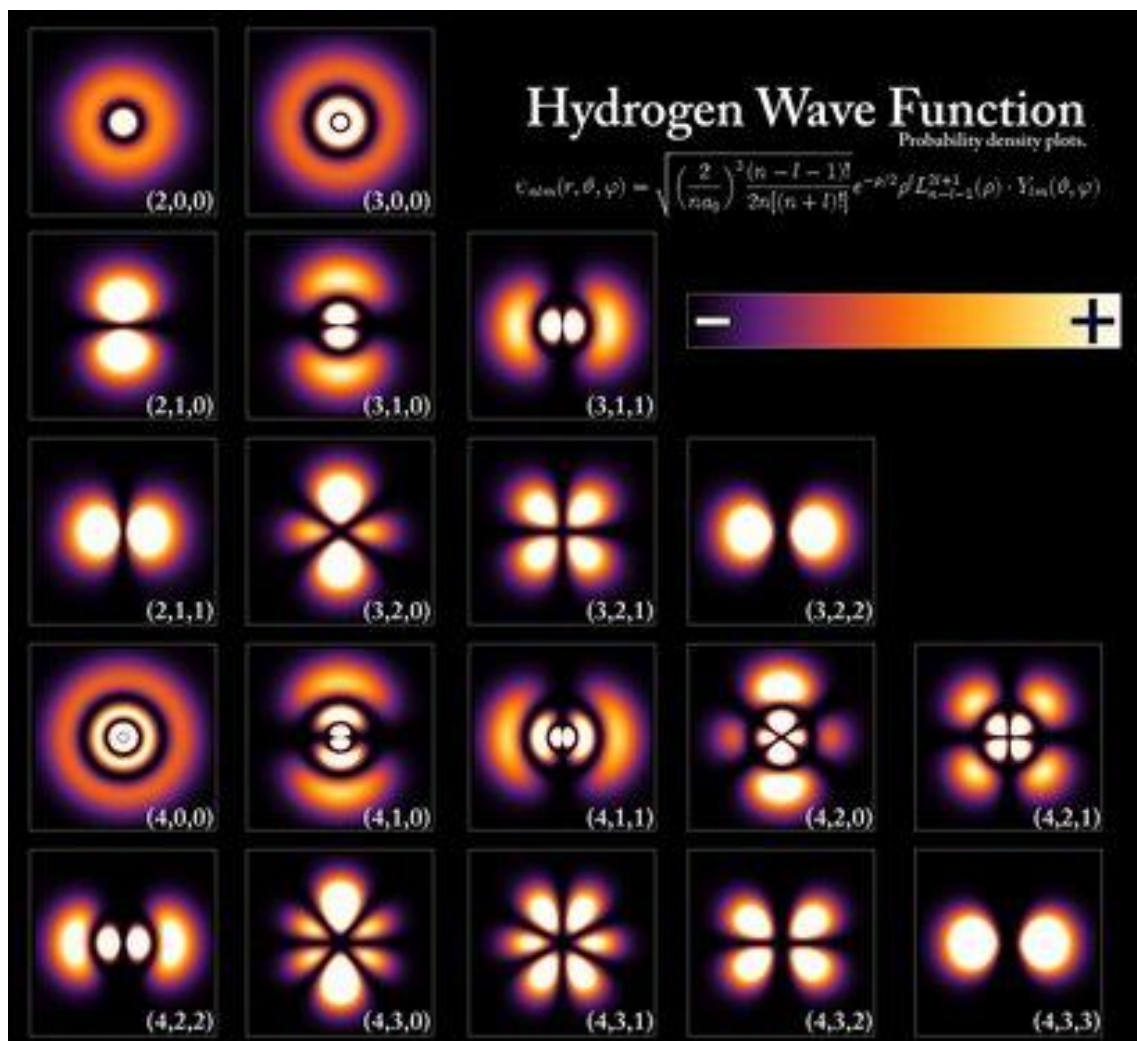
Mekkora az elektron hullámhossza? - ez a kvantumfizikában teljesen értelmes kérdés.

Az elektronnak általában nem lehet megadni a helyét, bizonyos valószínűséggel egyszerre található meg az atom körül. (felhő, ventilátor)

Ezért inkább felhőnek rajzolják.

A kvantumfizika olyan közelítés, ami a mikrovilág leírására használható. Egyik legnagyobb eredménye, hogy nagyon pontosan kiszámolhatók a könnyebb atomok lehetséges energiaállapotai, így magyarázatot nyernek a mért optikai és röntgen színeképek.

Az atom különböző energiájú állapotai



A 3 kvantumszám meghatározza az elektronfelhő alakját és az atom energiáját. Minden elektronpályán legfeljebb két, ellentétes spinű elektron lehet.

	n	l	m	s
1s	1	0	0	$\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$
2s	2	0	0	$\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$
2p	2	1	1, 0, -1	$\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$
3s	3	0	0	$\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$
3p	3	1	1, 0, -1	$\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$
3d	3	2	2, 1, 0, -1, -2	$\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$
4s	4	0	0	$\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$
4p	4	1	1, 0, -1	$\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$
4d	4	2	2, 1, 0, -1, -2	$\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$
4f	4	3	3, 2, 1, 0, -1, -2, -3	$\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$

A kvantumfizikai modell

Függvényoperátorok

Az operátor egy műveleti utasítás, a függvényoperátor egy függvénnyel végzett műveletet jelöl ki, ami egy másik függvényt eredményez

Például a differenciálás ilyen függvényoperátor. Egy függvényből egy másikat, a deriváltját állítja elő.

A differenciálás operátorát jelöljük DIF el, ekkor DIF $f(x)$ jelenti az $f(x)$ függvény x -szerinti deriváltját.

Ha $f(x)=x^2$, akkor DIF $f(x)=2x$.

DIF $\sin(x) = \cos(x)$, DIF $(\sin(kx))= k\cos(x)$

A paritásoperátor PAR jelentése: PAR $f(x)=f(-x)$

Legyen adott egy operátor, mondjuk DIF, vagy PAR. Milyen függvényekre teljesül az, hogy az operátort alkalmazva a függvényre a függvény számszorosát kapjuk vissza? Az ilyen függvényt az operátor sajátfüggvényének, a számot a sajátfüggvényhez tartozó sajátértéknek nevezzük.

Például DIF sajátfüggvénye az exponenciális függvény.

DIF $e^x=1e^x$, a sajátérték 1.

DIF $e^{kx}=ke^x$, a sajátérték k .

Legyen DIF2 a kétszeres deriválás operátora. Melyek DIF2 sajátfüggvényei és a megfelelő sajátértékek?

A PAR sajátfüggvényei a páros és páratlan függvények. A páros függvényekhez tartozó sajátérték 1, a páratlanokhoz -1.

A kvantumfizikai modell

A kvantumfizikában a fizikai mennyiségekhez tartozik egy operátor:

Az x helykoordinátához például a vele való szorzás, a lendület x komponenséhez:

$$p_x = -\frac{h}{i} \frac{\delta}{\delta x}, \text{ tehát az } x\text{-szerinti parciális deriválás, ahol } h \text{ a planck állandó, } i \text{ négyzete pedig -}$$

1.

Mivel

$$p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}$$

valamint

$$E_{\text{mozgási}} = \frac{p^2}{2 \cdot m}$$

a mozgási energia operátorát az olvasó is könnyen meghatározhatja, ha az operátorokkal ugyanazokat a műveleteket végzi el, mint amelyeket fizikai mennyiségekkel a képlet kijelöl.

A tömeg itt egy konstans.

Ha tehát egy fizikai kísérletben az a kérdés, hogy egy mennyiség mérésekor milyen értékek adódnak, akkor az első lépés a mennyiséghez tartozó operátor meghatározása.

Utána meg kell keresni az operátorhoz tartozó sajátfüggvényeket (állapotfüggvény) és a megfelelő sajátértékeket, azaz meg kell oldani a sajátérték egyenletet.

OPERÁTOR $f(x) = E f(x)$

A képlet egy dimenziós rendszerre vonatkozik, melynek állapotfüggvénye csak egy koordinátától függ, általában az állapotfüggvény a térben van értelmezve, azaz mindhárom koordinátától függ.

Ha az operátor a mozgási energia operátor, akkor a sajátérték megadja a mozgási energia lehetséges, mérhető értékeit. Általában egy operátor sajátértéke az adott kísérletben az operátorhoz tartozó fizikai mennyiség lehetséges értékeit adja meg.

Látható, hogy megfelelő operátorok esetén előfordulhat, hogy a sajátértékek nem lehetnek akármekkora, hanem sorozatot alkotnak. Van tehát remény arra, hogy kijön az a tapasztalat, hogy a fizikai mennyiségek gyakran szintén nem folytonosan változnak, hanem kvantáltak.

A sajátfüggvény, pedig a tekintett kísérletben a vizsgált rendszer állapotára jellemző ún. állapotfüggvény. (saját állapot)

A kvantumfizikai modell szerint ha a mérés során a vizsgált rendszer valamelyik saját állapotában van, akkor a mérés eredménye az ennek megfelelő sajátérték.

Ha egy lehetséges nem sajátállapotban, akkor az állapotfüggvénye előállítható a sajátállapotokhoz tartozó sajátfüggvények lineáris kombinációjaként. A mérés során ekkor különböző sajátértékeket is kaphatunk, mindegyiket azzal arányos valószínűséggel, amilyen együttállással a neki megfelelő sajátfüggvény a lineáris kombinációban szerepel.

Az állapotfüggvény fizikai jelentése pedig a következő:

Az tér egy adott pontján véve az állapotfüggvény négyzetét, megszorozva a tekintett pont körüli kis térfogattal megkapjuk annak a **valószínűségét**, hogy az elektron a tekintett térfogatban található.

$$val(x, \Delta V) = f^2(x) \cdot \Delta V$$

A szabadon repülő elektron állapotfüggvénye szinuszos hullán, az atom körül keringő, kötött állapotú elektron állapotfüggvénye szinuszos hullámokból építhető fel.

Az eddigiekből következik, hogy a részecskék helyét nem lehet pontosan meghatározni, csak bizonyos valószínűséggel. A hely klasszikus fogalma a mikrorészecskék világában átalakul.

A mikrorendszerek: atomok, molekulák, atomhalmazok, anyagok állapotfüggvénye az ún. Schrödinger egyenlet megoldásából számolható ki.

A röntgensugárzás keletkezhet elektronok fékeződésekor, az ilyen röntgensugárzás színe, spektruma folytonos. Keletkezhet akkor is, amikor bizonyos atomok gerjesztett állapotból egy alacsonyabb energiájú állapotba kerülnek. Ez a viszonylag pontos energiájú karakterisztikus röntgensugárzás.

Elektronvolt: annyi energia, amire egy álló helyzetből induló elektron szert tesz, amíg az elektromos mező egy pontjából egy másik, a kiindulóhoz képest -1 V feszültségű pontjába jut. (eV)

Jellemző karakterisztikus energia: 1480 eV

Az atom finomított Bohr modellje, a kvantumfizikai számolások alapján:

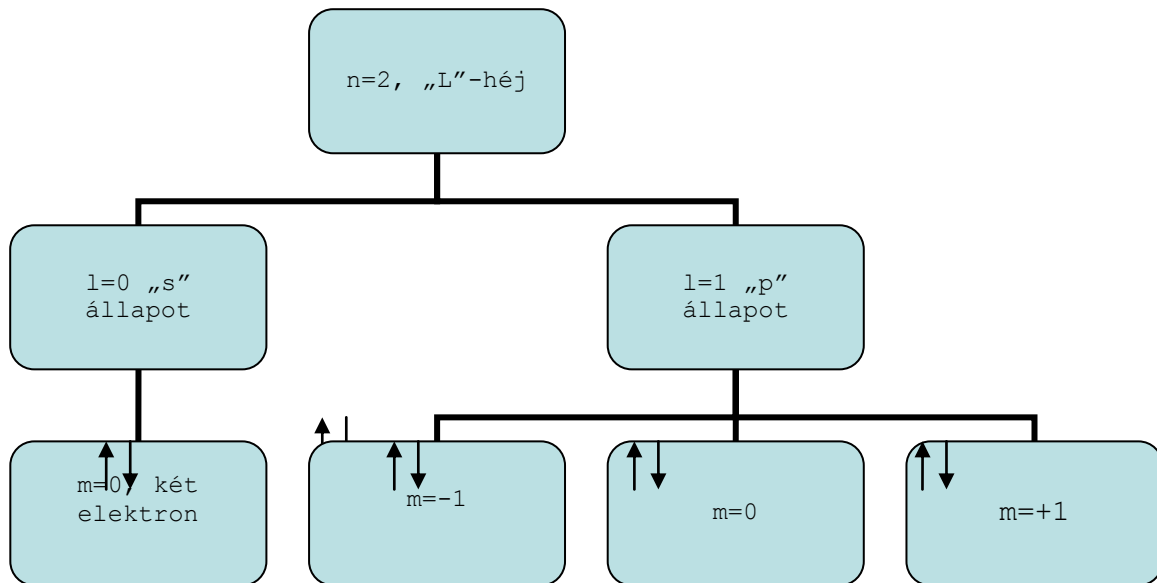
Az elektronok az atom körül csak meghatározott energiájú állapotban lehetnek. Egy ilyen állapotot a fő (n) és mellék (l) valamint a mágneses (m) kvantumszám határoz meg.

$$n=1,2,3,\dots$$

$$l=0,1,2,\dots,n-1$$

$$m=-l,0,\dots,+l$$

Például n=2, ekkor l lehet 0,1, m pedig l=0 esetén 0, l=1 esetén -1,0,+1



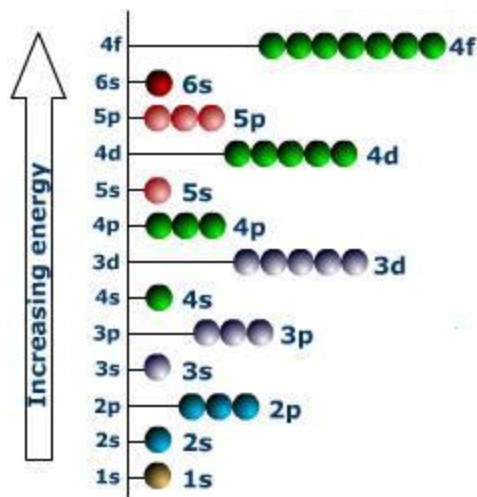
A három kvantumszám meghatároz egy állapotot, amit két elektron foglalhat el. A következő már egy másik állapotba kerülhet csak.

A nulla mellékvantumszámot s-el, az 1-et p-vel, a kettőt d-vel jelölik.

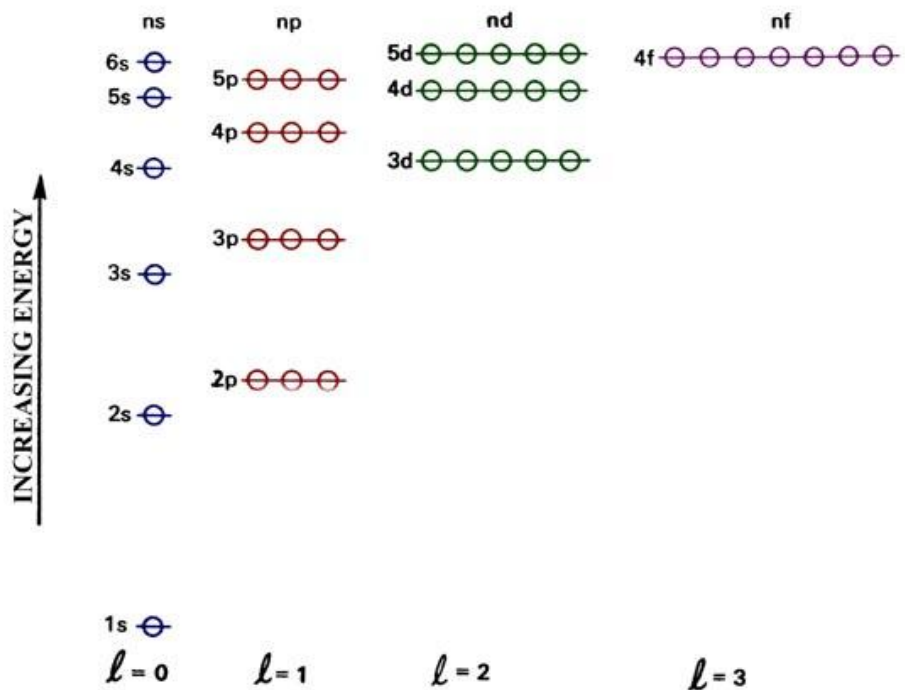
A lehetséges állapotok az energia növekedése szerint:

1s (két elektronnak jut hely mindegyikben!), 2s, 2p, 3s, 3p, 3d

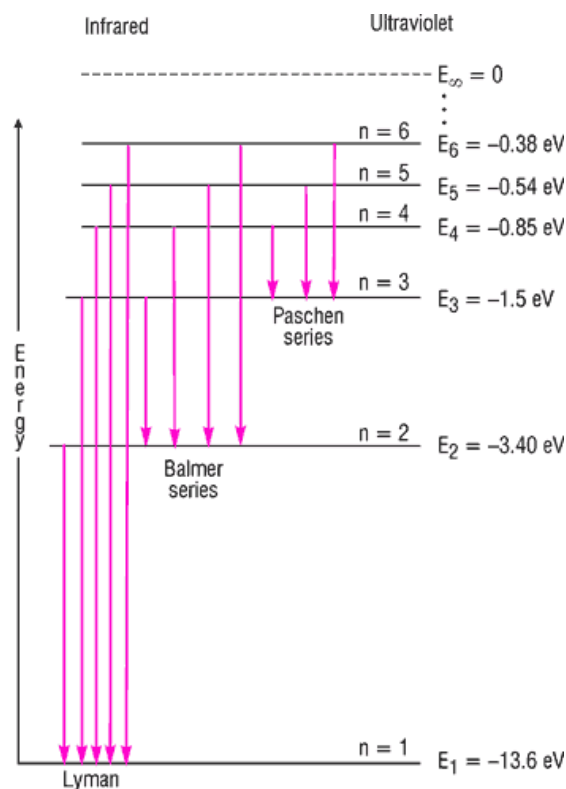
Az 1-es állapotokat K-héjnak, a 2-es állapotokat L-héjnak, a 3-as állapotokat M-héjnak nevezik. A betöltetlen héjat (ahol van még hely további elektronok számára V-vel jelölik (Valencia héj)). Az itt levő elektronok a kémiai kötés kialakításában vesznek részt.



A belső héjakon levő elektronok erősebben kötődnek az atomhoz, összes energiájuk negatív és kisebb, mint a külső héjakon levő elektronoké.



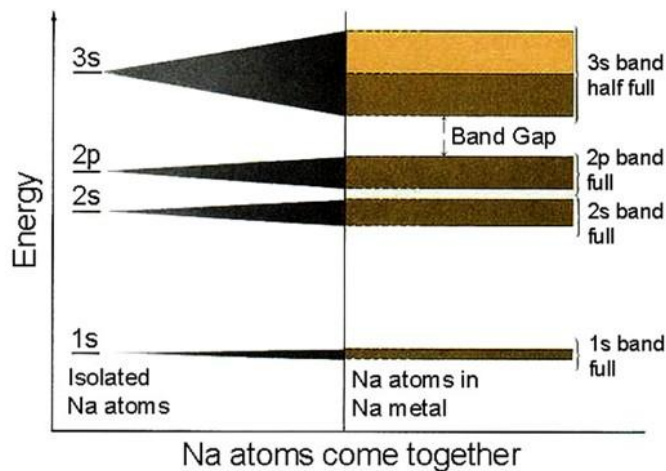
A lehetséges energiaállapotokat az elektronok meghatározott sorrend szerint töltik fel.



A hidrogén atom lehetséges elektronállapotai, az azokban levő elektron energiája.
http://utopia.cord.org/step_online/st1-1/st1-1ei5.htm, 2011

energiasávok, szilárdtestek

Ha az atomok valamilyen kötással szilárdtestet alkotnak, a külső, gyengén kötött elektronok nem egyetlen atomhoz, hanem a kristály valamennyi atomjához tartoznak. A szilárdtestekben a külső elektronok lehetséges sok lehetséges energiaállapota sávokba rendeződik.



<http://www4.nau.edu/meteorite/meteorite/book-glossaryb.html>, 2011

Az anyagok vezetési tulajdonságai az energiasávok elhelyezkedésével magyarázhatóak. Az elektron mozgása, gyorsulása során energiát vesz fel, másik energiaállapotba kerül. Ha van sok üres energiaállapot, könnyen gyorsul és részt vesz az áramvezetésben. (Pl. Na 3s elektron)

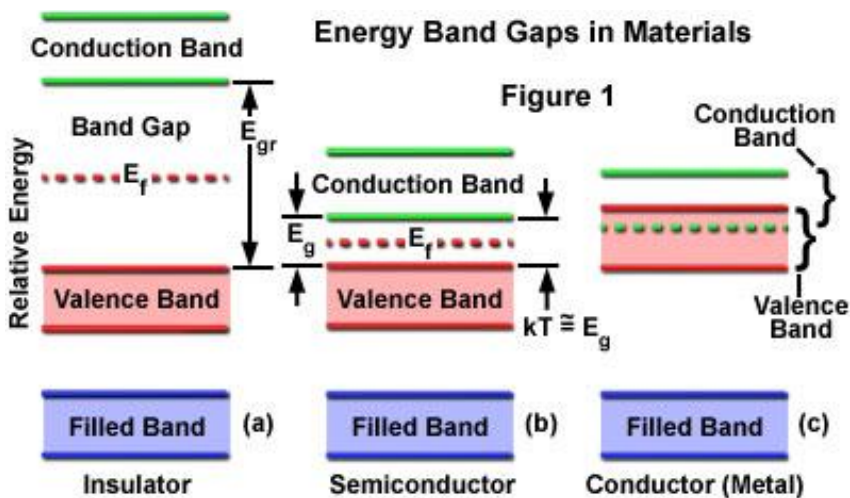


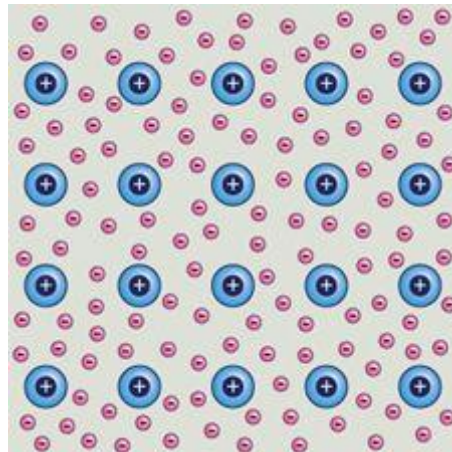
Image source: <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/lasers/diodelasers/index.html>.

A vezetőképesség attól függ, az energiasávok milyen messze van egymástól és mennyi betöltetlen energiaállapot van.

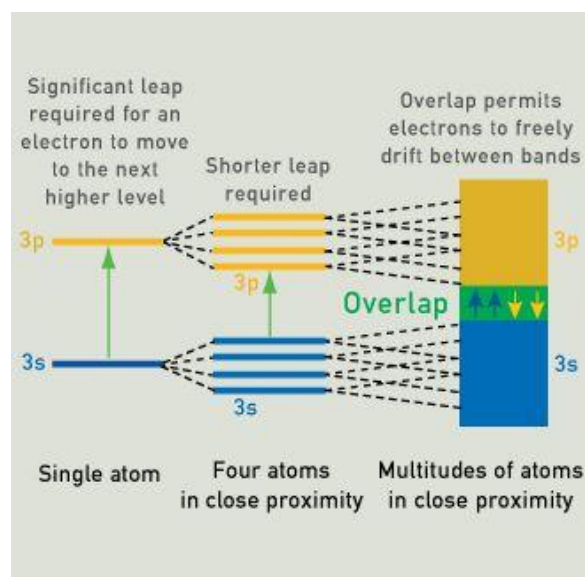
Sárga és rózsaszínű arany



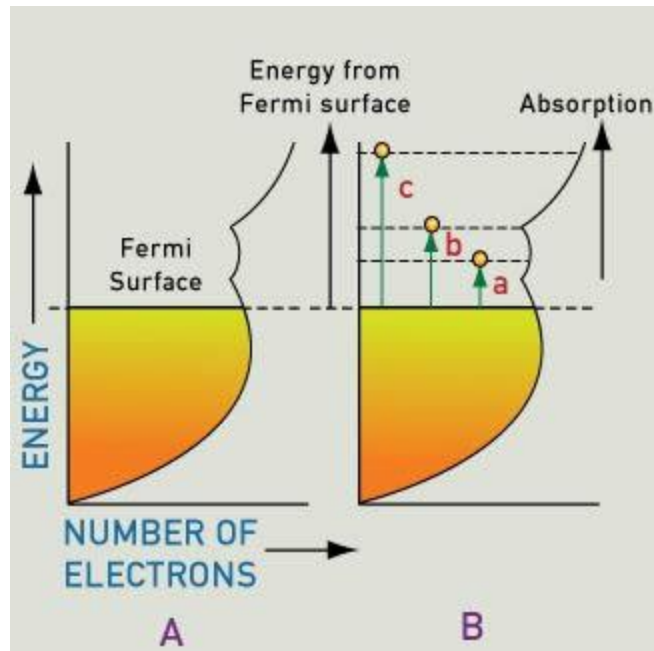
Sárga és rózsaszínű arany, türkiz és mahagóni féldrágakövet övez



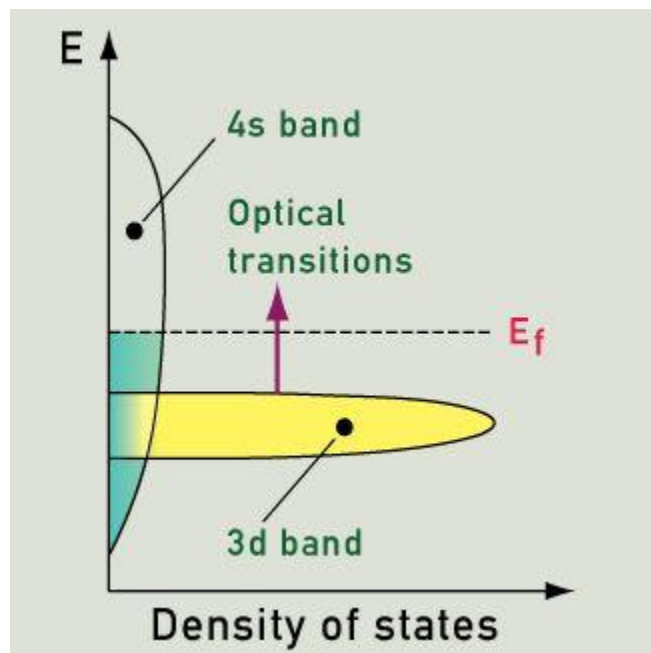
A kép a fémes kötést ábrázolja, az atomtörzsekkel és a közös elektronokkal



Az arany-atom külső energiaszintjei a fémekben sávokká szélesednek



A fermi-szint alatti energiaállapotok nulla kelvin fokon mind betöltöttek, az un Fermi-szint felettié üresek. Gerjesztés vagy hőmozgás során az elektronok egy-egy magasabb energiájú üres állapotba ugranak. (valójában egyszerűen nő a sebességük, de az a sávmodell nyelvén nagyobb energiájú állapotba ugrást jelent)



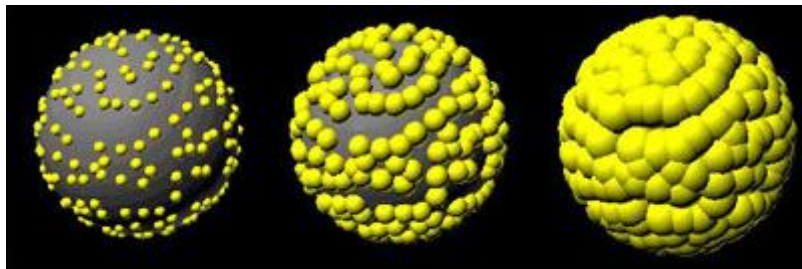
A kvantumfizikai számolás eredményeképpen megkapható a 3d és 4s energiaállapotok sűrűsége, a betöltöttséget a sátozás jelzi.

A bizonyos frekvenciájú fény (fotonok) gerjesztik az elektronokat. (Optical transitions: a 3d sávból a Fermi szint fölé). Az ilyen színű fényt a fém elnyeli. A visszavert fény színes lesz.

A különleges optika és elektromos tulajdonságú anyagok viselkedésért a különleges sáv szerkezet felelős.

Fém – nanoshell anyagok

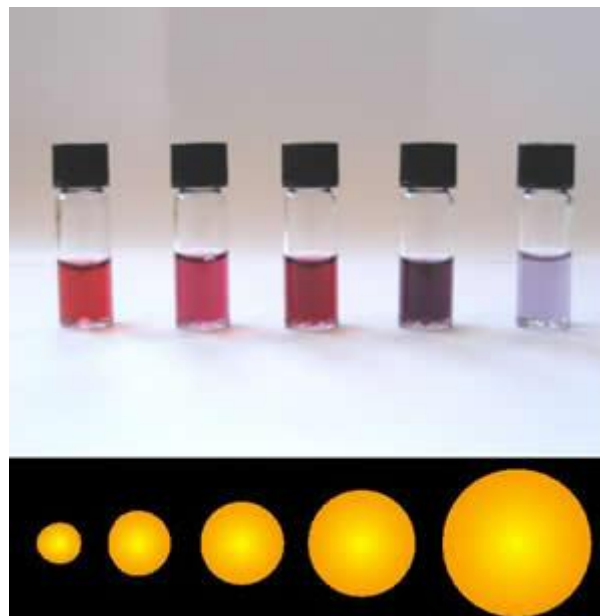
Metal nanoshells are ultrasmall particles whose light-absorbing properties can be specially tailored to specific applications in the visible and infrared regions of the spectrum. The particles can be made to selectively absorb or scatter light at virtually any wavelength, even at wavelengths where no natural light-absorbing materials exist. A metal nanoshell is a composite, layered nanoparticle whose color is determined by precisely controlling the thicknesses of the particle's constituent layers. This can be done so accurately that one can "design" metal nanoshells to have the color required for any application of choice. Metal Nanoshells were first developed in the Halas Nanoengineering Group at Rice.



Growth stages of gold shells around silica nanoparticles

<http://rqi.rice.edu/research/areas/nanoshells/nanoshells.php>

http://www.nanoed.org/concepts_apps/AuNanoShells/



A nanorészecskék mérete meghatározza színüket

A mechanika kiterjesztése nagy sebességű mozgásokra

Hétköznapi tapasztalatok

Egy vonat halad keleti irányba állandó nagyságú sebességgel. Az egyik kocsiban, a kocsi nyugati végében ülő ember feláll és átsétál a kocsi keleti végébe, és oda megérkezvén leül. Valaki a vonatban megméri a két szék távolságát és megállapítja, hogy az ember elmozdulásának nagysága nagyjából a kocsi hosszával egyezik meg, 25m. Eközben egy másik ember a Földön áll a vonatsín mellett. Megjelöli a sínen azt a pontot, ami felett a kocsiban előresétáló ember volt a séta kezdetén, majd megjelöli azt a pontot is, ami felett akkor volt, amikor a kocsi keleti végébe érve leült. Utána megméri a sín mellett lépkedve a két jel távolságát és megállapítja, hogy az, 325m. A vonatban (mozgó vonatkoztatási rendszer) mérve más az elmozdulás nagysága, mint a sínhez (nyugvó vonatkoztatási rendszer) képest. A látszólagos ellentét abból származik, hogy a sínhez képesti elmozdulást nagyságához a vonat elmozdulása is hozzájárul. Hiszen az akkor is mozog, ha benne az ember egyhelyben ül! A vizsgált esetben a séta ideje alatt a vonat éppen 300m-t haladt kelet felé. Természetes, hogy a vonat sínhez képesti elmozdulásának nagyságát összeadva az ember vonathoz képesti elmozdulásának nagyságával adódik az ember sínhez képesti elmozdulása.

$$(1) \Delta r_{ember-sin} = \Delta r_{ember-vonat} + \Delta r_{vonat-sin}$$

átrendezve

$$(2) \Delta r_{ember-vonat} = \Delta r_{ember-sin} - \Delta r_{vonat-sin}$$

A séta nyilván ugyanannyi ideig tartott a vonatban, mint a vonat mellett vizsgálva. Ezzel az idővel elosztva az egyenletet adódik a sebességek kapcsolata:

$$v_{ember-sin} = v_{ember-vonat} + v_{vonat-sin}$$

átrendezve

$$v_{ember-vonat} = v_{ember-sin} - v_{vonat-sin}$$

Ezt az összefüggést hétköznapi tapasztalataink igazolják, naponta gondolkozunk így. Például amikor a városban autózva a megengedett 50 km/h-s sebességgel haladva megelőz egy másik autót, tudjuk, hogy a sebessége 50km/h plusz az a sebesség, amit mi érzékelünk az előzést figyelve. Ez megy vagy százal –mondjuk, ha gyorsan húz el mellettünk.

A fény sebessége

Bármilyen hihetetlen is, a fizikusok azt tapasztalták, mérték, hogy a fényre ez az okoskodás nem igaz.

A fény sebességének nagysága vákuumban minden vonatkoztatási rendszerben ugyanannyi: 300000km/s, és ez a természetben a fizikai hatások terjedésének maximális sebessége.

Tehát ha a vonatban a sétáló ember előrevilágít egy zseblámpával, és megméri a fény sebességét a vonatban és mellette a sínhez képest is, akkor ugyanaz az érték jön ki. Sőt, egy nagy sebességgel, a zseblámpával szembe haladó vonathoz képest is ugyanannyi adódik: $c=300000\text{km/s}$.

A Lorentz-transzformáció

Az (1)-es összefüggést olyan módon kell tehát átalakítani, amiből kijön a fénynek ez a furcsa tulajdonsága, másrészt ami kis sebességek esetén visszaadja a hétköznapi tapasztalatokat.

$$\text{Legyen } k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_{\text{vonat-sín}}^2}{c^2}}},$$

ahol c a fénysebesség nagysága.

Ez a módosítás a fent, v sebességgel haladó vonat példájára a (2) egyenletre:

$$(3) \Delta r_{\text{ember-vonat}} = k \cdot (\Delta r_{\text{ember-sín}} - \Delta r_{\text{vonat-sín}}),$$

$$\text{ahol } \Delta r_{\text{vonat-sín}} = v_{\text{vonat-sín}} \cdot \Delta t_{\text{sín}}$$

ahol $\Delta t_{\text{sín}}$ mellett állva mért idő.

A módosított egyenletek megdöbbentő következménye, hogy a séta nem ugyanannyi ideig tart a vonatban nyugvó órákkal mérve ($\Delta t_{\text{vonatban}}$), mint a vonat mellett, a sínekhez képest álló órákkal mérve ($\Delta t_{\text{sín}}$). A két időt összekapcsoló egyenlet:

$$\Delta t_{\text{vonatban}} = k \cdot \left(\Delta t_{\text{sín}} - \frac{v_{\text{vonat-sín}} \cdot \Delta r_{\text{vonat-sín}}}{c^2} \right)$$

Kis számolással bárki meggyőződhet arról, hogy ha a vonat mondjuk a fénysebesség 0,9 szerezésével halad, akkor a vonathoz képest egy ültőhelyben elfogyasztott kávé idejét a vonat mellett álló megfigyelő nagyjából háromszor olyan hosszúnak fogja találni. Ez az idődilatáció.

Másik fontos következmény a távolságkontrakció:

A nagy sebességgel haladó vonat hossza a sín mellől mérve kisebbnek adódik, mint a vonaton mérve.

Amikor a sín mellett mérik a mozgó vonat hosszát, fontos, hogy egy időben, egyszerre jelöljék meg az elejét és a végét. Az eljének a megjelölése és a végének a megjelölése tekinthető két eseménynek, melyek között eltelt idő tehát a sínen álló órákkal:

$$\Delta t_{\text{sín}} = 0 \text{ s,}$$

hiszen egyidőben kell megjelölni.

Ekkor a (3)-as egyenlet egyszerűbb alakja érvényes:

$$\Delta r_{\text{ember-vonat}} = k \cdot \Delta r_{\text{ember-sín}}$$

ahol az elmozdulások nagysága most a két tekintett esemény, azaz a vonat eleje és vége közti távolságot jelentik.

Átrendezve:

$$\Delta l_{\text{avonatban}} = k \cdot \Delta l_{\text{avonatmellett}}$$

A lendületmegmaradás peddig akkor marad érvényben az új képlettel számolva, ha módosul a tömeg definíciója. A vonatkoztatási rendszerhez képesti sebesség tehát módosítja a mért tömeget:

$$m(v) = m_0 \cdot k$$

Az energiamegmaradás további érvényben maradásához pedig a test teljes energiáját a tömegével kell arányosnak venni, a híres Einstein által felírt képlet szerint:

$$E = m(v) \cdot c^2$$

Az egyenletek további következménye: A természetben nincs olyan fizikai hatás (hullám, részecske) ami gyorsabban haladna a fény sebességénél. A hatások terjedési sebességének nagysága tehát korlátos. A pontos felső korlát a fénysebesség.

A téridő

A hétköznapi tapasztalatokra alapozott világképben az idő mindenütt ugyanúgy telik. Az események, történések között eltelt idő nem függ a vonatkoztatási rendszer választásától. A harminc éves háború harminc évig tartott –és senkinek nem jut eszébe hozzátenni, hogy ez csak a Földhöz rögzített vonatkoztatási rendszerekben van így. Ha valaki nagy sebességű űrhajóból szemlélte a háborút lehet, hogy nem 30, hanem 60 évet mért. Az események helyét és idejét jellemző adatok tehát egyaránt függenek a vonatkoztatási rendszer választásától.

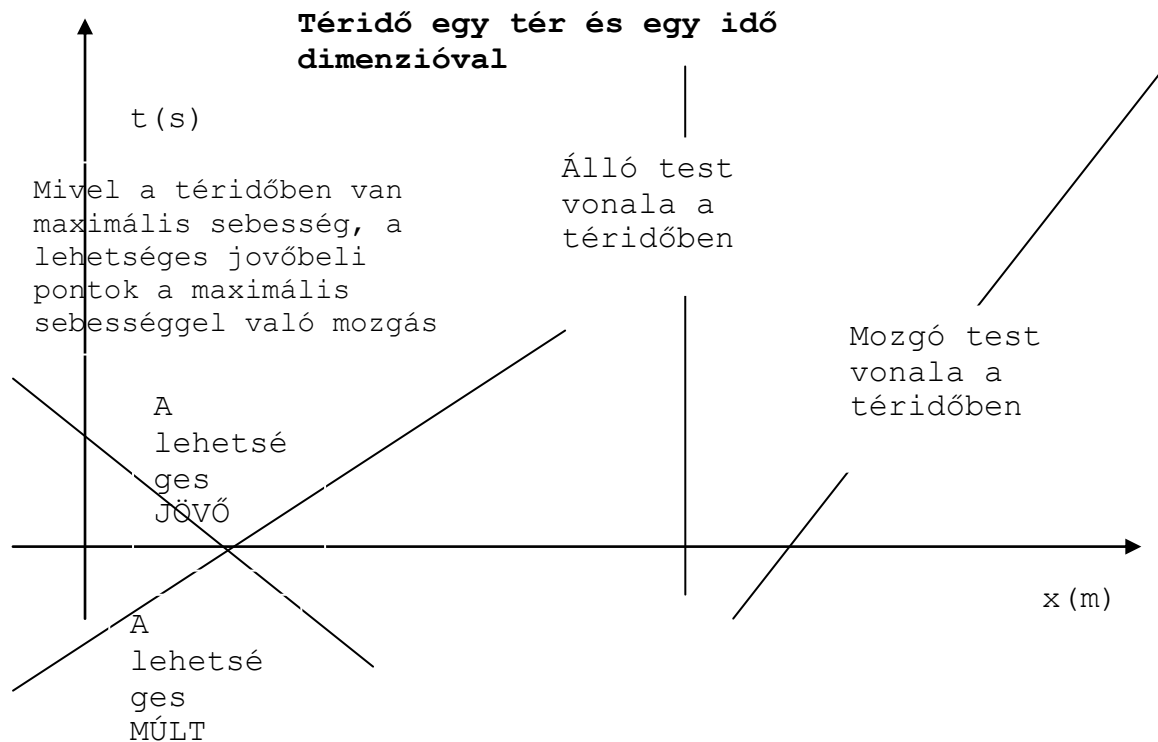
Az egyenletekben a tér és időadatok összekapcsolódását úgy is lehet értelmezni, hogy az események megszokott tér-koordinátáit kiegészítik egy időadattal.

2 dimenziós téridő=1 dimenziós mozgás+időtengely:

A téridőben a nyugvó test képe egy egyenes, egy adott helyen és adott időben történő eseményt egy pont jelöl, az állandó sebességgel mozgó testet egy ferde egyenes jelöl, aminek

meredeksége a sebesség reciprokával arányos. A fénysebességű mozgást egy megfelelő meredekségű egyenes jelenti. Ha egy pontból (itt és most) kiindulva felvesszük a fénysebességgel való mozgás egyeneseit (keletre és nyugatra is), a keletkezett ábrán látható az itt és mostból kiinduló lehetséges jövő és múlt.

Az eseményeket pedig négy adattal lehet jellemezni: A térkoordinátákkal és a negyedik koordinátával, ami az idővel kapcsolatos: x, y, z és $i \cdot c \cdot t$, ahol $i^2 = -1$, tehát az i komplex szám.



A világegyetem felépítése: csillagok, bolygók, galaxisok, fénysebesség, a tér és időskálák

A Föld sugara, a Föld – hold távolság, a Föld távolsága a Naptól, a Naprendszer főbb elemei: a nap, a bolygók, a bolygók holdjai, üstökösök, kisbolygók. A Naprendszer mérete, a Naphoz legközelebbi csillagok távolsága. A fényév.

Csillaghalmazok, galaxisok. A Galaktika (a mi galaxisunk) alakja, szerkezete, méretei, benne a Nap helye. A legközelebbi Galaxis távolsága.

galaxisok az univerzumban. Az univerzum térbeli és időbeli határai.

Fizika tudománya: A természet működésének megértése, leírása. Felfedezés, magyarázat

Eszköze: megfigyelés – kísérlet - mérés:

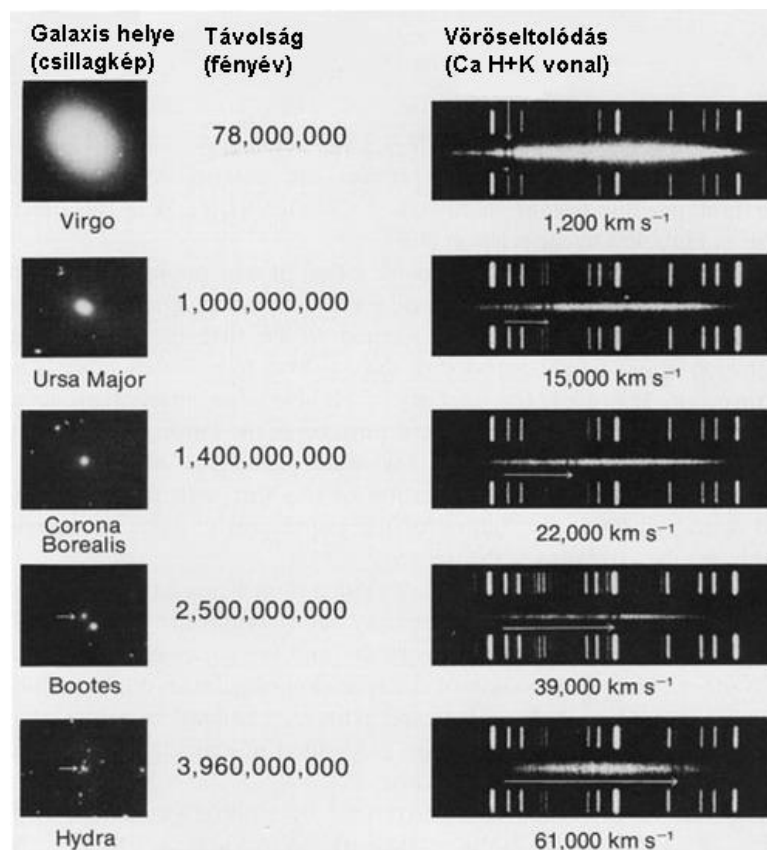
Égi ködfoltok távolságának mérése:

cefeida változócsillag a változócsillagok egyik osztálya, amelynek periódusa, vagyis egy fényváltozási ciklusa általában arányos a csillag valódi fényességével, ezért felhasználhatók a galaktikus és extragalaktikus távolságmérésben

A klasszikus cefeidák periódusa és fényessége közötti kapcsolatot az jellemzi, hogy minél hosszabb a fényváltozás periódusa, annál nagyobb a csillag valódi fényessége. A periódus-gényesség relációt távoli csillagrendszerek távolságának meghatározására használják. **A klasszikus cefeida abszolút magnitúdója a periódusából megbecsülhető. Ennek ismeretében azután az abszolút és a (mért) látszó magnitúdó összevetéséből levezethető a csillag távolsága.**

Nagyon távoli cefeidák: más galaxisokban, nem a tejútrendszerben

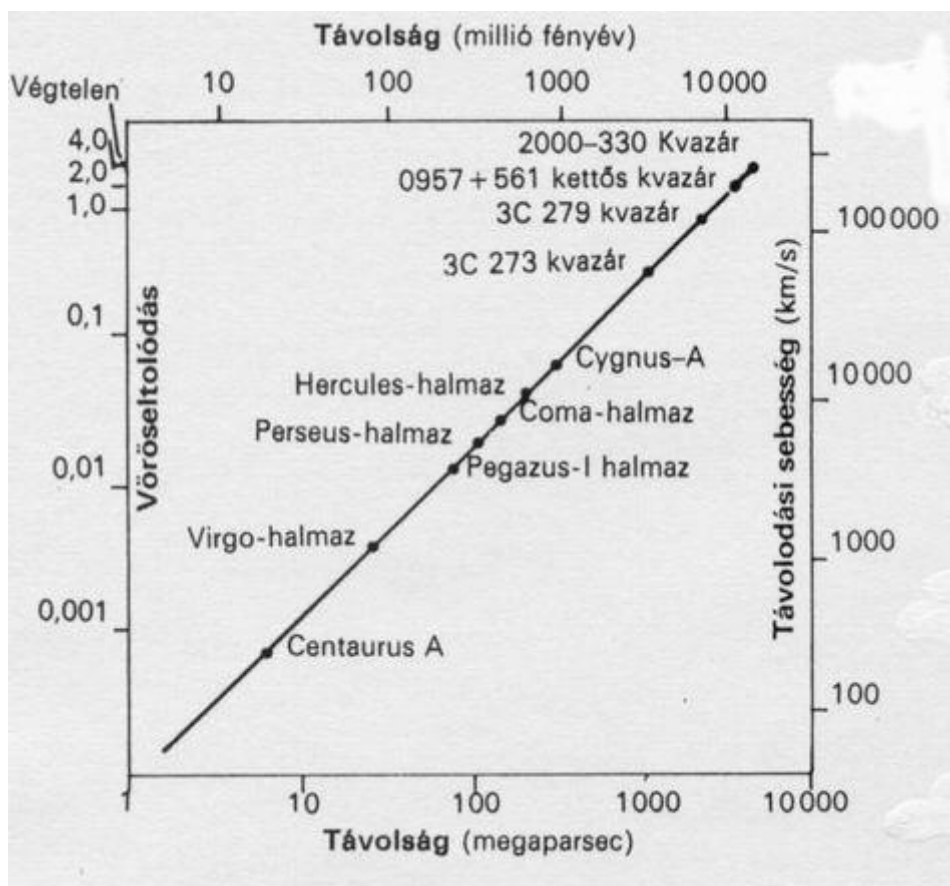
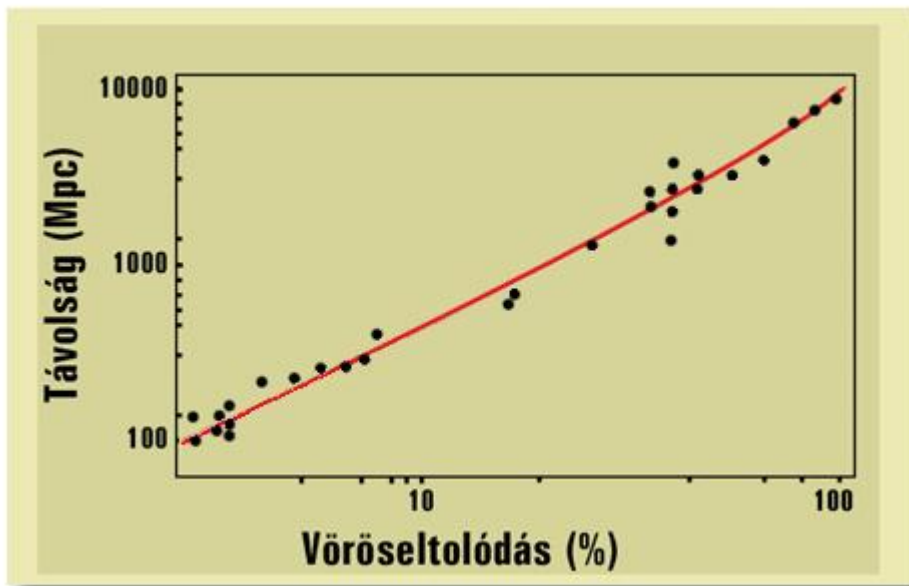
Más galaxisok szinképeinek elemzése: vöröseltolódás



[http://astro.u-](http://astro.u-szeged.hu/oktatas/csillagaszat/1_Csillagaszattortenet/csillagaszattortenet.htm)

[szeged.hu/oktatas/csillagaszat/1_Csillagaszattortenet/csillagaszattortenet.htm](http://astro.u-szeged.hu/oktatas/csillagaszat/1_Csillagaszattortenet/csillagaszattortenet.htm)

Kapcsolat a távolság és a vöröseltolódás között:



<http://sdt.sulinet.hu/Player/Default.aspx?g=a22cacd0-2e6b-49a6-bea4-f49138bbaafa&cid=adf81e7b-572b-4f74-a580-51080151689e>

A vöröseltolódás és a távolság egymással jól meghatározott kapcsolatban van. Ez egy tapasztalati törvényszerűség.

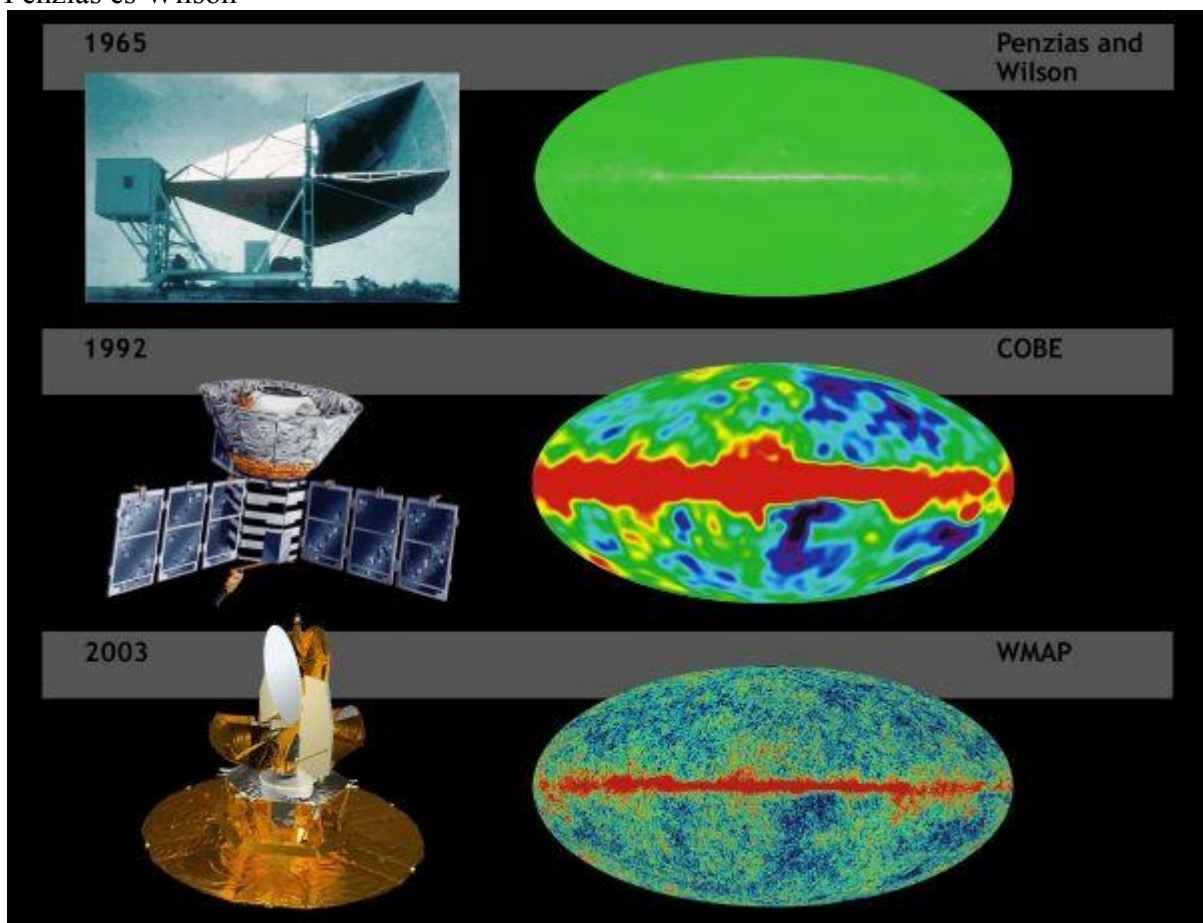
Mi a lehetséges magyarázat?

1. Rosszul mértek, szisztematikus hibát követtek el.
de: mások is megmérték és ugyanezt kapták.
2. A vöröseltolódás oka a doppler – hatás. A színeképvonalak azért tolódnak el, mert a távoli galaxisok távolodnak a Földtől. → Táguló világegyetem → Ősrobbanás
3. A fénysebesség véges volt miatt a távoli galaxisokat korábbi állapotukban látjuk. Nem távolodnak, hanem a múltban kicsit nagyobb volt a gravitációs állandó értéke → Állandó állapotú világegyetem

Melyik az igaz? Egy újabb mérés fogja eldönteni: Kozmikus háttérsugárzás: A kozmoszból folyamatosan elektromágneses sugárzás ér bennünket.

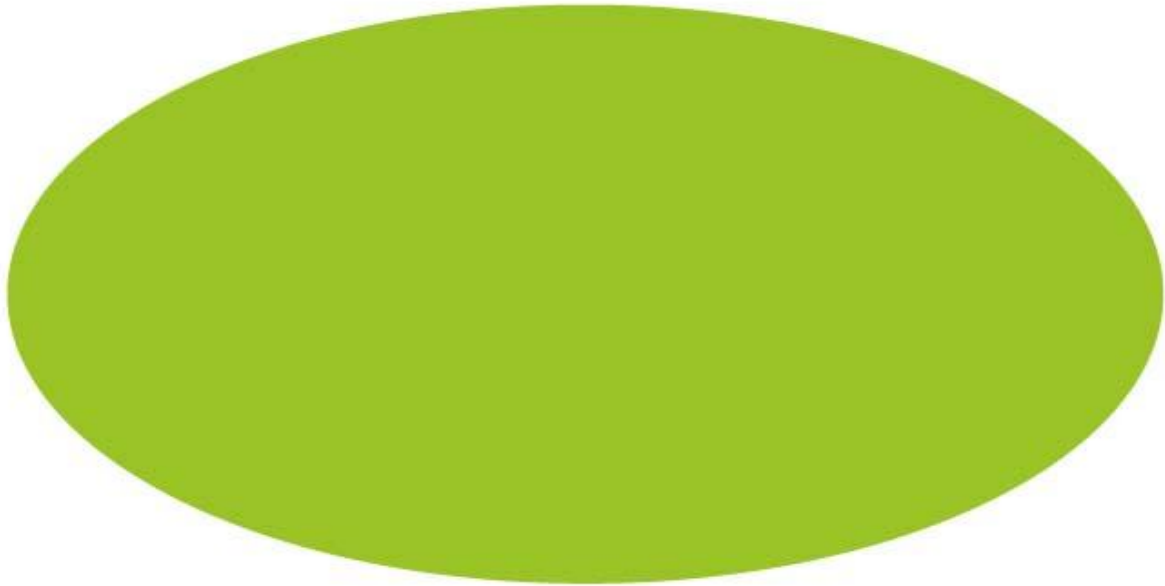


Penzias és Wilson



A sugárzás – a mi galaxisunk hatásától eltekintve nagyon egyenletes.

ISOTROPY OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND



MAP990004

Az ősrobbanás maradványa!

Today, the CMB radiation is very cold, only 2.725° above [absolute zero](#), thus this radiation shines primarily in the microwave portion of the [electromagnetic spectrum](#), and is invisible to the naked eye. However, it fills the universe and can be detected everywhere we look. In fact, if we could see microwaves, the entire sky would glow with a brightness that was astonishingly uniform in every direction. The picture at left shows a false color depiction of the temperature (brightness) of the CMB over the full sky (projected onto an oval, similar to a map of the Earth). The temperature is uniform to better than one part in a thousand! This uniformity is one compelling reason to interpret the radiation as remnant heat from the Big Bang; it would be very difficult to imagine a local source of radiation that was this uniform. In fact, many scientists have tried to devise alternative explanations for the source of this radiation but none have succeeded.

Jelenleg ezért a táguló világegyetem koncepció a győztes. ősrobbanás kb 14 milliárd évvel ezelőtt.

Mi volt az ősrobbanás előtt, mi van a világegyetemen kívül?

A tér és az idő az ősrobbanás után kezdődik. Az idő az ősrobbanás pillanatában végtelenül lelassul (nagyon nagy gravitáció, fekete lyuk), a tér apró ponttá zsugorodik. (einstein)
Nincs olyan, hogy előtte, ha nincs is idő!

A mérési adatokat számolással kell megmagyarázni!!

Olvasmányok

A galaxisokról

A galaxis a csillagok és a csillagközi anyag hatalmas tömörülése; a galaxisokból épül fel a világegyetem. Változatosságuk szinte kimeríthetetlen, a halvány, elmosódott törpegalaxisoktól a ragyogó spirálgalaxisokig terjed. A galaxisok röviddel az univerzum kialakulása után keletkeztek, és kitöltik a legerősebb teleszkópokkal belátható teret.

Egészen 1925-ig a spirálködök és a hasonló objektumok fizikai természete nagyrészt ismeretlen volt. Noha sokan elfogadták azt a nézetet, hogy a spirálködök távoli extragalaxisok, voltak érvek az ellenkező vélekedés mellett is, miszerint ezek a ködök közeli, kialakulóban levő bolygórendszerek. A spirálködök tanulmányozásával egy időben - a XX. század első éveiben - a mi galaxisunk, a Tejútrendszer is alapos vizsgálatok tárgya lett. Ekkor a csillagászok úgy hitték, hogy a Tejútrendszer egy korong alakú csillagsokaság, amelynek centrumához közel van a Nap, és amelynek a külső széle nagyjából 15 000 fényév távolságra van tőlünk. Ezzel a Tejútrendszerről alkotott képpel szállt vitába 1917-ben Harlow Shapley, amikor közzétette a gömbhalmazokra vonatkozó eredményeit. Úgy találta, hogy a gömbhalmazok rendszerének - a halmazok hatalmas, csaknem gömb alakú csoportosulásának - a középpontja a Sagittarius csillagkép irányában, a Naptól 30 000 fényév távolságban helyezkedik el. Shapley szerint ez egyszersmind a Tejútrendszer középpontja is. A gömbhalmazok hatalmas gömbhéjat formálnak a Tejútrendszer körül, és ezért az egész sokkalta nagyobb, mint korábban hitték. Az átmérője megközelítőleg 100 000 fényév. Shapley, aki távolságjelzőként főleg a [cefeidákat](#) és [RR Lyare csillagokat](#) használt, elkészítette a Tejútrendszer méreteinek első megbízható becslését. Forradalmi számító modelljében a Nap a középpontból a peremvidékre került.

Az 1920-as évek elején Edwin Powell Hubble 15 olyan csillagot fedezett fel az NGC 6822 jelű ködös objektumban, amelyek fényességüket változtatták, és cefeidáknak látszottak. Kimutatta, hogy közülük 11 valóban változó cefeida, s ezek megkülönböztethetetlenek a Tejútrendszer, ill. a Magellán-felhők normális cefeidáitól. Periódusuk 12-től 64 napig terjedt, és mindegyikük nagyon halvány volt, sokkal halványabb, mint a Magellán-felhőkben látszó társaik. Hubble feltételezte, hogy a Henrietta Swan Leavitt által felismert periódus-fényesség (P-L) reláció egyetemes érvényű, és Shapley 1925-ös kalibrációját felhasználva kiszámította az NGC 6822 távolságát. Hubble az NGC 6822 távolságára túl kicsi eredményt kapott, kb. 700 000 fényévet. (Mai ismereteink szerint a tényleges távolság a 2 milliós fényévhez áll közel.) Mindenesetre ez az érték - még alábecsülten is hatalmas - elég volt ahhoz, hogy meggyőzően bizonyítsa: az NGC 6822-nek távoli, önálló galaxisnak kell lennie. Sokkal messzebb van annál ugyanis, hogy beleférjen a Tejútrendszerbe. Gyakorlatilag ez a kis, halvány ködfolt tekinthető az elsőként felismert valódi extragalaxisnak.

Hubble 1929-ben megjelentette az M31-ről - a Nagy Androméda-ködről - szóló alapvető cikkét. Tanulmánya bizonyítékot szolgáltatott arra, hogy az M31 egy Tejútrendszerünkhöz hasonló, hatalmas csillagrendszer. Felfedezései közül a legfontosabb ismét az volt, hogy megtalálta az M31-es cefeidáit. A megtalált csillagok közül 40 bizonyult normál cefeidának, 10 és 48 nap közé eső periódussal. Egyértelmű kapcsolatot találtak periódusuk és fényességük között, a függvénygörbe meredeksége pedig megegyezett a Magellán-felhőkben és az NGC 6822-ben talált cefeidákra vonatkozó összefüggéssel. Hubble összehasonlásaiból kiderült, hogy az M31 8,5-szer messzebb van, mint a Kis Magellán-felhő (SMC), tehát a távolsága 2 millió fényév. Mindebből nyilvánvaló, hogy az M31 egy távoli, nagyméretű galaxis.

A galaxisok tudományos vizsgálata 1950-ig lassan haladt. Kevés csillagász végzett ezekre vonatkozó vizsgálatokat, és alig néhány távcső volt alkalmas megbízható eredmények elérésére. Az 1950-es években azonban változás állt be. Egyre nagyobb optikai teleszkópokat készítettek, és az űrprogramok hatására jócskán megszorodott az egyetemekről kikerült csillagászok száma. Az új eszközök lehetővé tették, hogy teljesen új módszerekkel vizsgálják a galaxisokat, felfogják rádiósugárzásukat, infravörös, ultraibolya sugárzásukat és röntgen sugárzásukat is. Az 1950-es évben csak egyetlen távcső volt nagyobb 250 cm-nél, és alig tíz csillagász végzett galaktikus kutatásokat a világon, az 1980-as évekre azonban a nagy teleszkópok száma tízszeresére nőtt, a galaxisok kutatásával foglalkozóké pedig százakra. Ma a galaxisokat kiterjedten tanulmányozzák földi rádióteleszkóprendszerekkel, a Föld körül keringő röntgen-, ultraibolya és infravörös távcsövekkel, valamint gyors elektronikus számítógépekkel.

Csaknem az összes ma használatos galaxisosztályozási rendszer a Hubble által 1926-ban bevezetett rendszer utóda, amely a galaxisok fotólemezen látható képein alapul. Eszerint a galaxisok három csoportba sorolhatók: az elliptikusokhoz, a spirálokhoz és a szabálytalanokhoz. Hubble eredeti meghatározásai a következők:

A) Elliptikus galaxisok; az e csoportba tartozó galaxisok felületi fényessége egyenletesen változik, a középpontból kifelé haladva folyamatosan csökken. Alakjuk elliptikus, az egyenlő fényességű vonalak koncentrikusak, és egymáshoz hasonló ellipszis alakúak. E galaxisok színe alig különbözik egymástól, a Napnál valamivel vörösebbek.

B) Spirálgalaxisok; ezek a galaxisok spirál karjaikról kapták nevüket, melyek a mag közeléből indulnak ki, és egészen a peremig húzódnak. Rendszerint két ellentétes irányú, szimmetrikus kar helyezkedik el a mag körül. A spirálgalaxisok magja feltűnően fényes. Néha kicsiny, de előfordul, hogy ez a galaxis legfeltűnőbb része. A karok vékony, csillagokból álló korongba ágyazódnak. Mind a karok, mind pedig a korong kék színű. A középponti vidék az elliptikus galaxisokhoz hasonlóan vörös.

C) Szabálytalan galaxisok; az ide tartozó galaxisok legtöbbször csomós, erősen szabálytalan alakú, fényes területekből áll. Sem megfigyelhető szimmetriájuk, sem pedig feltűnő középponti magjuk nincsen, általában kékebbek a spirálgalaxisok karjainál és korongjánál. Egy igen kis részük azonban vörös és egyenletes fényeloszlású, bár nem szimmetrikus alakú.

Az extragalaxisok természetének megismerése előtt a csillagászoknak meg kellett oldaniuk a távolságmérés problémáját. Először több, a Tejútrendszerhez közeli galaxis távolságát határozták meg az ún. Lokális Csoportban és néhány közeli halmazban. Ezekhez a mérésekhez olyan kritériumokat használtak, amelyeket a Tejútrendszeren belül kalibráltak, és ahol lehetett, az ellenőrzést több módszerrel is elvégezték. Végül soron mindegyikben a geometriai távolságmérési eljárások jelentették a kiindulási alapot. A következő lépésben a közeli galaxisokat használták olyan távolságmérési kritériumok kidolgozására, melyek átvihetők azokra a távolabbi galaxisokra is, ahol már csak a legfényesebb égitestek mutathatók ki. Ezek révén viszont meghatározhatók az összes galaxisra vonatkozó kritériumok is; ezek után olyan galaxisokra is alkalmazhatók, amelyekben nem különíthetők el egyedi objektumok. Így a kutatás a még éppen megfigyelhető, legtávolabbi galaxisokra is kiterjeszhető - azokra, melyek a látható univerzum határát jelentik.

A galaxisok Lokális Csoportja nagyjából 35 galaxisból áll. Ezek között két nagy spirálgalaxis dominál: a Tejútrendszer és az Androméda-köd. E galaxisok többségének távolsága a cefeidák periódus-fényesség relációja alapján mérhető meg, amelyet Hubble óta továbbfejlesztettek és pontosítottak. A Lokális Csoporton túl két olyan közeli galaxiscsoport is van, amelyeknél még használható a periódus-fényesség reláció: a Sculptor-csoport és az M81-csoport. Mindkettő kis galaxiscsoport, méretük a lokális Csoportéhoz hasonlít, távolságuk 10 000 000 és 15 000 000 fényév között van. Az 1980-as években a csillagászok egy másik eljárást is kifejlesztettek a Lokális Csoport és más közeli halmazokban levő galaxisok távolságának mérésére. Ez egészen az 50 000 000 fényév távolságban levő Virgo-halmazig használható. Ez a módszer a planetáris ködöket, azokat a gyűrűnek látszó gázhéjakat használja fel, amelyek bizonyos csillagok késői életszakaszában keletkeznek. Egy másik modern eljárás a novajelenségen alapul. E fellobbanó csillagokat a Lokális Csoport galaxisaiban és valamivel távolabb, egészen a Virgo-halmaz távolságáig meg lehet figyelni.

Amint e közeli galaxisok és galaxishalmazok távolságát meghatározták, új kritériumokat vezettek le a távolabbi, halványabb galaxisokra. Ilyen például a galaxisok legfényesebb csillagainak fényessége, a szupernóvák fényessége, a csillagok és a csillagközi gáz forgási sebességének eltérése, valamint a gömbhalmazok fényessége. 100 000 000 fényévnél nagyobb távolságok esetén egy további módszer használatára nyílik mód. Az univerzum tágulása - legalábbis a lokális Csoport közvetlen közelében (1 000 000 000 fényévnél körüli körzetben) - elég lineáris ahhoz, hogy egy galaxis radiális sebessége megbízhatóan utaljon távolságára. Ebben a távolságtartományban a sebesség egyenesen arányos a távolsággal, ezért ha egy galaxis radiális sebességét megmérték, a távolság kiszámításához már csak a Hubble-állandónak nevezett arányossági tényezőt kell ismerni. Noha a Hubble-állandó értékével kapcsolatban még ma is vannak bizonytalanságok, az 1990-es évek kutatásai arra utalnak, hogy a konstans értéke nagyon közel van a 25 km/s/1 000 000 fényévhez. A néhány milliárd fényévnél nagyobb távolságok esetén a radiális sebességek már nem szolgáltatnak megbízható távolságokat, a csillagászok ugyanis nem lehetnek biztosak abban, hogy az univerzum tágulási üteme nem változott-e

meg az évmilliárdok alatt. A távoli halmazok legfényesebb galaxisainak látszó fényességeit megmérve viszont megbecsülhető a halmaz távolsága. Ez és a többi, alkalmazható módszer a legtávolabbi megfigyelhető égitestekre 10 000 000 000 és 20 000 000 000 fényév közötti távolságokat szolgáltat.

Az extragalaxisok saját mérete az 5000 és 3 000 000 fényévnyi méretű galaxisokig terjed. A normális nagy spirálgalaxisok, mint az Androméda-köd, 100 000 és 500 000 fényév közötti átmérőjűek. A galaxisok teljes tömegét nehezen lehet meghatározni, ugyanis nem ismeretes a legtöbbjükét vagy feltehetően mindegyiküket körülvevő sötét [halo](#) anyagának természete. A galaxisok fényt kisugárzó része képviselte tömeget pár száz rendszer esetében sikerült meghatározni. Az értékek 100 000 és 1 billió naptömeg között szóródnak. A tipikus nagy spirálgalaxisok tömege 500 milliárd naptömeg körül van.

Az extragalaxisok saját mérete a 5000 és 3 000 000 fényévnyi méretű galaxisokig terjed. A normális nagy spirálgalaxisok, mint az Androméda-köd, 100 000 és 500 000 fényév közötti átmérőjűek. A galaxisok teljes tömegét nehezen lehet meghatározni, ugyanis nem ismeretes a legtöbbjükét vagy feltehetően mindegyiküket körülvevő sötét halo anyagának természete. A galaxisok fényt kisugárzó része képviselte tömeget pár száz rendszer esetében sikerült meghatározni. Az értékek 100 000 és 1 billió naptömeg között szóródnak. A tipikus nagy spirálgalaxisok tömege 500 milliárd naptömeg körül van.

Az extragalaxisok teljes fényessége igen széles határok között mozog. A leghalványabbak a legkisebb elliptikus törpegalaxisok, mint az Ursa Minor törpegalaxis. Ennek a fényessége a Napénak mintegy 100 000-szerese. A legfényesebb galaxisok azok, amelyek kvazárt tartalmaznak a középpontjukban. Ezek a feltűnően fényes, szuperaktív magok kétszázszoros napluminozitásúak is lehetnek. A környező galaxisok gyakran több mint százszor halványabbak magjuknál. A normális nagy spirálgalaxisok fényessége pár száz milliárdszorosa a Napénak.

Bár a galaxisoknak egymástól eltérő élettörténetük lehet, a mérések azt mutatják, hogy a legtöbb galaxis életkora megegyezik. A Tejútrendszer életkora, melyet a benne található legöregebb csillagok kormeghatározásával ismerhetünk meg, nagyjából 16 milliárd év. A közeli galaxisok, mint a Kis- és a Nagy Magellán-felhő, amelyekben rengeteg fiatal csillag található, szintén tartalmaznak legalább néhány igen idős csillagot. A távolabbi galaxisok tanulmányozásakor kiderült, hogy színképüket tekintve nagyon hasonlítanak a közeli galaxisokhoz. Ez azt jelenti, hogy bennük is lenniük kell igen öreg csillagoknak. A nagyon távoli galaxisok fiatalabbak látszanak, de ez csupán azért van, mert ezeket még nagyon fiatal korukban hagyta el most megfigyelhető fényük. Nagyon valószínű, hogy az összes galaxis nagyjából egy időben keletkezett, akkor, amikor az univerzum eléggé lehűlt az anyag kondenzálódásához. Ezért nagyjából egy időben alakultak ki a galaxisok és bennük a csillagok. A galaxisok változatosságát nem életkoruk okozza, hanem arra vezethető vissza, hogy miként zajlott le bennük az anyag csillagokká alakulása. Az elliptikus galaxisok csaknem összes csillaga az első néhány milliárd év során keletkeztek. A spirálisok és a szabálytalan galaxisok az anyagukat lassan, folyamatosan használták el.

A Tejútrendszer csillagaiban és a távoli galaxisokban található kémiai elemek gyakorisága igen hasonló. A különféle elemeknek a Napon megfigyelt eloszlása jó közelítéssel megfelel a Tejútrendszer többi csillagában, de a más galaxisokban is észlelhetőnek is. A legnagyobb felismert különbség az ősi gázok, a hidrogén és a hélium egymáshoz viszonyított arányában van. A nehezebb elemek a csillagok fejlődése során alakulnak ki, és azokon a területeken, ahol gyakori a csillagkeletkezés, nagyobb arányban fordulnak elő. Így az olyan kis elliptikus galaxisokban, mint a Draco-rendszer a csillagok már a kezdet kezdetén kialakultak, ezért szinte csak tiszta hidrogénből és héliumból állnak. Az olyan nagy galaxisokban, mint az Androméda-köd, vannak olyan vidékek, ahol a csillagképződés hosszú időn át aktívan fennmaradt, ezért a kutatók itt nagyobb nehéz-elem gyakoriságot találtak.

A legtöbb galaxisban található egy nagyon öreg csillagokból álló szférikus alrendszer. Az elliptikusokban ez a komponens teszi ki szinte az egész galaxist. A spirálokban ehhez nagyjából a csillagok fele tartozik. A szabálytalanokban a szférikus komponens csaknem észrevehetetlen, és talán egyes esetekben teljesen hiányzik is. A galaxisok szférikus komponensének szerkezete hasonló. A spirálgalaxisok karjainak szerkezete a galaxis típusától függ, de az egyes típusokon belül is nagy a változatosság. A korai Hubble-típusoknak általában sima, kis hajlásszögű, határozatlan spirálkarjaik vannak. A későbbi típusok karjai nyíltabbak. Egy adott típuson belül vannak hosszú karú galaxisok,

amelyekben a karok feltekeredettsége két vagy több fordulatot is kitesz, és olyanok is, ahol a kaotikus karszerkezet csupán a középpontból kiágazó, 20-30 fokos kardarabból áll. Minden spirálkar jól követi a logaritmikus spirál alakját.

Csillagászat – történet

1. A csillagászat történetének fontosabb eseményei

I. Kőkorszaki csillagászat

II. Csillagászat az ókorban

II/1. Keleti kultúrák

II/2. Az ókori Hellász

III. Csillagászat a kora középkorban (VI–XV. sz.)

III/1. Arab csillagászat

III/2. Európai csillagászat a kora középkorban

III/3. A Távols-Kelet és Amerika

IV. A késő középkor csillagászata Európában

IV/1. Nikolausz Kopernikusz (1473–1543)

IV/2. Tycho Brahe (1546–1601)

IV/3. Johannes Kepler (1571–1630)

IV/4. Galileo Galilei (1564–1642)

V. A gravitációelmélet és az égi mechanika születése

V/1. Descartes örvényelmélete

V/2. Newton munkássága

V/3. Az égi mechanika kifejlődése

VI. A távcsöves megfigyelések fejlődése

VI/1. A XVII. század nagy megfigyelő csillagásza

VI/2. Charles Messier (1730–1817)

VI/3. William Herschel (1738–1822)

VII. A modern csillagászat kezdetei

VII/1. A színeképelemzés és a modern asztrofizika kialakulása

VII/2. Új égitestek a Naprendszerben

VII/3. A Tejútrendszer felfedezése

VIII. A XX. század nagy felfedezései

VIII/1. Az extragalaxisok felfedezése

VIII/2. Az Univerzum tágulása

Az ábrák listája

1.1. A világ egyik legrégebbi csillagászati lelete, a több mint 2500 évesre datált Nebrai korong. A Németország területén talált, 32 cm átmérőjű, 2 kg tömegű bronztárgyon jól felismerhetőek az égi objektumok (Nap, Hold, csillagok), bár a pontos értelmezése még vitatott.

1.2. A stonehenge-i megalit 1.

1.3. A stonehenge-i megalit 2.

1.4. A maják egy egykori Nap-piramisa a mai Teotihuacán (Mexikó) területén

- 1.5. [Fantáziakép "Bábel tornyáról", a csillagászati célokra is használt, 90 m magas Marduk-szentélyről](#)
- 1.6. [Illusztráció: Babilon városa "madártávlatból", a Marduk-szentéllyel és a várost átszelő Marduk-úttal](#)
- 1.7. [Piramisok Egyiptomban: a pontos iránymérés ókori bizonyítékai](#)
- 1.8. [Ókori ábrázolás a kínai csillagképekről](#)
- 1.9. [A pitagoreus iskolához tartozó Philolaosz \(Kr. e. 450–400\) világképe](#)
- 1.10. [Ptolemaiosz geocentrikus világképe](#)
- 1.11. [Ptolemaiosz bolygómozgási elmélete \(deferensek, epiciklusok\) a Mars mozgásán bemutatva](#)
- 1.12. [Arisztarkhosz híres mérésének illusztrációja](#)
- 1.13. [Illusztráció Eratoszthenész méréséhez \(lazarus.elte.hu\)](#)
- 1.14. [Hipparkhosz, a legnagyobb görög megfigyelő csillagász](#)
- 1.15. [A szamarkandi csillagvizsgáló maradványai](#)
- 1.16. [Az arisztotelészi világkép szféráinak megjelenése Hieronymus Bosch: A világ teremtése c. képén \(A földi gyönyörök kertje c. kompozíció részlete, 1504–1510\) \(www.ibiblio.org\)](#)
- 1.17. [Johannes Regiomontanus \(1436–1476\) \(http://en.wikipedia.org\)](#)
- 1.18. [Az 1054-ben megfigyelt szupernóva táguló maradványa, a Rák-köd a Hubble-űrtávcső felvételeiből összeállított mozaikképen](#)
- 1.19. [Nikolausz Kopernikusz](#)
- 1.20. [Tycho Brahe](#)
- 1.21. [Korabeli ábrázolás Tycho Brahe 1572-es szupernóva-felfedezéséről](#)
- 1.22. [Johannes Kepler](#)
- 1.23. [Kepler I. törvénye](#)
- 1.24. [Kepler II. törvénye](#)
- 1.25. [Kepler III. törvénye](#)
- 1.26. [Galilei távcsöves bemutatóval igyekszik meggyőzni az Egyház képviselőit a heliocentrikus világkép helyességéről](#)
- 1.27. [Galilei rajza a Holdról](#)
- 1.28. [Isaac Newton](#)
- 1.29. [A Halley-üstökös legutóbbi, 1986-os visszatérésekor](#)
- 1.30. [Az elsőként Huygens által alaposan megfigyelt Orion-köd](#)
- 1.31. [O. Römer fénysebesség-mérési módszere a Jupiter holdjainak keringési periódusaiban tapasztalható, ciklikus eltérések mérésén alapult \(www.mosaweb.hu\)](#)
- 1.32. [A 110 Messier-objektum egy képen \(H. Frommert és C. Kronberg\)](#)
- 1.33. [W. Herschel 6 méter hosszú, kb. 50 cm átmérőjű óriástávcsöve. 1789-ben egy ennél is nagyobb, 122 cm átmérőjű, 12 m hosszú teleszkópot építtetett, mely akkoriban a világ legnagyobb távcsövének számított.](#)
- 1.34. [Abszorpciós \(elnyelési\) és emissziós \(kisugárzott\) színekvonalak keletkezése](#)
- 1.35. [A csillagok színekposztályai összefüggésben vannak az égitestek felszíni hőmérsékletével](#)
- 1.36. [A Neptunusz a Voyager 2 űrszonda felvételén](#)
- 1.37. [W. Herschel elképzelése a Tejútrendszerrel](#)

- 1.38. [Shapley elképzelése a Tejútrendszerőről. Helyesen gondolta, hogy a Nap messze van a Galaxis középpontjától, viszont a távoli spirálködöket mind a Tejútrendszerhez tartozó csillagszigeteknek vélte, ami hibás következtetésekre vezette.](#)
- 1.39. [Albert Einstein](#)
- 1.40. [E. Hubble a Wilson-hegyi Observatórium távcsövével](#)
- 1.41. [Az E. Hubble által vizsgált galaxisok és kimért látóirányú sebességeik](#)
- 1.42. [A. Penzias és R. W. Wilson, háttérben a kozmikus háttérsugárzás felfedezését lehetővé tevő antennával](#)
- 1.43. [A kozmikus háttérsugárzás térbeli intenzitáseloszlása Penzias és Wilson, a COBE műhold, valamint a WMAP űrszonda mérései alapján](#)

1. fejezet - A csillagászat történetének fontosabb eseményei

Tartalom

[I. Kőkorszaki csillagászat](#)

[II. Csillagászat az ókorban](#)

[II/1. Keleti kultúrák](#)

[II/2. Az ókori Hellász](#)

[III. Csillagászat a kora középkorban \(VI–XV. sz.\)](#)

[III/1. Arab csillagászat](#)

[III/2. Európai csillagászat a kora középkorban](#)

[III/3. A Távol-Kelet és Amerika](#)

[IV. A késő középkor csillagászata Európában](#)

[IV/1. Nikolausz Kopernikusz \(1473–1543\)](#)

[IV/2. Tycho Brahe \(1546–1601\)](#)

[IV/3. Johannes Kepler \(1571–1630\)](#)

[IV/4. Galileo Galilei \(1564–1642\)](#)

[V. A gravitációelmélet és az égi mechanika születése](#)

[V/1. Descartes örvényelmélete](#)

[V/2. Newton munkássága](#)

[V/3. Az égi mechanika kifejlődése](#)

[VI. A távcsöves megfigyelések fejlődése](#)

[VI/1. A XVII. század nagy megfigyelő csillagászhai](#)

[VI/2. Charles Messier \(1730–1817\)](#)

[VI/3. William Herschel \(1738–1822\)](#)

[VII. A modern csillagászat kezdetei](#)

[VII/1. A színeképelemzés és a modern asztrofizika kialakulása](#)

[VII/2. Új égitestek a Naprendszerben](#)

[VII/3. A Tejútrendszer felfedezése](#)

[VIII. A XX. század nagy felfedezései](#)

[VIII/1. Az extragalaxisok felfedezése](#)

[VIII/2. Az Univerzum tágulása](#)

I. Kőkorszaki csillagászat

Nincsenek pontos információink arról, mikor figyelt fel az ember először a csillagos égbolt rejtelmére. A Nap, a Hold és a csillagok olyan feltűnő objektumok, melyek nyilvánvalóan magukra vonzották az őskori ember figyelmét, aki valószínűleg babonás félelemmel tekintett rájuk. A fényt és meleget adó Nap, a folyamatosan változó, éjszaka világosságot hozó Hold alapvetően meghatározta a kőkorszaki emberek életét. Az első csillagászati felismerések minden bizonnyal az égbolt szabad szemmel látható objektumainak megfigyeléseiből származtak. A Nap, a Hold, a csillagok mind-mind könnyen észrevehető égitestek. A csillagokhoz hasonló, igen fényes bolygók mozgásának észrevételéhez már rendszeres megfigyelések szükségesek. Az időnként megjelenő fényes üstökösöket igen régóta baljós előjelnek tekintették, csakúgy, mint a Nap és a Hold fogyatkozásait.

1.1. ábra - A világ egyik legrégebbi csillagászati lelete, a több mint 2500 évesre datált Nebrai korong. A Németország területén talált, 32 cm átmérőjű, 2 kg tömegű bronztárgyon jól felismerhetőek az égi objektumok (Nap, Hold, csillagok), bár a pontos értelmezése még vitatott.



A legrégebbi csillagászati emlékekkel az archeoasztronómia foglalkozik, amely a régészeti leleteket csillagászati ismeretek felhasználásával próbálja értelmezni.

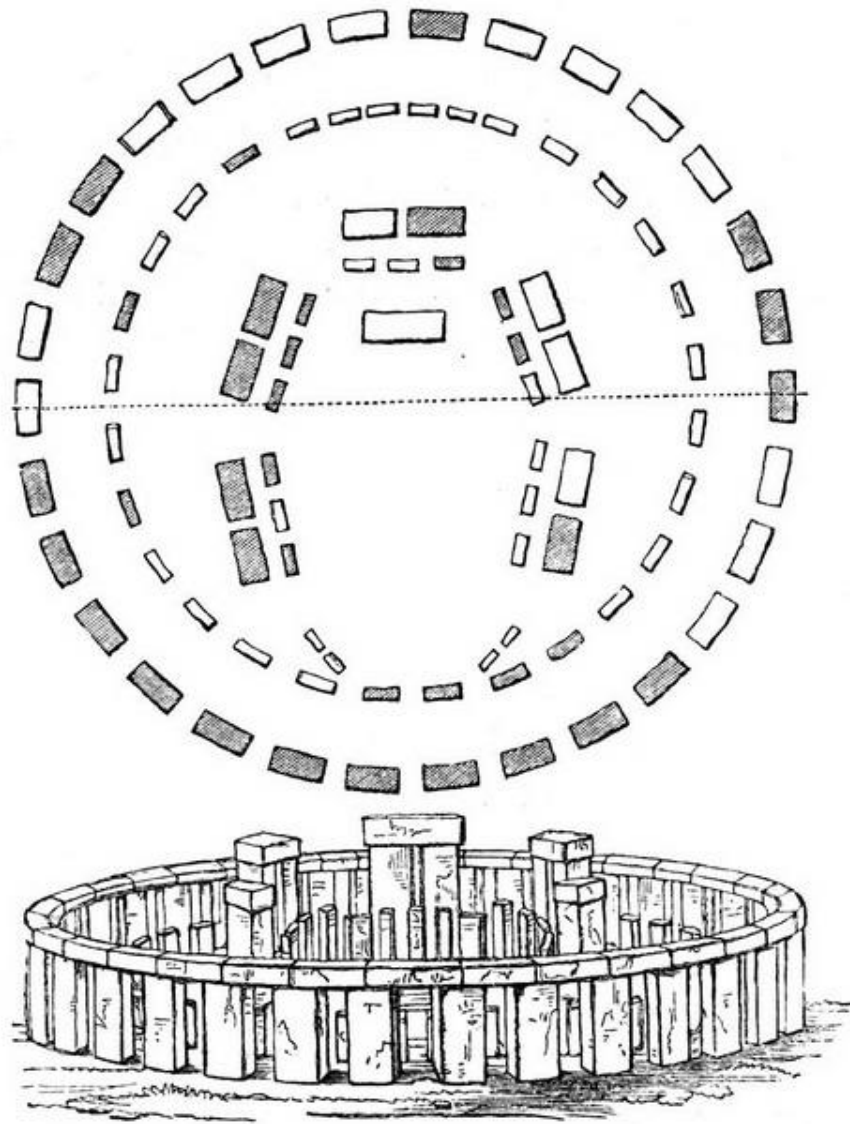
Európában több ezer éves, feltehetőleg szoros csillagászati kötődésű leleteket ismerünk; ezek közül a legfontosabbak:

1. Newgrange (Írország, i.e. 3000): egy dombba vájt sírkamra, melyet egy 18 méter hosszú folyosó köt össze a külvilággal. A bejárat feletti nyíláson keresztül a Nap évente egy alkalommal a folyosón át rövid időre megvilágítja a sírkamra belsejét. Ennek időpontja pontosan a téli napfordulóra (december 22.) esik, ekkor a legrövidebb a nappal és a leghosszabb az éjszaka az északi féltekén.
2. Stonehenge (Anglia, i.e. 2000): hatalmas kőoszlopokból álló körkörös, ún. megalit építmény, melyhez hasonló (igaz jóval kisebb méretű) számos más helyen található Európában (főleg Franciaország és Spanyolország területén). Az egész építményt egy 100 méter átmérőjű kör alakú árok határolja, ezen belül patkó alakzatba állított kőoszlopok (dolmenek) helyezkednek el. A legbelső körben az oszlopok 7 méter magasak. A középpontban lévő oltárkö felé egy ösvény (sugárút) visz, aminek másik vége a külső körön kívül található, itt áll egy nagyméretű kőoszlop (sarokkő). Az oltár felől nézve a Nap pontosan a sarokkő fölött kel fel a horizonton a nyári napforduló idején (június 22., ekkor a legrövidebb az éjszaka és a leghosszabb a nappal az északi féltekén). Az egész építmény szimmetriatengelye ebbe az irányba van beállítva.

1.2. ábra - A stonehenge-i megalit 1.



1.3. ábra - A stonehenge-i megalit 2.



Nem ismerjük pontosan, mi célból alkották a kőkorszaki emberek ezeket az építményeket. Lehet, hogy az időmérés szándéka vezérelte őket, mások szerint a vallási kultuszoknak lehetett komoly szerepe ebben. Az azonban bizonyos, hogy nagyon komoly csillagászati ismeretekkel kellett rendelkezniük az építőknek, pontosan ismerniük kellett a Nap évi járását. Emellett figyelemre méltó műszaki teljesítményük is, pl. a stonehenge-i építményhez a köveket kb. 50 km-ről szállították a helyszínre.

Európán kívüli kőkorszaki civilizációkban is a legfontosabb tudomány a csillagászat volt. Ezek közül legismertebb a maja civilizáció (Közép-Amerika, i. e. 1500 – i.sz. 1500). A maják rendkívül fejlett matematikával és bonyolult naptárrendszerrel rendelkeztek, a Napot istenként tisztelték. A vallási okokból emelt Nap-piramisok tetején függőleges lyukakat építettek (nap-lyukak), melyeken keresztül a Nap csak bizonyos napokon (évente két alkalommal, amikor pontosan a fejük fölött, a zenitben deelt) világította meg az épület belsejét. A maják naptára 365 napra osztotta az évet. Ez a 20-as számrendszeren belül működő

matematikájuk révén úgy valósult meg, hogy egy év 18 darab 20 napos hónapból és 5 extra nappól áll. Külön számon tartották a 20 éves (katun) és 20-szor 20 éves (20 katun = baktun) időszakot is.

1.4. ábra - A maják egy egykori Nap-piramisa a mai Teotihuacán (Mexikó) területén



II. Csillagászat az ókorban

II/1. Keleti kultúrák

Az ókori Kelet öntözéses földművelésen alapuló társadalmi a legkorábbi régészeti emlékek (babiloni határkövek, ékírásos agyagtáblák) alapján meglepően magas szintű csillagászati ismeretekkel bírtak. A csillagászat két fő szempont miatt lett vezető tudomány. Egyrészt, a folyók áradásának előrejelzéséhez, az öntözéses földműveléshez alapvető a pontos időmérés. Másrészt, számos kultúrában az égitesteknek (illetve azok mozgásának vagy aktuális pozícióinak) alapvető szerepe volt az adott nép vallási-mitológiai életében. A csillagjóslás (asztrológia) kialakulását pedig a jövő megismerésének ősi vágya motiválta.

Babilon

Mezopotámiában, a Tigris és az Eufrátesz folyó között (a mai Irak területén) számos városállamot alapítottak a sumérok. Ezek közül Babilon vívott ki vezető szerepet magának. A sivatagi homok alól előkerült köveken és ékírásos agyagtáblákon számos csillagászati szimbólum, táblázat található. A babiloniak jól ismerték az égitesteket és azok mozgásait. A csillagokat csillagképekbe csoportosították, ezeket ma is használják a csillagászok. Megkülönböztetett figyelmet tulajdonítottak a Napnak, a Holdnak és a szabad szemmel látható öt, fényes bolygónak (Merkúr, Vénusz, Mars, Jupiter, Szaturnusz). Rendszeres megfigyeléseiket több száz éven keresztül dokumentálták. Lejegyezték a bolygók

hurokszerű (látszó) mozgását az égbolton. Felismerték az égi jelenségekben a hosszú távú ciklikusságot, ez alapján előre tudták jelezni a nap- és holdfogyatkozásokat. Naptárjukban 1 év 365 nappól állt, amit 12 holdhónapra osztottak. A nappalt és az éjszakát 12-12 órára osztották, 1 óra 60 percből, 1 perc 60 másodpercből állt (a felosztás a babiloni 60-as számrendszerre épülő matematikát tükrözi).

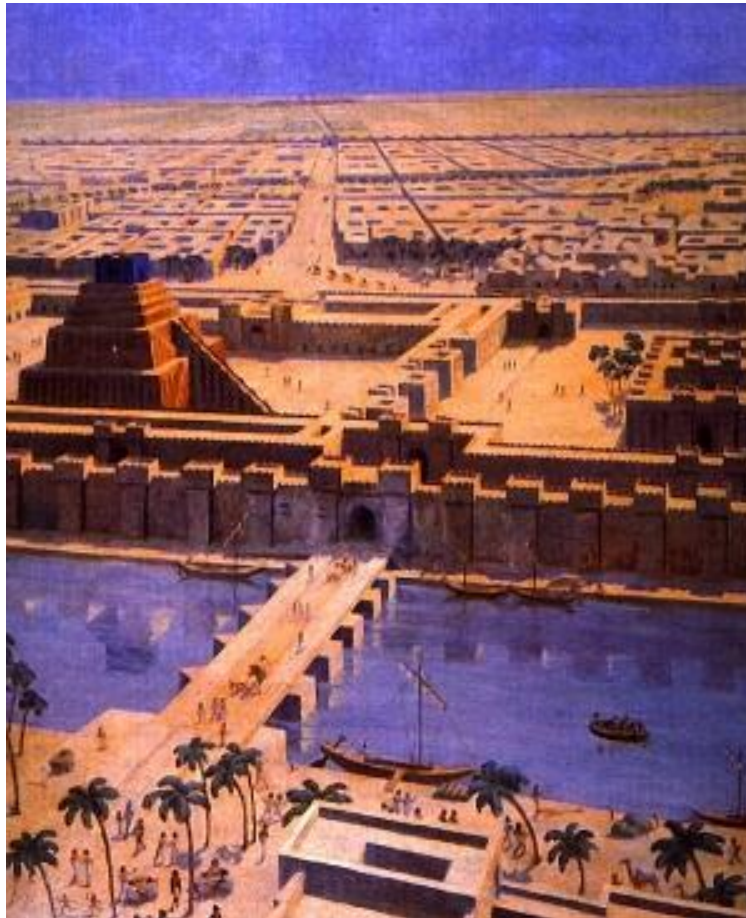
1.5. ábra - Fantáziakép "Bábel tornyáról", a csillagászati célokra is használt, 90 m magas Marduk-szentélyről



Babilonban a csillagászat szorosan összefüggött a vallással. Az égitesteket istenekként tisztelték, a 7 főisten a Nap, a Hold és az öt fényes bolygó volt. A főistent, Mardukot a Jupiter bolygóval azonosították. A babiloniak az égboltot egy hatalmas burának képzelték el, melyen az istenségek tüzes szekereket hajtva közlekednek. A csillagászatot csakis az erre alkalmasnak tartott papok (kaldeusok) művelhették, ők közvetlenül az uralkodó mögött álltak a társadalmi ranglétrán.

A vallás szerepére utalnak az építészeti maradványok is. A zikkuratok templomokként, egyben csillagvizsgálóként is szolgáltak – ezek tetejéről kísérték figyelemmel a kaldeus papok az égi jelenségeket. Babilon városát Kelet-Nyugat irányba tájolták. Fő nevezetessége a hatalmas zikkurat, a 90 m magas Marduk-szentély volt, melyet a Biblia Bábel tornya néven említ meg. A toronytól indult a várost keresztülszelő Marduk-út - a nyári napfordulón a Jupiter az út irányában kelt fel a horizonton.

1.6. ábra - Illusztráció: Babilon városa "madártávlatból", a Marduk-szentéllyel és a várost átszelő Marduk-úttal



Egyiptom

A babilonihoz képest az egyiptomi csillagászat jóval kevésbé volt alapos. Az egyiptomiak többé-kevésbé átvették a babiloni naptárrendszert, de nemigen törődtek a pontosításával. A bolygók helyett inkább az égi egyenlítő környéki, fényes csillagok érdekelték őket (az égi egyenlítő mentén lévő csillagokat kb. 10 fokenként, 36 csillagképre osztották → dekánok). Legfontosabb objektumuk a Szíriusz (az égbolt legfényesebbnek látszó csillaga) volt, mivel ennek a Nappal egyidejű kelése pontosan a Nílus áradásának idejére esett (természetesen ez az egybeesés pusztán véletlen, semmilyen ok-okozati összefüggés nincs a kettő között).

A vallás és a csillagászat kapcsolata az egyiptomiaknál is fontos szerepet játszott. A csillagászok itt is papok voltak. Az égboltot hatalmas víznek tekintették, melyeken az istenek bárkákon eveznek. Vallásuk központi eleme a Nap-kultusz volt, de ennek formája meglehetősen bonyolult volt (ezt jól jelzi a Nap-isten időről időre változó elnevezése: Rá, Ré, Amon, Amon-Ré, Aton stb.). Építészetükben szintén megjelentek csillagászati ismeretek, erre utal például a piramisok pontos észak-déli tájolása is.

1.7. ábra - Piramisok Egyiptomban: a pontos iránymérés ókori bizonyítékai



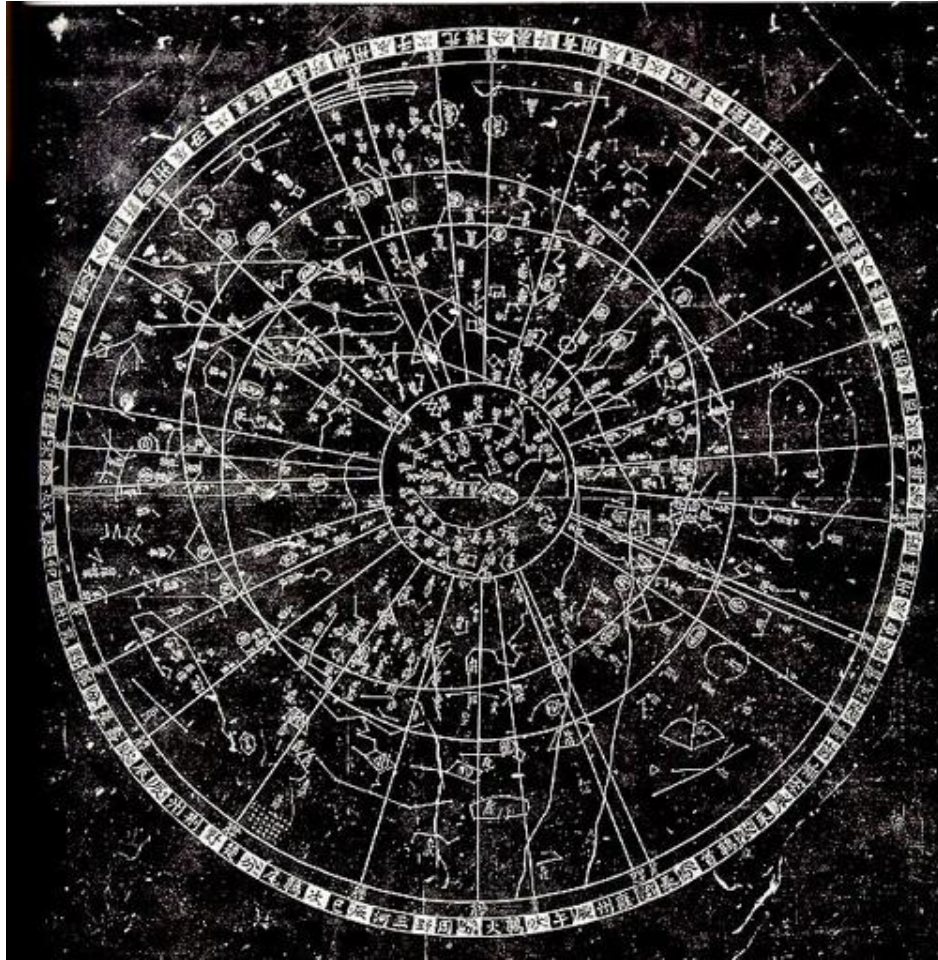
Kína

A kínai (távol-keleti) csillagászzal kapcsolatos legrégebbi, fennmaradt emlékek a Kr. e. 9. századból származnak. A kínai kultúrában a csillagászatnak elsősorban az időmérés szempontjából volt nélkülözhetetlen szerepe – már az ókori időkben is ismerünk innen származó, kompakt napórákat. A csillagászok az uralkodó szolgái voltak, akikre fontos szerep hárult a különleges égi események (főleg a nap- és holdfogyatkozások) előrejelzésében (ennek elmulasztása akár az illető csillagász életébe is kerülhetett...).

A kínai naptár szerint az év 366 napból áll, az egyes holdhónapok 29 vagy 30 nap hosszúságúak. Babiloni hatásra számon tartották a 60 éves ciklusokat, sőt, a napot is 60 egyenlő részre osztották fel. Az új év kezdetét – a mai napig érvényben lévő szokás szerint – az európai naptár szerinti február 4-i dátumhoz legközelebb eső újhold napján tartják.

A látható csillagokat egyedi csillagkép-felosztásba rendezték; az egyenlítő menti („állatövi”) csillagképek sem hasonlítanak más kultúrák hasonló szisztémájára. Világképükben a szögletes Föld felett a kerek, 8 oszlop által tartott égbolt helyezkedik el. Az ég 9 szintből áll – központjában a Sarkcsillag, csúcsán pedig az Égi Nagyúr található.

1.8. ábra - Ókori ábrázolás a kínai csillagképekről



II/2. Az ókori Hellász

Az ókori görög városállamokban a csillagászati ismereteknek elsősorban nem a mindennapi élet vagy a vallás alapfeltételként, hanem a világ megismerését célzó törekvésekben volt fontos szerepe. Leginkább a különböző filozófiai iskolák hatása volt jelentős a tudomány fejlődésére, de néhány hellén csillagász megfigyelési eredményei is alapvető fontosságúak a csillagászat történetében.

Filozófiai iskolák

Kb. i.e. 400-tól kezdődően a görög városállamokban egyre jelentősebb szerepet kaptak a csillagászzal is foglalkozó filozófiai iskolák. Ellentétben Mezopotámiával és Egyiptommal, ahol a csillagászat a papok által templomokban, szentélyekben művelt, misztikus köntösbe öltöztetett istentisztelet volt, a görög iskolákban inkább a mai értelemben vett tudományos munka folyt. A csillagászok főleg filozófusok, matematikusok voltak. Ennek következtében az égbolt és az égi jelenségek rendszeres megfigyelése háttérbe szorult, nagyobb szerepet kapott azonban a világ felépítéséről, az égitestek mibenlétéről, a jelenségek okairól való elmélkedés.

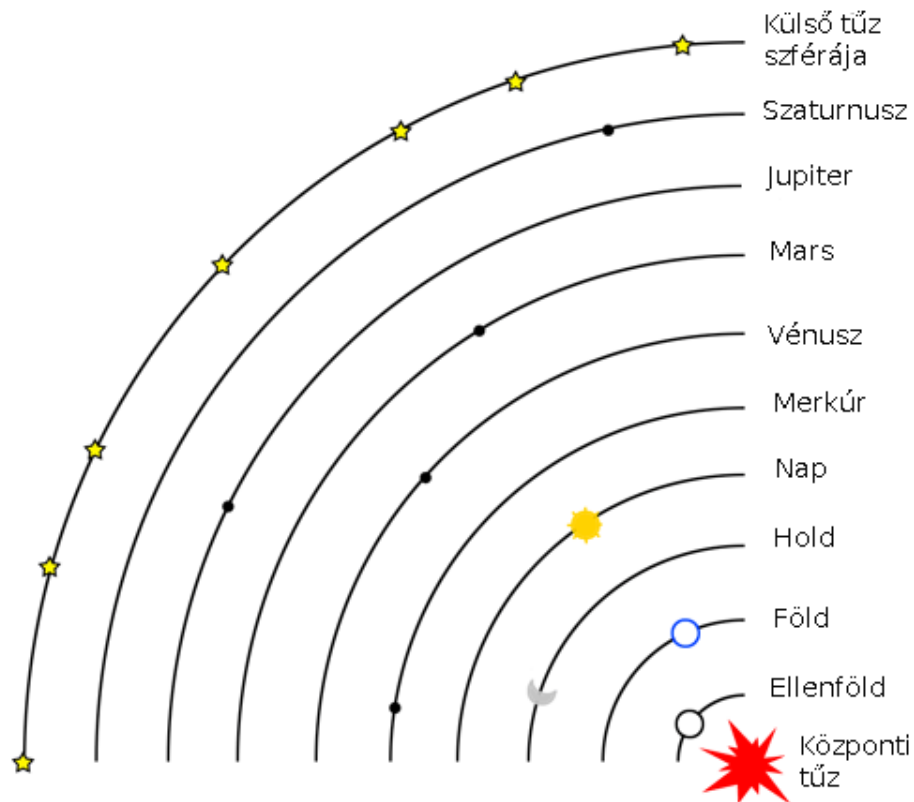
Ión filozófusok

Ennek az iskolának a központja Milétozban volt, itt a csillagászáttal inkább filozófiai értelemben foglalkoztak. Egyik fő problémájuk a világ anyagi összetételének és az elsődleges őanyagának megállapítása volt. Legjelentősebb képviselői Thálész (Kr. e. 624–546), Anaximandrosz (Kr. e. 610–547/546) és Anaximenész (Kr. e. 585–528). Thálész szerint az őanyag a tűz, míg Anaximandrosz szerint a víz lehetett. A Földet még laposnak képzelték el, melyet kupolaszerűen borít be az égbolt. Anaximandrosz szerint az égbolt egy sötét lepel, amin a csillagok apró lyukak, amelyeken keresztül a kozmikus tüzet látjuk. Tanítványa, Anaximenész ezzel szemben azt képzelte, hogy az égbolt kristálygömb, az égitestek pedig a kristálygömbbe vert szögek. Az átlátszó kristálygömbökből álló égbolt hipotézise majdnem 2000 évig, a reneszánsz koráig tartotta magát.

Pitagoreusok

A "Pitagoreus Testvériség" iskolája a dél-itáliai Kroton szigetén működött, alapítója a nagy matematikus, Püthagorasz (Pitagorasz) (Kr. e. 582–496). Ez az iskola lényegében vallási szektaként működött, tagjai az egész számoknak, a matematikának misztikus jelentést tulajdonítottak. A "legmágikusabb" szám a 10 volt, emiatt a 10-es számrendszert használták. Felismerték, hogy a szépen hangzó zenei akkordokat adó húrok hosszának aránya egész szám (pl. 4:3), ebből kiindulva azt képzelték, hogy a bolygók mozgása szintén ilyen zenei hangokat kelt ("szférák zenéje"). Elképzelésük szerint az égitestek gömb alakúak és körpályán mozognak. Ezt arra vezették vissza, hogy az égitestek istenségek, tehát tökéleteseknek kell lenniük, a legtökéletesebb alakzat pedig szerintük a kör és a gömb. Világképük szerint a világ középpontjában a "központi tűz" helyezkedik el, e körül keringenek az égitestek, a Föld is. A Föld és a központi tűz között keringett az "ellen-Föld". Elképzelésük szerint az ellen-Föld és a központi tűz azért nem látható, mert mindig a Föld túlsó oldalán tartózkodnak. Ezekre az új égitestekre talán azért volt szükség, hogy ezekkel együtt az akkor ismert égitestek (Nap, Föld, Hold, Merkúr, Vénusz, Mars, Jupiter, Szaturnusz) száma 10 legyen.

1.9. ábra - A pitagoreus iskolához tartozó Philolaosz (Kr. e. 450–400) világképe



Athén

Athénban több filozófiai iskola is működött, ezek közül a legjelentősebbek a Platón által alapított Akadémia és az Arisztotelész vezette Liceum. Platón (Kr. e. 428/427–347), az egyik legtekintélyesebb, legnagyobb hatású ókori filozófus szerint a bennünket körülvevő világ illúzió, a létező dolgok csupán torz árnyképei a tökéletes ideáknak, melyeket csak gondolkodás útján ismerhetünk meg (idealizmus). Platón átvette a gömb alakú égitestek gondolatát a pitagoreusoktól (szerinte az égitestek mozgása "a világlélek gondolkodását fejezi ki"), de a gömb alakú Földet egyértelműen a világ középpontjába helyezte. Ez az ún. geocentrikus világkép csaknem 2000 éven keresztül meghatározta az emberiség világról alkotott elképzeléseit.

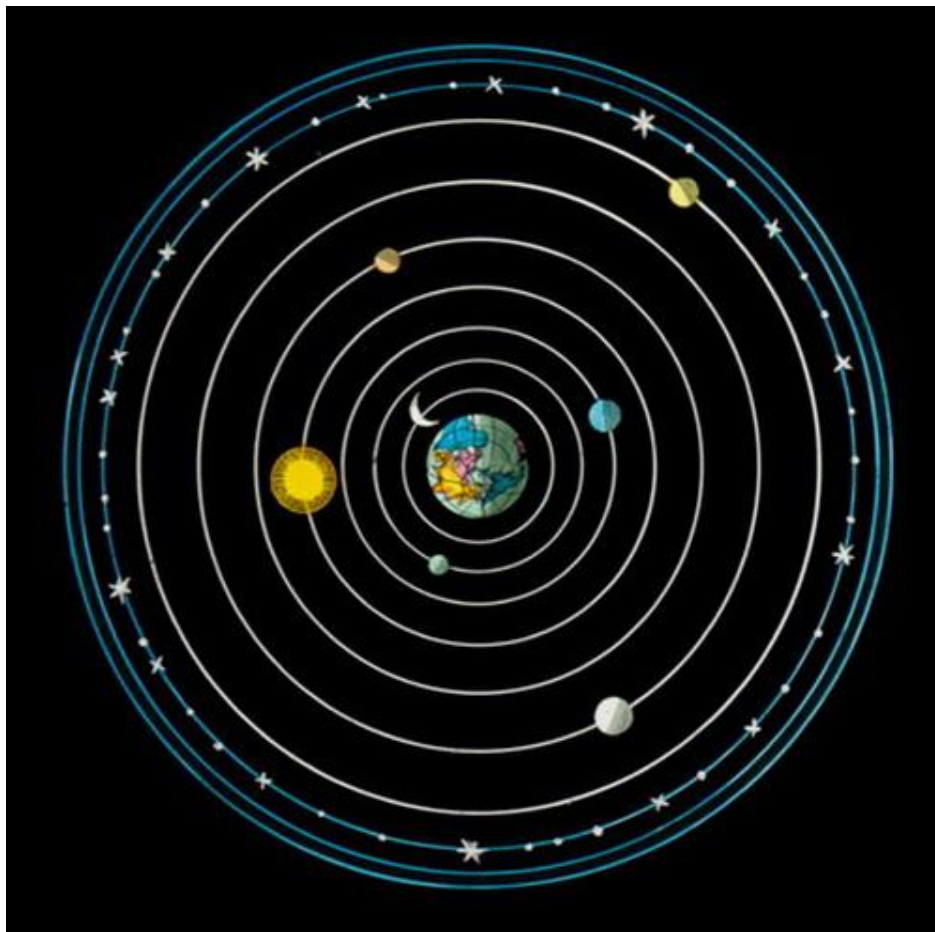
Arisztotelész (Kr. e. 384–322), Platón tanítványa, szakított mestere idea-tanával. Azt hirdette, hogy a világ anyagi természetű és ami létezik, az érzékelhető, megismerhető. Az ő világképe is geocentrikus volt, az égitestek mozgását úgy képzelte el, hogy a bolygók áttetsző kristályszférákra vannak erősítve, és ezek a koncentrikus szférák egymáson sűrűlve mozognak. A külső szférák mozgását az "Első Mozgató", egy isteni természetű erő biztosítja (ezt később a középkori teológia Istennel azonosította). A világot két részre osztotta: a Hold feletti és a Hold alatti világra. A Hold alatti (szublunáris) világot a négy őselem (föld, víz, tűz, levegő) alkotja, ezek változhatnak, egymásba átalakulhatnak. A Hold feletti világban minden változatlan és örök, itt csakis egyenletes körmozgás képzelhető el.

Ennek a világnak szerinte az anyaga is különleges: az ún "ötödik elem" alkotja, mely nem alakul át, elpusztíthatatlan, állandó, öröktől fogva létezik.

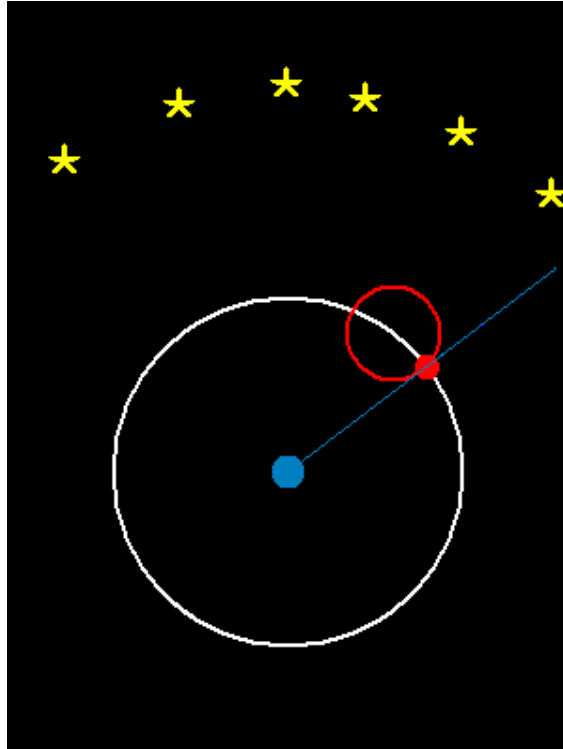
Alexandria

A római hódítást követően, a hellenizmus korában a görög kultúra és tudomány csúcspontját az alexandriai könyvtárban folyó tevékenység jelentette. Az itt dolgozó tudósok az ókori világ teljes ismeretanyagát igyekeztek összegyűjteni, rendszerezni. A csillagászat területén legjelentősebb személyiség Klaudiosz Ptolemaiosz (Kr. u. 90–168) volt. Az ő alkotása a Naprendszer felépítését és a bolygómozgás matematikáját megadó Szüntaxisz Matematiké. Ptolemaiosz összefoglalta a Platón és Arisztotelész által képviselt Föld-középpontú (geocentrikus) világképet, és meghatározta a bolygók mozgását a pitagoreusok körpályáit használva. A bolygók régóta ismert hurokszerű mozgását úgy magyarázta, hogy az égitest több körpályán kering: a Föld körül a deferensen és a deferensen gördülő epicikluson.

1.10. ábra - Ptolemaiosz geocentrikus világképe



1.11. ábra - Ptolemaiosz bolygómozgási elmélete (deferensek, epiciklusok) a Mars mozgásán bemutatva

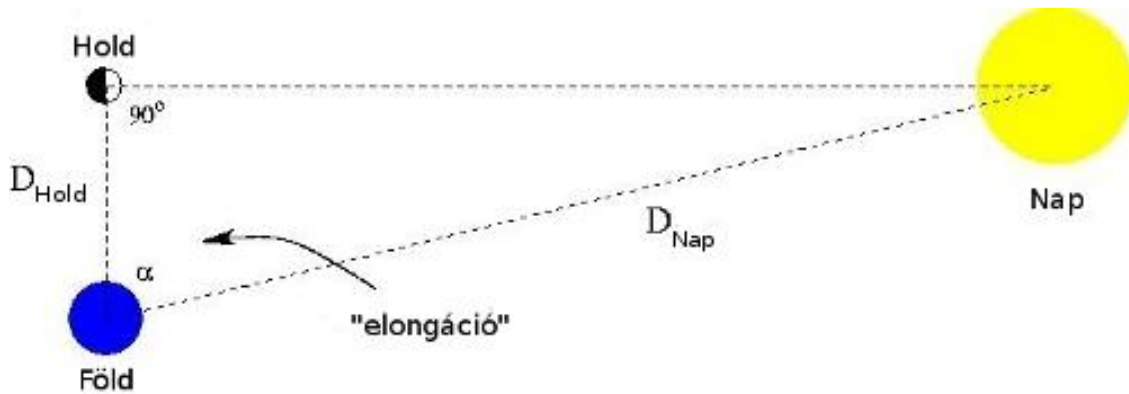


Megfigyelő csillagászat

A görögök az égbolt rendszeres megfigyelésében messze elmaradtak a babiloniaktól. Figyelemre méltó azonban az irányú törekvésük, hogy a pusztá észleléseken túl a megfigyeléseikből következtetéseket vonjanak le.

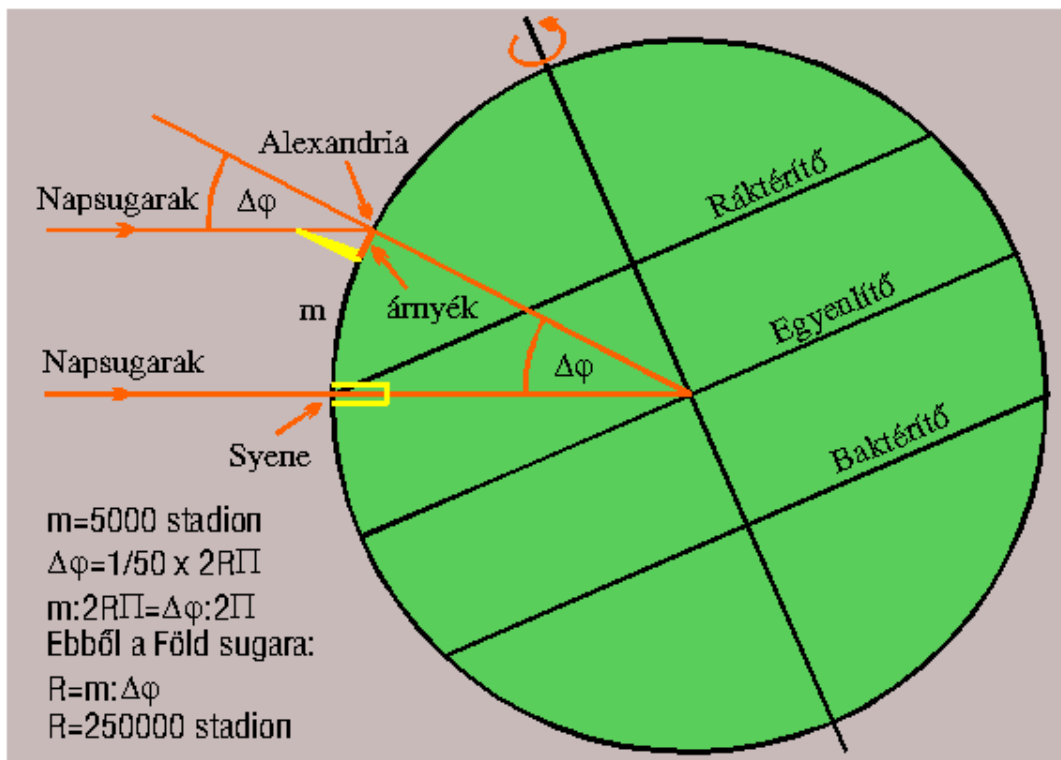
A számoszi Arisztarkhosz (Kr. e. 310–230) elképzelése az volt, hogy meghatározza: a Nap, vagy a Hold van messzebb a Földtől (közismert, hogy e két égitest a Földről egyforma nagynak látszik). Ehhez azt a holdfázist használta, mikor a Nap pontosan a Hold felét világítja meg (első negyed). Megmérte a Hold és a Nap látszó szögtávolságát, amire 87 fokot kapott (lásd az ábrát). Ebből (helyesen) azt a következtetést vonta le, hogy a Nap 19-szer messzebb van, mint a Hold, ennél fogva a Napnak sokkal nagyobbnak is kell lennie, mint a Hold és a Föld (valójában a Nap kb. 400-szor messzebb van, mint a Hold). Mérési eredményét továbbgondolva felvetette, hogy sokkal valószínűbb az, hogy a kicsi Föld kering a nagy Nap körül, és nem fordítva, mint azt a geocentrikus világkép állítja. Ezzel, korát messze megelőzve, elsőként jutott el a heliocentrikus világkép gondolatához.

1.12. ábra - Arisztarkhosz híres mérésének illusztrációja



A Föld gömb alakjának bizonyítása Eratoszthenész (Kr. e. 276–195) nevéhez fűződik. Ő a Föld kerületét ötletes szögméréssel határozta meg. Észrevette, hogy az év egy napján Sziéna (a mai Asszuán) városában a Nap függőlegesen (a zenitben) delel, míg ugyanekkor Alexandriában a kőoszlopok árnyékot vetnek. Az árnyékok szögéből és a két város távolságából ki tudta számítani a Föld kerületét, amire a valóságot nagyon jól megközelítő értéket kapott: az általa 250 000 stadionnak mért földsugár (157,5 m-esnek valószínűsített stadion-hosszal számolva) 6269 km-nek, a Föld kerülete pedig 39 375 km-nek adódik, míg a ma ismert értékek 6378 ill. 40008 km – vagyis az eltérés kevesebb, mint 2% !

1.13. ábra - Illusztráció Eratoszthenész méréséhez (lazarus.elte.hu)



A legnagyobb görög megfigyelő csillagász, Hipparkhosz (Kr. e. 190–120) készítette el az égbolt első csillagkatalógusát. Több mint 1000 csillag pontos pozícióját és fényességét határozta meg és foglalta táblázatba. A csillagokat 1-től 6-

ig terjedő fényrendekbe sorolta (1-es volt a legfényesebb, 6-os a leghalványabb), amit a csillagászatban – némi módosításokkal – mind a mai napig használnak (magnitúdóskála).

1.14. ábra - Hipparkhosz, a legnagyobb görög megfigyelő csillagász



III. Csillagászat a kora középkorban (VI–XV. sz.)

A Római Birodalom bukását követő zűrzavaros évszázadokban az ókorban felhalmozott tudás nagy része elveszett. A fennmaradt ismeretek megőrzésében és továbbadásában elsőként az arabok játszottak szerepet, akik komoly megfigyelési munkájukkal is hozzájárultak a csillagászat fejlődéséhez – ugyanakkor a középkori Európában elsősorban keresztény gondolkodók tartották életben a tudományos nézeteket.

III/1. Arab csillagászat

A IX–XV. század közötti időszakban az arab népek művelték a legmagasabb szinten a csillagászatot. Az arab hódítás nyomán a felégetett alexandriai könyvtárból kimentett papirusztekercsek között ott volt Ptolemaiosz Szüntaxisz Matematiké című műve is. Ez arab fordítás után Almageszt néven terjedt el és vált ismertté mások – így az európaiak – számára is.

Az arabok főként a Hold mozgása iránt érdeklődtek, az iszlám vallás előírásai miatt. Több csillagvizsgálót építettek, ahol nagy méretű, korszerű műszerekkel követték nyomon a fényes, szabad szemmel látható égitesteket. Az Almagesztben közölt bolygópályákat saját megfigyeléseikkel vetették össze. Hamar rájöttek, hogy a ptolemaioszi táblázatok nem pontosak, a számítások folyamatos kiigazításokra szorulnak. Hosszú távú észleléseik eredményeképpen csillagkatalógusokat készítettek – sok fényesebb csillag (pl. Betelgeuze, Ras Algethi, Alcor, Mizar stb.) köznapi elnevezésére ma is az arab (ill. perzsa) eredetű formákat használjuk.

Leghíresebb csillagászaik Al Mammoun kalifa és Al Sufi (IX. sz.), Naseredin at Tusi (XIII. sz.) és Ulug bég (1394-1449) voltak – az utóbbi által alapított szamarkandi csillagvizsgáló, amelynek maradványai ma is állnak, korának egyik legfejlettebb tudományos színhelyeként működött.

1.15. ábra - A szamarkandi csillagvizsgáló maradványai



III/2. Európai csillagászat a kora középkorban

A középkori Európában a keresztény vallás és hit szerepe megerősödött, egyúttal jelentős mértékben meghatározta a kor embereinek világnézetét. Bizonyos szempontból ez hátráltatta a tudomány fejlődését, mivel az Egyház sok esetben dogmatikus kinyilatkoztatásokat fogadott csak el a világ felépítése és keletkezése kapcsán, a változásokat pedig elutasította (néhány esetben üldözte is). Ez a szemlélet jól illeszkedett az Arisztotelész által leírt világgéphez, mely szerint az égi szféra tökéletes, örök és változatlan. Ezt és a geocentrikus világnézetet keresztény filozófusok, teológusok (elsősorban Aquinói Szent Tamás, 1225–1274) a bibliai teremtéstörténet tudományos igazolásaként értelmezték, és a korabeli társadalom hivatalos világnézetévé formálták.

1.16. ábra - Az arisztotelészi világkép szféráinak megjelenése Hieronymus Bosch: A világ teremtése c. képén (A földi gyönyörök kertje c. kompozíció részlete, 1504–1510) (www.ibiblio.org)



Azonban a tudományok művelése és fejlődése ebben a korban nagy részben szintén az Egyházzal kapcsolódott. Az első egyetemek (melyek többségén a “ún. hét szabad művészet egyikeként asztronómiát is oktattak) jórészt egyházi alapításúak voltak, az oktatást tudós papok és szerzetesek végezték. Közülük többen messze megelőzték korukat, így pl. Albertus Magnus püspök (1193/1206–1280), aki a megismerést nem hit-, hanem észbeli dolognak tekintette, Roger Bacon (1214–1294), aki a tudományos munka legfontosabb részének a matematikai ismereteket és a kísérleteket nevezte, vagy Nicolaus Cusanus bíboros (1401–1464), aki szintén jelentős matematikai ismeretekkel bírt, és a Világmindenséget végtelen nagynak tekintette.

Az ókori világkép változtatására egyre fokozódott az igény, főként az időszámításban és az égitestek pozíciói-előrejelzéseiben tapasztalt pontatlanságok miatt. Akkoriban Európában a Julián-naptár volt érvényben, melyet még Julius Caesar utasítására dolgozott ki egy Sosigenes nevű egyiptomi csillagász a Kr. e. I. században. Ebben már kialakultak a jelenleg is használt, felváltva 30 ill. 31 napos hónapok, valamint a 365 napos (illetve négyévente, egy február végi plusz nap beiktatásával 366 napos) évek. Azonban egy év valójában kicsivel rövidebb, mint

az ebből adódó 365,25 nap, ami így évszázadok alatt több napos elcsúszást eredményezett. Ezt már a 325-ös niceai zsinaton észlelték, de a végső reform csak 1582-ben, XIII. Gergely pápa rendelete nyomán lépett életbe (a Gergely-naptár fő újítása az volt, hogy minden olyan év, amely 100-zal osztható, de 400-zal nem, nem számít szökőévnnek), egy Clavius nevű matematikus és egy Lilius nevű csillagász javaslatait felhasználva.

Az égitestek észlelt pozícióinak az előrejelzésektől való eltérése már a hajózásban, a navigációban is gondot okozott. X. Alfonz kasztíliai (spanyol) király ezért elrendelte a ptolemaioszi táblázatok korrigálását, melyek Alfonz- (vagy Alphonsin-)táblázatok néven 1272-ben készültek el. A következő nagy lépés Georg Peurbach (1423–1461) német csillagász és matematikus Új bolygóelmélet (*Theoricae novae planetarum*) c. műve volt, melyben további korrekciókat közöl az égitestek pozíciószámításait illetően.

A könyvet Peurbach korai halála miatt 1471-ben tanítványa, Johannes Müller (ismertebb nevén J. Regiomontanus, 1436–1476) adatta ki először. Regiomontanus fejezte be elhunyt mestere Almageszt-fordítását, és további – saját megfigyelésekkel is ellenőrzött - korrekciós számításokat végzett a csillagok pozícióiról. Ezeket a táblázatokat évtizedekig használták a hajósok (köztük Kolumbusz Kristóf is). Dolgozott Mátyás király udvari csillagászként is, valamint ő alapította az első németországi csillagvizsgálót is, ahol csillagászati szögmérő eszközöket is készített. Érdekesség, hogy Clavius és Lilius előtt már egy évszázaddal korábban előállt naptármódosító javaslatokkal.

1.17. ábra - Johannes Regiomontanus (1436–1476) (<http://en.wikipedia.org>)

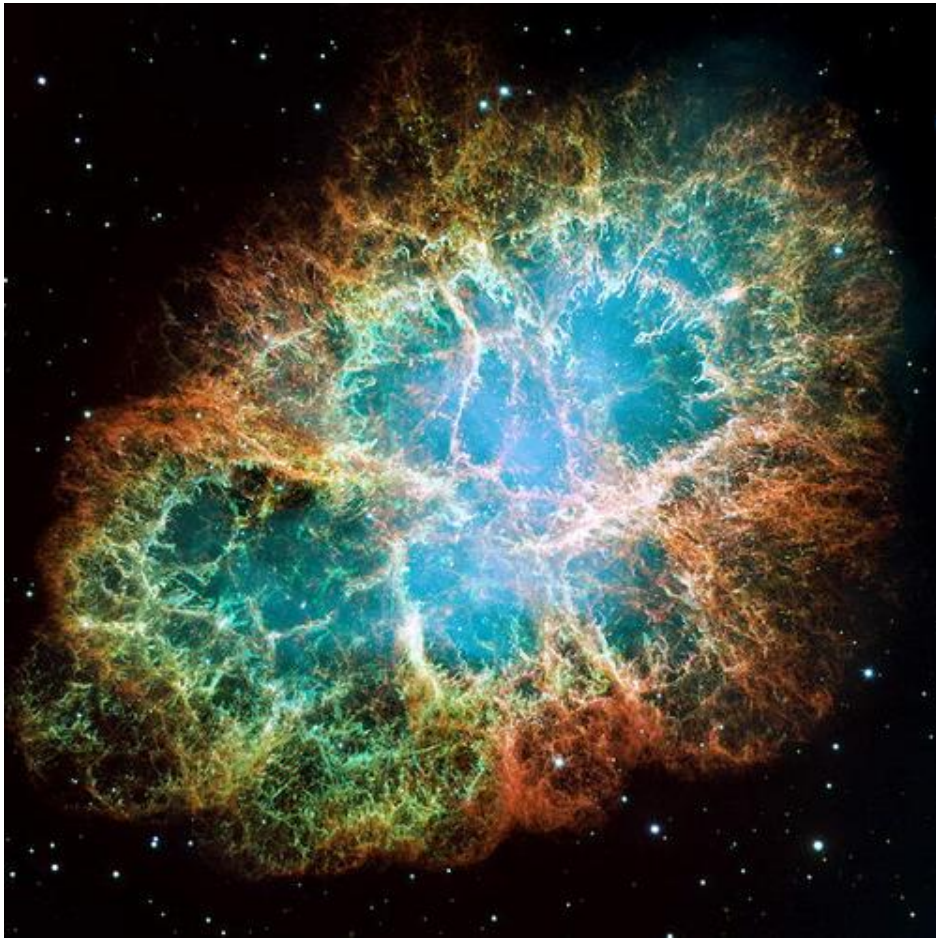


[Bővebben a naptárak történetéről](#)

III/3. A Távol-Kelet és Amerika

A csillagászat művelése a régebbi időkben fennmaradt távol-keleti ill. amerikai kultúrákban ebben az időszakban is fontos volt. 1054-ben például kínai csillagászok egy új "vendégcsillag" megjelenéséről tudósítottak a Tien-kuan (Bika) csillagképben. Az új égitest eleinte olyan fényes volt, hogy nappal is látszott, de fokozatosan halványodva egy év alatt eltűnt a megfigyelők szeme elől. Érdekes, hogy több távol-keleti forrás is részletesen leírja ezt a nagy feltűnést keltő égi eseményt, ugyanakkor európai feljegyzések egyáltalán nincsenek. Csak a XX. században derült fény arra, hogy az 1054-es vendégcsillag egy szupernóva volt: egy élete végén összeomló csillag hatalmas robbanásának voltak szemtanúi az akkori emberek. Azóta a robbanás helyén egy táguló gázfelhő, a Rák-köd figyelhető meg.

1.18. ábra - Az 1054-ben megfigyelt szupernóva táguló maradványa, a Rák-köd a Hubble-űrtávcső felvételeiből összeállított mozaikképen



IV. A késő középkor csillagászata Európában

Európában a XV. század (reneszánsz kor) előtt a csillagászati ismereteket a katolikus egyház ideológiája határozta meg. A reneszánsz idején azonban fokozatosan újra "felfedezték" az ókori gondolkodók és természettudósok (főként Arisztotelész) munkáit, és ez új ismeretek megszerzésére irányuló törekvéseket indított el. Ennek a korszaknak az egyik kiemelkedő alakja Leonardo da Vinci (1452–1519) volt, akinek tudományos és művészeti munkássága nagy hatással volt a későbbi korokra. Rengeteg új eszközt talált fel (vagy készítette el tervrajzukat) – sokról valószínűleg nem is tudunk. Ezek közé tartozhat a távcső is, mely a XVII. század elején forradalmasította a csillagászatot, s melynek első tervrajzait talán szintén az itáliai zseni készítette.

A késő középkor csillagászata alapvető világnézeti és tudományos megújulást hozott, mely elsősorban négy kiváló tudós munkásságának köszönhető:

IV/1. Nikolausz Kopernikusz (1473–1543)

Lengyel pap, csillagász és matematikus. Nevéhez fűződik a Nap-középpontú (heliocentrikus) világrendszer első részletes kidolgozása. 1514-ben megjelent, Commentariolus c. munkájában az alábbi, új alapfelvetéseket rögzítette:

1. a Föld egyedül a Hold pályájának középpontja
2. a Nap van a középpontban, a Föld és a többi bolygó körülötte kering
3. a Föld forog a tengelye körül
4. a csillagok a külső szférában vannak, nagyon távol

Kopernikusz részletes számításokkal is próbálta alátámasztani világrendszerét, melyeket fő művében, a De revolutionibus orbium coelestium (Az égi szférák körforgásairól) c. könyvben (mely végül halála után pár hónappal került kiadásra) mutatott be. Ezek azonban nem vezettek sikerre, mert mereven ragaszkodott a körpályákhoz, és csak rendkívül bonyolultan (Ptolemaiosz módszereit részben átvéve, 50 epiciklus felhasználásával) tudta leírni a bolygók mozgását. Ennek ellenére eredeti meglátásai fontos mérföldkövet jelentettek a csillagászat és a tudomány történetében.

1.19. ábra - Nikolausz Kopernikusz



IV/2. Tycho Brahe (1546–1601)

Dán arisztokrata, párbajhős, II. Frigyes dán király udvari csillagásza. Nagyon pontos megfigyeléseket végzett szabad szemmel a Hven szigetén lévő Uraniborg nevű csillagvizsgálójában. Hamar kimutatta, hogy a megfigyelt bolygópozíciók eltérnek a táblázatokban közöltektől, tehát a ptolemaioszi világmépítés nem lehet helyes.

1.20. ábra - Tycho Brahe



1572-ben, Európából elsőként, fényes szupernóvát fedezett fel a Cassiopeia csillagképben, amit Nova Stella-nak (új csillag) nevezett el. Megfigyelte, hogy az objektum nagyon lassan (kb. 1 év alatt) halványul el, és nem mozdul el a háttércsillagokhoz képest, mint a bolygók – vagyis jóval messzebb van azoknál, a csillagok szférájában, ahol – ezek szerint – szintén vannak változások! Ez egy erős cáfolata volt az arisztotelészi dogmáknak.

1.21. ábra - Korabeli ábrázolás Tycho Brahe 1572-es szupernóva-felfedezéséről



1577-ben egy üstököszt figyelt meg. Megállapította, hogy a Nap felé közelítő üstökösnek át kellett volna törnie a bolygók kristályszféráit, aminek azonban semmi jelét nem tapasztalta. Ebből arra következtetett, hogy a kristályszférák nem léteznek. Évtizedeken át gyűjtötte a pontos bolygópozíciókat, különösen a Marsot észlelte gyakran.

A kopernikuszi világméretet elutasította, mert nem tudta elfogadni a Föld mozgásának gondolatát. Helyette egy alternatív világméretet dolgozott ki, amelyben a Föld mozdulatlan, körülötte kering a Hold és a Nap, de az összes többi bolygó a Nap körül kering.

[Tycho Brahe \(MCSE Csillagásztörténeli portál\)](#)

IV/3. Johannes Kepler (1571–1630)

1.22. ábra - Johannes Kepler

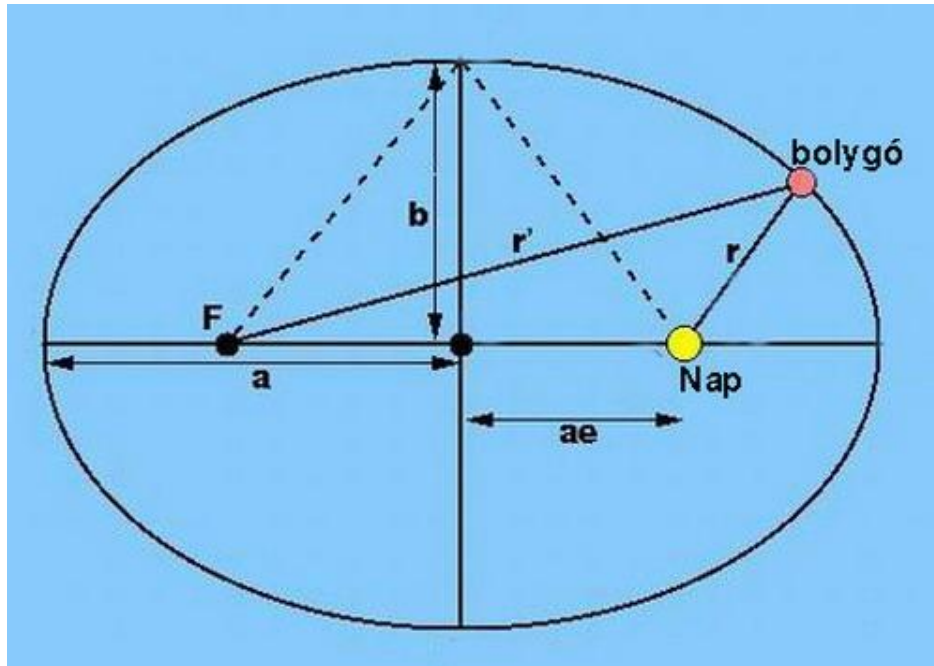


Német csillagász, a grazi egyetem matematika tanára, majd II. Rudolf udvari csillagásza Prágában. Már pályafutása elején felismerte a kopernikuszi modellben a bolygópályák sugarainak arányában mutatkozó szabályosságot, ezért kezdettől fogva a kopernikuszi heliocentrikus világrendszer hívévé vált. A prágai udvarban hozzájutott Tycho Brahe bolygómegfigyeléseihez, melyek tanulmányozásából megalkotta a bolygómozgás híres Kepler-féle törvényeit – ezek vetettek véget az évszázadokon át húzódó körpálya-dogmának, és az első helyes leírást szolgáltatták a Naprendszer égitestjeinek mozgásáról. Kepler élénk levelezést folytatott Galileivel, ennek hatására fordult később ő is a távcsöves megfigyelések felé. Nevéhez fűződik a két domború lencséből álló Kepler-távcső megalkotása (1611).

A Kepler-törvények:

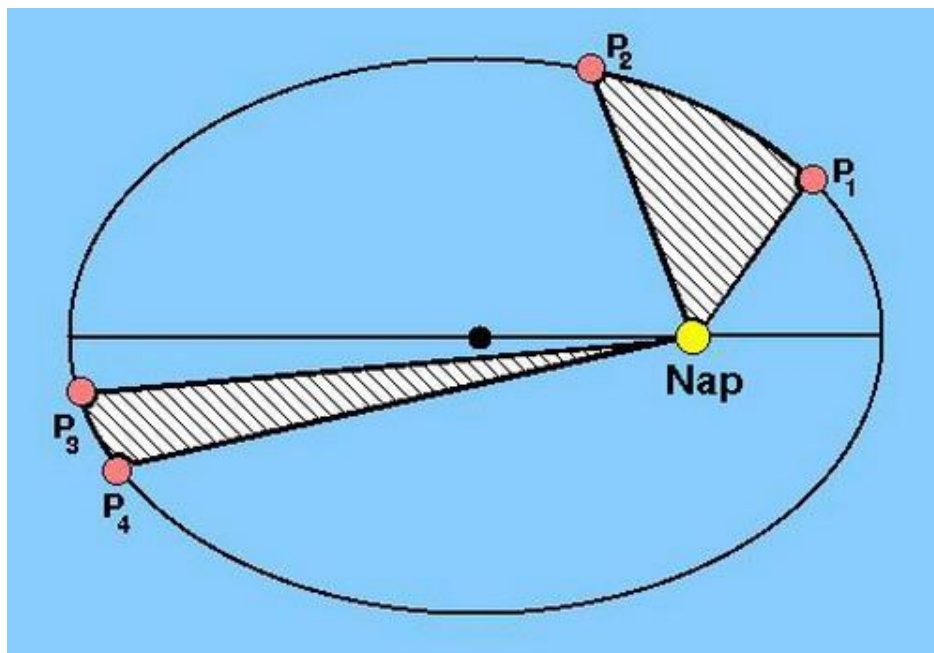
I. A bolygók ellipszis alakú pályán keringenek, melynek egyik gyújtópontjában van a Nap.

1.23. ábra - Kepler I. törvénye



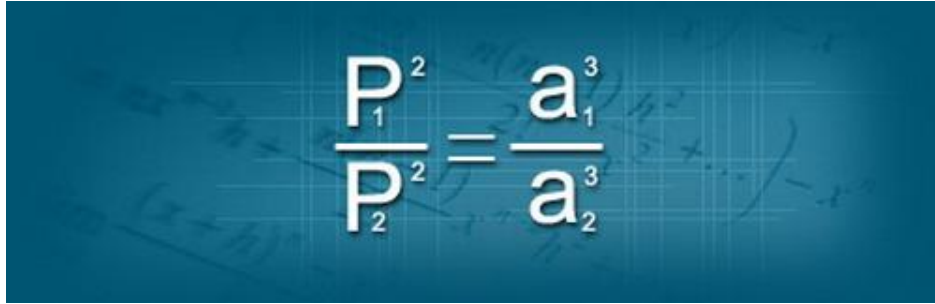
II. A bolygó keringése során a bolygót és a Napot összekötő szakasz egyenlő idők alatt egyenlő területeket sűrol.

1.24. ábra - Kepler II. törvénye



III. Két bolygó keringési idejének négyzetei úgy aránylanak egymáshoz, mint a pályák fél nagytengelyeinek köbei.

1.25. ábra - Kepler III. törvénye


$$\frac{P_1^2}{P_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

[Kepler, a lutheránus csillagász \(MCSE Csillagásztörténeti portál\)](#)

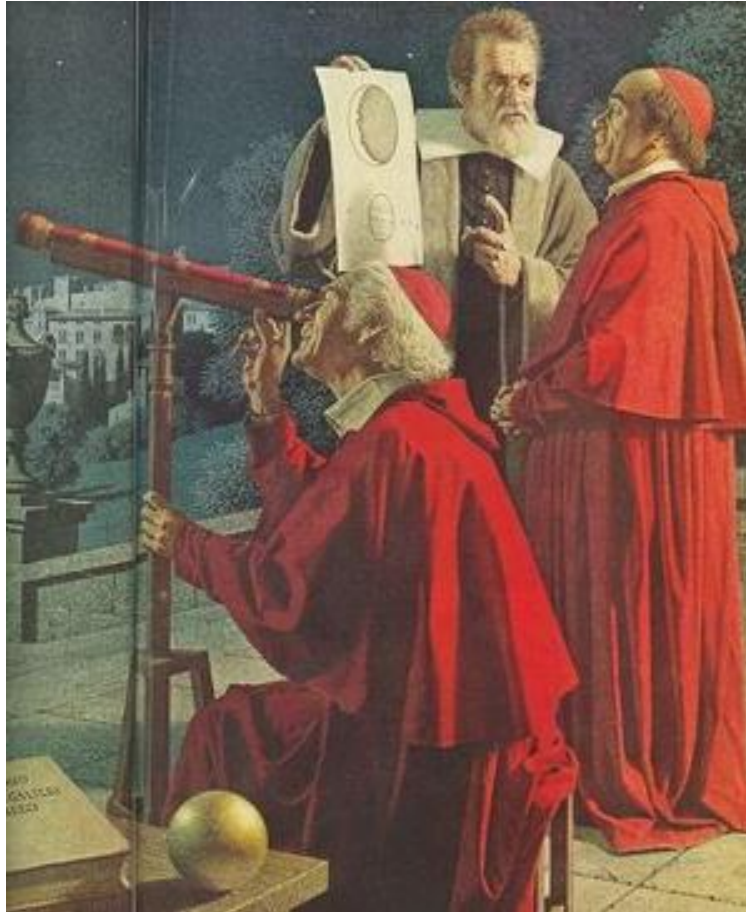
[Kepler és a Mars \(MCSE Csillagásztörténeti portál\)](#)

IV/4. Galileo Galilei (1564–1642)

Itáliai csillagász, természettudós és matematikus. 1609-ben távcsövet készített (Galilei-távcső: egy domború és egy homorú lencséből áll), és (dokumentáltan) elsőként használta az égitestek megfigyelésére. Megfigyelte a Hold hegyeit, krátereit és (általa "tengereknek" nevezett) síkságait. Felfedezte, hogy a Jupiter körül 4 hold kering (Galilei-holdak: Io, Europa, Ganimeses, Callisto), amivel szemléletesen alátámasztotta, hogy nem a Föld a középpontja az összes égitest mozgásának. Leírta, hogy a Vénusz a Holdhoz hasonló fázisokat mutat, a Tejút rengeteg csillagból áll, és általában távcsővel sokkal több égitest látható, mint szabad szemmel.

Hogy ő volt-e az első, aki távcsöves csillagászati megfigyeléseket végzett, nehéz eldönteni – de amiben bizonyítottan első volt, az a megfigyelések részletes és pontos leírása. Eredményeit a Sidereus Nuncius (Csillaghírnök, 1610) c. művében összegezte, melyet több kortársának is szétküldött (Johannes Kepler is ebből értesült Galilei felfedezéseiről).

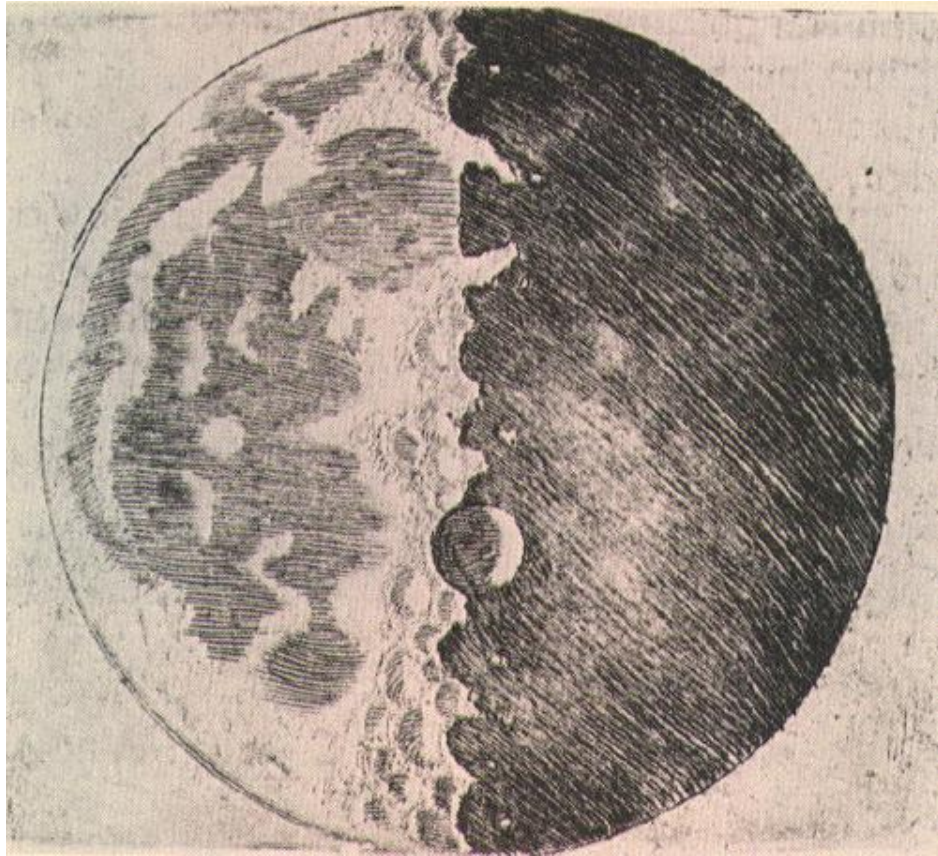
1.26. ábra - Galilei távcsöves bemutatóval igyekszik meggyőzni az Egyház képviselőit a heliocentrikus világkép helyességéről



Megfigyeléseivel a heliocentrikus rendszert szeretne volna igazolni, ami kiváltotta a pápai Szentszék ellenkezését. Galilei válaszul megjelentette a *Dialogo* (Dialógusok a kétféle világrendszerről) c. könyvét (1632), amelyben sikra szállt a kopernikuszi új világrend védelmében, és kifigurázta az arisztotelészi tanokra épülő egyházi dogmákat. Az inkvizíció perbe fogta, 1633-ban elítélte, és visszavonatta vele tanait. Ezután házi őrizetben élt, élete utolsó éveiben megvakult - ebben jelentős szerepet játszott, hogy távcsövével éveken át rendszeresen vizsgálta a Napot (szeme világát elvesztette ugyan, de felfedezte, hogy a Napon foltok vannak, melyek helyzete és mérete folyamatosan változik).

Csillagászati eredményei mellett a testek mozgásával kapcsolatos kísérletei is jelentős felfedezésekre vezettek. Nevéhez fűződik a szabadesés törvényének megállapítása és a sebességek összeadási elvének (Galilei-féle relativitási elv) felismerése is.

1.27. ábra - Galilei rajza a Holdról



Galileivel kapcsolatos írások a Természet Világa Feltárul a Világegyetem c. különszámában:

Vekerdi László: [Piaci mendemondától a Csillaghírnökig](#)

Horvai Ferenc: [Az ég és a Föld találkozása. Hogyan látjuk Galilei munkásságát napjainkban?](#)

Galileo Galilei: [Csillaghírnök](#). Részletek (Csaba György Gábor fordítása)

Hetesi Zsolt: [A Galilei-per tanulságai. A tudós igazsága és tévedése](#)

A fentiekén kívül érdemes még megemlíteni Giordano Bruno (1548–1600) itáliai szerzetes nevét, aki elsőként vetette fel, hogy a csillagok valójában ugyanolyanok, mint a Nap, csak sokkal távolabb vannak, és akár bolygók is keringhetnek körülöttük (Bruno ezt négyszáz évvel az első exobolygó felfedezése előtt jelentette ki!), valamint Christoph Scheiner (1573/75–1650) jezsuita atyát, aki Galileivel egyidőben figyelte meg a napfoltokat.

A távcső történetével kapcsolatos anyagok:

[Valójában ki találta fel a távcsövet?](#) (Fordította: Gesztesi Albert. ppt)

Bartha Lajos: [Ki készítette az első távcsövet?](#) (Meteor, 1993/3.)

V. A gravitációelmélet és az égi mechanika születése

Kepler, Galilei és követőik munkássága nyomán a kopernikuszi heliocentrikus világkép lassan általánosan elfogadottá vált a XVII. századra. Ekkoriban kezdődött a fizika egyre erőteljesebb térhódítása, ami szorosan összefüggött a csillagászat fejlődésével. A mechanika mozgástörvényeinek keresésében a bolygómozgás magyarázata jelentette a legnagyobb kihívást a tudósok számára.

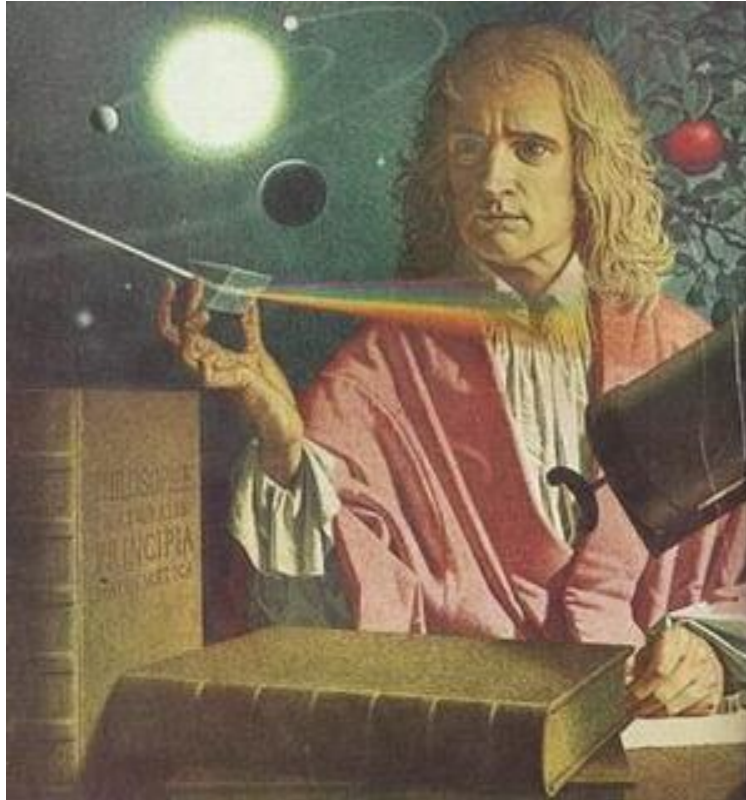
V/1. Descartes örvényelmélete

René Descartes (1596–1650) francia filozófus és matematikus szerint a világ megismerése csak a matematika segítségével lehetséges. Az égitestek mozgását az általa kidolgozott örvényelmélettel próbálta magyarázni. Eszerint a világ egy folyadékszerű őszanyaggal van kitöltve, ami örvénylő mozgást végez. A Nap is egy ilyen örvény középpontja. A Nap körül örvénylő anyag magával sodorja a Földet és a többi bolygót. Az örvények időnként összeomlanak, ekkor az örvénymag elkezd sodródni a többi örvénymaghoz képest – ezekből lesznek az üstökösök. Az örvényelméletéről hamar kiderült, hogy nem egyezik a tapasztalattal, nincs összhangban a Kepler-törvényekkel, ennek ellenére sokáig fennmaradt mint hipotézis.

V/2. Newton munkássága

Isaac Newton (1643–1727) angol fizikus és matematikus, az angol Királyi Akadémia (Royal Society) titkára, a tudománytörténet egyik legnagyobb alakja. A fizika és matematika területén számos új felfedezés kötődik nevéhez. Felismerte, hogy ugyanaz az erő (a gravitáció) felelős a Föld felé eső testek és a Nap körül keringő bolygók mozgásáért, képletbe foglalta a gravitációs erő törvényét. Megalkotta a testek mozgásának általános törvényeit, melyek azóta is a mechanika alaptételei (Newton-axiómák). Az általa felírt mozgásegyenlet megoldásával matematikai úton igazolta a bolygók ellipszispályáját és a többi Kepler-törvényt. Elméleti eredményeit a *Philosophiae naturalis principia mathematica* (A természetfilozófia matematikai alapjai) című fő művében jelentette meg.

1.28. ábra - Isaac Newton



A fény vizsgálatával is behatóan foglalkozott. Elképzelése szerint a fény nagyon gyorsan mozgó részecskékből (fotonokból) áll, melyet azóta számos kísérlet igazolt. Elsőként írta le, hogy az üvegprizma a napfényt a szivárvány színeire bontja. Megalkotta az egymással szembefordított homorú és síktükörből álló Newton-távcsövet, mely mentes a lencsés távcsövek színi hibáitól, és később a csillagászatban óriási előrelépést eredményezett.

A világ egészéről alkotott kozmológiai elképzelései is figyelemre méltóak. Szerinte a Világmindenség végtelen, és az anyag egyenletes sűrűséggel tölti ki. Ellenkező esetben ugyanis a gravitáció hatására minden anyag egy pontba húzódná össze, amit nem tapasztalunk. A Naprendszer jövőjének tanulmányozása során azt az eredményt kapta, hogy a bolygók a jelenlegi pályájukon nem maradhatnak hosszú ideig, ezért a Naprendszer néhány évszázad alatt felbomlik. Mivel ez már az akkori tapasztalatokkal is ellentmondott, arra a következtetésre jutott, hogy Isten jelenléte szükséges a bolygók pályán tartásához.

V/3. Az égi mechanika kifejlődése

A matematika fejlődése lehetővé tette az égitestek mozgásának egyre pontosabb leírását, vagyis az égi mechanika kifejlődését. Newton elméletének felhasználásával kortársa és kollégája, Edmund Halley (1656–1742) angol csillagász üstökösök mozgását vizsgálta, és rájött, hogy pályájuk nagyon elnyúlt ellipszis – tehát időről időre visszatérnek! A róla elnevezett, 76 éves periódussal keringő Halley-üstökös visszatérését évre pontosan megjósolta, de az eseményt már nem érthette meg.

1.29. ábra - A Halley-üstökös legutóbbi, 1986-os visszatérésekor



Az égimechanikai számítások legnagyobb alakja Pierre Simon Laplace (1749–1827) francia matematikus, elméleti fizikus volt. Továbbfejlesztette a Newton-féle mozgásegyenlet megoldásának matematikai módszerét több égitest mozgásának kiszámítására (ún. perturbációszámítás). Ennek segítségével sikerült igazolnia, hogy a Naprendszer égitestjei hosszabb ideig megtartják jelenlegi pályájukat, ellentétben Newton korábbi (hibás) eredményével.

Kidolgozott egy elképzelést a Naprendszer keletkezésére is: eszerint a Naprendszer egy lassan forgó ösköd összehúzódása során jött létre. Az összehúzódás miatt a forgás felgyorsult, a leszakadó külső részekből alakultak ki a bolygók, míg a középpontba tömörülő anyagból keletkezett a Nap (Laplace-féle ködhipotézis). Lényegében ma is hasonló mechanizmussal képzeljük el a Nap és a csillagok keletkezését.

Érdeemes még megemlíteni Immanuel Kant (1724–1804) német filozófus nevét is, aki csillagászati (kozmológiai) kérdésekkel is foglalkozott, pl. a Naprendszer keletkezésével, mellyel kapcsolatban Laplace-hoz hasonló eredményre jutott.

VI. A távcsöves megfigyelések fejlődése

VI/1. A XVII. század nagy megfigyelő csillagásza

Galilei első észlelései után az égbolt távcsöves megfigyelése rendszeres, rutinszerű tevékenységgé vált az európai csillagászok körében. Az európai országokban egyre több csillagvizsgálót alapítottak, melyeket már távcsövekkel szereltek fel. Ezek általában Kepler-féle lencsés távcsövek voltak, melyekkel a Holdat, a fényes bolygókat és üstökösöket tanulmányozták, de később megszülettek az első, komolyabb tükrös távcsövek is.

Johannes Hevel (Hevelius, 1611–1687) lengyel csillagász precíz észleléseket végzett a Hold, a Nap és a bolygók pozícióiról. Katalógusba rendezte az északi égboltról látható összes, 7 magnitúdónál fényesebb csillagot. Részletes Hold-térképet készített (Selenographia, 1647), a napfoltok megfigyelésének segítségével pedig becslést tudott adni a Nap forgási periódusára.

Giovanni Domenico Cassini (1625–1712) itáliai származású, francia csillagász fedezte fel a Jupiter Nagy Vörös Foltját (R. Hooke-kal egyidejűleg), differenciális rotációját és a forgás miatti lapultságát, valamint a Szaturnusz gyűrűjének egyik sötét részét, és a bolygó négy holdját (Tethys, Dione, Rhea, Iapetus). Nevét – többek között – a Szaturnusz rendszerében vizsgálódó Cassini-űrszonda is őrzi.

Christiaan Huygens (1629–1695) holland matematikus és fizikus elsősorban mint a hullámtan és az optika úttörő kutatója ismert, de emellett matematikai és csillagászati munkássága is nagyon jelentős. Ő fedezte fel a Szaturnusz Titan nevű holdját, és megállapította, hogy a bolygó gyűrűi apró szikladarabokból állhatnak. Az Orion-köd egyes tartományaiban csillagokat figyelt meg, valamint több kettőscsillagot és csillagködöt is felfedezett.

1.30. ábra - Az elsőként Huygens által alaposan megfigyelt Orion-köd



M42 - Orion-köd, R:3x60, G:2x120, B:4x180 sec, mozaik (12 db-ból, össz. 108 kép)
28 cm f/6,3 SC, ST-6 CCD, 1998.02.17., 19. és 24., Fűrész Gábor

Olaf Römer (1644–1710) dán csillagász a Párizsi Obszervatórium munkatársaként végzett megfigyeléseket. A Jupiter-holdak keringési időtartamainak hosszú távú adataiban ciklikus (kb. 1 éves periódusú) eltéréseket tapasztalt, amelyeket – helyesen – a fény véges sebességének tulajdonított. A további megfigyelésekből a fény terjedési sebességére a ma ismert értékkel egyező nagyságrendű (kb. 200 000 km/s) eredményt kapott.

1.31. ábra - O. Römer fénysebesség-mérési módszere a Jupiter holdjainak keringési periódusaiban tapasztalható, ciklikus eltérések mérésén alapult (www.mosaweb.hu)

VI/2. Charles Messier (1730–1817)

Francia csillagász, a párizsi Tengerészeti Obszervatórium munkatársa. Első feladata, a Halley-üstökös 1758-ra előrejelzett visszatérésének megfigyelése látványos kudarccal zárult számára, mivel főnöke hibás utasításait kellett követnie. Ezután egész életét új üstökösök felfedezésének szentelte. Távcsövével rendszeresen átvizsgálta az égboltot, üstökösök után vadászva. Munkájának eredményeként több mint 50 üstököst sikerült megfigyelnie, ebből 15-öt ő maga fedezett fel, amivel jelentősen hozzájárult az üstökösökről való ismeretekhez (1750-ig az emberiség összesen kb. 50 üstököst figyelt meg).

Elismerésül a francia és számos más európai ország Királyi Akadémiájának tagjává választották. Az utókor számára legjelentősebb felfedezései azonban nem az üstökösök, hanem az égi "ködfoltok" voltak, melyeket Messier maga csak "melléktermékeknek" tekintett. Üstökösöket keresve Messier olyan objektumokra bukkant, melyek üstökösszerű, diffúz, ködszerű képet mutattak a távcsőben. Az üstökösöktől csak az különböztette meg őket, hogy nem mozogtak. Ezek pozícióját és egyéb adatait Messier táblázatokba foglalta, azért, hogy biztosan ne tévessze őket össze új üstökösökkel. A híres Messier-katalógusról csak később derült ki, hogy az abban szereplő objektumok újabb rejtélyeket és kihívásokat jelentenek a csillagászok számára.

Messier híres katalógusának első kiadása 1771-ben jelent meg, 45 objektum adataival. Az első kiegészítésre 1780-ban került sor, ekkor 23 új objektummal bővült a lista. A második kiegészítés Messier kollégája, Méchain nevéhez fűződik, ő további 35 új objektumot sorolt fel. Az objektumokat M betűvel és a katalógusbeli sorszámmal azonosítjuk (M1, M2, ..., M110).

A katalógusban szereplő főbb objektumtípusok:

1. nyílthalmazok
2. gömbthalmazok
3. diffúz gázfelhők

4. planetáris ködök
5. galaxisok

1.32. ábra - A 110 Messier-objektum egy képen (H. Frommert és C. Kronberg)

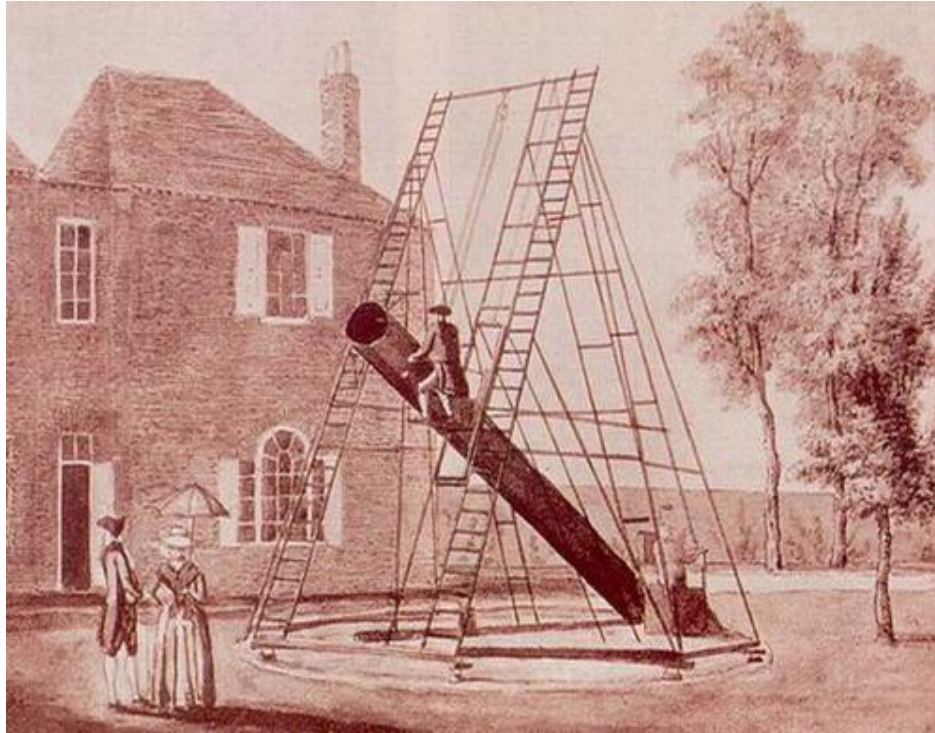


VI/3. William Herschel (1738–1822)

Német származású angol csillagász, az angol Királyi Akadémia tagja. Tehetséges zenészként dolgozott, mikor néhány könyv elolvasása felkeltette a csillagászat iránti érdeklődését. Ezután zenészi pályafutását abbahagyva egyre komolyabban fordult a csillagászat felé.

Kezdetől fogva a távcsövek és távcsöves megfigyelések vonzották. Kísérletezni kezdett minél nagyobb saját távcsövek megalkotásával. Hamar rájött, hogy a Newton-féle tükrös távcsőből sokkal könnyebb nagyméretű műszert készíteni, mint az akkoriban szokásos lencsés távcsövekből. Hosszas próbálkozás után egy 6 méter hosszú, kb. fél méter tükrőátmérőjű, és egy 12 méter hosszú, 1,2 méteres tükrű teleszkópot épített, melyek akkoriban a világ legnagyobb távcsövei voltak. Ezekkel látott neki az égbolt részletes felmérésének, melyben húga, Caroline Herschel (1750–1848), az első női üstökös-felfedező is nagy segítségére volt.

1.33. ábra - W. Herschel 6 méter hosszú, kb. 50 cm átmérőjű óriástávcsöve. 1789-ben egy ennél is nagyobb, 122 cm átmérőjű, 12 m hosszú teleszkópot épített, mely akkoriban a világ legnagyobb távcsövének számított.



Először a Messier-katalógusból ismert objektumokkal foglalkozott. Rájött, hogy számos ezekhez hasonló objektum van az égbolton, kb. 2000 új "ködöt" fedezett fel. Kettőscsillagok megfigyeléseiből kimutatta, hogy a két csillag egymás körül ellipszispályán kering, látványosan igazolva a newtoni mechanika érvényességét a csillagok világában. 1781-ben (szerencsés véletlennek köszönhetően) felfedezett egy új, Szaturnusznál távolabbi bolygót, mely az Uránusz nevet kapta.

Fénytani kísérleteket is folytatott, ennek során rájött, hogy a Nap színekében a hő nagy része a látható szakaszon kívüli infravörös tartományba esik. A Tejút csillagainak felméréséből a csillagok Nap körüli eloszlását kívánta tanulmányozni. Bár hibás feltevésekből indult ki, sikerült kimutatnia, hogy a csillagok nem gömbszimmetrikusan veszik körül a Napot, hanem lapos, korong alakzatot formálnak. Ez az eredmény vezetett később a Tejútrendszer korong alakjának és spirálszerkezetének felismerésére.

Fia, John Herschel (1792–1871) apja munkáját folytatva a déli féltekére (egész pontosan Dél-Afrikába) költözött, és a Jóreménység-fokánál alapított új csillagvizsgálóból a déli égbolt részletes felmérését végezte el.

VII. A modern csillagászat kezdetei

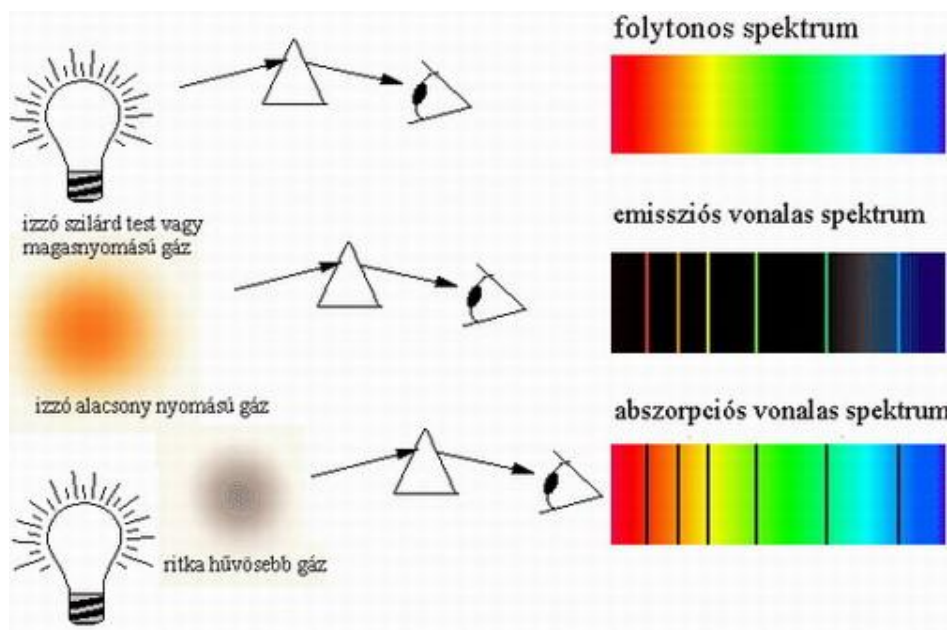
A XIX–XX. században a csillagászat hatalmas fejlődésnek indult. Ennek egyik fő mozgatórugója a fizika volt, amely ekkoriban vezető szerepet vívott ki magának a természettudományok között. A csillagászok az újonnan felfedezett fizikai törvényeket alkalmazták a csillagászati objektumok vizsgálatánál, ezáltal sokkal teljesebb képet kaphattak az égitestek tulajdonságairól.

VII/1. A színeképelemzés és a modern asztrofizika kialakulása

Newton korábbi felfedezését, a napfény színekre bontását, a fizikusok laboratóriumi kísérleteikben sokféle formában alkalmazták és továbbfejlesztették. Joseph Fraunhofer (1787–1826) német optikus 1815-ben észrevette, hogy a Nap színeképe rengeteg keskeny, sötét vonalat tartalmaz. A laboratóriumi gyertyák és különböző anyagok lángjai viszont nem ilyenek, ezeknek a színeképei ugyanis fényes, világító vonalakból állnak.

E felfedezés óriási jelentőségére Gustav Kirchhoff (1827–1887) és Robert Bunsen (1811–1899) német tudósok bukkantak rá, mikor kimutatták, hogy a különböző kémiai elemek színeképvonalai azonos helyen találhatók, mind a lángok, mind a Nap színeképeiben. Ez alapján Kirchhoff és Bunsen számos ismert anyagot (vasat, nátriumot, kalciumot, magnéziumot és tucatnyi más elemet) azonosított a Nap színeképeiben. Lehetővé vált az, amiről sokáig úgy vélték, abszolút lehetetlen: az égitestek anyagi összetételének meghatározása. 1866-ban egy új elemet, a héliumot először a Nap színeképeiben azonosították (a Földön ezt az anyagot addig nem ismerték), később derült csak ki, hogy bolygónkon is fellelhető.

1.34. ábra - Abszorpciós (elnyelési) és emissziós (kisugárzott) színeképvonalak keletkezése



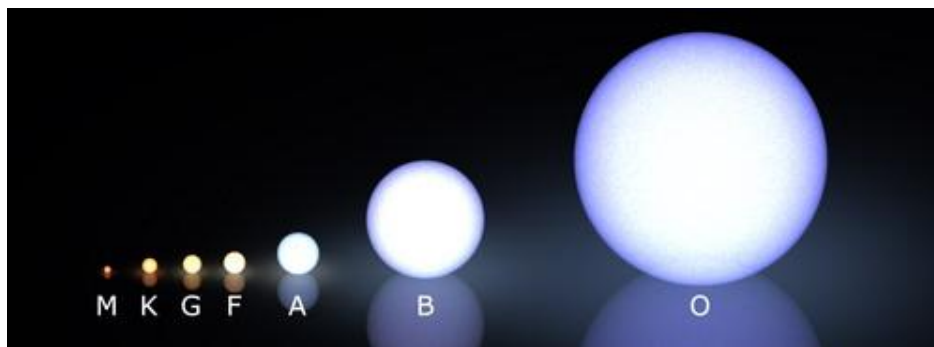
A színeképelemzés hamar utat tört magának a csillagászatban és igen népszerű vizsgálati módszerré vált. Hamar kiderült, hogy a különböző objektumok teljesen eltérő színeképeket mutatnak: a csillagok a Naphoz hasonló színeképűek (színes háttér, sötét, ún. abszorpciós vonalak), a spirálködök úgyszintén, míg a diffúz ködök a lángok színeképeire hasonlítanak (sötét háttér, fényes, ún. emissziós vonalak). Ebből világossá vált, hogy a diffúz ködök nem csillagokból állnak, hanem ritka gáz alkotja őket, mint a laboratóriumi gázlámpákat. Ezen vizsgálatok

fő úttörője az angol William Huggins (1842–1910) volt, de a csillagászati színeképelemzés fejlődésében két híres magyar csillagász, [Konkoly Thege Miklós](#) (1842–1916) és [Gothard Jenő](#) (1857–1909) is fontos szerepet játszott.

Christian Doppler (1803–1853) osztrák fizikus 1842-ben vette észre, hogy a színeképvonalak kismértékben eltolódnak, ha a fényforrás és a megfigyelő egymáshoz képest mozog: közeledés esetén a kék felé, míg távolodás esetén a vörös felé. A Doppler-effektus csillagászati alkalmazhatóságára elsőként Hermann Vogel (1841–1907) német csillagász mutatott rá, aki igen precíz munkával sok csillag Földhöz viszonyított közeledését vagy távolodását mérte ki. Ezzel a módszerrel ugyan csupán a látóirányú mozgást lehet kimutatni, ennek jelentősége azonban óriási, mivel a nagyon távoli, Naprendszeren kívüli égitestek mozgásállapotáról egyébként semmi információnk nem lenne.

A csillagszíneképek csoportosítását, osztályozását az amerikai Harvard Egyetem Obszervatóriumának munkatársai, Edward Pickering (1846–1919) és Annie Cannon (1863–1941) dolgozták ki. 7 fő osztályt (O, B, A, F, G, K, M) és 3 mellékosztályt (R, N, S) határoztak meg a csillag színe, a vonalak száma és erőssége alapján: az O-tól az M felé a csillagok egyre vörösebb színűek és egyre több vonal található a színeképben. Később kiderült, hogy a Harvard-féle színeképosztályok a csillagok felszíni hőmérséklet szerinti csoportosításának felelnek meg. A csillagszíneképek megismerése nagyon fontos lépés volt a csillagfejlődés folyamatának megértésében.

1.35. ábra - A csillagok színeképosztályai összefüggésben vannak az égitestek felszíni hőmérsékletével



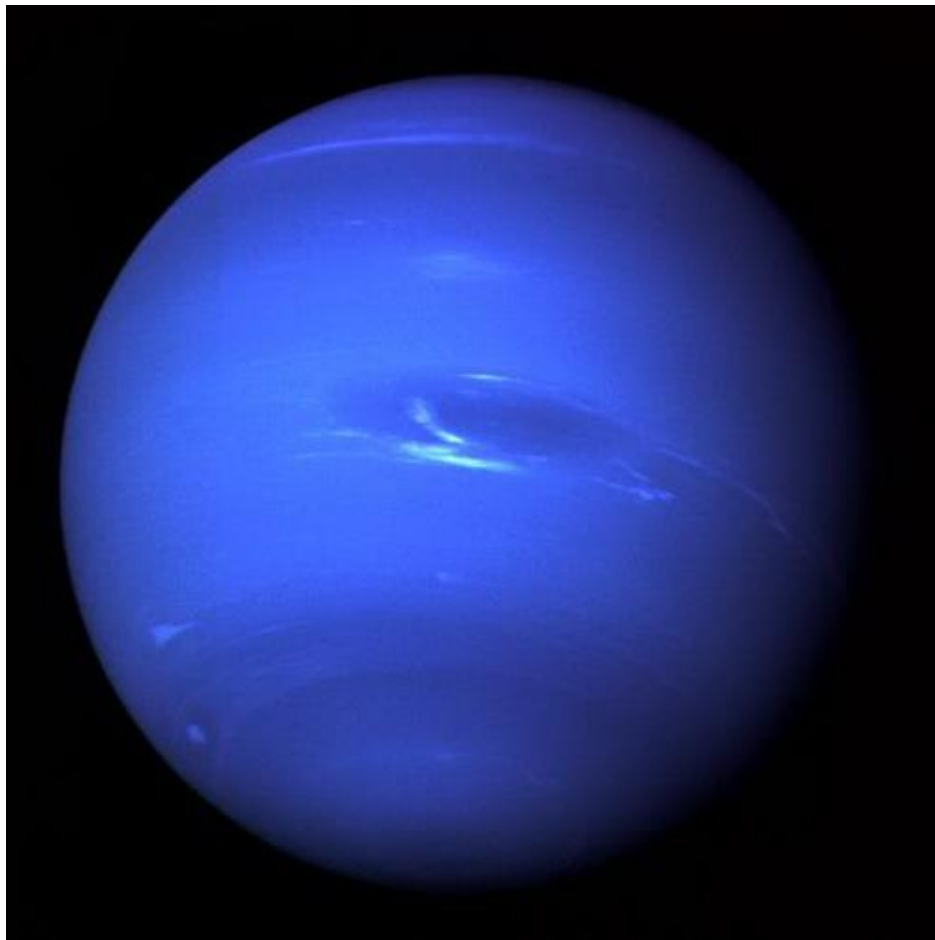
A színeképelemzés mellett a fotográfia elterjedése, ezzel együtt a csillagok fényességmérésének (fotometria) egyre pontosabbá válása is erősítette a csillagászat fejlődését. Utóbbi elsősorban a változócsillagok (az első ismert változó, a Mira fényváltozásait Fabricius már 1596-ban kimutatta) fényességének precíz mérése motiválta. A csillagok fényességének és – a színeképek alapján becsült – hőmérsékletének mérési lehetőségei vezettek a modern asztrofizika megszületéséhez, melynek egyik első lépcsőfoka az Ejnar Hertzsprung (1873–1967) és Henry Norris Russell (1877–1957) által megalkotott Hertzsprung–Russell-diagram volt.

VII/2. Új égitestek a Naprendszerben

A newtoni mechanika, a mozgástörvények, a gravitációs törvény megismerése a csillagászok számára lehetővé tette új, korábban ismeretlen égitestek felfedezését, pályájuk kiszámítását. Az Uránusz felfedezését követő évtizedekben többen próbálkoztak az új bolygó pályájának meghatározásával, de a bolygó rendellenes mozgása miatt ez sokáig nem sikerült. Ezek után világossá vált, hogy az Uránuszon túl, a Naprendszer külső területein további bolygóknak kell lenniük, melyek gravitációja befolyásolja az Uránusz mozgását.

Az angol John C. Adams (1819–1892) és a francia Jean-Joseph Le Verrier (1811–1877) ki is számította az ismeretlen bolygó helyzetét. Eredményeiket azonban sikertelenül próbálták hazájuk csillagászai között elfogadtatni. Az új bolygót végül 1846-ban a német Johann Gottfried Galle (1812–1910) találta meg (Le Verrier számításai alapján), amely a Neptunusz nevet kapta.

1.36. ábra - A Neptunusz a Voyager 2 űrszonda felvételén



Néhány évtizeddel később a történet szinte megismétlődött. A Neptunusz észlelt pályazavarai miatt új bolygó keresésébe fogtak, de sokáig hiába keresték a nyomát. Az egyik legkitartóbb kutató az amerikai Percival Lowell (1855–1916), a Mars-

csatornák megrögzött híve volt, aki tizenhárom évig kereste távcsövével a titokzatos planétát. Végül 1930-ban a szintén amerikai Clyde Tombaugh-nak (1906–1997) sikerült először lefotóznia a Plútó névre keresztelt égitestet, melyet a fotolemezeken való elmozdulások alapján azonosított (a Plútót végül 2006-ban törpebolygóvá minősítették).

A XIX. század elejétől kezdve sikerült egyre többet megtudni a Naprendszer kis égitestjeiről is. A bolygóholdakat és üstökösöket már korábban is ismerték, de 1801-ben Giuseppe Piazzinak (1746–1826) sikerült felfedezni a Mars és a Jupiter között húzódó kisbolygóöv legnagyobb tagját (az azóta szintén törpebolygónak besorolt) Cerest. Ez a felfedezés szintén célzott megfigyelések révén született, mivel a két bolygó közötti tartományba a Titius–Bode-szabály még jóslott egy égitestet. Bolygót ugyan nem, de számos aszteroidát sikerült találni az övezetben.

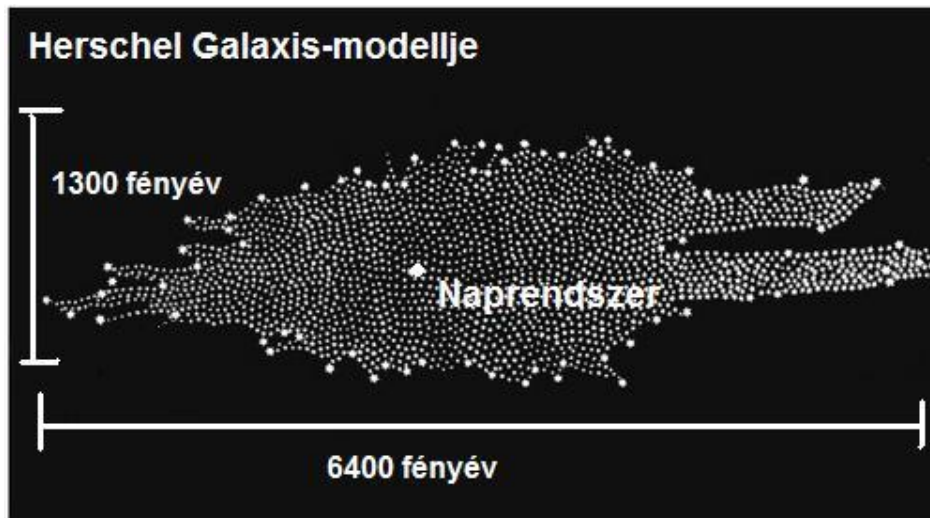
A Neptunuszon túl húzódó, másik kisbolygó-övezet létét az 1930-as és 1940-es években vetette fel F.C. Leonard, K.E. Edgeworth és Gerard Kuiper (1905–1973) – az utóbbi tudós tiszteletére elnevezett Kuiper-övben azóta már több mint ezer objektumot ismerünk (nagy részüket 1992 után fedezték fel), és a becslések szerint ennél is jóval több égitest lehet ott.

A Naprendszer legkülső tartományának számító, becslések szerint több milliárd kisbolygónak és üstökösmagnak helyet adó Oort-felhő létezését a XX. század közepén a holland Jan Oort (1900–1992) és az észti származású Ernst Öpik (1893–1985) vetette fel.

VII/3. A Tejútrendszer felfedezése

William Herschel első felmérését követően egyre többen vizsgálták a Nap és a környező csillagok távolságát, a csillagok Nap körüli elhelyezkedését. Általánosan elfogadottá vált az az elképzelés, hogy a Nap egy hatalmas csillagrendszer, a Tejútrendszer része (annak közepén található). Ennek pontos mérete, kiterjedése azonban sokáig homályban maradt.

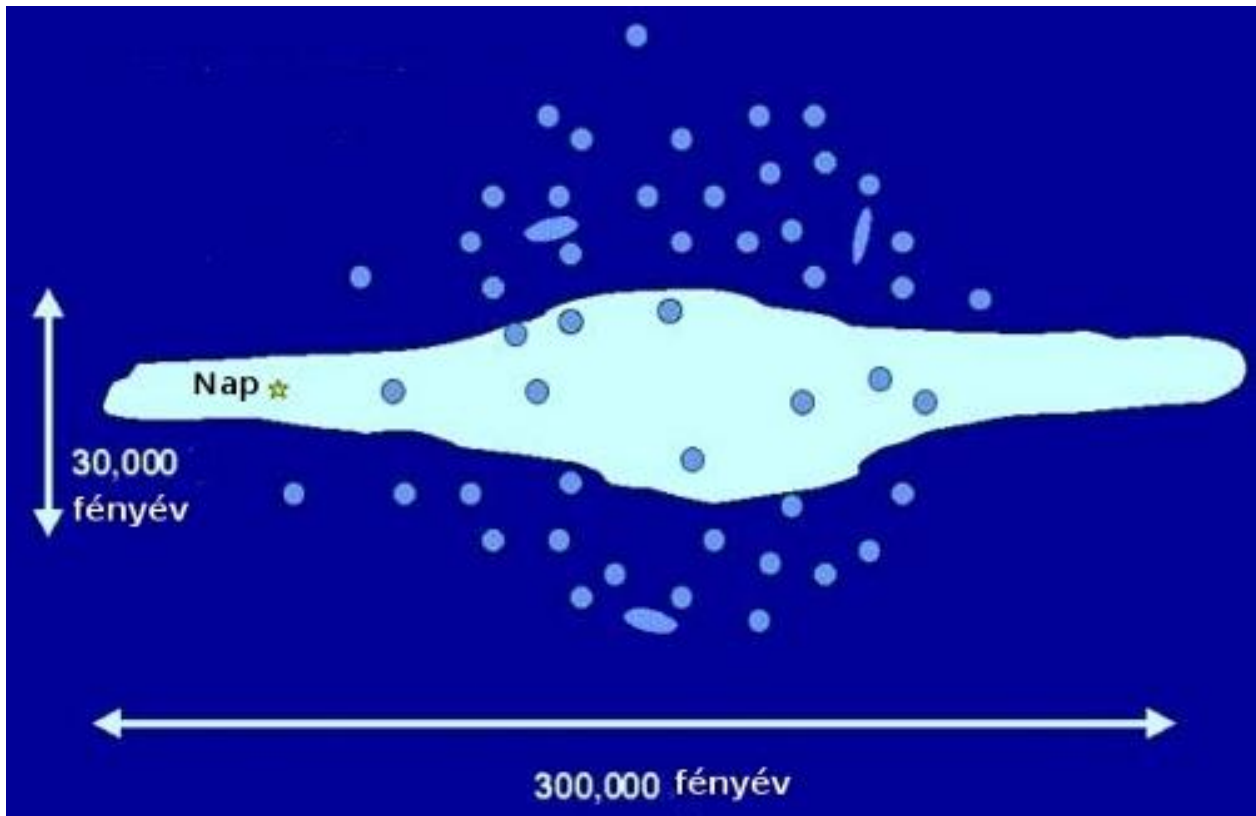
1.37. ábra - W. Herschel elképzelése a Tejútrendszerről



A XX. század elején Jacobus Kapteyn (1851–1922) és Harlow Shapley (1885–1972) kapott először képet a Tejútrendszer valódi méreteiről. Kapteyn klasszikus csillagszámlálási és asztrometriai módszerekkel dolgozott. Számításai szerint a Galaxis Herschel elképzeléseihez hasonló, de átmérője mintegy 55 ezer fényév (ez kb. a fele a pontos értéknek). Felvetette, hogy ha a csillagközi térben gáz van, akkor annak bizonyos mennyiséget el kell nyelnie a csillagok által sugárzott fényből – mivel azonban megfigyelésekből nem tudta bizonyítani ennek létét, a csillagközi teret – hibásan – teljesen átlátszónak gondolta.

Shapley a gömbhalmazok távolságmérésével foglalkozott. Módszere az volt, hogy változócsillagokat keresett a gömbhalmazokban, majd látszó fényességüket és a fényváltozás periódusát megmérve, az akkoriban, Henrietta Leavitt (1868–1921) által felfedezett periódus-fényesség reláció segítségével kiszámította a változócsillagok (ezáltal az azokat tartalmazó halmaz) távolságát. Arra a megdöbbentő felfedezésre jutott, hogy a gömbhalmazok nagyon távoli, 20–30 ezer fényévre lévő objektumok, eloszlásuk pedig olyan, hogy a Tejút sávjában, a Nyilas csillagkép irányába tömörülnek. Shapley (helyesen) ebből arra következtetett, hogy ez a sűrűsödés jelöli ki a Tejútrendszer középpontját. A Nap tehát nem a középpont környékén helyezkedik el (mint azt Herschel és Kapteyn gondolta), hanem attól igen távol.

1.38. ábra - Shapley elképzelése a Tejútrendszeréről. Helyesen gondolta, hogy a Nap messze van a Galaxis középpontjától, viszont a távoli spirálködöket mind a Tejútrendszerhez tartozó csillagszigeteknek vélte, ami hibás következtetésekre vezette.



A fő kérdés az volt, hogy a spirálködök vajon közeli csillagszigetek vagy távoli galaxisok-e, és hogy a válasz alapján ténylegesen mekkora lehet a saját Galaxisunk mérete.

Ebben a kérdésben Kapteyn járt közelebb a valósághoz, mert szerinte a halvány spirálködök többsége a mi Galaxisunkhoz hasonló, távoli csillagváros, míg Shapley szerint minden látható objektum a Tejútrendszer része. 1920-ban került sor a nagy vitára, melyen a két felfogást Shapley ill. Heber Curtis (1872–1942) képviselte.

Shapley szerint a gömbhalmazok távolsága alapján a Tejútrendszer óriási, ráadásul a halmazok forgása is megfigyelhető (ezt a kijelentését téves mérési eredményekre alapozta), tehát nem lehetnek nagyon távoli objektumok. Szintén érvelt az Andromeda-ködben feltűnő új csillaggal (S And, egy 1885-ben felfedezett szupernóva), ami szerinte szintén csak közelről látszhat.

Curtis helyesen érvelt amellet, hogy egy nagyon fényes csillag akár messziről is látszhat, illetve hogy a gömbhalmazok hibás távolságmérése vezetett Shapley eredményeihez, pedig valójában a Tejútrendszer jóval kisebb az általa gondoltnál.

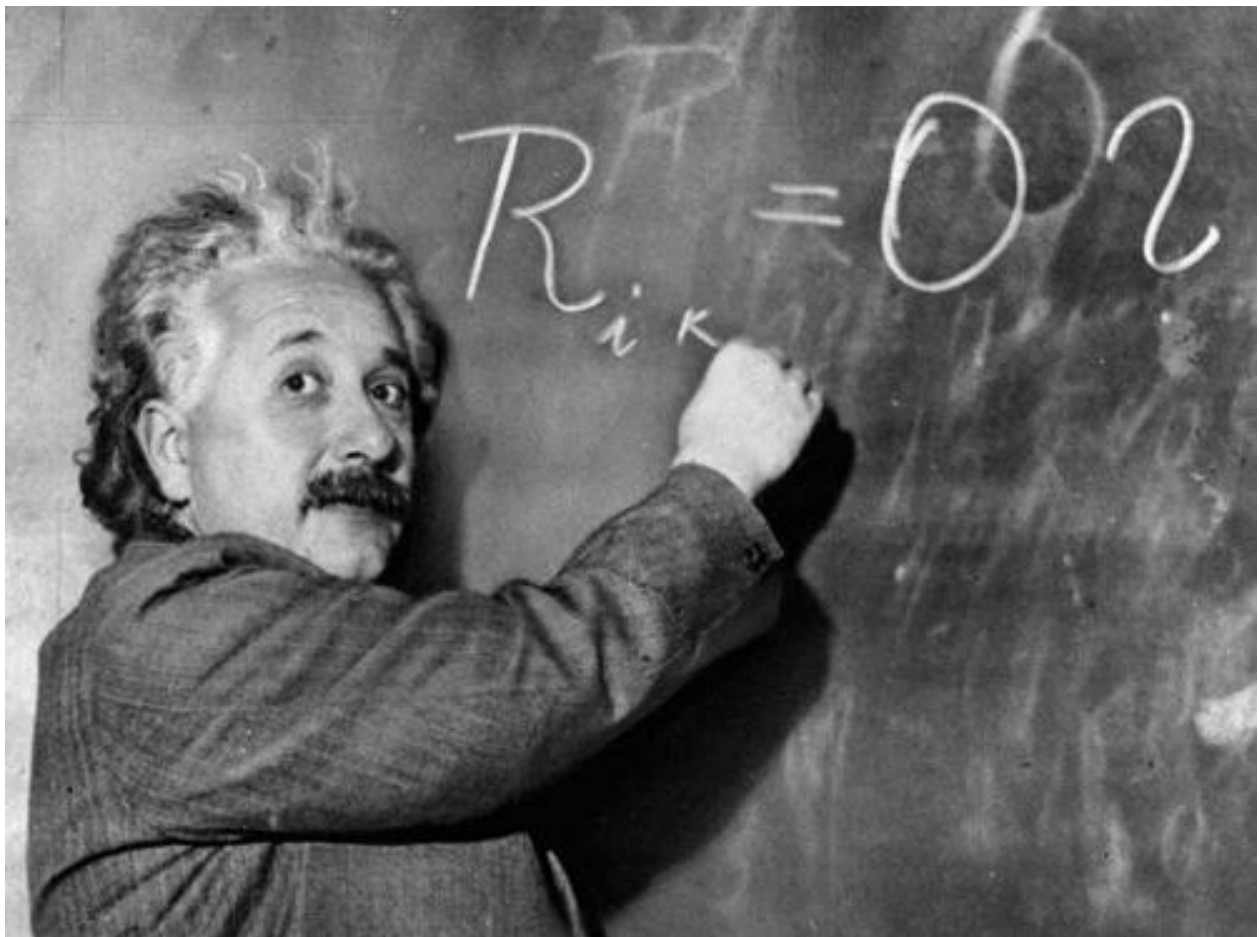
Valódi győztese nem volt a vitának, mindketten kihagyták a számításaikból a csillagközi anyag fényelnyelő hatását – ezt Robert Trumpler (1886–1956) svájci-amerikai csillagász igazolta 1930-ban. A végső dőfést Shapley elméletének Edwin Hubble megfigyelései adták meg.

VIII. A XX. század nagy felfedezései

A XX. században a korábbinál is gyorsabb ütemben folytatódott a tudományos-technikai fejlődés, mely természetesen a csillagászati ismeretek fokozatos bővülését is elősegítette. Ugyanakkor a csillagászatban elért eredmények visszahatottak a rokon tudományágakra is, és indukálták a további előrelépést.

A múlt század első évtizedeiben a fizikában valóságos forradalom zajlott le, mely elsősorban az atomfizika és a sugárzáselméletek összekapcsolását lehetővé tévő kvantumelmélet (Planck, Bohr), az ebből kifejlődő kvantummechanika és kvantumelektrodinamika (Heisenberg, Schrödinger, Dirac, Pauli) ill. az általános relativitáselmélet (Einstein) kialakulásában, valamint az atommagfizikai és részecskefizikai kép fejlődésében (magfúziós folyamatok, ill. részecskecsaládok felfedezése) öltött testet.

1.39. ábra - Albert Einstein



A csillagászat számos területén zajlottak le jelentős változások, melyek közül két témát mutatunk be részletesen:

VIII/1. Az extragalaxisok felfedezése

A XX. század csillagászati felfedezései közül az egyik legjelentősebb a spirálködök rejtélyének megoldása volt. A Messier és Herschel által leírt spirálködök mibenlétéről kétféle hipotézis alakult ki. Egyesek úgy vélték, ezek születőben lévő bolygórendszerek, belsejükben hamarosan új csillag alakul ki (ez a vélemény a Naprendszer kialakulására vonatkozó ún. Laplace-féle ködhipotézisre támaszkodott), míg mások úgy gondolták, a spirálködök távoli csillagszigetek (ők főleg Immanuel Kant filozófiai okfejtésére, az ún. sziget-univerzum hipotézisre hivatkoztak). Olyan szaktekintélyek, mint pl. Harlow Shapley, a bolygórendszer-hipotézist támogatták. A vélemények ütköztetésére 1920-ban rendezték meg a "Nagy Vita" című konferenciát Washingtonban, ahol a vita végülis eldöntetlen maradt.

A rejtély megoldásának kulcsát a neves amerikai csillagász, Edwin Hubble (1889–1953) találta meg, aki a kaliforniai Wilson-hegyen az akkori legjobb csillagászati távcsövekkel dolgozhatott. Hubble speciális fényképezési eljárással csillagokat tudott azonosítani az egyik legismertebb spirálködben, az Androméda-ködben. Ezek között változócsillagokat is talált, és a Shapley-féle módszerrel meghatározta az objektum távolságát. Kiderült, hogy az Androméda-köd sokkal távolabb van, mint bármely gömbhalmaz, vagy akkor ismert égitest, távolsága több millió fényév. Ezzel bebizonyosodott, hogy a spirálködök nagyon távoli, óriási csillagrendszerek – azóta ezeket galaxisoknak nevezzük.

1.40. ábra - E. Hubble a Wilson-hegyi Obszervatórium távcsövével



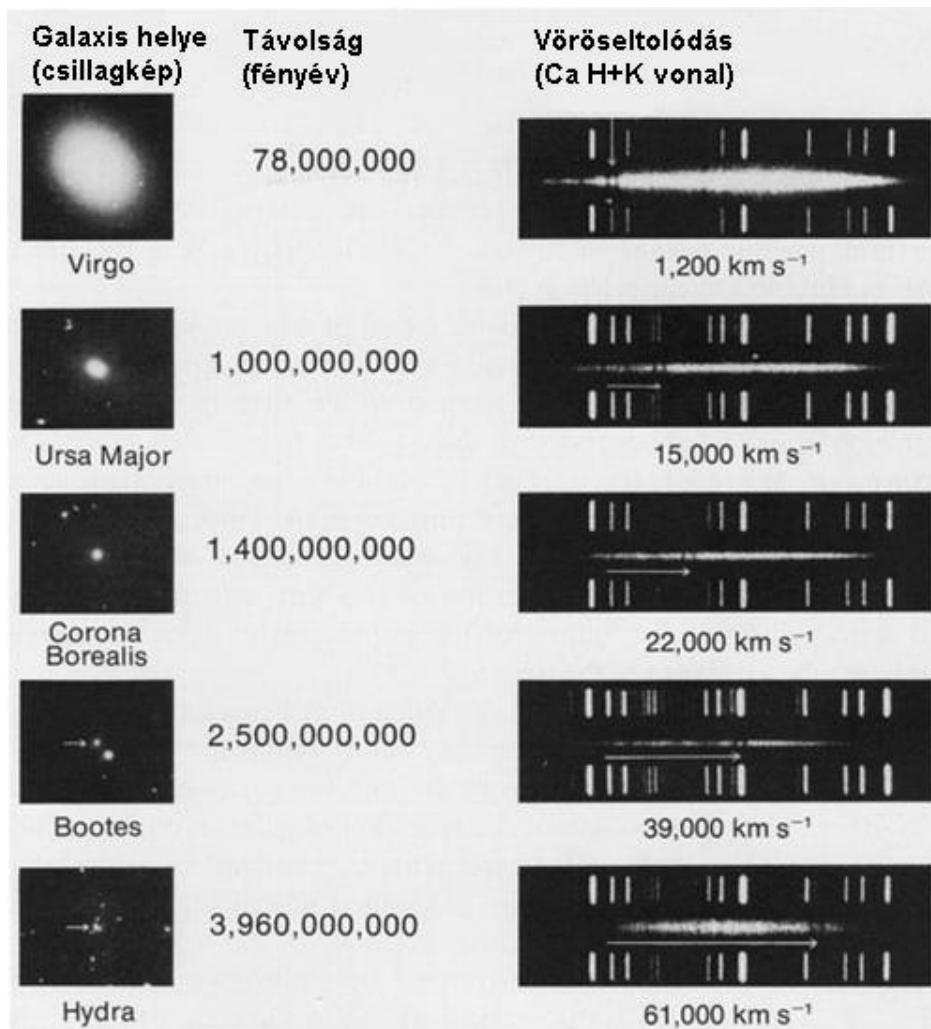
VIII/2. Az Univerzum tágulása

A Világegyetemet kezdetektől fogva végtelennek tartották, és ezt még olyan nagy tudósok sem tudták cáfolni, mint Newton. Wilhelm Olbers (1758–1840) német csillagász vetette fel híres kérdését (Olbers-paradoxon), mely szerint ha végtelen az Univerzum, akkor miért van éjszaka sötét? Ugyanis a newtoni világkép (a tér végtelen, az anyag egyenletesen sűrű) értelmében az égbolt minden irányában, minden pontjában csillagokat kellene látnunk. A paradoxont egy esetleges, a Világegyetemet kitöltő fényelnyelő anyag léte sem oldja fel, mert egy idő után ennek az anyagnak is sugározni kellene. Tehát marad a nem végtelen Univerzum tényének elfogadása – ezt azonban csak a XX. század közepére sikerült egyértelműsíteni.

1929-ben Edwin Hubble újabb szenzációs felfedezést tett: kimutatta, hogy a galaxisok mindegyike vöröseltolódást mutat, azaz a színekében a sötét vonalak a vörös (hosszabb hullámhosszak) felé eltolódtak a laboratóriumi színeképvonalakhoz képest. Ez arra utal, hogy minden galaxis távolodik a Földtől (Doppler-effektus). Hubble azt találta, hogy a távolodási sebesség (v) egyenesen arányos a galaxis távolságával; az arányossági tényező, H az ún. Hubble-állandó (mai értéke kb. 70 km/s/megaparszek). A Hubble-törvény megdöntötte az addig

vélt, ún. nyugvó Univerzum hipotézist, és rávilágított, hogy a Világegyetem nem állandó, hanem tágulóban van.

1.41. ábra - Az E. Hubble által vizsgált galaxisok és kimért látóirányú sebességeik

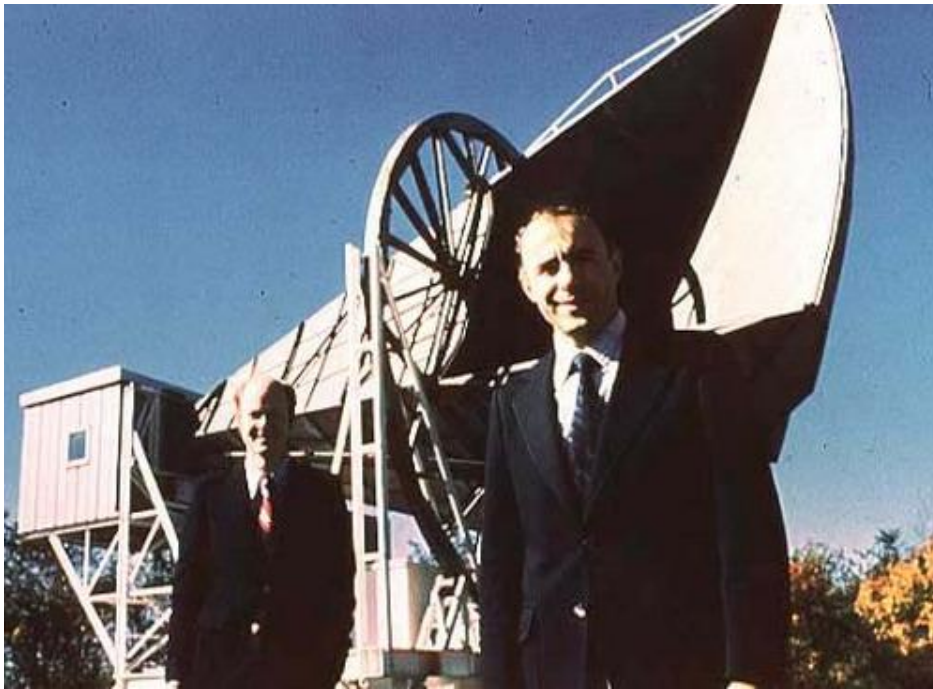


A táguló Világegyetem első megfigyelési bizonyítéka nagy izgalmat keltett az elméleti fizikusok körében. Albert Einstein (1879–1955) általános relativitáselmélete alapján az 1920-as években számos "világmodellt" dolgoztak ki, melyek az Univerzum terének és anyagának struktúráját matematikai formában írják le. Alekszandr Fridman (1888–1925) és Georges Lemaitre (1894–1966) modelljei azt jósolták, hogy az Univerzum nem lehet statikus, hanem tágul, vagy összehúzódik. Ezt pl. maga Einstein sokáig nem tudta elfogadni, de Hubble felfedezése látványosan igazolta a táguló modellek helyességét.

Ebből világossá vált az is, hogy a Világegyetem véges életkorú, hiszen ha tágul, akkor korábban kisebb volt, tehát kellett lennie egy olyan pillanatnak, amikor a mérete végtelenül kicsiny. George Gamow (1904–1968) orosz származású amerikai fizikus szerint ebben a pillanatban történt az Ősrobbanás ("Big Bang", a "Nagy

Bumm"), ezután az Univerzum tágulni kezdett, ami jelenleg is tart. Az Ősrobbanást követő percekben a Világmindenség nagyon sűrű és rendkívül forró volt, ekkor keletkezett a jelenleg megfigyelhető hidrogén és a hélium jelentős része. Gamow megjósolta, hogy a korai, forró Univerzum kitöltő hőmérsékleti sugárzás mára ugyan igen alacsony hőmérsékletűvé hűlt le, de megfigyelhető. Ezt a kozmikus háttérsugárzást találták meg 1965-ben Arno Penzias (1933–) és Robert W. Wilson (1936–) amerikai fizikusok, akik felfedezésükért később fizikai Nobel-díjat kaptak.

1.42. ábra - A. Penzias és R. W. Wilson, háttérben a kozmikus háttérsugárzás felfedezését lehetővé tevő antennával



Az Ősrobbanás és az Univerzum tágulása ma is a csillagászat legizgalmasabb kérdései közé tartozik. A COBE, majd a WMAP űrszondák vizsgálatai alapján sikerült egyre pontosabban feltárni a kozmikus háttérsugárzás jellemzőit – a talált százvezred-milliomod nagyságrendű inhomogenitások vezethettek egykor a ma látható galaxisok és galaxishalmazok kialakulásához.

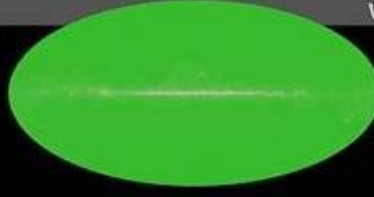
1997-ben a csillagászok távoli szupernóva-robbanásokból arra utaló jeleket találtak, hogy az Univerzum tágulása egyre gyorsuló ütemű. Ez a felfedezés teljesen ellentmondott a korábbi várakozásoknak (melyek mind azt jósolták, hogy a gravitáció fékező hatása miatt a tágulás egyre lassul), s jelenleg csak a rejtélyes sötét energia hipotézis szolgáltat rá megfelelő magyarázatot.

1.43. ábra - A kozmikus háttérsugárzás térbeli intenzitáseloszlása Penzias és Wilson, a COBE műhold, valamint a WMAP űrszonda mérései alapján

1965



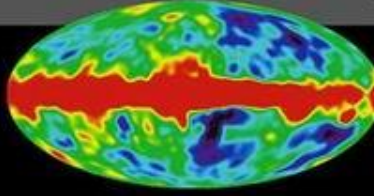
Penzias and Wilson



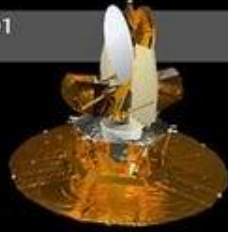
1992



COBE



2001



MAP
(Simulated)

