

Az egyenletes körmozgás

Az ilyen mozgást az jellemzi, hogy a test mindenegyes tömegpontja körpályán mozog. A körök középpontja pedig a forgástengelyen van (pl. óramutatók, kerekek, tárcsák).

Az m tömegpont az r sugarú kör kerületén egyenletesen mozog, ha egyenlő idők alatt egyenlő íveket fut be.

Periódus (periódusidő) – keringési idő – egy teljes kör megtételéhez szükséges idő.

Jele: T

Egysége: $[T] = \text{sec}$

Frekvencia (fordulatszám) – egy időegységre (1 sec-ra) eső fordulatok száma.

Jele: f

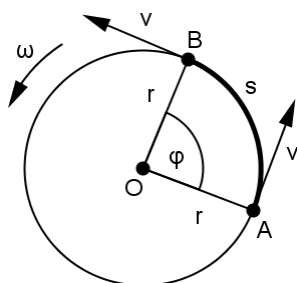
Egysége: $[f] = \text{sec}^{-1} = \frac{1}{\text{sec}} = \text{Hz}$ [Hertz]

Hertz – 19.- 20. század, német fizikus

Ezek szerint: $T = \frac{1}{f}$ $f = \frac{1}{T}$

Az egyik a másik reciproka.

(egymással fordítottan arányosak)



O – a kör középpontja

r – a kör sugara

s – a befutott körív

v – kerületi sebesség

φ – szögelfordulás

ω – szögsebesség

A kerületi sebesség

Induljunk ki a sebesség definíciójából: $v = \frac{s}{t}$

A mi esetünkben, egy teljes körnél a befutott út a kör kerülete, az idő pedig a periódusidő.

$$\left. \begin{array}{l} s = 2\pi r \\ t = T \\ f = \frac{1}{T} \end{array} \right\} \left\{ v = \frac{2\pi r}{T}; \quad v = 2\pi r f \right.$$

A kerületi sebesség nagysága egyenesen arányos a kör sugarával.

(gondoljunk egy hanglemezre, miszerint a távolabbi pontok gyorsabban, a tengelyhez közelebbi pontok lassabban forognak)

A kerületi sebesség vektormennyiség, iránya bármelyik pillanatban egybeesik a kör egy adott pontjához húzott érintő irányával (érintőirányú).

A szögsebesség

A szögsebesség nem más, mint időegység alatti szögelfordulás.

Jele: ω

$$\boxed{\omega = \frac{\varphi}{t}} \quad \left(\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \right) \quad \text{A szögsebesség egyenesen arányos a szögelfordulással és fordítva az eltelt idővel.}$$

$$\text{Egysége: } [\omega] = \frac{[\varphi]}{[t]} = \frac{1}{\text{sec}} = \text{sec}^{-1} = \text{Hz}$$

A szögsebességet a kinematikában nem kezeljük vektormennyiségként.

Egyenletes körmozgás esetén a szögsebesség mindig állandó (vagyis ilyenkor a szögelfordulás egyenesen arányos az eltelt idővel).

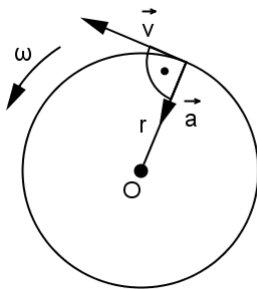
A szögsebesség: $\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}}$ $\boxed{\omega = 2\pi f}$

Összefüggés az egyenletes körmozgás kerületi sebessége és szögsebessége között:

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r f \\ \omega &= \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \end{aligned} \right\} \boxed{v = r \cdot \omega}$$

A centripetális gyorsulás

Az egyenletes körmozgás gyorsulása mindig a forgásközéppont felé mutat.



Az ilyen gyorsulást **centripetális gyorsulás**nak nevezzük.

A **centripetális gyorsulás** vektora merőleges a kerületi sebesség vektorára.

Elmondhatjuk, hogy az egyenletes körmozgást végző test (tömegpont) „befelé gyorsul”.

Érvényes:

$$\boxed{a_{cp} = v \cdot \omega}$$

$$\boxed{a_{cp} = 2\pi f v}$$

Ismerve a $v = r \cdot \omega$ összefüggést:

$$\boxed{a_{cp} = r \cdot \omega^2}$$

$$\boxed{a_{cp} = \frac{v^2}{r}}$$

Felhasználva az $\omega = 2\pi f$ összefüggést:

$$\boxed{a_{cp} = 4\pi^2 f^2 r}$$

A rezgőmozgás

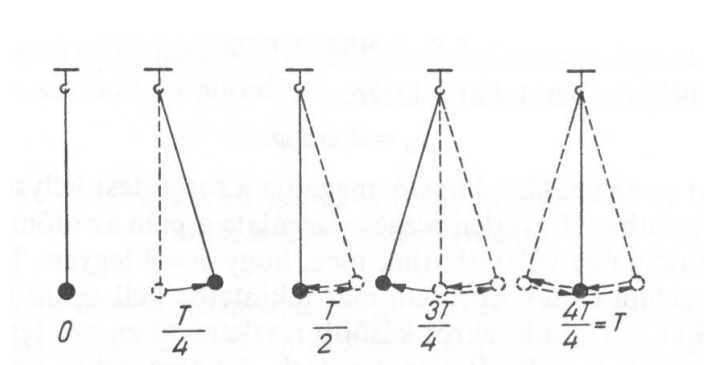
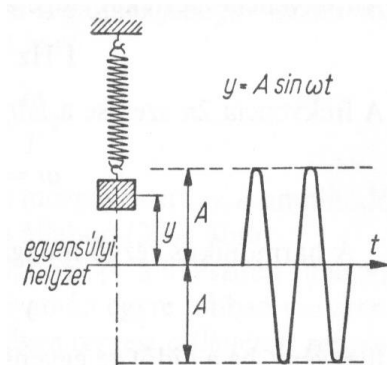
Rezgésnek nevezünk általánosan minden olyan fizikai jelenséget, amely az időben szakaszosan (periodikusan) ismétlődik.

Rezgéseket végez pl. a spirális rugó végére akasztott test, az inga, a húr, de periodikus lefolyású a váltóáram is.

A mechanikai rezgések

A rezgések legegyszerűbb fajtája a **harmonikus rezgés**.

Az jellemzi, hogy **a kitérés az időnek a szinusz függvénye – a mozgás grafikonja egy szinuszgörbe.**



Amplitúdó – a rezgő testnek az egyensúlyi helyzettől mért legnagyobb kitérése (maximális kitérés)

Jele: **A** **[A] = m**

Pillanatnyi kitérés egy tetszőleges időpillanatban mért kitérés

Jele: **y** **[y] = m**

Periódusidő (rezgésidő) egy teljes rezgés megtételéhez szükséges idő

Jele: **T** **[T] = sec**

Frekvencia (rezgésszám) egy szekundum alatti rezgések száma

Jele: **f** **[f] = sec⁻¹ = Hz (Hertz)**

Hasonlóképpen, mint a körmozgásnál:

$$\boxed{T = \frac{1}{f}}$$

$$\boxed{f = \frac{1}{T}}$$

ill. a frekvencia 2π -szerese a **körfrekvencia**: $\boxed{\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}}$

$$[\omega] = [f] = \text{sec}^{-1} = \text{Hz}$$

Az olyan berendezést, amely szabadon (külső hatás nélkül) rezeg, oszcillátornak nevezzük.

Az oszcillátor lehet mechanikai vagy elektromágneses.

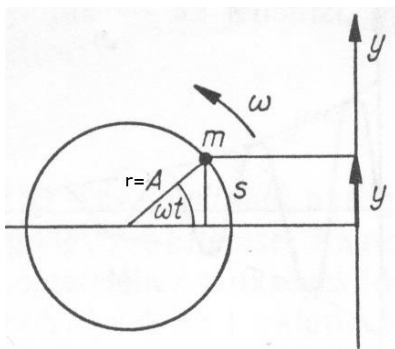
A rezgőmozgás kinematikája

A képletek levezetéséhez szükséges, egyenletes körmozgásra vonatkozó összefüggések:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \Rightarrow \varphi = \omega t; \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad - \text{szögsebesség (körfrekvencia)}$$

$$v = 2\pi r f = \frac{2\pi r}{T}; \quad v = r\omega \quad - \text{kerületi sebesség}$$

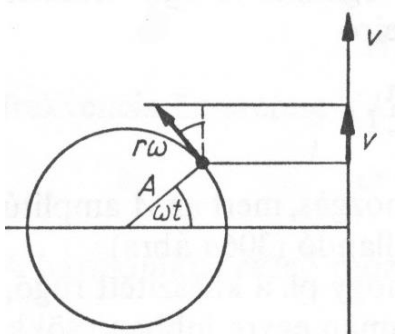
$$a_{cp} = r\omega^2 \quad - \text{centripetális gyorsulás}$$



$$\sin \omega t = \frac{y}{r} \Rightarrow y = r \sin \omega t$$

$$\boxed{y = A \sin \omega t}$$

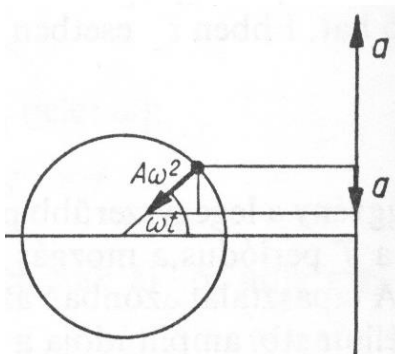
A vetületi kitérés (a harmonikus rezgőmozgás pillanatnyi kitérése) az idő szinuszfüggvénye.



$$\cos \omega t = \frac{v_y}{r\omega} \Rightarrow v_y = r\omega \cos \omega t$$

$$\boxed{v = A\omega \cos \omega t}$$

A vetületi sebesség az idő koszinusfüggvénye.



$$\sin \omega t = \frac{a_y}{r\omega^2} \Rightarrow a_y = -r\omega^2 \sin \omega t$$

$$\boxed{a = -A\omega^2 \sin \omega t}$$

A vetületi gyorsulás az idő szinuszfüggvénye.

A pillanatnyi kitérésből ($y = A \sin \omega t$) következik, hogy:

$$\boxed{a = -\omega^2 y}$$

A – jel azt fejezi ki, hogy a pillanatnyi kitérés ellentétes irányú a gyorsulással.

Az egyenletes körmozgás vetülete harmonikus rezgőmozgás.

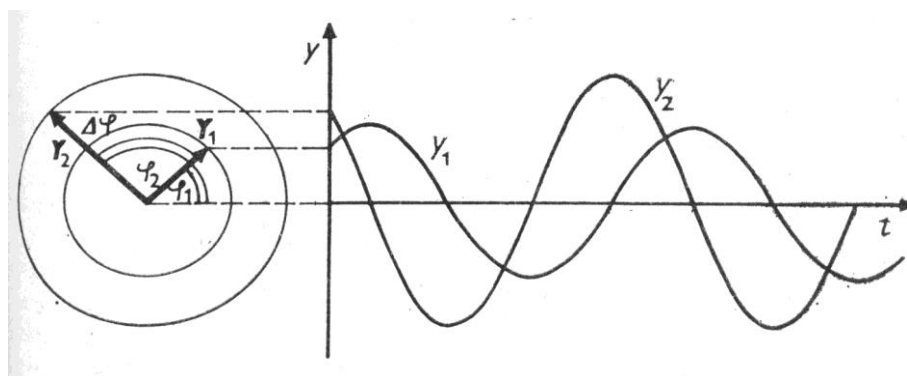
A rezgés fázisa

A harmonikus rezgőmozgás kitérését csak akkor adja meg az $y = A \sin \omega t$ függvény, ha az időt az egyensúlyi helyzettől számítjuk.

Amennyiben tetszőleges helyzettől mérjük az időt, akkor a pillanatnyi kitérés:

$$y = A \sin(\omega t + \varphi) \quad \text{ahol } \varphi - \text{fázisszög (fázisállandó)}$$

Vektordiagram – a rezgőmozgás ábrázolása, amely az egyenletes körmozgásból indul ki:



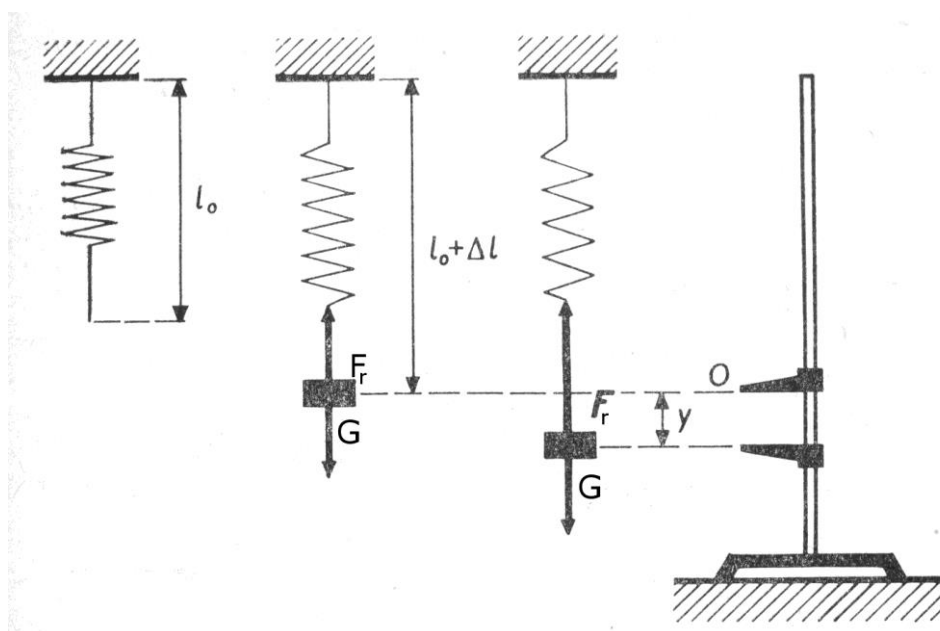
$$y_1 = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1)$$

$$y_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2)$$

A rezgőmozgás dinamikája

A rezgést létrehozó erő:

$$F_{cp} = ma_{cp} = -m\omega^2 y$$



Az ábrából kiderül, hogy a megnyúlást előidéző erő:

$$G = mg \quad - \text{ a felfüggesztett test súlya}$$

Az ezzel szemben fellépő ellenerő az ún. **rugalmassági erő**:

$$\boxed{F_r = k \cdot \Delta l} \quad \text{ ahol } k - \text{ a rugóállandó}$$

A középső ábrából:

$$\begin{aligned} G &= F_r \\ mg &= k\Delta l \\ mg - k\Delta l &= 0 \end{aligned}$$

A rezgő test pillanatnyi kitérése esetén a „mozgatóerő”: $\boxed{\vec{F} = \vec{G} + \vec{F}_r}$

Figyelembe véve az irányokat: $F = G - F_r$

Ezek után a jobb szélső rugós ábrából: $F = mg - k(\Delta l + y) = \underbrace{mg - k\Delta l}_0 - ky = -ky$

$\boxed{\mathbf{F} = -\mathbf{k} \cdot \mathbf{y}}$ **A test harmonikus rezgőmozgását olyan erő okozza, amely mindig az egyensúlyi helyzet felé irányul, nagysága pedig egyenesen arányos a kitéréssel.**

Gondoljunk a körmozgásnál a centripetális erő irányára, amely mindig a kör középpontja felé mutat, szintén az egyensúlyi helyzet felé mutat.

A rezgés periódusidejére és frekvenciájára vonatkozó összefüggések:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad F_{cp} = -m\omega^2 y \quad F = -ky$$

$$F_{cp} = F$$

$$-m\omega^2 y = -ky$$

$$k = m\omega^2$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Tehát:

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\boxed{T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}}$$

A mechanikai oszcillátor rezgéseinek periódusideje egyenesen arányos a tömeg gyökével és fordítva a rugóállandó gyökével.

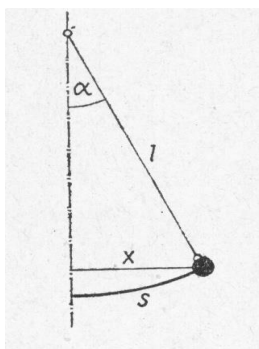
Ismerve a $T = \frac{1}{f}$ összefüggést: $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$

A rezgőmozgás energiája

$E = \frac{1}{2} k A^2$ A rezgőmozgás (össz)energiája egyenesen arányos a rugóállandóval és az amplitúdó négyzetével (mechanikai oszcillátorra vonatkozik).

A matematikai inga

Elhanyagolhatóan kis tömegű fonálra függesztett m tömegű testet matematikai ingának (fonálingának) nevezünk.



A fonálinga periódusidejére (lengésidejére) érvényes:

$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ A matematikai inga lengésideje nem függ a test tömegétől, csak a fonál hosszától és a nehézségi gyorsulástól.

Szintén érvényes: $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$

Kényszerrezgés, rezonancia

Ha a rezgőmozgást egyetlen erőhatás (lökés, kitérítés) indította el, a rendszer **szabad vagy saját rezgést** végez.

Ha a rendszerre ezen kívül még egy periodikusan ismétlődő erő is hat, **kényszerrezgésről** beszélünk. Az ilyen rezgés létrehozását **gerjesztésnek** nevezzük.

A kényszerrezgést végző rendszer frekvenciáját csak a gerjesztő periodikus erő frekvenciája (f) határozza meg.

Ha a gerjesztő rezgés frekvenciája (f) megegyezik az önfrekvenciával (f_0) (saját frekvenciával), rezonanciáról beszélünk. $f = f_0$

Felhasználhatóság:

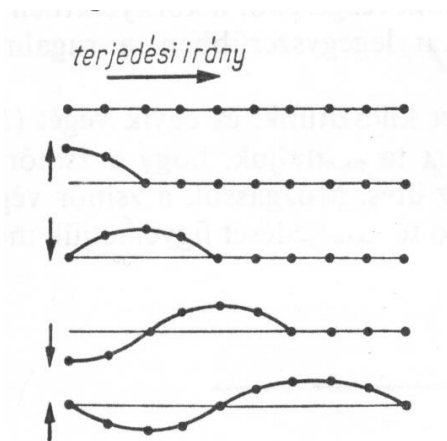
Forgó gépalkatrészek – figyelni kell a kritikus fordulatszámra – rezonanciakatasztrófa
Hangszer – hangerősítés

Hullámtan

A mechanikai hullámok

Ha rezgőmozgáskor figyelembe vesszük, hogy a test egy pontjára ható erő a szomszédos tömegpontokra is hatást gyakorol, akkor már **hullámról** beszélünk.

Transzverzális (keresztirányú) hullámok

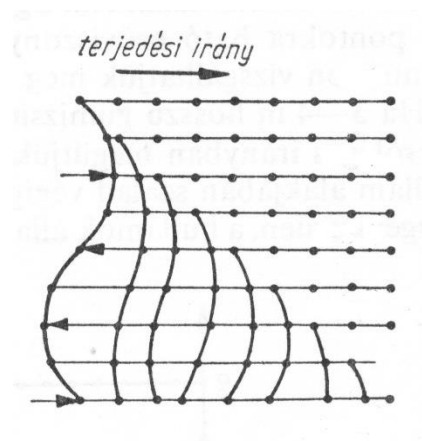


A részecskék rezgésének iránya merőleges a terjedési irányra.

pl.: vízbe dobott kő által keltett hullámok, gitárhúr, a fény terjedése, ...

(hullámhegyek – hullámvölgyek)

Longitudinális (hosszmenti) hullámok



A részecskék rezgésének iránya megegyezik a terjedési iránnyal.

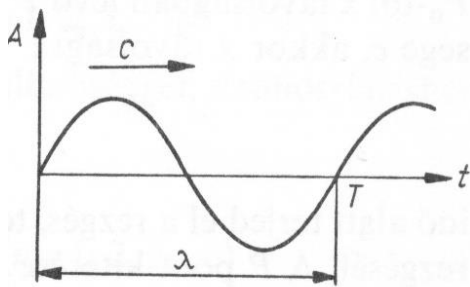
pl.: a megnyújtott rugó mozgása, a hang terjedése, a fúvós hangszerek, ...

(sűrűsödések – ritkulások)

A részecskék eredeti egyensúlyi helyzetük körül végeznek rezgőmozgást és csak a rezgési állapot halad végig a pontsoron.

A hullámhossz

Mindkét fajta hullámban vannak olyan pontok, melyeknek mozgási állapota irány és nagyság szerint megegyezik.



λ – (lambda) – hullámhossz; $[\lambda] = m$
 c – terjedési sebesség; $[c] = \frac{m}{sec}$

T – periódusidő; (1 hullámhossz megtételéhez szükséges idő) $[T] = sec$
 f – frekvencia; (1 sec – ra eső hullámhosszak száma) $[f] = sec^{-1} = Hz$

Az egyenesvonalú egyenletes mozgásból kiindulva: ($v = \frac{s}{t} \Rightarrow s = v \cdot t$)

$\boxed{\lambda = c \cdot T}$; $\boxed{\lambda = \frac{c}{f}}$ A hullámhossz és a frekvencia egymással fordítva arányosak.

A hullámegyenlet

$\boxed{y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)}$ A haladó hullám időben és térben periodikus.
 T – időbeli periódus ; λ – térbeli periódus

Ahol:

y – egy tetszőleges részecske pillanatnyi kitérése $[y] = m$

A – amplitúdó (maximális kitérés) $[A] = m$

$\sin$ – szögfüggvény (a harmonikus rezgésre utal)

2π - pusztán szám (egy teljes körre – rezgésre utal)

t ; x – t időben a hullám (egy tetszőleges részecske) x távolságra van a kezdőponttól
 $[t] = sec$; $[x] = m$

T – periódusidő $[T] = sec$

λ – hullámhossz; $[\lambda] = m$

A hangtan – akusztika

Hangnak nevezzük egy rezgő testnek (**hangforrás**) rugalmas közegben (**hangtér**) terjedő rezgéseit és hullámait, ha azok a **hallószervben hangérzetet** keltenek.

Fizikai szempontból a **hangforrás rezgéseinek energiája a levegőben** (vagy más légnemű, ill. cseppfolyós közegben) **longitudinális hullámokat** létesít.

A **hanghullámok terjedéséhez rugalmas hangvezető közeg szükséges (pl. levegő).**

A rugalmatlan, laza szerkezetű anyagok (függöny, fa, posztó...) rossz hangvezetők – **hangszigetelők**.

Légüres térben nem terjed a hang (nincsenek részecskék, amelyek átadnák egymásnak az energiát).

Mérések szerint **a hang terjedési sebessége** 15°C -os száraz levegőben:

$$c \doteq 340 \text{ m/sec} \doteq 1224 \text{ km/h}$$

A hang terjedési sebessége függ a hőmérséklettől, a páratartalomtól, a nyomástól azonban gyakorlatilag független.

Vízben: 1450 m/sec ; vasban: 5000 m/sec (5 k m/sec)

A visszhang – hangvisszaverődés

A hang az új közeg határfelületéről visszaverődik.

Kis szobában pl. a halk hangot is halljuk, nagyobb termekben viszont az eredeti hanghoz képest a visszavert hang már később érkezik a fülünkhöz.

A nagyobb távolságból visszaverődő hangot az eredeti hangtól külön halljuk – ez a **visszhang**.

Fülünk két hangot akkor érzékel külön, ha köztük legalább 0,1 sec időkülönbség van. Vagyis **a visszhang** (kb. egy szótag) **létrejöttének távolságbeli feltétele 17 m:**

$$\left. \begin{array}{l} t = 0,1 \text{ sec} \\ v = 340 \text{ m/sec} \end{array} \right\} s = vt \quad s = (340 \cdot 0,1) \text{ m} = 34 \text{ m}$$

Oda-vissza útról lévén szó: $s = \left(\frac{34}{2}\right) \text{ m} = 17 \text{ m}$.

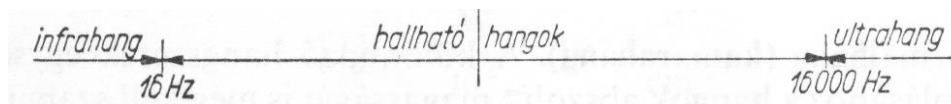
Felhasználhatóság:

Nagy méretű termekben, színházakban létrejövő visszhang zavaró hatását díszítésekkel, oszlopokkal, függönyökkel csökkentik. Ezek vagy elnyelik (pl. függöny), vagy szétszórják (pl. faborítás) a hangot.

A hangmagasság

A hang abszolút magasságát az 1 sec alatti rezgések száma határozza meg.

Az emberi fül a hangforrásnak nem minden rezgését érzékeli:



A zenében használatos hangok tartománya: 32Hz – 6000 Hz

Az emberi beszédhangé: 80 Hz – 1300 Hz

Ultrahang: orvosi berendezések, defektoszkópia (fémek szilárdságának vizsgálata)

Az állatvilágban: kutyák (sípok), denevér, patkányok, ...

Infrahang: tengerek mélységének vizsgálata ill. viharok előrejelzése.
Az állatvilágban: egyes delfinek, cetek, ...

Nemzetközi megegyezéssel alaphangnak választották az $f_{a_1} = 440 \text{ Hz}$ rezgésszámú hangot. Ezt normál a vagy kamara a hangnak is nevezik.

A hangintenzitás és a hangosság

A fizikai inger erősségét hangintenzitásnak, a hangérzet erősségét hangosságnak nevezzük.

A hangintenzitás egységét W/m^2 -ben mérik.

Mérések szerint a hallásküszöb $I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$ (ill. a teljesítmény $P_0 = 10^{-12} W$).

A hangosság mértékegységét decibelekben mérjük.

Jele: dB ; Bell – 19-20. sz., skót, feltaláló

hallásküszöb – 0 dB ; óráketyegés – 5 dB – 10 dB ; motorbicikli – 100 dB ;
fájdalomküszöb – 130 dB.

A hangszínezet

A megpendített húr hangja az alaphangnak megfelelő rezgésen kívül még számos rezgés eredője. Ezeket a rezgéseket az alaphang felhangjainak nevezzük.

A felhangok rezgésszáma az alaphang rezgésszámának egész számú többszöröse:

$$f = n \cdot f_0 \quad (n \in \mathbb{N})$$

A hang színezetét az alaphanghoz keveredő felhangok száma és viszonylagos erőssége határozza meg.

pl. az orgona hangjában több a felhang, mint a hegedűében, ezért más a hangszínezete. A két hangszer hangjai között fülünk ezért tud különbséget tenni.

A Doppler jelenség

Doppler – 19. sz., osztrák fizikus

A nagy sebességgel közeledő vonat sípjának, vagy a szirénázó autónak a hangját magasabbnak, a távolodóét pedig mélyebbnek halljuk.

Magyarázat: A hangforrás közeledésével 1 sec alatt több rezgés érkezik a fülünkhöz, ill. fordítva.

$$f = f_0 \frac{c \pm m}{c \pm v}$$

Ahol:

f – az általunk érzékelt hang frekvenciája (magassága) ; $[f] = \text{Hz}$

f_0 – a hangforrás által kiadott hang frekvenciája ; $[f] = \text{Hz}$

c – a hang terjedési sebessége ; $[c] = \text{m/sec}$

m – a megfigyelő mozgási sebessége ; $[m] = \text{m/sec}$

v – a hangforrás mozgási sebessége ; $[v] = \text{m/sec}$

a mínusz jel a közeledésre vonatkozik (kisebb szám lesz a nevezőben → kisebb számmal osztunk)

a plusz jel a távolodásra vonatkozik (nagyobb szám lesz a nevezőben → nagyobb számmal osztunk)

Ez a Doppler-féle jelenség, nemcsak a hangra, hanem bármilyen hullámra érvényes!

A hangtani rezonancia

Helyezzünk egymás mellé két, egyenlő rezgésszámú hangvillát!

Ha az egyiket megszólaltatjuk, akkor a másik is rezgésbe jön.

A két hangforrás között a kapcsolatot a levegőben terjedő hullámok létesítik – csatolt rezgések (a levegő részecskéi biztosítják a csatolást).

A hegedű, zongora, ... hangját a hangszertest szekrénye rezonancia által fel is erősíti.

A hangtani rezonancia sok esetben káros is lehet – amikor zavaró módon kiemelkedik egy hang (ezért szokták pl. a koncerttermekben lezárni a zongorát, amikor más hangszeren játszanak).

A hangtanban megfigyelhető a lebegés, amikor két közel azonos hangmagasságú hang adódik össze.

Hangszerek

Fizikai szempontból háromféle hangszert különböztetünk meg:

1. **húros hangszerek** (hegedű, zongora, hárfa, citera, cimbalom, ...)
2. **fúvós hangszerek** (síp, furulya, szaxofon, trombita, orgona, ...)
3. **ütős hangszerek** (dob, cintányér, triangel, xilofon, marimba, ...)

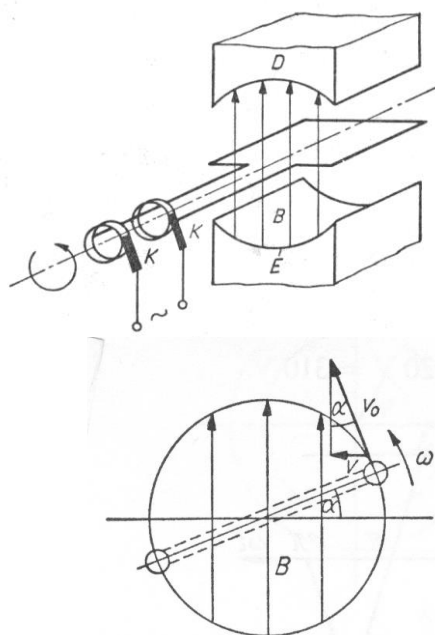
A húros hangszerekben a kifeszített húrokat transzverzális rezgésbe hozzuk.

A fúvós hangszerekben a befújt levegő a zárt levegőoszlopot longitudinálisan hozza rezgésbe.

Az ütős hangszerekben pálcák, fémlemezok kifeszített hártyán végeznek transzverzális rezgéseket.

A váltakozóáram (váltóáram)

A váltóáram keletkezése



Homogén mágneses térben forgassunk egyenletesen egy vezetőkeretet. A keret végeihez kapcsolt csúszógyűrűkről periodikusan váltakozó irányú és nagyságú feszültség, ill. áram vezethető le.

Neumann törvénye szerint az indukált feszültség: $U = Blv$

Ahol: l – a keret hosszabbik éle
 v – az indukcióvonalakra merőleges sebesség

A bejelölt háromszögből:

$$\sin \alpha = \frac{v}{v_0} \Rightarrow v = v_0 \sin \alpha$$

A forgó keret szélső pontjainak körmozgását figyelve: $\omega = \frac{\alpha}{t} \Rightarrow \alpha = \omega t$

$$v = v_0 \sin \omega t$$

Tehát az indukált feszültség értéke: $U = Blv_0 \sin \omega t$

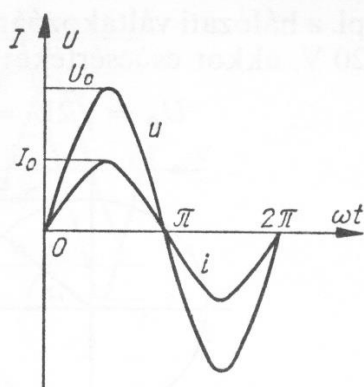
Váltóáramnál az indukált feszültség (pillanatnyi feszültség):

jele: u , tehát: $u = Blv_0 \sin \omega t$

$u = U_0 \sin \omega t$ Az indukált feszültség (pillanatnyi feszültség) az idő szinuszfüggvénye.

$U_0, (I_0)$ – maximális feszültség (áramerősség)

Ohm törvénye szerint: $(U=RI) \quad U \Rightarrow I ; \quad u \Rightarrow i$



$u = U_0 \sin \omega t$ Homogén mágneses térben, egyenletesen forgó vezetőben az indukált feszültség, ill. áramerősség a szögelfordulás szinuszával egyenesen arányos.

$$**$i = I_0 \sin \omega t$**$$

(Emlékezzünk vissza a harmonikus rezgés pillanatnyi kitérésére: $y = A \sin \omega t$)

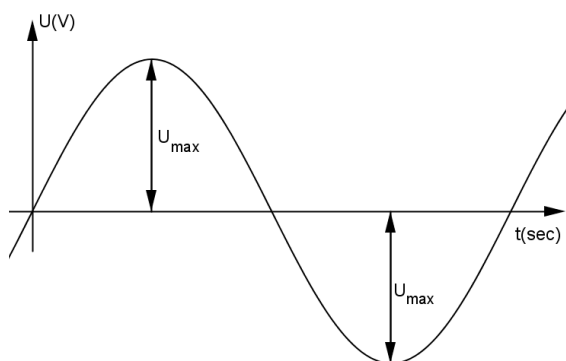
A váltóáram alapfogalmai

A váltóáram feszültségének, ill. áramerősségének egy teljes változását a periódusidő (T), az egy szekundumra eső változások számát pedig a frekvencia (f) határozza meg.

Mint az egyenletes körmozgásnál: $T = \frac{1}{f}$

ill. a körfrekvencia: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$; $[\omega] = [f] = \text{sec}^{-1} = \text{Hz}$

A váltóáram frekvenciája nálunk és általában Európában 50 Hz.



Vagyis a szinusz görbe 50-szer fordul körbe másodpercenként, ami 100 maximumot eredményez.

A váltóáramú műszerek az áram, ill. a feszültség **effektív értékét** mérik. Számolni majd ezzel kell!!!

Mérések és számítások szerint: $U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$; $I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$

$U_0, (I_0)$ – maximális feszültség (áramerősség)

U, I – effektív értékek

A jelölések: ~ - váltóáram (AC)

= - egyenáram (DC)

Ha a hálózati váltóáram feszültségének effektív értéke $U = 230V$, akkor a maximális feszültségérték $U_0 = (\sqrt{2} \cdot 230)V = 325V$.

A váltóáram hatásai:

1. A váltóáram **hőhatása** az egyenáraméval megegyező (gondoljunk pl. a vezetékek felmelegedésére!).
2. A váltóáram az elektrolitokban **vegyi átalakulást** nem okoz, mert a pólusok gyors feszültségváltozásait az ionok nem tudják követni.
3. A váltóáram **mágneses tere** az áram irányának megfelelően időben változó.

A váltóáram teljesítménye

$$\left. \begin{array}{l} \text{Teljesítmény: } P = \frac{W}{t} \\ \text{Elektromos munka: } W_e = Q \cdot U \\ \text{Áramerősség: } I = \frac{Q}{t} \end{array} \right\} P = \frac{W_e}{t} = \frac{Q \cdot U}{t} = \frac{I \cdot t \cdot U}{t} = UI$$

$P = U \cdot I$ Ez az összefüggés az egyenáram teljesítményére vonatkozik.

Váltóáram esetén: **$p = u \cdot i$** (indukált, pillanatnyi értékekre vonatkozik)

Ha az áram és a feszültség nincs fázisban: $\varphi \text{ nem } 0^\circ$, akkor a teljesítményre és a munkavégzésre érvényes (váltóáramnál az effektív értékekkel számolunk !!!) :

A váltóáram teljesítménye:

$$p = UI \cos \varphi$$

A váltóáram munkavégzése:

$$W = UIt \cos \varphi$$

$$(P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \cdot t)$$

A villamos gépek

Azok a mágneses hatáson alapuló berendezések, amelyek mechanikai energiából villamos energiát állítanak elő a : generátorok, vagy villamos energiából mechanikai energiát állítanak elő a : motorok.

Tágabb értelemben ide sorolhatjuk a transzformátort, amely egy feszültség-átalakító berendezés.

A forgó villamos gépek szerkezetileg két részből állnak:

1. **forgó rész (rotor)** – ez vagy permanens mágnes vagy elektromágnes
2. **álló rész (sztator)** – ez általában tekercsből áll

Működési elvük: a mozgási elektromágneses indukció

Generátorok

1. **Alternátor** – mozgási energiából állít elő elektromos energiát, váltakozó feszültséget.
2. **Egyenáramú generátor** – egyenirányítja a váltakozó feszültséget.
3. **Dinamó** – az elektromágnest nem külön áramforrással táplálják, hanem ezt is maga a dinamó táplálja – az öngerjesztés elve (dinamóelv). Feltalálója **Jedlik Ányos** (19.sz., magyar fizikus).

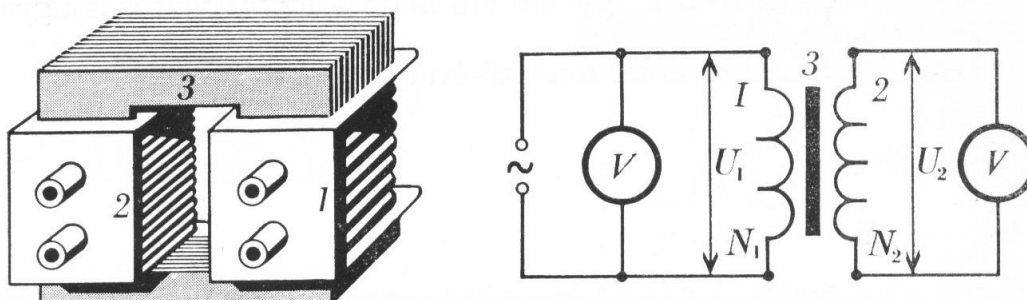
Motorok

1. **Szinkronmotor** – a bevezetett váltóáram frekvenciája megegyezik a forgó rész frekvenciájával (a kettő szinkronban van). Legnagyobb előnyük az állandó fordulatszám.
2. **Aszinkronmotor** – nincs szinkronban az előbb említett két frekvencia – nem állandó a fordulatszám. Ebben a két motorban az a közös, hogy legtöbbször mindkettő háromfázisú.
3. **Egyenáramú motor** – egyenáramú generátor (a villamos energiát mechanikai energiává alakítja).

Transzformátorok

A transzformátor lényegében egy közös vasmagon elhelyezett két tekercs.

Működési elv: a nyugalmi elektromágneses indukció



Faraday törvényéből:

$$U = N \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} - \text{időegységre eső fluxusváltozás}$$

Ha a primér tekercsben $U_1 = N_1 \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ feszültség keletkezik, akkor a szekundér tekercsben indukálódott feszültség: $U_2 = N_2 \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$

Vegyük észre: $\boxed{\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}} \quad \left(\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \right)$

A levezetett egyenlet a **transzformátoregyenlet**.

Ha $\left. \begin{array}{l} N_2 > N_1 - \text{feltranszformálásról} \\ N_2 < N_1 - \text{letranszformálásról} \end{array} \right\}$ beszélünk.

Az energiamegmaradásból ($E_1 = E_2$) ill. a teljesítmény megmaradásából ($p_1 = p_2$):

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \Rightarrow \boxed{\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}}$$

Az elektromos energiaátvitel

Az elektromos energiát az erőművekből távvezetéseken szállítják a fogyasztóhoz.

A szállítás közben fellépő veszteségek kétféleképpen csökkenthetők:

1. $R = \rho \frac{l}{S} \rightarrow$ a vezeték ellenállásának csökkentésével $\rightarrow$ vagyis a keresztmetszet megnövelésével. Ennek hátránya, hogy több tartóoszlop kell hozzá.
2. $p = UI = RI^2 \rightarrow$ az áramerősség csökkentésével, ami a feszültség növelését jelenti: feltranszformálás $\Rightarrow$ magas feszültség.

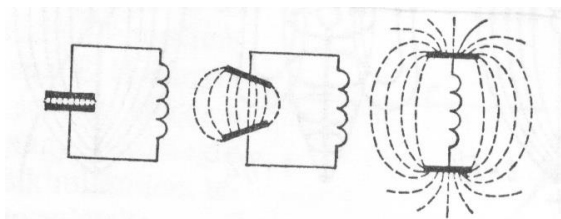
Az erőművekben „termelt” 10 kW – 15 kW feszültségű energiát kb. a tízszeresére feltranszformálják, majd több lépésben vissza letranszformálják.

Feladatok:

Egy transzformátor tekercseinek menetszáma 1200 és 3600. A primer feszültség 230 V. Mekkora lesz a szekunder feszültség, ha az 1200 menetes primer tekercset kapcsoljuk a hálózatra?

Egy transzformátor teljesítménye 10 Watt. A primer feszültség 230 V, a szekunder feszültség 10 V. Mekkora az áramerősség a primer és a szekunder oldal áramkörében? A veszteségeket elhanyagoljuk!

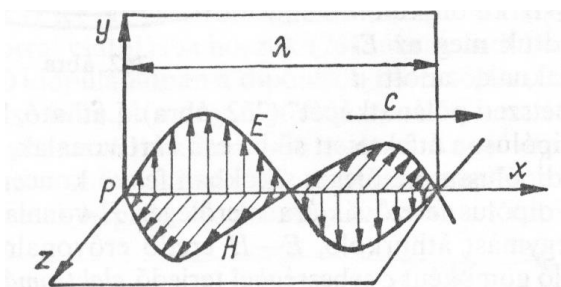
Az elektromágneses hullámok



Ha a kondenzátor lemezeit egyre jobban szétnyitjuk (**nyitott rezgőkör**), akkor az elektromos tér kiszabadul környezetébe, és **periodikusan változó elektromos ill. mágneses teret hoz létre**.

Amíg a frekvencia **50 Hz** körül van (maximum 100-as nagyságrendű) addig elektromágneses rezgésről, nagyobb frekvenciatartományoknál (**$10^7 \text{ Hz} - 10^{10} \text{ Hz}$**) elektromágneses hullámokról beszélünk.

Elektromágneses hullámnak nevezzük azt a jelenséget, melynek során az elektromágneses energia a forrástól a fogyasztóig jut.



Ez az energia (az egymást áthurkoló elektromos és mágneses erővonal-rendszer) az időben táguló gömbként, c fénysebességgel terjed.

Ahol:

E – elektromos térerősség

$$(E = \frac{F_e}{Q} ; [E] = \text{NC}^{-1})$$

H – mágneses térerősség

$$(H = \frac{NI}{l} ; [H] = \text{Am}^{-1})$$

Az elektromágneses hullámok a térben transzverzális gömbhullám formájában terjednek, a terjedési sebesség megegyezik a fény terjedési sebességével.

$$c \doteq 300000 \text{ km/sec} \doteq 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$$

Az elektromágneses térelméletet egy, a 19. században élt angol fizikus, **Maxwell** alkotta meg és matematikailag össze is foglalta (**Maxwell egyenletek**).

Elméletének legfontosabb felismerése az a tény, hogy **a mágneses és az elektromos tér változásaiból eredő jelenségek szimmetrikusak**.

Az elektromágneses hullámok tulajdonságai

Az elektromágneses hullámok ún. **elektromágneses spektrumot** alkotnak.

Ide tartoznak növekvő frekvencia, ill. csökkenő hullámhossz sorrendjében ($\lambda = \frac{c}{f}$):

1. ipari váltóáram (50Hz – 100 Hz)
2. rádióhullámok (10^7 Hz)
3. infravörös sugarak (hősugárzás) (10^{12} Hz)
4. látható fény (10^{14} Hz)
5. ultraibolya sugarak (10^{16} Hz)
6. röntgensugarak (10^{18} Hz)
7. radioaktív sugarak (10^{20} Hz)
8. kozmikus sugárzás (10^{24} Hz)

Ezekre jellemző a más-más frekvencia és hullámhossz, de légtérben a terjedési sebesség állandó – fénysebesség.

A rádióhullámok

A kisugárzott energia hullámhosszától, ill. frekvenciájától függően a híradástechnikában a következő csoportosítást használják:

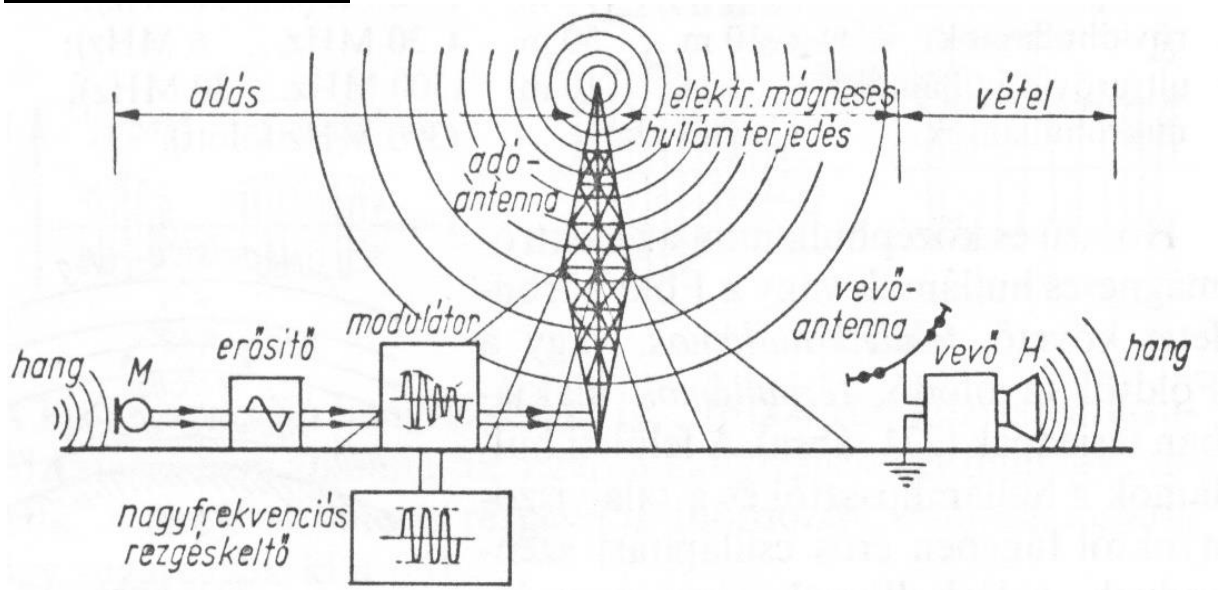
1. hosszúhullámok (1000m – 2000m ; 300kHz – 150kHz)
2. középhullámok (150m – 600m ; 2MHz – 500kHz)
3. rövidhullámok (10m – 50m ; 30MHz – 3MHz)
4. ultrarövidhullámok (1m – 10m ; 300MHz – 30MHz)
5. mikrohullámok (1m alatt ; 300MHz felett)

A rádióhullámok kiválasztása a domborzati, ill. a légköri viszonyoknak megfelelően történik.

Hírközlőrendszerek

Úgy a műszaki gyakorlatban, mint a mindennapi életben gyakran kell átvinni hangot, képet, vagy valamilyen más információt nagy távolságokra. Ezt az átvitelt az elektromágneses tér (elektromágneses hullámok) segítségével valósítják meg.

A hírközlőrendszer sémája:



Mikrofon – a hanghullám energiáját elektromos energiává változtatja. Ez egy **elektroakusztikai átalakító**.

Erősítők – a feszültség erősítésére szolgálnak.

Kódolás (moduláció) – a hanghullámot nagyfrekvenciás vivőhullámra ültetik rá.

Dekódolás (demoduláció) – a hanghullámok leszedése a vivőhullámokról.

Hangszóró (reproduktor) – az átvitt akusztikai jel elektromos energiáját alakítja vissza hangenergiává. Ez szintén egy **elektroakusztikai átalakító**.

Az összeköttetés vezetékek vagy adó-vevő segítségével valósul meg.

Fénytan – optika

Alapfogalmak

A fény az energiának egyik fajtája.

A fény **duális (kettős) természetű**. Viselkedhet úgy, mint:

- **hullám** (visszaverődés, törés, elhajlás, interferencia, polarizáció)
- **részecske** (foton)

A hang mechanikai gömbhullám, amely longitudinálisan terjed. A hang a mechanikai hullámok azon tartománya, amely hangérzetet kelt. A hang terjedéséhez közegre (részecskék, molekulák, atomok) van szükség.

A fény elektromágneses térhullám, amely transzverzálisan terjed. A fény az elektromágneses hullámok azon tartománya, amely fényérzetet kelt. A fény terjedéséhez nincs szükség részecskékre – maga a fény az, ami rezeg.
--

Fényforrások

1. Elsőrendű fényforrások, természetes fényforrások – közvetlen sugároznak fényt (pl.: Nap, egyes csillagok, szentjánosbogár, ...)

2. Másodrendű fényforrások, mesterséges fényforrások – a megvilágítás következtében világítanak (pl.: Hold, óralap, kilométerkő, ...)

A fényforrásból kiinduló fénysugarak minden irányban egyenes vonalban terjednek.

A fény terjedési sebessége a világmindenségben elérhető legnagyobb sebesség.

$$c \doteq 300000 \text{ km/sec} \doteq 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$$

A fény (fénysugár) leggyorsabban vákuumban terjed, minden más közeg „fékezi” terjedését.

Legújabb, lézeres mérések szerint: $c_0 = (2,99792458 \pm 0,3 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^8 \text{ m/sec}$

A fénytant (optikát) általában három szempont szerint szokás tárgyalni:

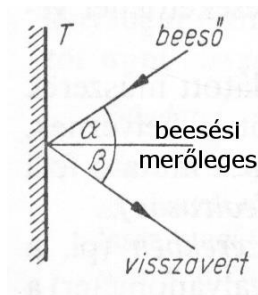
1. Geometriai optika
2. Fénytani eszközök
3. Fizikai optika

A geometriai optika

A fényvisszaverődés

Ha a fénysugár két közeg határfelületére esik, akkor a felületről a fény nagy része visszaverődik (másik része elnyelődik) – ezt nevezzük **tükrös visszaverődésnek**.

A tükrös visszaverődés két törvénye:

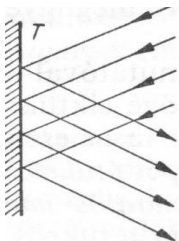


1. A beeső fénysugár, a visszavert fénysugár és a beesési merőleges egy síkban van.
2. A visszaverődési szög megegyezik a beesési szöggel. ($\beta = \alpha$)

A törvény következményei:



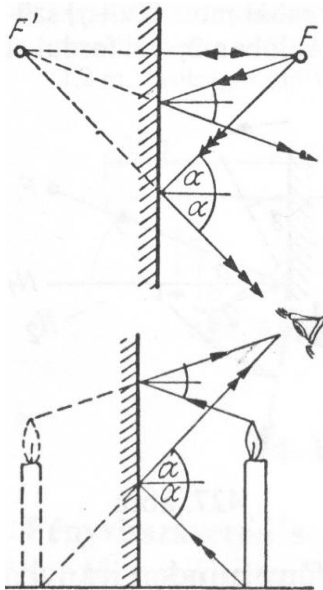
A merőlegesen beeső sugarak önmagukban verődnek vissza.



A párhuzamosan beeső sugarak párhuzamosan verődnek vissza.

Optikai leképezések visszaverődéssel

A síktükrök



A síktükör előtti **pontszerű fényforrásból** kiinduló sugarak úgy verődnek vissza, mintha azok egy, a tükör mögött levő pontból indultak volna ki.

A **kiterjedt tárgy** pontjai szimmetrikus képpé, tükörképpé olvadnak össze, ahol **a jobb és a bal oldal felcserélődik**.

A kép és a tárgy a tükörhöz képest szimmetrikus (a kép távolsága a tükörtől megegyezik a tükörtől mért tárgytávolsággal).

A síktükör mindig látszólagos, egyenes állású, a tárggyal megegyező nagyságú képet ad.

(Valódi, reális képet akkor kapunk, ha az eredeti fénysugarak segítségével jön létre a kép. Képzetes, virtuális, látszólagos kép akkor keletkezik, ha az eredeti fénysugarak meghosszabbításával jön létre a kép.)

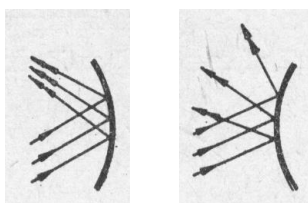
Felhasználhatóság:

periszkóp (kilátócső), macskaszem (biciklikén található fényvisszaverő eszköz), mérőműszerek.

A gömbtükrök

Ha a tükröző felület nem sík, hanem tetszőleges görbe felület (gömb, henger, kúp, paraboloid, ellipszoid, ...) akkor ezeket **görbetükrök**nek nevezzük.

A görbetükrök legegyszerűbb fajtája a **gömbtükör**.

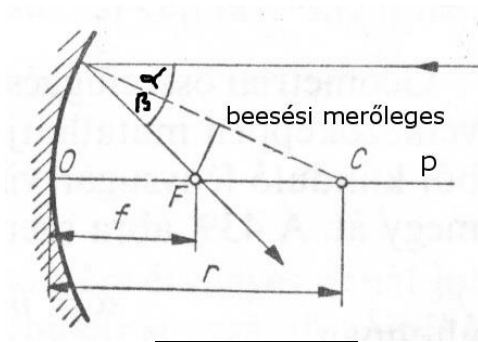


konkáv

konvex

Aszerint, hogy a visszaverő felület **homorú** vagy **domború**, megkülönböztetünk **konkáv** (homorú) és **konvex** (domború) **gömbtükröket**.

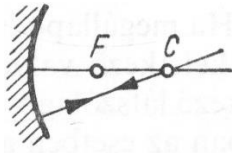
Vizsgáljuk meg először egy **konkáv (homorú) gömbtükrő képalkotását!**



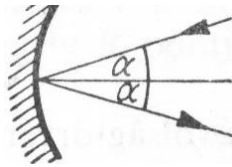
O – optikai (fénytani) középpont
 F – fókuszpont (gyújtópont)
 C – geometriai középpont
 p – optikai főtengety
 f – fókusz távolság (gyújtótávolság) ; $[f] = m$
 r – görbületi sugár ; $[r] = m$

Az ábrából: $r = 2f$; $f = \frac{r}{2}$

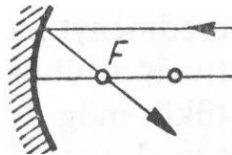
A gömbtükrökre vonatkozó négy visszaverődési tétel:



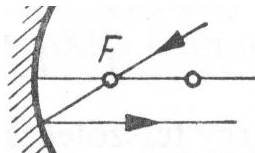
A geometriai középponton áthaladó fénysugár önmagában verődik vissza.



Az optikai középpontba beeső fénysugarak szimmetrikusan verődnek vissza (az optikai főtengetyhez viszonyítva).



Az optikai főtengetellyel párhuzamosan beeső fénysugarak a fókuszponton áthaladva verődnek vissza.



A fókuszponton áthaladó sugarak az optikai főtengetellyel párhuzamosan verődnek vissza.

A nevezetes négy sugár metszéspontja ad felvilágosítást arról, hogy a keletkezett kép milyen állású: **egyenes vagy fordított** (a gyakorlatban ill. a szerkesztéseknél elég két nevezetes sugár metszéspontjával dolgozni). **A fénysugár útja mindig megfordítható!**

A kép állása lehet:

1. valódi vagy látszólagos (virtuális)
2. egyenes állású vagy fordított állású
3. kicsinyített vagy nagyított (speciális esetben a tárgyval megegyező nagyságú)

A tükroknél a **valódi kép** azt jelenti, hogy a gyakorlatban a tükörről visszaverődő fénysugarak segítségével a kép egy papírlapon a tükör előtt is megjeleníthető. A szerkesztés szempontjából a tárgy és a kép a tükör egyazon oldalán vannak.

A **látszólagos kép** a valóságban nem jeleníthető meg a tükör előtt. Szerkesztésnél a tárgy és a kép a tükör két különböző oldalán található.

A gömbtükrök távolságtörvénye

A tárgytávolság és a képtávolság reciprokértékeinek az összege a fókusztávolság reciprokértékével egyenlő:

$$\frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f}$$

Ahol:

t – a tárgy távolsága a tükörtől (optikai középponttól) ; $[t] = m$

k – a kép távolsága a tükörtől ; $[k] = m$

f – a fókusztávolság ; $[f] = m$

Viszont:

T – a tárgy nagysága (magassága) ; $[T] = m$

K – a kép nagysága (magassága); $[K] = m$

F – fókuszpont

Ha a bekeretezett egyenletbe behelyettesítjük az $f = \frac{r}{2}$ összefüggést, akkor a **távolságtör-**

vény:
$$\frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{2}{r}$$

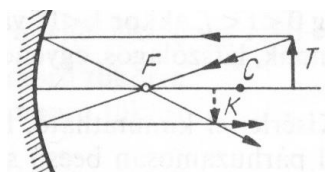
Rendezés után ebből a **képtávolság:** $\frac{1}{k} = \frac{1}{f} - \frac{1}{t}$

$$\frac{1}{k} = \frac{t-f}{tf}$$

$$k = \frac{tf}{t-f}$$

A homorú tükör képalkotása

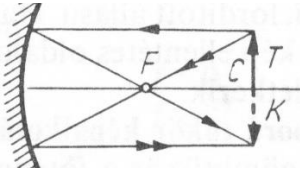
1.



A keletkezett kép **valódi, fordított állású és kicsinyített.**

$$(t > 2f \Rightarrow f < k < 2f)$$

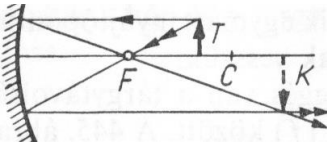
2.



A keletkezett kép valódi, fordított állású és a tárggyal megegyező nagyságú.

$$(t = 2f \Rightarrow k = 2f)$$

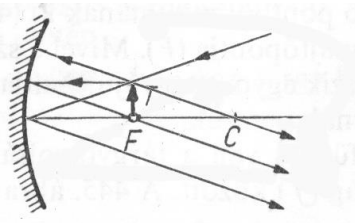
3.



A keletkezett kép valódi, fordított állású és nagyított.

$$(f < t < 2f \Rightarrow k > 2f)$$

4.



Ebben az esetben nincs képalkotás.

(a visszavert sugarak egymással párhuzamosak)

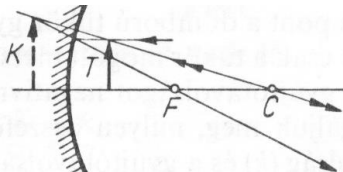
$$(t = f \Rightarrow k = \infty)$$

Felhasználhatóság:

ilyen módon adnak a fényszórók párhuzamos sugárnyalábot.

+1. A 4. esetre hivatkozva és tudva, hogy a fénysugár útja mindig megfordítható, elmondhatjuk, hogy **ha a tárgy a végtelenbe kerül, akkor a kép a fókuszpontban lesz és pontszerű. A kép valódi, egyenes állású és pontszerű. $t = \infty \Rightarrow k = f$**

5.

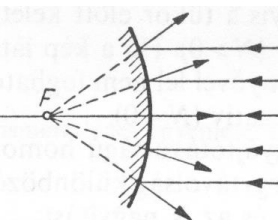


A keletkezett kép látszólagos, egyenes állású és nagyított.

$$(t < f \Rightarrow k < 0)$$

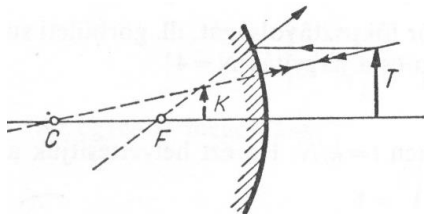
Homorú tükroknél a fókusztávolság minden esetben nagyobb, mint nulla ($f > 0$)!

A domború tükör képalkotása



Ebben az esetben **a domború oldal veri vissza a fénysugarakat**. A konvex gömbtükör a főtengellyel párhuzamosan beeső sugarakat úgy veri vissza, mintha azok a tükör mögötti gyújtópontból indultak volna ki.

Ezt a pontot **képzetes gyújtópontnak** (**fókuszpontnak**) nevezzük, a gyújtótávolságot pedig negatívnak vesszük: ($f < 0$)!



A domború tükör **mindig** látszólagos, egyenes állású és kicsinyített képet ad.

Mivel itt $f < 0 \wedge k < 0$ ezért a **távolságtörvény** a következőképpen alakul:

$$\frac{1}{t} + \frac{1}{-k} = \frac{1}{-f}$$

$$\frac{1}{t} - \frac{1}{k} = -\frac{1}{f}$$

Minden esetben, úgy homorú, mint domború tükör esetében a nagyításra érvényes:

$$N = \frac{K}{T} = \frac{k}{t}$$

Behelyettesítve a már megkapott képtávolságot: $N = \frac{f}{t-f} = \frac{k-f}{f}$

Az utolsó összefüggéshez a tárgytávolságot kellene behelyettesíteni!

Felhasználhatóság:

Síktükrök – fodrász és kozmetikai szalonok, fürdőszobák, előszobák, zsebtükrök, ...

Homorú tükrök – fényszórók előtti tükrök, fogorvosi tükrök, ...

Domború tükrök – beláthatatlan kanyaroknál, ill. útkereszteződéseknél található tükrök, visszapillantó tükrök, ...

Érdekességképpen: Hogyan készülnek a tükrök?

A legjobban visszaverő felületek a **csiszolt fémek** (hátrányuk, hogy drágák).

Általában egy üveglapot **amalgámmal** (Hg és valamilyen fém ötvözet) vonnak be.

A drágább tükröknél (pl. Velencei ...) leggyakrabban ezüstöt használnak (az ezüstnitrátból - $AgNO_3$ - kicsapatják az ezüstöt).

A fény törése

Ha a **fénysugár** két különböző közeg határfelületére esik, egy része visszaverődik, a másik része pedig **irányát megváltoztatva behatol a közegbe**. Ez a **fénytörés – refrakció**.

A fénytörés törvényei:

1. A beeső fénysugár, a megtört fénysugár és a beesési merőleges egy síkban van.
2. A merőlegesen beeső fénysugár irányváltoztatás nélkül halad tovább.
3. A beesési szög és a törési szög szinuszaik hányadosa a beesési szögtől független állandó:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

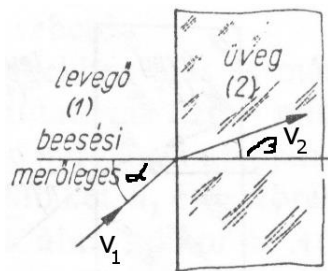
Ahol:

α – beesési szög ; $[\alpha] = ^\circ$; β – törési szög ; $[\beta] = ^\circ$; n – törésmutató

Ezt Snellius – Descartes törvénynek is nevezik.

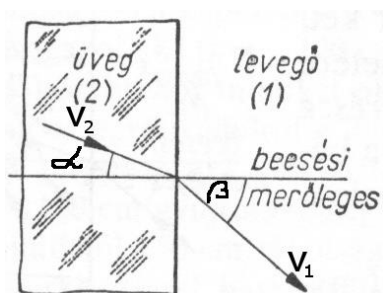
Snellius – 16 – 17. sz., holland fizikus

Descartes – 16 – 17. sz., francia matematikus, filozófus



Ha a fény optikailag ritkább közegből (levegő) optikailag sűrűbb közegbe (üveg) hatol, azt mondjuk, hogy **a beesési merőlegeshez törik**:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1} - \text{az üveg törésmutatója a levegőhöz képest.}$$



Ha a fény optikailag sűrűbb közegből (üveg) optikailag ritkább közegbe (levegő) jut, **a beesési merőlegestől törik**:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2} = n_{1,2} - \text{a levegő törésmutatója az üveghez képest.}$$

A különböző törésmutatójú közegek közül **a nagyobb törésmutatóját optikailag sűrűbbnek, a kisebb törésmutatóját optikailag ritkább közegnek nevezzük.**

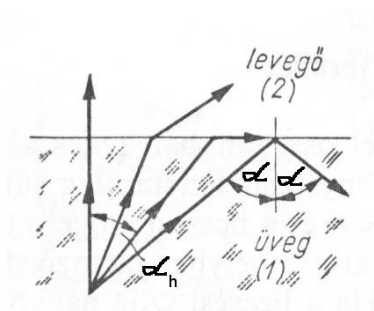
A törésmutató függ a közeg sűrűségétől, hőmérsékletétől és a fény hullámhosszától is.

Vegyük észre, hogy hasonlóképpen, mint a visszaverődésnél, **a fénysugár útja a törésnél is megfordítható** ($n_{1,2} = \frac{1}{n_{2,1}}$)!

A teljes visszaverődés

A teljes visszaverődés a törés egy speciális esete. Akkor jön létre, ha:

1. A fénysugár optikailag sűrűbb közegből jut az optikailag ritkább közeg határfelületére.
2. A beesési szög nagyobb, mint a határszög.



α_H – határszög – az a beesési szög, amelyhez tartozó törési szög éppen 90° .

Üvegből levegőbe a határszög kb. 42° , vízből levegőbe kb. 49° .

A teljes visszaverődést másképpen totális reflexiónak is nevezik.

Felhasználhatóság:

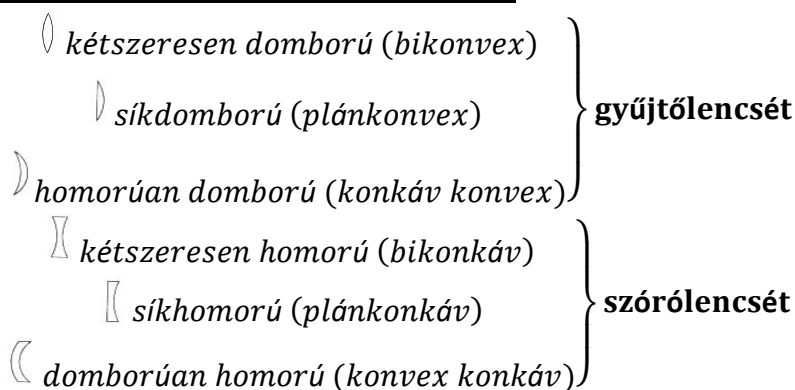
száloptikai berendezések (pl. orvosi műszerek).

Optikai leképezések töréssel

A fénytani lencsék

A fénytani lencse általában két gömbfelülettel határolt, átlátszó anyagból készült test.

Aszerint, hogy a törőfelület milyen, megkülönböztetünk:

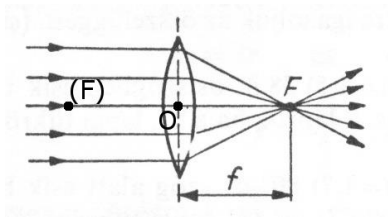


A képszerkesztéseknél a legegyszerűbb esetekkel foglalkozunk, vagyis a bikonvex és a bikonkáv lencsékkel.

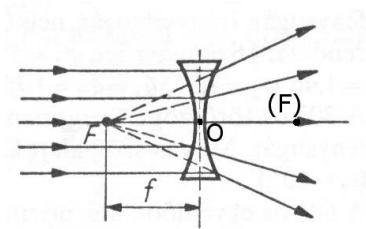
Jelölésük:


bikonvex gyűjtőlencse


bikonkáv szórólencse



A gyűjtőlencse esetében az optikai főtengellyel párhuzamosan beeső sugarak úgy törnek meg, hogy a fókuszponton haladnak keresztül.



Szórólencse esetén a főtengellyel párhuzamosan beeső sugarak úgy törnek meg, mintha azok a fókuszpontból indultak volna ki.

Megjegyzés:

Mindig az a fókuszpont a „fontos”, ahová összegyűlnek, ill. ami szerint szóródnak a sugarak (a másik a képzetes fókuszpont).

A lencsék gyújtótávolságára érvényes:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

Ahol:

f – fókusz-távolság, gyújtótávolság ; $[f] = m$

n – a lencse törésmutatója az adott közegre viszonyítva – egy puszta szám ($n > 1$)

n megmutatja, hogy az adott közeg hányszor fékezi a fénysebességet a vákuumhoz képest ($n = c/v$)

r_1, r_2 – a lencsék görbületi sugarai (nem szükségeszerű, hogy megegyezzenek) ; $[r] = m$

Ha pl. egy konvex kvarcüveglencsét levegőben vizsgálunk, akkor gyűjtőlencseként viselkedik, ha pedig benzolba helyezzük, akkor úgy viselkedik, mint a szórólencse (mindez a törésmutató miatt).

A lencsék törőerejét dioptriákban fejezzük ki.

Jele: D

$D = \frac{1}{f}$ A dioptria a fókusz-távolság reciproka értéke.

Egysége: $[D] = \frac{1}{[f]} = \frac{1}{m} = m^{-1}$

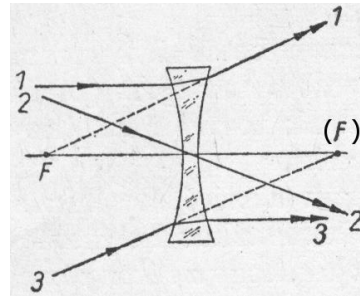
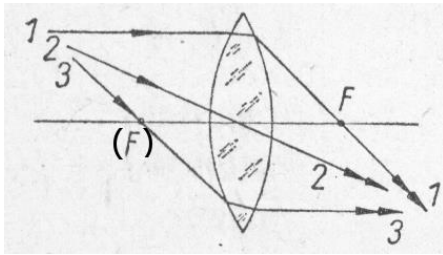
Megegyezés alapján a gyűjtőlencse dioptriája + , a szórólencsée -.

A lencsék távolságtörvénye megegyezik a gömbtükrök távolságtörvényével:

$$\frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f}$$

A nagyításra ebben az esetben is **érvényes**: $N = \frac{K}{T} = \frac{k}{t}$

Mérések alapján a lencsék képalkotására a következő 3 törvény érvényes:



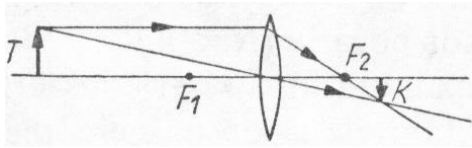
1. A főtengellyel párhuzamosan beeső sugár gyűjtőlencse esetén a gyújtóponton halad át, szórólencse esetén úgy halad tovább, mintha a gyújtópontból indult volna ki.
2. A fénytani középponton áthaladó sugár irányváltoztatás nélkül halad tovább.
3. A fókuszponton (képzetes fókuszpont) átmenő sugár a főtengellyel párhuzamosan halad tovább.

A lencsék képalkotásánál a „látszólagos kép” ill. a „valódi kép” kifejezések használata a szerkesztéseknél fordított, mint a tükrök képalkotásánál.

Vagyis ha a kép a tárgyhöz viszonyítva a lencse másik oldalán jön létre, akkor valódi, ha pedig egy oldalra esnek akkor látszólagos.

A gyűjtőlencse képalkotása

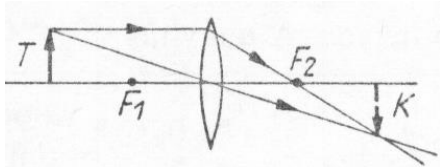
1.



A keletkezett kép valódi, fordított állású és kicsinyített.

$$(t > 2f \Rightarrow f < k < 2f)$$

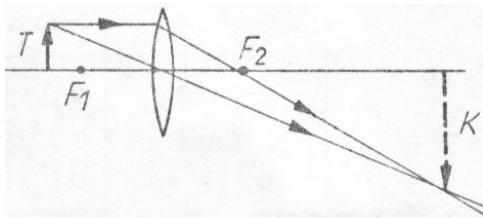
2.



A keletkezett kép valódi, fordított állású és a tárggyal megegyező nagyságú.

$$(t = 2f \Rightarrow k = 2f)$$

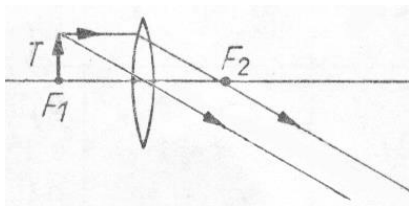
3.



A keletkezett kép valódi, fordított állású és nagyított.

$$(f < t < 2f \Rightarrow k > 2f)$$

4.

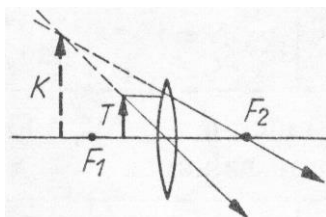


Ebben az esetben nincs képalkotás (a megtört sugarak egymással párhuzamosak).

$$(t = f \Rightarrow k = \infty)$$

+1. $t = \infty \Rightarrow k = f$ - ez a 4. eset megfordítottja. A keletkezett kép valódi, egyenes állású és pontszerű.

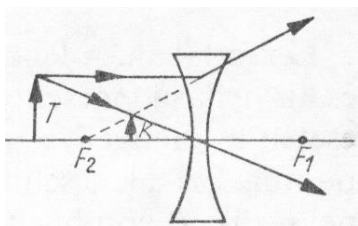
5.



A keletkezett kép látszólagos, egyenes állású és nagyított.

$$(t < f \Rightarrow k < 0)$$

A szórólencse képalkotása

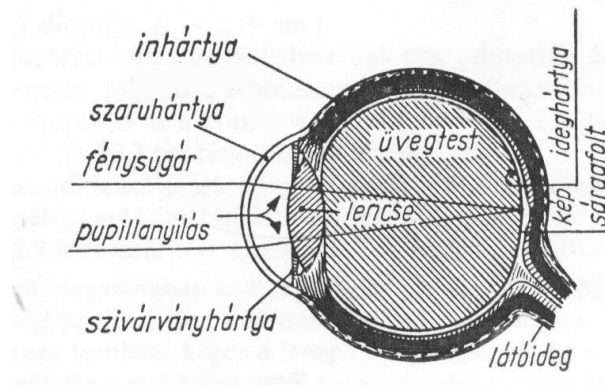


Hasonlóan a domború tükör képalkotásához, bárhová is helyezzük el a tárgyat, a szórólencse mindig látszólagos, egyenes állású és kicsinyített képet ad.

Fénytani eszközök

Az emberi szem

Az emberi szem kb. 24 mm átmérőjű, közel gömb alakú szerv.



Optikai szempontból a szemlencsék olyan összetett gyűjtőlencse-rendszert képeznek, amelyek a külső tárgyról valódi, fordított állású és kicsinyített képet állítanak elő az ideghártyán, amelyet aztán az agyunk megfordít.

A szem alkalmazkodóképességét **akkomodáció**nak nevezzük.

Csökkenő tárgytávolság esetén a szemlencse domborúvá válik. A szem domborulatának változtatásával a fókustávolság 1,7 cm-től 25 cm-ig terjedhet. Az ennek megfelelő maximális dioptria 60 – 70. **Tisztánlátás** – az egészséges szemnél kb. 25 cm – 30 cm – es távolság.

A szemnek átállási időre van szüksége a szürkületi látásból a nappali látásba. Ezt **adaptáció**nak nevezzük (kb. 30 perc – 40 perc).

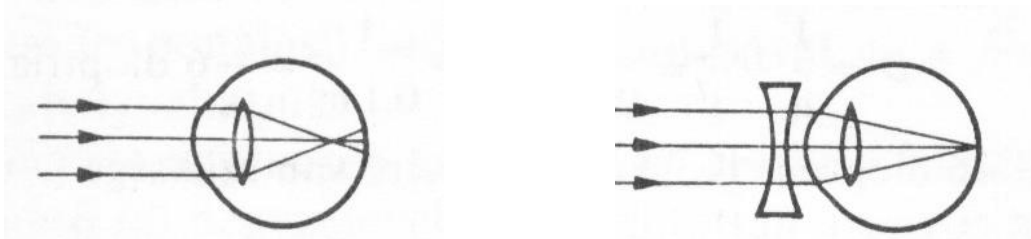
A szem által érzékelt valamennyi szín előállítható a vörös, a zöld és a kék színek keverésével – **trikromatikus látás**.

Szemünkben síkbeli kép keletkezik, mégis képesek vagyunk a mélységi viszonyok felismerésére is. Ebben játszik szerepet a két szemmel való látás – **térlátás**.

Az ember fejforgatás nélkül 190°-ot lát vízszintes síkban és 120°-ot függőleges síkban.

A szem hibái

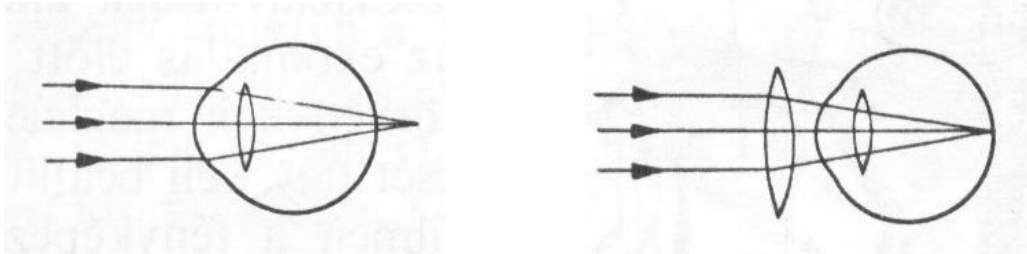
1. **Közellátás** – a szem közelre lát jól



A keletkezett kép a sárgafolt elé esik.

Kiküszöbölése szórólencsével lehetséges (mínuszos dioptria).

2. Távollátás – a szem távolra lát jól



A kép a sárgafolt mögé képződik.

Kiküszöbölése gyűjtőlencsével lehetséges (plusszos dioptria).

3. Színvaktság – a színeket nem érzékeli az ember.

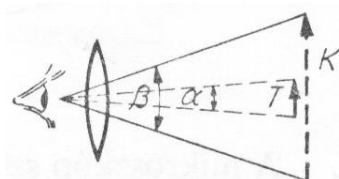
4. Farkasvaktság – szürkületkor nem lát jól az ember.

5. Vakság – a kép távol esik a sárgafolttól (fölé vagy alá).

Nagyítók és messzelátók

A kicsiny tárgyak nagyságát nagyítókkal, a távoli tárgyak nagyságát messzelátóval lehet megnövelni.

Az ábrán látható egyszerű nagyító (lupe) olyan gyűjtőlencse, amely látszólagos, egyenes állású, nagyított képet ad (maximum 25X – 30X – os nagyítást ad).

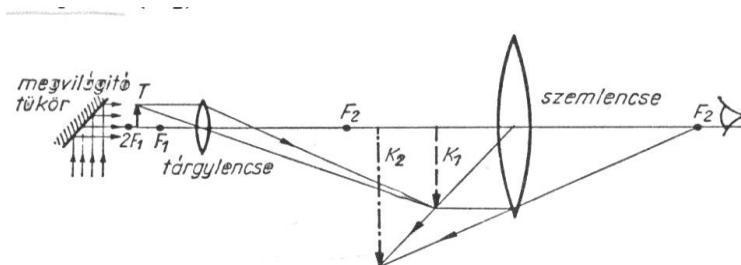


Ahol:

α – a szabad szemmel észlelt látószög ; $[\alpha] = ^\circ$

β – a nagyító által észlelt látószög ; $[\beta] = ^\circ$

Az összetett nagyító (mikroszkóp) két gyűjtőlencse-rendszerből áll: a kis gyújtótávolságú tárgylencséből (objektív) és a nagyobb gyújtótávolságú szemlencséből (okulár).

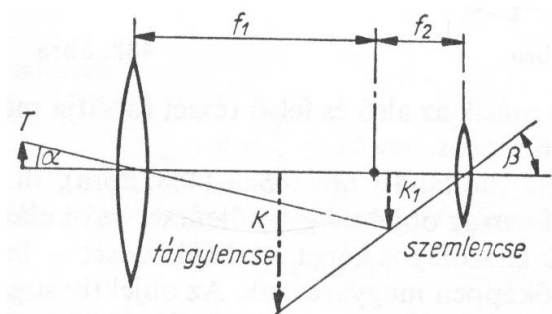


Az objektív a tárgyról valódi, fordított állású, nagyított képet ad (K_1). Az okulár ezt a képet (K_1) nagyítja újra, és a **végső kép** (K_2) a tárgyhoz viszonyítva **látszólagos, fordított állású és nagyított**.

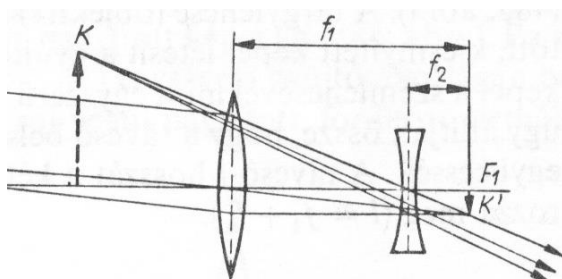
A mikroszkóp felbontóképességének azt a legkisebb távolságot nevezzük, amelynek végpontjait a mikroszkópon keresztül még, mint különálló képeket látjuk.

A fénymikroszkópnál $N = 2000$. A fénymikroszkóp felbontóképességénél 100-as nagyságrenddel nagyobb az elektronmikroszkóp felbontóképessége. Ennél a képalkotásnál a látható fény helyett elektromos térben felgyorsított elektronok vesznek részt.

Messzelátók, távcsövek



A **Kepler-féle távcső** szintén két gyűjtőlencséből áll. Fordított állású és nagyított képet ad.



A **Galilei-féle távcsőben** az objektív gyűjtőlencse, az okulár szórólencse. Egyenes állású, nagyított képet ad.

A csillagászati tükrös távcsövekben a tárgylencsét homorú tükör helyettesíti.

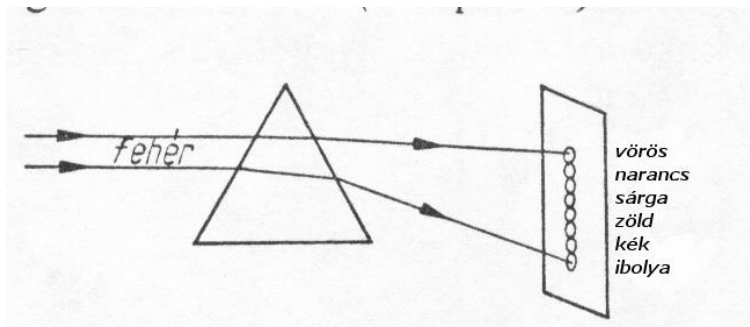
Látcsövek – mivel a csillagászati távcsövek általában fordított állású képet adnak, ezért a földi látcsövekbe még egy képfordító lencserendszert is tesznek (pl.: színházi látcső, puskákon található látcső, ...).

Prizmás távcsövekben a képfordítást egy prizma végzi.

Fizikai optika

A színszóródás és a színek

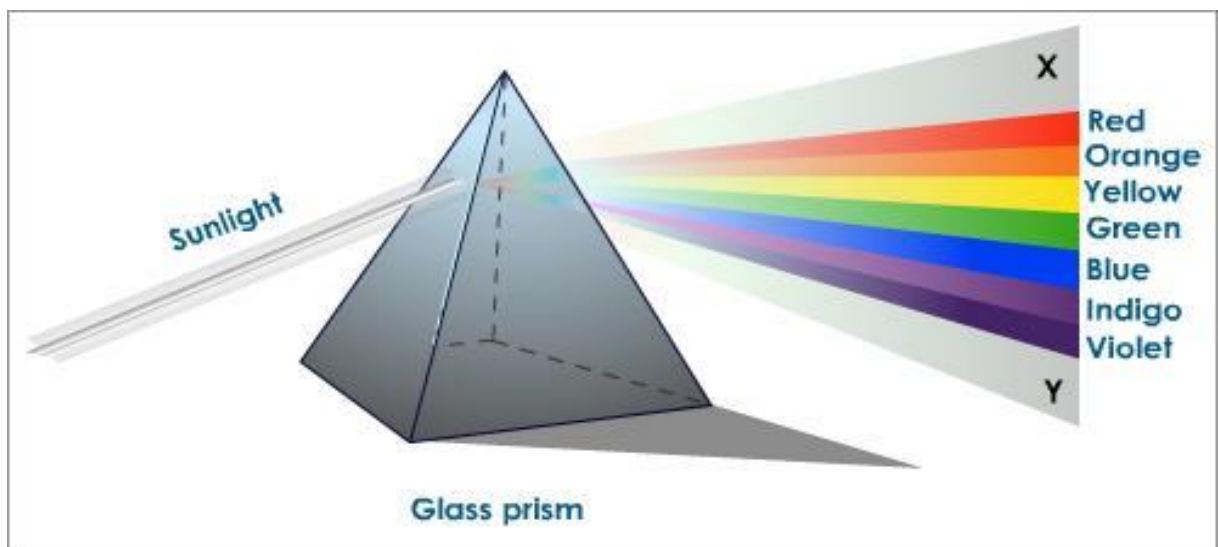
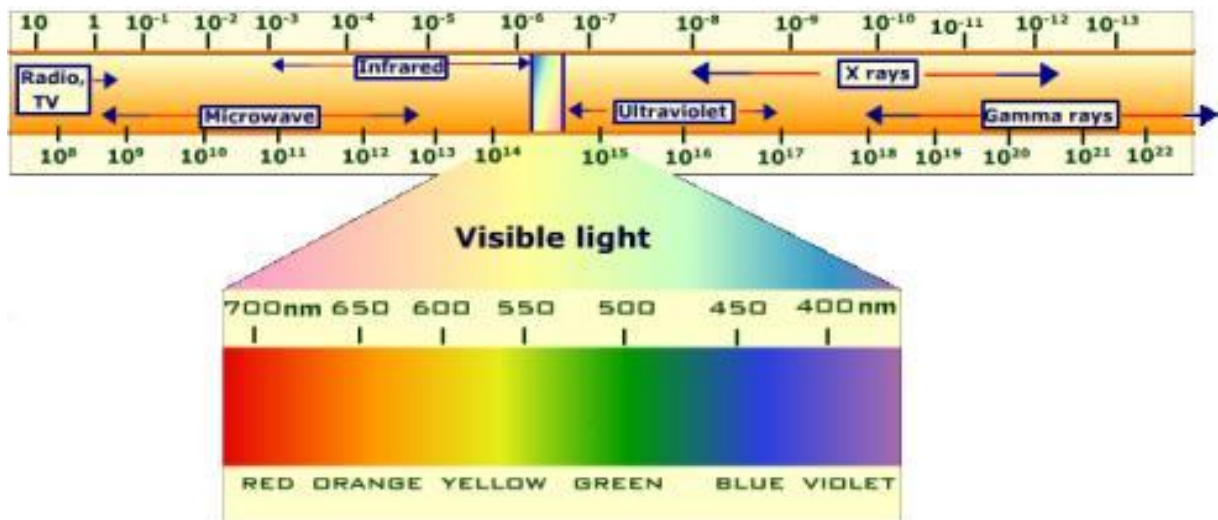
Keskeny résen át ejtsünk fehér fényt prizmára. Az ernyőn szivárványszínű sáv keletkezik, amelyet **színképnek (spektrum)** nevezünk.



Ezt a jelenséget **színszóródásnak** vagy **diszperzió**nak nevezzük.

A felírt 6 alapszín csökkenő hullámhossz, ill. növekvő frekvencia sorrendjében van ($\lambda \cdot f = c$):

Néhány fényhullám hullámhossza és rezgésszáma		
Színárnyalat	λ hullámhossz vákuumban, nm	f rezgésszám s ⁻¹
Vörös	720,2	$4,16257 \cdot 10^{14}$
Narancsvörös	656,469	$4,559117 \cdot 10^{14}$
Narancs	600,2	$4,99508 \cdot 10^{14}$
Sárga	589,1685	$5,088650 \cdot 10^{14}$
Zöld	495,02	$6,05463 \cdot 10^{14}$
Zöldeskék	490,1	$6,11641 \cdot 10^{14}$
Kék	410,286	$7,06741 \cdot 10^{14}$
Ibolya	396,85	$7,554302 \cdot 10^{14}$



A fény energiahordozó. A fényben energia terjed tovább fényhullámok, sugárzás alakjában. Ezek a fényhullámok rövidhullámú, elektromágneses sugárzás alakjában terjednek a térben.

A fény elektromágneses sugárzás. Ha a fény vákuumban, légüres térben halad, akkor nem látjuk. A Napból a fény kb. 8,5 perc alatt jut el a Földre.

Fizeau francia fizikus 1849-ben mérte meg a fény sebességét: 300 000 km/s értéket kapott vákuumba. Azóta kiderült, hogy a fény sebességénél nagyobb sebesség a természetben nincs.

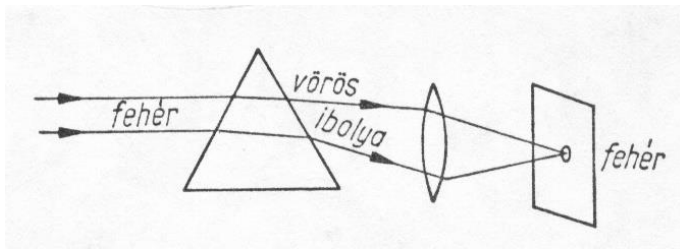
Anyagi közegben a fény sebessége mindig kisebb mint vákuumban. Vízben a fény terjedési sebessége 225 000 km/s, üvegben 200 000 km/s.

Az infravörös sugárzás a Földet melegíti. Az ultraibolya sugárzás az ember bőrét barnítja. Az ultraibolya sugárzást a Föld ózonrétege fékezi, elnyeli. Az ózonréteg károsodásával ózonlyukak keletkeznek, melyek bőrrákot okozhatnak.

Az infravörös és az ultraibolya sugárzás között található a látható fény.

A még rövidebb hullámhosszúságú elektromágneses sugárzás a röntgensugárzás.

Az előbbi kísérlet megfordítható:



Ha színes sugarakat gyűjtünk össze, akkor fehér fényt kapunk.

A színek egyes színei egyszerű, homogén színek. Tovább nem felbonthatók. Az ilyen színekből álló fényt **monokromatikus fénynek** nevezzük.

Ha a homogén színek egy részét egyesítjük, különféle **keverékszíneket** kapunk.

Ha az összes spektrumszínt ismét egyesítjük, fehéret kapunk.

1. **A nem átlátszó tárgyak színét** a visszavert színek keveréke adja (pl.: a fal azért sárga, mert az általa visszavert színek keveréke sárga).
2. **Az átlátszó anyagok színét** az határozza meg, hogy az áthaladó fényből milyen szín nem nyelődik el (pl.: a sörösuveget azért látjuk barnának, mert a nem elnyelt színek keveréke barna).
3. **A fekete felület** minden ráeső fényt elnyel (gondoljunk a kinti, kerti zuhanyzókra). A fekete nem fény, mert nem kelt világosságérzetet, de szín, melynek frekvenciája 0 Hz.
4. **A fehér felület** minden színt visszaver.
5. **A szürke különböző árnyalatait** az olyan felületek adják, amelyek minden színt azonos arányban vernek vissza.

Színképelemzés – spektrográfia

Az izzó szilárd és cseppfolyós testek folytonos színeket adnak (a színek között nincs éles határ → összemosódnak → folytonosnak látjuk).

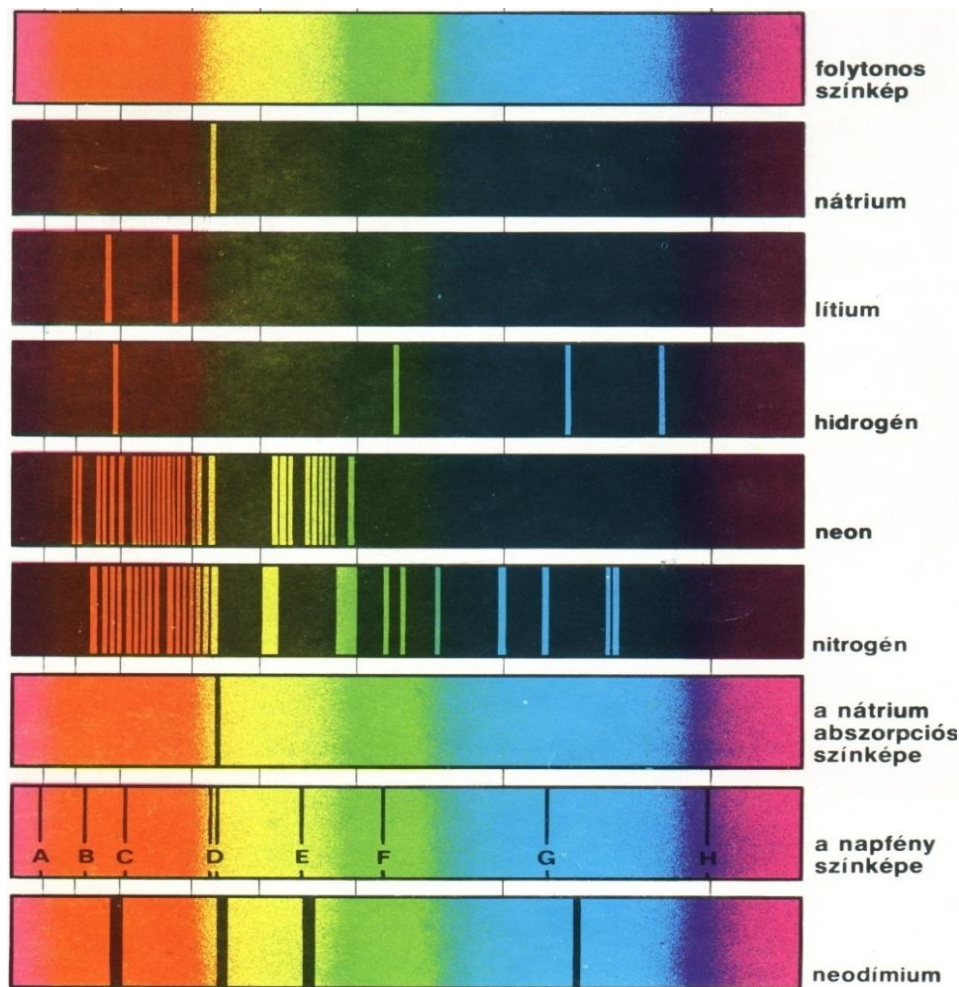
Minden anyag gőzének vagy izzó gázának színeképe vonalas színek.

Több vonal esetén a keletkezett színeképet sávos színeképnak nevezzük.

A felsorolt színeképek ún. emissziós színekek. A fényt az izzított test maga bocsátja ki.

Felhasználhatóság:

anyagvizsgálatok – iparban, így fedezték fel pl. a héliumot is a Napban.



Az infravörös (vörösön innen), a látható fény és az ultraibolya (ibolyántúli) sugarak összességét optikai színeknek nevezzük.

Felhasználhatóság:

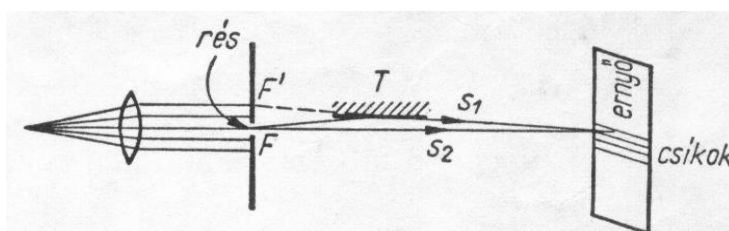
Infravörös (hőszugárzás) – orvostudomány, ipar, haditechnika, ...

Ultraibolya – kémiai és biológiai hatások → szolárium, kvarclámpa, ...

A fény interferenciája

Ha keskeny résen áthaladó, homogén fény útjába a fénysugárral párhuzamosan síktükröt helyezünk, akkor a mögötte levő ernyő egy részén sötét és világos csíkokat láthatunk.

Az interferenciacsíkok távolsága a fény színétől és hullámhosszától függ.



A fényforrásból kiinduló hullámok között (a tükör beiktatásából adódóan) **útkülönbség** van.

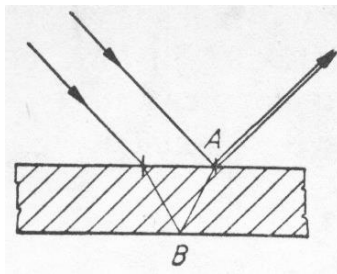
Ha erre az útkülönbségre érvényes: $s_2 - s_1 = 2n \frac{\lambda}{2}$; ($n \in \mathbf{N}$), akkor **a hullámok erősítik egymást**. Ebben az esetben az ernyőn **világosabb csíkokat látunk**.

Amennyiben az útkülönbség: $s_2 - s_1 = (2n - 1) \frac{\lambda}{2}$; ($n \in \mathbf{N}$), akkor **a hullámok gyengítik egymást (kioltás)**, az ernyőn **sötétebb csíkokat látunk**.

A leírt jelenség csak akkor figyelhető meg, ha a hullámok koherensek (azonos frekvencia jellemzi őket).

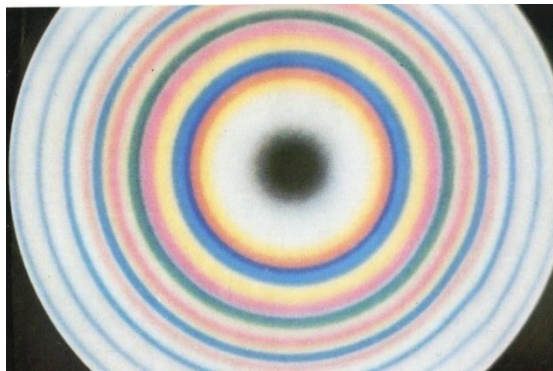
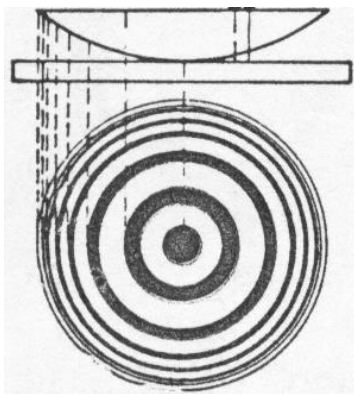
A leírt jelenség a fény hullámtermészetét igazolja.

Interferencia vékony hártán



Interferenciajelenség figyelhető meg a szappanbuborék, ill. az olajfolt felületén is.

Hasonló vékony hártát képezhet az acélon képződő oxid réteg, vagy két, egymáshoz rögzített üveglap közötti levegőréteg:



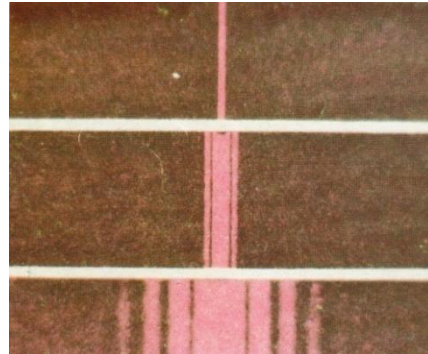
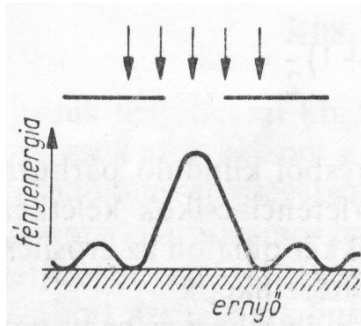
Ha sík-domború lencsét üveglapra helyezünk, akkor a visszavert fényben az érintkezési hely körül koncentrikus gyűrűket látunk – **Newton-féle gyűrűk**.

Vigyázz!!! Itt fekete a középpont, ami az érintkezési felületből adódik – oda nem jut a fény.

Felhasználhatóság: lencsék csiszolása – amennyiben nem megfelelő a csiszolás, eltorzulnak a körök.

A fényelhajlás

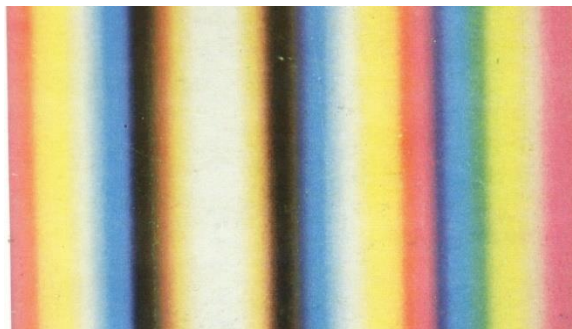
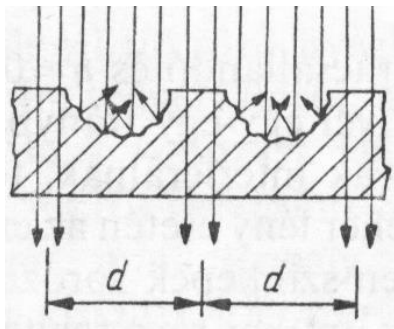
Egy keskeny résen keresztül bocsássunk egyszerű fényt felfogó ernyőre.



Az ernyőn, a réstől jobbra és balra világos és sötét csíkokat látunk, amelyek a réstől kifelé haladva egyre jobban halványodnak. A leírt jelenséget **diffrakciónak** nevezzük. A jelenség kettős résen még jobban megfigyelhető.

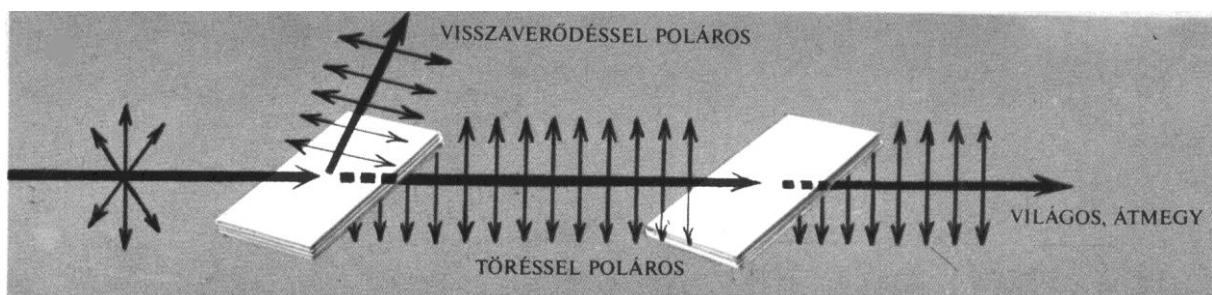
Fényelhajlás optikai rácson

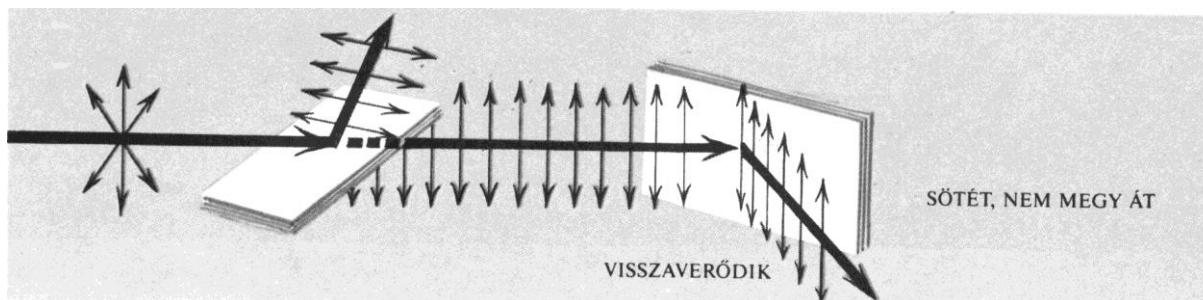
Ez egy olyan üveglemez, amelyen sűrű, párhuzamos karcolások vannak.



A karcolt helyeken a fény nem jut át (szóródik), a nem karcolt helyeken viszont áthalad. Az így keletkező rések távolsága az ún. **rácsállandó**.

A fény polarizációja





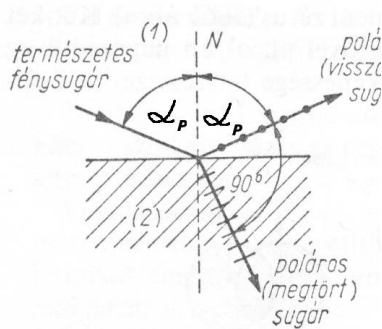
A fény transzverzális hullámokban terjed.

A természetes fény a terjedési irányra merőlegesen, minden irányban rezeg: míg a polarizált fény a beesési síkra merőleges síkban csak egy irányban végez rezgéseket.

Brewster törvénye

Brewster – 18 – 19.sz., skót fizikus

A polarizáció mértéke akkor a legnagyobb, ha a visszavert és az anyagba jutó megtört fénysugár egymásra merőleges.



Üveg esetén: $\alpha_p = 56,5^\circ$

Víz esetén: $\alpha_p = 53,1^\circ$

A kétféle polarizált fény rezgései egymásra merőlegesek.

A fotometria alapjai

A fotometria az elektromágneses hullámok energetikai leírásával és az ezzel kapcsolatos mennyiségek mérésével foglalkozik.

A fotometriai mennyiségek három fajtáját különböztetjük meg: a fényforrásra, a fény áramlására és a megvilágított felületre jellemző fizikai mennyiségek.

1. A fényforrás fényerőssége

Jele: I

Egysége: $[I] = cd$

KANDELA – latin szó, jelentése: gyertya

gyertyafény $\rightarrow 1$ cd
petróleumlámpa $\rightarrow 30$ cd
izzó $\rightarrow 100$ cd

2. A fényáram

Jele: Φ

Egysége: $[\Phi] = lm$ LUMEN

1 lm fényáramot létesít az 1 cd fényerősségű, minden irányban egyenletesen sugárzó pontszerű fényforrás, 1 szteradián térszögben.

A **szteradián** a gömb sugarára rajzolt négyzet területével megegyező nagyságú felülethez tartozó középponti szög.

A közönséges izzólámpa wattonként kb. 1 lm fényáramot sugároz. (1lm = 1 watt)

3. A megvilágítás erőssége

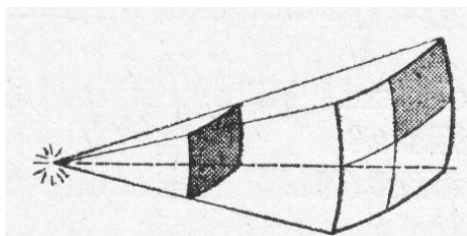
Jele: E

Egysége: $[E] = lux$ LUX

1 lux a megvilágítás erőssége azon a felületen, amelynek minden 1 négyzetméterére 1 lm fényáram esik.

teliholdas éjszaka $\rightarrow 0,5$ lux
nappal a szabadban $\rightarrow 2\ 000$ lux
nyári napsütés $\rightarrow 100\ 000$ lux
olvasáshoz, íráshoz $\rightarrow 70$ lux
rajzoláshoz $\rightarrow 200$ lux

A fotometria alaptörvényei:



$\frac{E_1}{E_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$ A megvilágítás erőssége fordítottan arányos a fényforrástól mért távolság négyzetével.

$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$ A pontszerű fényforrás által okozott megvilágítás egyenesen arányos a fényforrás I fényerősségével, fordítva a köztük levő távolság négyzetével, és függ a beesési szögtől.

Ahol:

E – a megvilágítás erőssége ; $[E] = lux$

I – a fényforrás fényerőssége ; $[I] = cd$

r – a fényforrás és a felület közti távolság ; $[r] = m$

cos – szögfüggvény ; nincs egysége

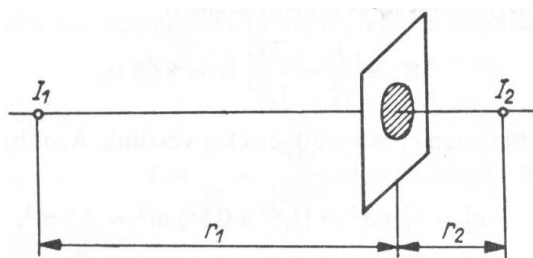
α – valamilyen merőlegeshez viszonyított szög; $[\alpha] = ^\circ$

A fényerősség mérésére szolgáló eszközök az ún. **fotométerek**.

Két fényforrás fényerősségének összehasonlítása alapján működnek.

Legegyszerűbb fajtája a **Bunsen-féle zsírfoltos fotométer**.

Bunsen – 19.sz., német kémikus



$$\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2}$$

Az egyik fényforrás távolságát az ernyőtől addig változtatjuk, amíg a zsírfolt el nem tűnik. Ekkor a megvilágítás egyenlő, és ebből kiszámíthatjuk az ismeretlen fényerősséget.

A modern fizika alapjai

Klasszikus fizika:

Mechanika - Newton

Hőtan - Boltzmann, Joule

Elektromágnesesség - Faraday, Maxwell

} → 19. sz. vége

Modern fizika:

Kvantumfizika - Planck

Magfizika - Curie

Relativitáselmélet - Einstein

} 20. sz. eleje →

A kvantumfizika alapfogalmai

Az elektromágneses elmélettel mind az elektromos, mind a fényjelenségek értelmezhetők.

Nehézségek és ellentmondások adódtak azonban néhány fizikai jelenség esetén...

A hőmérsékleti sugárzás

Ha fémdarabot melegítünk, a fématomok mozgási energiája megnövekszik. Alacsonyabb hőmérsékleten a test láthatatlan hősugarakat bocsát ki (infrasarkanak). A hőmérséklet emelkedésével megjelenik a látható színek összes színe. Kb. 1000 °C-nál már ultraibolya sugarak is kimutathatók.

A testek hőmérsékletétől függő elektromágneses sugárzást hőmérsékleti sugárzásnak nevezzük.

Stephan – Boltzmann – féle törvény

Stephan – 19. sz., osztrák fizikus

Boltzmann – 19 – 20. sz., osztrák fizikus

A test egységnyi felületéről időegység alatt kisugárzó összes energia a sugárzó test abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával arányos.

$$E = \sigma \cdot T^4$$

E – energiasugárzás; $[E] = J$

T – termodinamikai hőmérséklet; $[T] = K$

σ – arányossági tényező; $[\sigma] = J \cdot K^{-4}$

σ állandó értéke: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} J \cdot K^{-4}$

E törvényből következik, hogy minden test a hőmérsékletétől függően sugároz energiát.

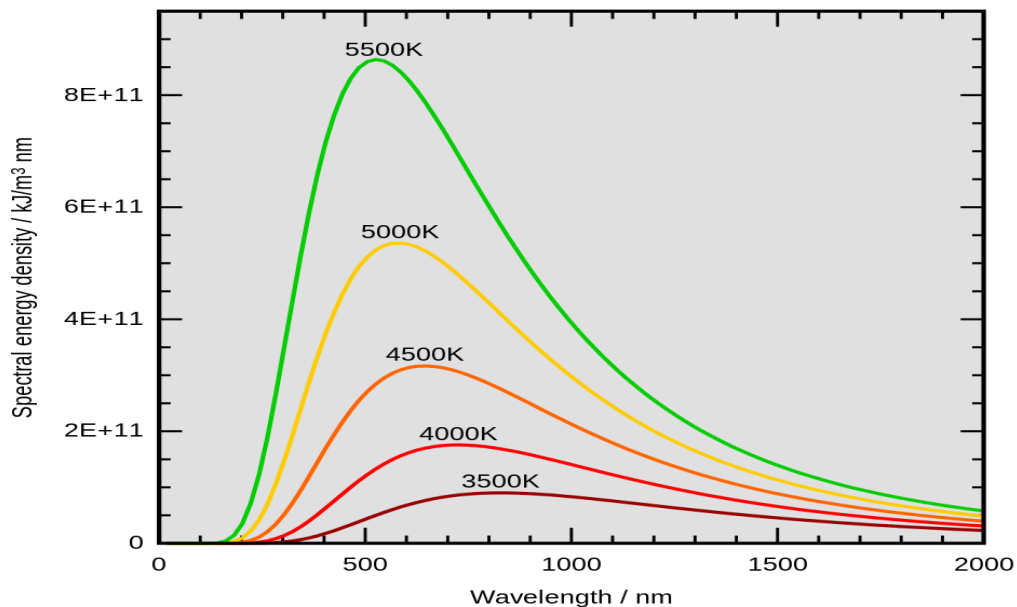
A Wien – féle eltolódási törvény

Wien – 19 – 20. sz., német fizikus

A kisugárzott fény hullámhossza és az abszolút hőmérséklet szorzata állandó.

$$\lambda_{MAX} \cdot T = \text{ÁLLANDÓ} \quad \text{Az állandó értéke: } \lambda_{MAX} \cdot T = 2,896 \cdot 10^{-3} m \cdot K$$

Vagyis az emelkedő hőmérséklettel csökken a hullámhossz maximuma:



Max Planck – 19 – 20. sz., Nobel – díjas, német fizikus:

A hőmérsékleti sugárzás törvényeit a klasszikus energiafogalom segítségével nem lehet pontosan leírni.

Számításaiban abból az elméleti feltevésből indul ki, hogy **az energiasugárzás nem folytonosan, hanem szakaszosan, ugrásszerűen, meghatározott kis adagokban, kvantumokban történik.**

$$E = h \cdot f \quad (E = h \cdot \nu) \text{ ahol a } \nu \text{ görög betű – nű}$$

Az energiakvantum az energiát szállító sugárzás f rezgésszámával arányos.

A képletben szereplő **h** egy arányossági tényező, a **Planck-féle állandó**.

Értéke: $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec}$

A körfrekvenciára vonatkozó összefüggés alapján: $\left(\omega = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} \right)$.

$$E = h \cdot \omega / 2\pi$$

Bevezetünk egy új állandót: $\hbar$ („há” transz, „há” vonás) $\hbar = \frac{h}{2\pi}$, akkor az energiaképlet:

$$E = \hbar \cdot \omega$$

A fény fotonelmélete

Azt a jelenséget, amikor a fémekből erős fény hatására elektronok válnak ki, fényelektromos jelenségnek (fotoelektromos jelenségnek) nevezzük.

Albert Einstein – Nobel-díjas német fizikus:

A fényelektromos jelenségeket Planck-féle kvantumelmélettel magyarázta.

1921-ben ezért az elméletéért kapta a Nobel-díjat.

A fény energiakvantumait fotonoknak nevezte el.

Ha a fénysugár rezgésszáma f , akkor a foton energiakvantuma: $(E = h \cdot f)$.

Ahhoz, hogy a fémekből elektronok léphessenek ki, egy meghatározott energia szükséges:

$$(E_0 = h \cdot f_0).$$

E_0 – kilépési energia (kilépési munka)

f_0 – kilépési frekvencia

A kilépő elektron kinetikus energiája: $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

ahol m – elektron tömege, v – elektron sebessége

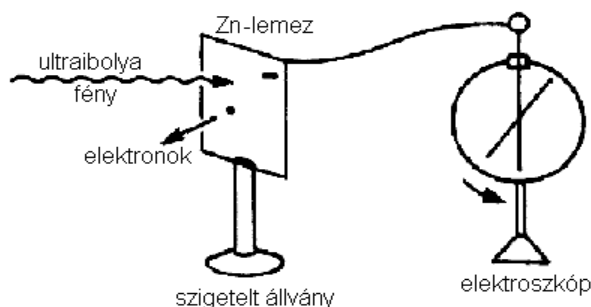
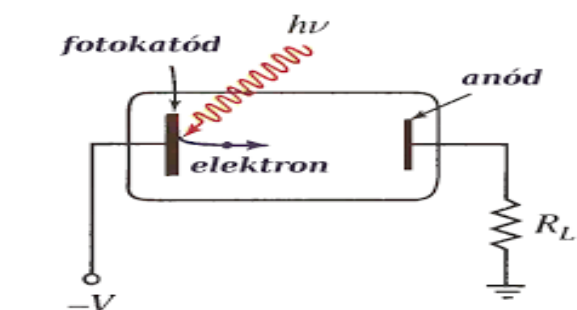
Érvényes: $E = E_0 + E_k$

A kinetikus energiát kifejezve:

$$E_k = E - E_0 = h \cdot f - h \cdot f_0$$

$$E_k = h(f - f_0)$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = h(f - f_0)$$



Minél nagyobb az $f - f_0$ rezgésszámkülönbség, annál nagyobb a kilépő elektronok sebessége.

A kilépő elektronok sebessége a megvilágító sugárzás frekvenciájától függ.

Az elektronok mozgási energiája a gyorsító feszültségtől is függ, így felírhatjuk:

$$\frac{1}{2}mv^2 = QU$$

U – gyorsítófeszültség; $[U] = V$

Q – elemi töltés; $Q = e = 1,602 \cdot 10^{-19} C$

A felírt képlet alapján az energiát (főleg a modern fizikában) nem csak joule-ban, hanem

elektronvolt-ban is mérhetjük. $[W] = eV$; $1eV = 1,602 \cdot 10^{-19} J$

Einstein „híres képlete”:

$$E = m \cdot c^2$$

Az energia és a tömeg között szoros kapcsolat van. Minden energia meghatározott tömeggel és minden tömeg meghatározott energiával egyenértékű (ez a tömeg és az energia ekvivalenciája).

A foton tömege és impulzusa:

$$\left. \begin{array}{l} E = h \cdot f \\ E = m \cdot c^2 \end{array} \right\} h \cdot f = m \cdot c^2$$

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h \cdot f}{c^2}$$

$$\mathbf{p} = \frac{E}{c} = \frac{h \cdot f}{c}$$

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

A fény elektromágneses hullámként terjed a térben, mert van hullámhossza.

Viszont fotonként is viselkedik, mivel van tömege és impulzusa.

Az atom szerkezete

Az atomok szerkezetéről vallott mai elképzelésünk hosszú kísérleti és elméleti kutatómunka eredménye. Eleinte misztikus elképzelések voltak, hasonlóképpen a Föld középpontiségéhez...

Ókor:

Anaxagoras z }
Leukipposz } görög bölcselek – az atom oszthatatlanságát vallották
Démokritos z }

Középkor:

A problémamegoldás kapcsán semmi érdemleges nem történt.

A 19. sz. első fele:

Dalton - angol vegyész.	}	Tudományos alapokra helyezték és kísérleti úton igazolták feltevéseiket.
Gay Lussac - francia fizikus, kémikus		
Avogadro - olasz matematikus, fizikus		

19. sz. második fele:

Faraday - angol fizikus

Millikan - Nobel - díjas, amerikai származású angol fizikus.

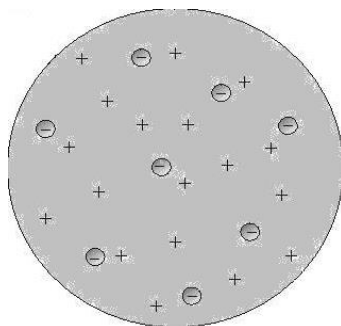
J.J.Thomson - Nobel - díjas angol fizikus

Faraday - ionok, elektrolízis, elemi részecskék

Millikan - az elemi töltés megmérése és kvantált természete

J.J.Thomson - az atom szerkezetéről az első tudományos igényességű modellt ő alkotta meg 1904-ben.

J.J.Thomson fedezte fel az elektront.



Szerinte az atomot egyenletes sűrűségű, nagy tömegű pozitív töltésfelhő alkotja, amelyben kis tömegű, pontszerű elektronok helyezkednek el – mazsolás puding modell (görögdinnye modell).

A Rutherford – féle atommodell

Rutherford - Nobel-díjas angol fizikus.

Az ő nevéhez fűződik az atommag felfedezése.

Az atom pozitív elektromos töltéssel rendelkező magból és ezt körülvevő negatív töltésű elektronburokból áll, amit elektromos vonzóerők kötnek a maghoz.

Az atommag felfedezését követően az atomot parányi naprendszerhez hasonlónak képzelte el. Eszerint a pontszerű kis tömegű negatív elektronok úgy keringenek kisebb – nagyobb körpályákon az atommag körül, mint a bolygók a Nap körül. Szerinte a centripetális erőt az elektromos erő (Coulomb – féle erő) biztosítja.

Hiányossága, hogy a keringő elektronok gyorsulnak, a gyorsuló töltés pedig elektromágneses sugárzást bocsát ki. Az energiamegmaradás törvénye értelmében ez a sugárzás a keringő elektronok energiáját felemésztené, így azok végül belezuhanának az atommagba.

Bohr – féle atommodell

Bohr – Nobel-díjas, dán fizikus, 20. sz. második fele

Bohr egyesítette a Rutherford – féle atommodellt a Planck – féle kvantumelmélettel.

Bohr – féle posztulátumok:

- | | |
|------|---|
| I. | Az elektronok az atomban nem keringhetnek tetszés szerinti pályákon, csak olyanon, amelyen energiavesztés nélkül keringenek. |
| II. | A legkisebb energiaszintű pálya helyezkedik el a legközelebb az atommaghoz. |
| III. | Az atomban a fénysugárzás csak akkor jöhet létre, ha az elektron egy nagyobb energiaszintű pályáról egy kisebb energiaszintű pályára ugrik (a két pálya közti energiakülönbség egy foton formájában jelentkezik). |

Összefoglalás	
Rutherford	Bohr
Ez egy dinamikus atommodell, ahol a centripetális erőt a Coulomb – erő biztosítja $F_{cp} = F_e$ $m \cdot \frac{v^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$ $m \cdot \frac{v^2}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Z \cdot e^2}{r^2}$ <u>Ahol:</u> m – elektron tömege; $[m] = kg$ v – keringő elektron sebessége; $[v] = \frac{m}{sec}$ r – a körpálya sugara, az elektron itt kering; $[r] = m$ π – Ludolf-féle szám, állandó; $(\pi = 3,14...)$ ϵ_0 – a vákuum permittivitása (As/Vm) Q_1, Q_2 – töltések (a magé és az elektroné) Z – rendszám (az elektronok száma) e – az elektron (elemi töltés); $[e] = C$	Szerinte az elektron a mag körül csak olyan pályán keringhet, amelyen az elektron impulzusa (lendülete) a körpálya sugarával fordítottan arányos. $m \cdot v = n \cdot \frac{h}{2\pi r}$ <u>Ahol:</u> $m \cdot v$ – az elektron impulzusa; $[p] = kg \cdot m \cdot sec^{-1}$ n – természetes szám (főkvantumszám) h – Planck-féle állandó; $[h] = J \cdot sec$ $2\pi r$ – a körpálya kerülete; $[k] = m$

Hiányossága az volt, hogy nem foglalkozik az elektronpályák alakjával.

Sommerfeld – féle atommodell

20. sz. második fele, német matematikus, fizikus

Úgy módosította a Bohr-féle atommodellt, hogy lehetségesnek tartotta az ellipszis pályákat is. Bevezette a kvantumszámok fogalmát.

Kvantumszámok:

1. főkvantumszám: n
2. mellékkvantumszám: l
3. mágneses kvantumszám: m
4. spinquantumszám: s

1. **Főkvantumszám** – megadja, milyen távolságban vannak az elektronpályák az atomban, tulajdonképpen az elektron energiaértékét határozza meg.

$$n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$$

2. **Mellékkvantumszám** – a pálya alakját (excentricitását) adja meg, másnéven az elektron impulzus-nyomatékát jellemzi.

$$l = n - 1$$

3. **Mágneses kvantumszám** – a pálya irányát adja meg, tulajdonképpen a keringő elektron mozgásának irányát adja meg.

$$m = 2l + 1$$

4. **Spin** – a saját tengely körüli forgásból adódó perdület.

$$s = \frac{1}{2}; -\frac{1}{2} \quad + \frac{1}{2} - \text{a mozgás iránya megegyezik a keringés irányával}$$
$$-\frac{1}{2} - \text{ellentétes irány}$$

Pauli – Nobel-díjas, 20.sz. osztrák fizikus.

Egy atomon belül nem lehet 2 olyan elektron, amelynek mind a 4 kvantumszáma megegyezik.

De Broglie (ejtsd: debrőj) – Nobel-díjas, 20. sz. francia matematikus, fizikus.

De Broglie – féle hullámok: Abból indul ki, hogy a dualitás (a kettős természet) a hullámra és a részecskére is egyaránt érvényes.

Megalkotta az anyag hullám hipotézisét. Ennek lényege, hogy a **mozgó elektronhoz hullámhosszt rendelt:**

$$2\pi r = n \cdot \lambda$$

Az atomban csak azok lehetnek a stacionárius kvantumpályák, amelyeken a körpálya kerülete az elektronhoz rendelt hullámhossz egész számú többszöröse.

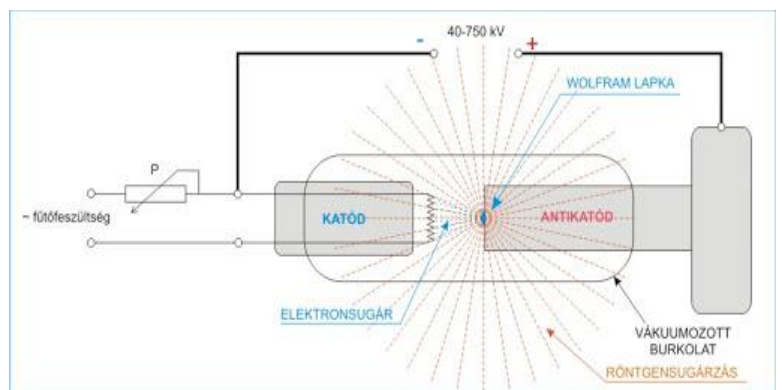
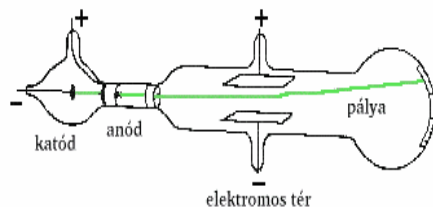
Stacionárius pálya, az a pálya, ahol az elektron energiaveszteség nélkül kering.

Mindezt összevetve Bohr – pályafeltételével, behelyettesítés után kapjuk, hogy:

$$\left. \begin{array}{l} 2\pi r = n \cdot \lambda \\ m \cdot v = n \cdot \frac{h}{2\pi r} \end{array} \right\} \lambda = \frac{h}{m \cdot v} - De - Broglie - anyaghulláma$$

A röntgensugárzás

A katódsugárzás a katódsugárcsőben kialakuló elektronsugárzás elnevezése.



Ha nagy sebességű katódsugarak elektronjai fémfelületbe ütköznek, arról nagy áthatolóképességű röntgensugarak indulnak ki.

Itt is érvényben van a már ismert képlet: $\frac{1}{2} m \cdot v^2 = Q \cdot U$, ebből a mozgó elektronok sebessége:

$$v = \sqrt{\frac{2QU}{m}}$$

A sugarak felfedezőjükről, Röntgenről kapták a nevüket.

Röntgen – 19-20. sz. német fizikus, 1901-ben ő kapta az első Nobel-díjat.

Kezdetben ezeket a sugarakat X – sugaraknak hívták (ismeretlen sugarak).

A kisebb sebességű részecskék (elektronok) a fémmel való ütközéskor hővé alakulnak át. A nagy sebességű elektronok fokozatosan fékeződnek le és ennek megfelelően Röntgen-spektrum keletkezik.

A Röntgen-sugarak a katódsugarakból keletkeznek, de alapvetően különböznek tőlük.

Egyenes vonalban terjednek minden irányba és nem lehet őket elektromágneses térrel eltéríteni

(a frekvenciatartomány már $10^{16} \text{ Hz} - 10^{20} \text{ Hz}$).

Tulajdonságaik:

1. ionizálják a levegőt
2. megfeketítik (exponálják) a fényképlemezt
3. báriumra esve fluoreszcenciát váltanak ki (zöldesen világít)
4. az anyagok különböző mértékben nyelik el a röntgensugarakat
5. az adott anyag minél vastagabb rétegén hatol át a röntgensugár, annál jobban elnyelődik

Felhasználhatóság:

Röntgenfelvétel, sugárterápia

Szilárd anyagok vizsgálata

Röntgenmikroszkóp, csillagászati kutatások

A lézer – LASER

Az atomfizikai kutatások egyik jelentős technikai találmánya.

Jelentése magyarul: **fényerősítés sugárzással gerjesztett emisszióval.**

Spontán emisszió:

Ha a semleges atomokat fotonnal gerjesztjük (megvilágítjuk), akkor elektronjai magasabb energiaszintre kerülnek, majd visszaugráskor a gerjesztésnek megfelelő energiakülönbséget kisugározzák – **spontán emisszió** (általában véletlenszerűen történik).

Gerjesztett emisszió:

A gerjesztett atomok azonban fotonkibocsátásra képesek akkor is, ha a spontán keletkező fotonok beléjük ütköznek és gerjesztett atomokat sütnek ki – **gerjesztett emisszió** (ez már szinkronizált folyamat). Ezek a fotonok újabb gerjesztett atomokat sütnek ki és így tovább. A fotonkibocsátás tehát erősödő mértékben, lavinaszerűen folyik le.

Az első működőképes lézer egy krómmal szennyezett, mesterségesen növesztett rubinkristály volt – MAIMAN (1960, amerikai fizikus).

A lézersugár nagymértékben párhuzamos, koherens, majdnem pontosan homogén fényt sugároz.

(koherens – állandó frekvencia és fáziskülönbség, homogén – egyenemű; tovább nem bontható)

10^{-4} cm^2 felületre koncentrálna a fényenergia-sűrűség $10^{12} \text{ W} / \text{m}^2$ körüli

(a napsugárzás ugyanekkora felületre $10^7 \text{ W} / \text{m}^2$)

Manapság nagyobb teljesítményű és jobb hatásfokkal működő gázlézereket, folyadéklézereket és félvezetőlézereket alkalmaznak.

Felhasználhatóság:

Orvostudomány – fogorvos, szemműtétek

Ipar

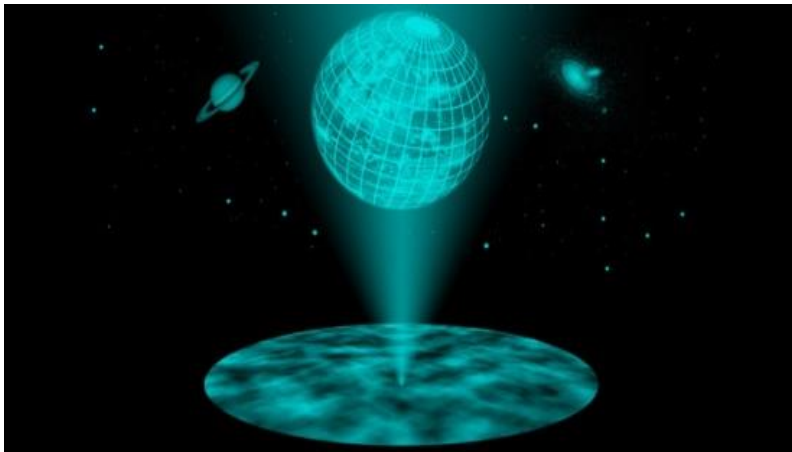
Haditechnika

Egyik érdekes felhasználási terület a **HOLOGRÁFIA**:

A holográfia egy olyan képrögzítő eljárás, amellyel a tárgyról tökéletes térhatású, háromdimenziós kép hozható létre.

A szó jelentése: holosz – teljes; graphos – kép.

Gábor Dénes – magyar származású 20. sz. fizikus, 1971-ben kapta ezért a Nobel-díjat.



A magfizika alapjai

Becquerel kutatásai során megállapította, hogy az uránszurokérc olyan sugarakat bocsát ki magából, amelyeknek nagy az áthatolóképességük és ionizálják a levegőt.

Becquerel Curie házaspár	}	Francia Nobel-díjas fizikusok, századfordulón éltek, 1903-ban kapták a Nobel-díjat.
-----------------------------	---	---

A Curie házaspárnak (Pierre, Marie → Skłodowska) sikerült kb. milliószor erősebben sugárzó anyagot, a rádiumot is kiválasztania.

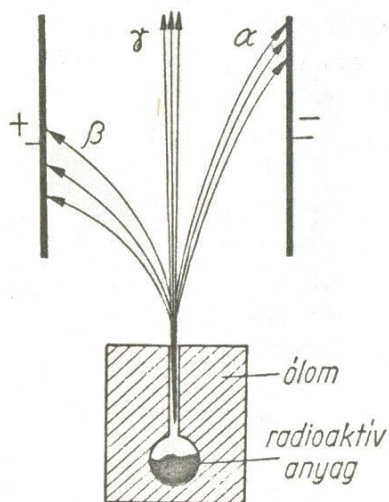
A további kutatások során megállapították, hogy ilyen, ún. **természetes radioaktív sugarakat még sok más elem is kibocsát:**

urán (U); rádium (Ra); radon (Rn); stroncium (Sr); plutónium (Pu); polónium (Po); aktínium (Ac);
tórium (Th); erbium (Er);

Ezekre az anyagokra jellemző, hogy minden külső hatás nélkül állandóan sugároznak.
--

A természetes radioaktivitás

Elektromágneses térben a radioaktív anyagok sugárzása 3-féle lehet:



1. Az **α -sugarak** pozitív töltésű hélium ionok és keskeny nyalábot alkotnak. Erős az ionizáló hatásuk, hatótávolságuk viszont csak pár cm.

Sebességük: $v=10000\text{km/sec} - 20000\text{km/sec}$.

Jelölése: ${}^4_2\text{He} ; \alpha^+$

2. A **β -sugarak** negatív töltésűek (elektronok) és széthajló nyalábot alkotnak. Ionizációs képességük kisebb, hatótávolságuk valamivel nagyobb (50cm-60cm).

Sebességük 100 000-es nagyságrendű.

Jelölése: ${}^0_{-1}\text{e} ; \beta^-$

3. A **γ -sugarak** irányukat nem változtatják, nagy energiájú elektromágneses sugarak. Ionizáló hatásuk a legkisebb, áthatolóképességük viszont igen nagy.

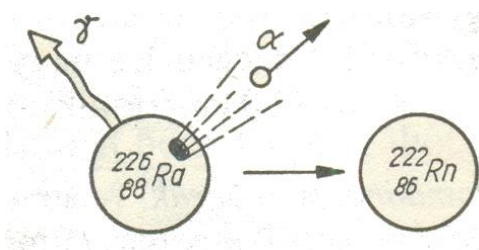
(a frekvenciatartomány már 10^{22} Hz)

Sebességük: $v = c = 300\,000\text{km/sec}$

Jelölése: γ

A radioaktív bomlás

Rutherford megállapította, hogy a rádium a sugárzások mellett termel egy addig ismeretlen gázt – ez a radon.



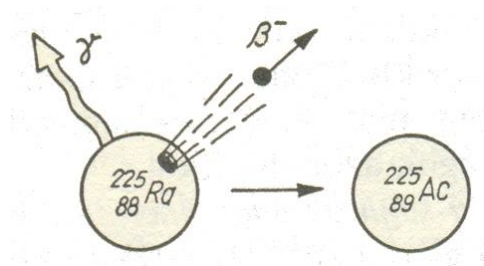
Ilyen értelemben elmondhatjuk, hogy a radioaktív anyagok környezetében a levegő is radioaktívvá válik.

Az ábrából az is kiderül, hogy a rádium atommagjai (izotópok) nem stabil szerkezetűek, mivel külső hatás nélkül megváltoznak, átalakulnak.

Ennek értelmében szokták az atommagokat 2 nagy csoportra osztani:

1, **STABIL SZERKEZETŰ ATOMMAGOK**

2, **RADIOAKTÍV SZERKEZETŰ ATOMMAGOK**



A kísérlet során azt is megállapították, hogy vannak olyan természetes radioaktív elemek, amelyeknél az atommagból nem α rész, hanem elektron (β -sugár) szabadul ki.

A γ -sugárzás pedig az α és β sugárzást kísérő energiakvantum (foton).

(Neki nagy az energiája és ő káros az egészségre $\rightarrow E = h \cdot f$ -nek megfelelően, mivel a frekvenciatartomány már 10^{22} Hz.)

A bomlási állandó – minden radioaktív bomlásra jellemző a másodpercenként elbomló és a kiindulásnál meglévő bomlatlan atomok viszonya.

Jele: λ (Vigyázz, nem hullámhossz!)

Egysége: $[\lambda] = \text{sec}^{-1}$

A felezési idő – az az idő, amely alatt a kiinduláskor meglévő bomlatlan atomok fele radioaktív sugárzás közben szétesik.

Jele: $T_{1/2}$

Egysége: $[T_{1/2}] = \text{sec}$

Kísérletileg igazolható a bomlási állandó és a felezési idő közti viszony: $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$

($\ln$ – természetes alapú logaritmus)

Az aktivitás – számszerűen megadja, hogy 1 időegység alatt hány atom bomlik el.

Jele: A (Vigyázz, nem amplitúdó!)

Egysége: $[A] = \text{Bq}$ (becquerel)

1 Bq az anyagnak az aktivitása, ha abban 1 sec alatt 1 bomlás következik be.

Régebben használatos egység 1 CURIE = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq

Dózis – a sugárzás biológiai hatását az elnyelt dózissal jellemezhetjük.

Jele: D

Egysége: $[D] = \text{GRAY (Gy)}$

1 Gray az a sugárdózis, amelyet 1 kg tömegű anyag elnyel, ha állandó sugárzás mellett 1 J energiát nyel el.

Bomlási sorozatok

A természetes radioaktív elemek különböző bomlási sorozatokat alkotnak. Ilyen tekintetben 4 családot különböztetünk meg:

1. urán-rádium család (kezdőelem az ^{238}U , a záróelem pedig a $^{206}\text{Pb} \rightarrow$ rádiumólom)

2. thórium család (kezdőelem a ^{232}Th , a záróelem pedig a $^{208}\text{Pb} \rightarrow$ thóriumólom)

3. urán-aktínium család (kezdőelem az ^{235}U , a záróelem pedig a $^{207}\text{Pb} \rightarrow$ aktíniumólom)

4. transzurán elemek (neptúnium család) (kezdőelem a ^{237}Np , a záróelem pedig a ^{209}Bi)

A transzurán elemek olyanok, amelyek rendszáma 92-nél (vagyis az urán rendszámánál) nagyobb.

Minden esetben a **bomlási törvény**:

$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \rightarrow$ az aktivitásra vonatkozik

$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \rightarrow$ számszerűen a bomlásra vonatkozik

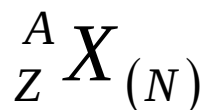
$m(t) = m_0 \cdot e^{-\lambda t} \rightarrow$ a tömegre vonatkozik

Ahol:

O (index) – a bomlatlan atommagok száma (kiindulási érték)

t – a bomlatlan atommagok száma t idő alatt

e – Euler-féle szám



Ahol:

X – a periódusos rendszer tetszőleges eleme

A – nukleonszám (a protonok és neutronok számának összege $\rightarrow$ egész szám)

Z – rendszám – az elektronok, ill. protonok száma (a Mengyelejev-féle periódusos rendszerben a sorszáma)

N – neutronszaám (kevés táblázatban használatos)

Izotópok

Az elemeknél a protonok száma megegyezik, de neutronszámban különböznek.

A szó görög eredetű, jelentése: „azonos hely”.

A további kutatások megállapították, hogy nemcsak a radioaktív elemek között találhatók izotópok, hanem majdnem valamennyi, a természetben előforduló elem izotópok keverékéből áll.

Leggyakoribb izotópok:

C – 10; 11; 12; 13; 14 (a 12-es 98,9%-ban fordul elő a természetben)

O – 15; 16; 17; 18 (a 16-os 99,67%-ban)

U – 234; 235; 238 (a 238-os 99,25%-ban)

Atomfizikai műszerek

A magfizika valamennyi ismerete olyan kísérleteken alapszik, amelyek során a részecskék vagy az atommag által kibocsátott sugárzás kimutatására, feltárására, detektálására kerül sor.

Detektor – olyan műszer, amely kimutat, feltár, összehasonlít (láthatóvá tesz)

A detektálás során a téren átrepülő töltéshordozók, részecskék és a nagy energiájú fotonok ionizáló hatását használják fel. Az így keletkezett görbék hosszából, vastagságából, az elektromágneses eltérítés irányából következtetni lehet a részecskék tömegére, töltésére, energiájára...

1. A Wilson-féle ködkamra

Wilson – Nobel-díjas, skót fizikus

A vízgőzzel telített térben, ha az átrepülő részecskék ionizálják a levegő molekuláit, akkor a vízgőz ezekre az ionokra lecsapódik → köd. Így a részecskék útja ködvonalak (ködfonalak) alakjában láthatóvá válnak.

2. A buborékkamra

Glaser – Nobel-díjas, amerikai fizikus

Ha a kamrában levő forráspontja alá hevített folyadékon (folyékony hidrogénen) nagy sebességű részecske halad át, akkor pályáját buborékokból álló nyomvonal jelzi. A részecske a folyadékmolekulákba ütközik, azokat forráspontra melegíti fel, ami helyi buborékképződést eredményez.

3. A szikrakamra

A gázok önállóan vezetésén alapszik. A kamrában fémhálók vannak, amelyeket felváltva pozitív, ill. negatív feszültséghez kapcsolnak. Ha elektromosan töltött részecske halad át a kamrán, a pályája mentén ionizálja a gázt és a lemezek között kisülési szikrák keletkeznek.

4. Az ionizációs kamra

Ez egy feltöltött kondenzátor, amelyet a lapjai közt átrepülő és a levegőt ionizáló sugarak kisütnek.

5. A GM számláló

Geiger }
Müller } 20. századi német fizikusok

Fő része a kb. 10^{-4} Pa nyomású argongázzal töltött fémhenger. Ha a csőbe részecske jut, ami a gázt ionizálja, önálló kisülés jön létre. Ez megfelelő erősítés után számláló és akusztikai berendezést irányít, vezérel, hangot ad ki.

Az atommag felépítése és energiája

Miután az angol, Nobel-díjas **Chadwick** felfedezte a neutront, egyértelművé vált az atommag felépítése és az elemi részecskék tömege is.

$m_p = 1,00727 \text{ u}$
 $m_N = 1,00866 \text{ u}$
 $(m_e = 0,00055 \text{ u})$ } Ahol az **u** az **atomi tömegegység**: $1 \text{ u} = 1,6604 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Az atomi tömegegység a 12-es szénizotóp tömegének 1/12-e.

Megállapíthatjuk, hogy **minden atommag tömege kisebb, mint az őt alkotó részecskék tömegeinek összege.**

A különbséget tömeghiánynak vagy tömegdefektusnak nevezzük. Jele: Δm

A műszer, ami ezt kimutatja, a **tömegspektroszkóp**.

Einstein szerint a keletkezett tömeghiányt energiaként foghatjuk fel ($E = m \cdot c^2$).

(számítások szerint a *He* atom tömeghiánya 28 MeV)

A tömeghiánynak megfelelő energia határozza meg az atom stabilitását – **ez a kötési energia.**

Ezek szerint, ha az atomot alkotórészeire akarjuk szétbontani, akkor a tömeghiánynak megfelelő nagyságú munkavégzésre van szükség.

A tömeghiányra érvényes: $M + \Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_N$

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_N - M$$

Ahol:

M – atommag nyugalmi tömege (kg)

Δm – tömeghiány (kg ; J ; MeV)

Z – rendszám, az elektronok, ill. protonok száma

N – neutrons szám

A – nukleonszám, a protonok és neutronok számának összege

m_p – proton tömege (kg)

m_N – neutron tömege (kg)

A kötési energia:

$$E_{köt} = \Delta m \cdot c^2$$

Felhasználhatóság:

könnyűelemek (pl. a Napban lejátszódó héliumfúzió) } hatalmas energia szabadítható fel
nehézelemek (pl. a láncreakciónál az urán hasadása) }

A mesterséges radioaktivitás

Mesterséges magátalakítás

A radioaktív sugárzások és az izotópok vizsgálata felvetette azt a gondolatot, hogy az atommagban levő protonok számának változtatásával át lehet alakítani mesterségesen is az atomokat.

A magreakció leggyakrabban úgy játszódik le, hogy az X atom az a részecskét befogja, kirepül egy b részecske és az atom átalakul Y atommá. $X + a \rightarrow Y + b$. Az Y lehet stabil atom, vagy még tovább bomló atom.

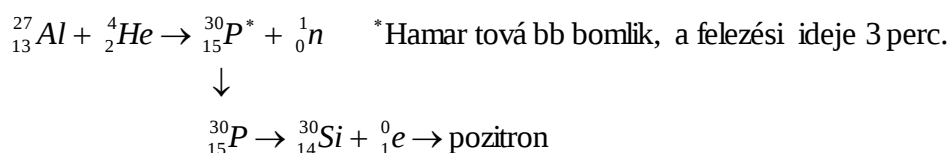
A leggyakrabban használatos lövedékek:

α -részecske, proton, deuteron (deutérium atommagja, 1 proton és 1 neutron), röntgen, ill. gamma-fotonok, neutron

A neutron ideális lövedék, mert nincs töltése és tömege nagyságrendben megegyezik a proton tömegével.

A neutronsugárzás nagy energiájú sugárzás (nagy sebesség, néhány MeV-nyi energia).

A Curie házaspár kutatásai során megállapította, hogy ha az alumínium-atommag α -részt fog be, neutron-sugárzás mellett egy olyan foszforizotóp keletkezik, amely radioaktív és a természetben nem fordul elő — **mesterséges radioaktivitás:**

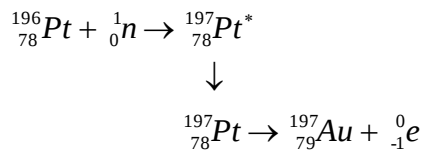


Ez a kísérlet azért volt jelentős, mert a pozitron előállítása mellett mesterséges radioaktív elem is keletkezik!

A pozitron az elektron antirészecskéje – tömege ugyanolyan, töltése ellentétes (vigyázz, nem ugyanaz, mint a proton). A pozitron nem stabil, előbb utóbb elektronnal egyesül és γ (gamma) kvantum keletkezik.

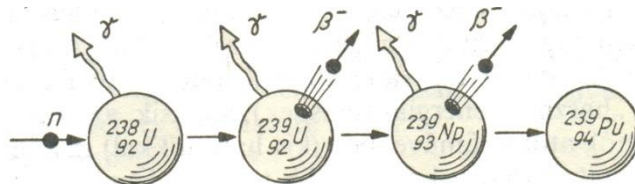
A pozitron előállítását nyitotta meg a részecske – antirészecske, ill. az ún. párkeltés elméletének kialakulásához. További kutatások során csaknem valamennyi elemnek sikerült a radioaktív izotópját előállítani.

Mint érdekességet megemlíthetjük, hogy az alkimisták évszázados álma a mesterséges arany előállítása – bár költséges – ma már megvalósítható reakció:



A láncreakció

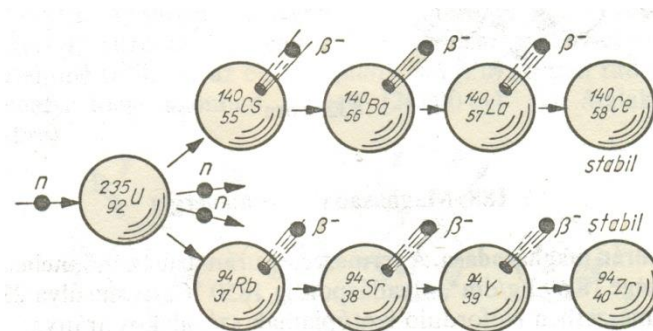
Kutatásai során a Nobel-díjas olasz **Fermi** megállapította, hogy a ${}^{238}\text{U}$ neutron befogása esetén eggyel magasabb rendszámú új elemmé alakul át. Ez az elem nem stabil, és a továbbiakban így keletkező elemeket **transzurán** elemeknek nevezzük.



Ilyenek: neptúnium (*Np*), plutónium (*Pu*), amerícium (*Am*), kúrium (*Cm*), berkélium (*Bk*), kalifornium (*Cf*), einsteinium (*Es*), fermium (*Fm*).

A maghasadás

Ha a ${}^{235}\text{U}$ izotóp magját neutron találja el, nem képződik transzurán elem, nem nyelődik el a neutron, hanem a mag 2 részre hasad.



A széthasadt uránmagból nagy sebességgel másodlagos neutronok repülnek ki (3-4 db.), amelyek további maghasadásokat létesítenek.

A keletkező magok kötési energiája nagyobb lesz, mint a kiindulási magé. Az így nyert energiát a hasadványmagok és a keletkező szabad neutronok viszik magukkal mozgási energia formájában (egy mag hasadásakor kb. 200 MeV energia szabadul fel).

Izotópdúsítás (urándúsítás) – a láncreakció feltételei csak akkor teljesülnek, ha az uránércben megnövelik a ${}^{235}\text{U}$ magok arányát a ${}^{238}\text{U}$ -hoz képest (tudniillik ezekben elnyelődnek a neutronok).

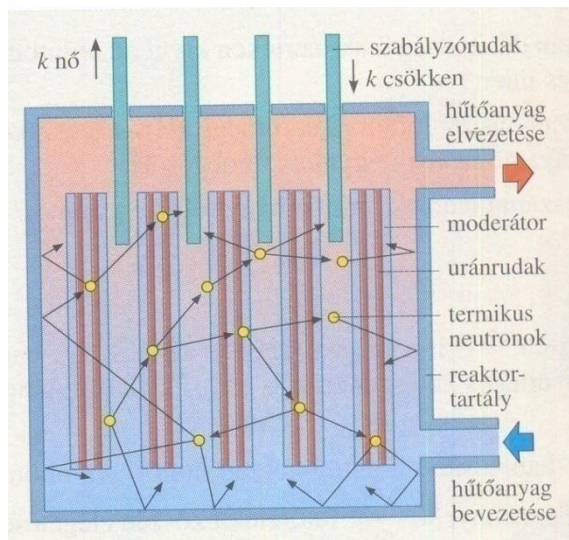
Kritikus tömeg – ha az urán nem elegendően nagy tömegű, a szabad neutronok kiszöknek belőle → nem indul be a láncreakció.

pl. 1 kg urán hasadásakor annyi energia szabadul fel, mint kb. $3 \cdot 10^6$ kg (3000tonna) szén elégetésekor.

Gyakorlati alkalmazások

Atomreaktorok – ezek olyan berendezések, amelyek szabályozott láncreakcióval folyamatosan energiát termelnek. Az alkalmazott hasadóanyag és szerkezeti felépítés szerint sokféle fajtájuk van.

Sok reaktorban több tonna természetes uránt grafitba ágyazva helyeznek el. A láncreakció sebességét a grafit tömbbe nyúló kadmium (Cd), vagy Bór (B) rudakkal szabályozzák.



A kadmium és a bór elnyeli a neutronokat, a grafit fékezi azokat. Az uránrudakban megtalálható ^{238}U izotóp viszont befogja a gyors neutronokat ($10000\text{ km/sec} - 15000\text{ km/sec}$).

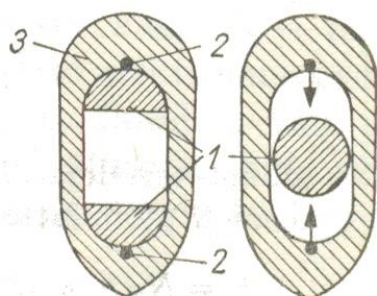
Ha a sokszorozási tényező veszélyesen megnő („megszalad a reaktor”), akkor a rudakat egy automatikus berendezés nagyobb mélységbe nyomja le.

A szabályozott láncreakciót a lassú neutronokkal ($3 - 4\text{ km/sec}$) a ^{235}U tartja fent.

Az energiaátalakulás menete:

- Magenergia (magreaktor).
- Hőenergia (hűtőkörök – primér és szekundér körök, hogy ne maradjon szennyeződés általában víz, vagy nehézvíz – deutérium-oxid használatos).
- Mechanikai energia (gőzturbina).
- Villamos energia (generátor).

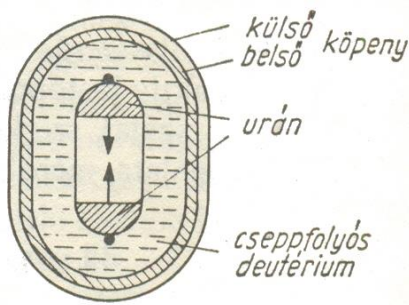
Az atombomba és a hidrogénbomba:



Az első uránbombát ^{235}U – ből állították elő.

A két részre osztott uránfélgömböket egy robbanótöltet egymáshoz lökte. A bomba tömege 47 kg , átmérője 17 cm volt.

A hő és nyomáshatáson kívül nagy energiájú radioaktív sugarak távoztak → **szabályozatlan láncreakció**.



A hidrogénbombában egy atombomba van, melyet cseppfolyós deutérium vesz körül. Az atombomba felrobbanása után keletkező több millió °C-os hőmérsékleten bekövetkezik a **hidrogén-hélium fúzió**: $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^0_1\text{e}^+$

A Napban is ez játszódik le.

A fűtőértéket figyelembe véve:

$1 \text{ kg He} \approx 7 \text{ kg } {}^{235}\text{U} \approx 7 \cdot 3000 \text{ tonna szén}$

Orvostudomány

Diagnosztikai
Terápiás } alkalmazások (jelzett radioaktív atomokat juttatnak az emberi szervezetbe).

Ipar – anyagszerkezeti tisztítás és rétegvastagságok mérése.

Különböző műszerek – pl. kormeghatározás.

A nukleáris energiatermelés problémái:

1. A kiégett fűtőelemek biztonságos tárolása (valójában nem hulladék, hanem termék, ami keletkezik). Mélyen elhelyezkedő sóbányák → betonbunkerek → rozsdamentes acélhordó (ezekkel be van biztosítva, hogy nincs víz, levegőszennyezés és hogy nincs földrengés).
2. Újrafeldolgozás – a kiégett fűtőelemekből újra felhasználható radioaktív anyagokat lehet kinyerni
3. Biztonság – vajon lehet-e egy atomerőműből atombomba? NEM!
4. Háború esetén...?! Ha Európában a legkisebb teljesítményű atomreaktor felrobbanna, akkor a környékén lehetetlenné válna az élet.
5. Csernobil 1986...

A speciális relativitáselmélet keletkezése

A relativitáselmélet a 20. sz. elején keletkezett (1905). Megalkotója **Albert Einstein**. Az elmélet lehetővé tette azon fizikai törvényszerűségek pontosabb magyarázatát, amelyek a fénysebességhez közelítő sebességre érvényesek.

A teória két fő része: 1. **Speciális relativitáselmélet** – inerciarendszerekkel és a fénysebességhez közeli sebességgel foglalkozik.

2. **Általános relativitáselmélet** – nagy tömegek közelében a mozgás pályájának görbületével foglalkozik.

Einstein speciális relativitáselméletének elve két posztulátumon alapszik:

1. A relativitás elve – A természeti jelenségek (a fizika összes törvénye) minden inerciarendszerben egyformán zajlanak le.

2. A fénysebesség állandóságának elve – A fénysebesség minden inerciarendszerben állandó és független a fényforrás sebességétől.

Az idő és a tér nem abszolút fizikai mennyiségek, mint ahogyan azt a klasszikus fizika feltételezte.

Az események **négydimenziós téridőben** zajlanak le. $[x, y, z, t]$, ahol: x, y, z – térbeli koordináták, a t pedig az időbeli koordináta.

Az idődilatáció:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \text{ ahol: } \Delta t - \text{mozgási mérőszám, } \Delta t_0 - \text{nyugalmi mérőszám (saját rendszerben mért idő)}.$$

Az iker a Földön megöregszik...(időutazás – ikerparadoxon).

A távolságkontrakció:

$$l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \text{ ahol: } l_0 - \text{nyugalmi mérőszám (nyugalmi hossz), } l - \text{mozgási mérőszám}.$$

Az űrhajó vízszintes hossza lerövidül...

Példák

Így férhetne bele pl.: egy 10 m hosszú alagútba egy 15 m hosszú vonat (értelemszerűen csak, ha $v \approx c$).

A példa kapcsán tudatosítsuk, hogy a $v \approx c$ sebességgel mozgó vonatnak csak a mozgás irányával párhuzamos koordinátája (hossza) csökken.

A relativisztikus dinamika alapjai

A Newton-féle klasszikus mechanika képletei alapján az állandó tömegű mozgó test bármilyen sebességet elérhet.

A relativitáselmélet értelmében viszont a test tömege függ a sebességtől.

$$m = m_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad m_0 = m \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{ahol: } m_0 - \text{nyugalmi tömeg (nyugalmi mérőszám)}.$$

ahol: m – relativisztikus tömeg (mozgási mérőszám).

Érdekességképpen:

v/c (%)	m (kg)
0	1
80	1,7
99	7,1
99,9	22,4
99,9999	224
100	∞

Ha a mozgó test sebessége növekszik (közelít a fénysebességhez) növekedni fog a tömege is.

A növekvő tömeg mellett viszont állandó erők esetén egyre kisebb gyorsulásra tesz szert a test, így sebessége soha nem érheti el a fénysebesség értékét.

Az elmondottak alapján a relativisztikus dinamikában használatos összefüggések:

Impulzus:
$$p = \frac{m_0 \cdot v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Erő:
$$F = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 \cdot v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right)$$

Energia:
$$E = \frac{m_0 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

A relativisztikus dinamikát igazoló példák:

- a ciklotron működése (a gyorsításnak határt szab a tömegnövekedés)
- a foton tömege ($m \cdot c^2 = h \cdot f$ - nincs nyugalmi tömeg)
- tömeghiány, tömegdefektus ($E_{köt} = \Delta m \cdot c^2$)

Asztronómiai alapismeretek

Az első kultúrnépek a babiloniak, egyiptomiak, indiaiak sok-sok csillagászati megfigyelést végeztek. Az idő számításának kifejlesztéséhez kellett ezek a megfigyelések.

Jelentős elmélet a Földről, mint gömbről és a világmindenség végtelenségéről az i.e. 2. században keletkezett.

Közép-Amerikában a mayák már i.e. 3400 évvel megfigyelték és leírták a napfogyatkozás jelenségét.

A bolygómozgás a görögök alkotása. Ptolemaios (i.sz. 90-120) nézete a földközéppontú (geocentrikus) nézet volt. Ez a felfogás egészen Kopernikuszig maradt fenn.

Kopernikuszig minden tudományos kutatást megtiltottak, ez a tudomány számára a sötét középkor volt. Ennek lett áldozata, mártírja Jordanó Brúnó, akit máglyahalállal büntettek.

Fodulatot Kopernikusz (1473-1543) elmélete hozott, melyet napközéppontú (heliocentrikus) rendszernek nevezünk. A bolygók mozgásának megoldását Johannes Kepler (1570-1630) törvényei hozták meg. Galileo Galilei (1564-1642) fedezte fel a távcsövet. Newton (1643-1725) alkotta meg a gravitációs törvényt.

Csillagvizsgálók épültek Párizsban, Berlinben. Römer (1644-1710) a fény sebességét határozta meg. A rádiócsillagászat segítségével 1931-ben észlelték a Tejútrendszer közepéből (30 000 fényév) jövő jeleket. 1946 óta pontosan meg tudják határozni a rádióhullámokat kibocsátó objektumokat, pl. a kvazárokat és a pulzárokat: ezek csillagok és égitestek.

A világűr fejlődése és felépítése

A Világmindenség egy hatalmas robbanással keletkezett, valamikor 15 milliárd évvel ezelőtt (Big-Bang = Nagy Robbanás). A Világegyetem minden anyaga egy kis pontba sűrűsödött össze, ez felrobbant, tágulni és hűlni kezdett. Az anyagrészecskék egyesülése után megjelentek az elektronok, protonok, neutronok. Létrejött a hidrogén és a hélium. A Világegyetem tovább tágult és tovább hűlt. Kialakultak az első galaxisok, később a Napunk és a Földünk.

A csillagok a galaxisokban levő por és gázfelhőkből alakultak ki. A gázfelhő összesűrűsödik, összehúzódik. A nyomás, a hőmérséklet növekszik. A hőmérséklet elérheti a 10-15 milliós hőfokot. Megindul a magfúzió és új csillag keletkezik. Egyszerre több csillag is keletkezhet. Ezeket csillaghalmazoknak nevezzük. A csillag ezt követően egyensúlyi helyzetbe kerül. Életének nagy részét ebben az állapotban éli a csillag.

A csillagok fénye különböző: kékes, sárgás, vörös. Ennek az az oka, hogy a csillagok különböző korúak.

A csillag életének hossza attól függ, hogy mekkora a tömege. A nagy tömegű csillagoknak nagy az energiatermelése. A nagy hidrogénfogyasztás miatt alig élnek néhány millió évnél tovább. A közepes tömegű csillag, mint a Nap, jóval tovább él.

Idővel megkezdődik a csillag haldoklása. Megszűnik az energiatermelése, a gravitáció összehúzódnást okoz. A csillag újból felmelegszik, beindul a hélium égése. Kitágul és óriásira növekszik. A csillag színe vörös lesz. Az ilyen csillag a vörös óriás. Napunk kb. 5 milliárd év múlva lehet ilyen.

A Nap látszólagos mozgása, a Galaxisok

A Földön úgy tűnik, hogy az égitestek az égbolton lassan, de egy irányban elfordulnak. A forgás körpálya mentén történik. Az égitestek látszólagos mozgását a Föld tengely-körüli mozgása okozza. Különböző évszakokban az égbolton más és más égitestek jelennek meg. Egy csillag, a Sarkcsillag állva marad. A Sarkcsillag környezetében levő csillagok állandóan a látóhatár felett maradnak.

Minden év június 22. - én hosszúak a nappalok, rövidek az éjszakák. December 22. - én rövidek a nappalok, hosszúak az éjszakák. Március 21. - én, illetve szeptember 23. - án a nappalok és az éjszakák egyenlőek.

Az égbolt csillagai, a Nap és a többi égitest a Világegyetem részei. A Nap egy égitestekből álló rendszernek, a Naprendszernek központja. A Naprendszer pedig mintegy 100 milliárd csillagból álló Tejútrendszernek (Galaxisnak) a része. A Világegyetem (Univerzum) több mint 1 milliárd galaxisból áll.

A Világegyetemben történő távolságok mérésére a csillagászati egységet – 150 millió km és a fényévet – 10 billió km használják. 1 fényév az a km-ben kifejezett távolság, melyet a fény 1 év alatt tesz meg.

A Nap évi látszólagos mozgása mentén elhelyezkedő csillagokat 12 területre tagolták. Ezekből lettek az állatövi csillagképek: vízöntő, halak, kos, bika, ikrek, rák, oroszlán, szűz, mérleg, skorpió, nyilas, bak. Egy csillagképben a Nap egy hónapig tartózkodik.

Naprendszerünk

A Naphoz égitestek, bolygók kötődnek, mert a Nap vonzza őket. A bolygók a Nap körül ellipszis alakú pályán mozognak. A bolygók egymáshoz viszonyított nagysága több esetben nagy eltérést mutat.

A Tejútrendszernek az a része, ahol a Nap vonzása érvényesül, Naprendszernek nevezzük. E gömb alakú tér sugara kb. 2 fényév. A Nap a bolygóival együtt a Tejútrendszer középpontja körül kering. A keringési idő 230 millió év. Saját tengelye körül a Naprendszer 30-34 nap alatt fordul meg.

A Nap központi helyzetű égitest, sárga színű, gáz-halmazállapotú csillag. Fényét, hőjét, sugárzásait saját energiatermelése biztosítja. Energiatermelését a hidrogénnek héliummá való átalakulása adja. Tömege $1,99 \cdot 10^{30}$ kg, átlagos sűrűsége $1,44 \text{ g/cm}^3$, hőmérséklete 1 millió Celsius-foktól 20 millió Celsius-fokig terjed. A Nap magjában másodpercenként 500 millió tonna hidrogén alakul át héliummá. A Nap a Naprendszerének az energiaszükségletét még több milliárd évre tudja biztosítani.

A Naprendszer középpontjában elhelyezkedő Nap gravitációs hatása következtében különböző égitesteket, bolygókat ellipszispályára kényszerít. Erre a felfedezésre Kopernikusz és Kepler jött rá. A Föld is a Nap körül körhöz közelítő ellipszis alakú pályán mozog.

Newton jött rá arra, hogy mi az az erő, amely az égitesteket körpályára kényszeríti:

$$F_g = \gamma \frac{mM}{R^2}$$

Ez Newton gravitációs törvénye: minden test minden testet vonz és a vonzóerő egyenesen arányos a tömegek nagyságával és fordítottan arányos a távolságuk négyzetével.

A Naprendszerben 8 (9) nagy, illetve kb. 100 000 kisbolygó található. A nagybolygók Naptól távolodva a következők: Merkúr, Vénusz, Föld, Mars, Jupiter, Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz (Plútó).

Föld típusú, belső vagy kőzet bolygók: Merkúr, Vénusz, Föld, Mars. Kis méretűek, nagy sűrűségűek és nehéz elemeket tartalmaznak.

Jupiter típusú, külső vagy gázóriás bolygók: Jupiter, Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz. Nagy méret, kis sűrűség és könnyű elemek jelenléte jellemzi őket.

A Föld a mi lakóhelyünk. Nagysága kb. egyenlő a Vénuszéval illetve a Marséval. A Föld átlagos sűrűsége $5,52 \text{ g/cm}^3$, felszíni rétegeinek sűrűsége $2,5 \text{ g/cm}^3$. Forog a saját tengelye körül. Forgástengelye az Északi és a Déli sarkat összekötő egyenes. 23 óra 56 perc 46 másodperc alatt fordul meg a tengelye körül. A forgás iránya nyugatról kelet felé mutat. A Föld a Nap körül is kering. Körpályáján 1 év alatt halad végig. Bolygónkat a káros sugárzástól az ózonréteg és a mágneses mező védi.

A Föld kísérő égiteste a Hold. Víz nem tartalmaz, légköre nincs. A Holdet 27,3 nap alatt kerüli meg. 2 újhold között 29,5 nap telik el. A Hold térképe tengereket, fennsíkakat és krátereket ábrázol. A Hold képződményeit tudósokról, írókról, híres zeneszerzőkről nevezték el: Archimédes, Curie, Bartók...