Fizikai alapismeretek

2008

„t a r t a l o m j e gy z é k ”

a fizika tárgya, helye a term.tudományok körében, a fizikai megismerés folyamata és módszerei, a fizikai mennyiségek jellege, mértékrendszerek, alapmennyiségek

mechanika

kinematika
dinamika, alapvető fizikai kölcsönhatások
munka, energia
égi mechanika
merev testek, deformálható testek
rezgések, hullámok, hangtan

hőtan

gázok állapotváltozásai, termodinamika főtételei, statisztikus fizika

elektromosság- és mágnesség

nyugvó töltés, mozgó töltés, elektromos áram, mágneses hatások

optika

fényterjedés, geometriai optika, fizikai optika

radioaktivitás, atomenergia

+ gyakorlati alkalmazásaik

irodalom :

1. Dezső G.: Fizika (2003, főisk. jegyzet)
2. Holics L.: Fizika I-II.
3. Hadházy T., Szabó T., Szabó Á.: A fizika alapjai
4. Erlichné, Hadházy, Hargitainé, Kiss, Nyilas, Sinkovicsné, Vallner, Iszály: Természettudományi alapismeretek
5. középiskolás fizika tankönyvek
6. Öveges könyvek
7. Tasnádi-Bérces-Skrapits-Litz: Mechanika I-II + Hőtan

- félév végén vizsga: 50%-tól felfelé sikeres
- félév során 2 db ZH (1. ZH október 28; 2. ZH dec. 09-én) ZH-k alapján „jegymegajánlás”, ha ∀2 min. 50%

a fizika helye a természet-tudományok körében

élettelen természet vizsgálata

cél: a természeti jelenségek tanulmányozása,
objektív törvények megismerése, ezek
érvényességi határainak vizsgálata, és
a törvények gyakorlati alkalmazása

de : kémia, földtudomány, csillagászat is, valamint interdiszciplináris alkalmazások (pl. kristályok vizsgálata)

a fizikai megismerés folyamata

konkrét ⇒ általános
induktív

általános ⇒ konkrét
deduktív

megfigyelés = { spontán **tapasztalás** (alma leesik a fáról)
tudatos **kísérletezés** ⟶ **mérés**

- *a fizikai jelenségek vizsgálata mesterséges körülmények között*
- kezdeti feltételek
- egyszerre csak egy fizikai mennyiséget változtatunk miközben egy másik változását regisztráljuk

(ejtegetős kísérleteket végzünk)

megfigyelés → **következtetés** :
a Föld vonzza a többi testet

modell / elmélet alkotás :
Newton-féle gravitációs **törvény**

(fizikai mennyiségek közötti összefüggések)

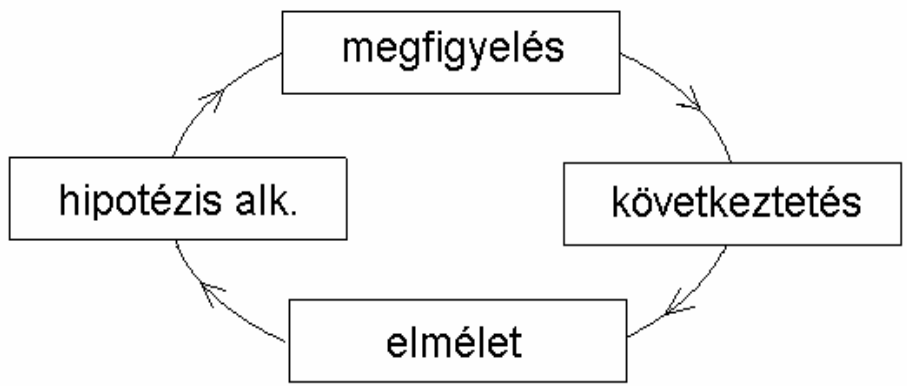
hipotézis / jóslás :
vajon bármelyik két test vonzza egymást ?

↓

újabb kísérlet, megfigyelés

↓

igen



a fizikai mennyiségek jellege

skalár = szám : csak nagysága van — pl. tömeg

vektor = szám + irány : nagyság + irány is — pl. erő

de más jellegű mennyiség is van még

(pl. mechanikai feszültség)

tenzor

+ mértékegység

a különböző egységek nem hasonlíthatók össze !!!

műveletek vektorokkal (+, -, skalárral szorzás, skaláris szorzás, vektori szorzás)

összeadódó (extenzív)
kiegyenlítődő (intenzív) } mennyiségek { pl. tömeg
pl. hőmérséklet

mértékrendszerek, alapmennyiségek

általában **SI** :

alapegységek:	hosszúság,	méter	[m]
	tömeg,	kilogramm	[kg]
	idő,	másodperc	[s]
	elektromos áramerősség,	amper	[A]
	hőmérséklet,	kelvin	[K]
	anyagmennyiség,	mól	[mol]
	fényerősség,	kandela	[cd]

kiegészítő egységek:	síkszög,	radián	[rad]
	térszög,	szteradián	[sr]

származtatott egységek:

az alap- és kiegészítő egységekből algebrai műveletekkel

pl : sebesség [$^{m}/_{s}$], erő [$kg \cdot ^{m}/_{s2}$], …

nem SI-egységrendszerek (pl USA):
inch, coll, hüvelyk, láb, mérföld, gallon, Fahrenheit, stb …

előtétszavak:

…

exa	E	10^{18}	deci	d	10^{-1}
peta	P	10^{15}	centi	c	10^{-2}
tera	T	10^{12}	milli	m	10^{-3}
giga	G	10^{9}	mikro	μ	10^{-6}
mega	M	10^{6}	nano	n	10^{-9}
kilo	k	10^{3}	piko	p	10^{-12}
hekto	h	10^{2}	femto	f	10^{-15}
deka	da	10^{1}	atto	a	10^{-18}

…

pl :	**giga**watt, **mega**watt	erőművek teljesítménye
	kilowattóra	háztartások energiafogyasztása
	kilogramm	pl, alma, kenyér, stb… tömege
	kilométer	távolság

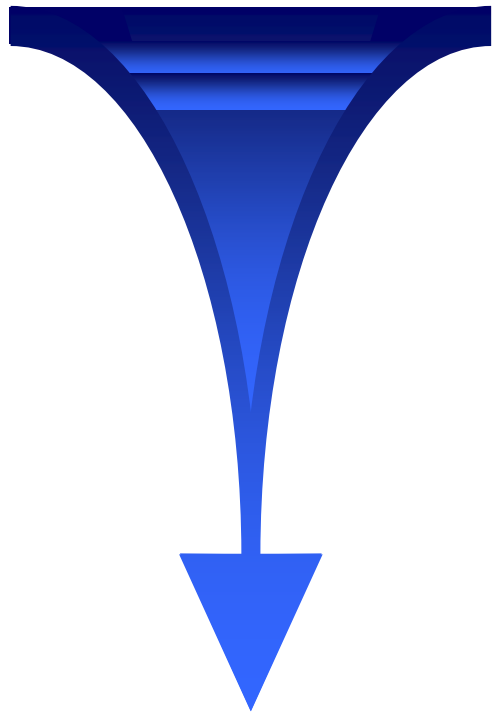
de pl. a számítástechnikában 1 **kilo** = 2^{10} = 1024 !

	hektoliter	hordók űrtartalma
	deciliter	kisebb edények űrtartalma
	centiliter	még kisebb űrtartalom
	deciméter, cm, mm, nm	távolságok
	cg, mg, μg	kis tömegek

az ezektől kisebb ill. nagyobb egységek az atomi és még kisebb mérettartományban előforduló távolságok és energiák jellemzésére használatos

egyéb, nem SI, de használt mértékegységek:

fok, perc, másodperc (szögmérés)	π rad = 180°
angström (Å)	= 10^{-10} m
fényév (távolság !!!)	$\approx 9.46 \cdot 10^{12}$ km
hektár (ha)	100 m × 100 m
liter (ℓ)	= 1 dm^3
mázsa (q)	= 100 kg
tonna (t)	= 1000 kg
óra, perc, másodperc (időmérés; és év, nap, hónap, stb…)	
km/h	3.6 km/h = 1 m/s
atmoszféra (atm)	= 101325 Pa
bar, mbar	= 10^5 Pa
kalória (cal)	= 4.1868 J
kilowattóra (kWh)	1 Wh = 3600 J
lóerő (LE)	$\approx$ 736 W
celsius fok	0 C^{o} $\approx$ 273 K
stb ….	



MECHANIKA = mozgások vizsgálata

(= helyváltoztatás)

kinematika

a mozgás leírása a szemlélő szemszögéből.
nem keres okokat.

- *pálya*
- *elmozdulás, elfordulás*
- *sebesség, szögsebesség*
- *gyorsulás, szöggyorsulás*

dinamika

*a mozgásfajták, a változások **okait** vizsgálja.*

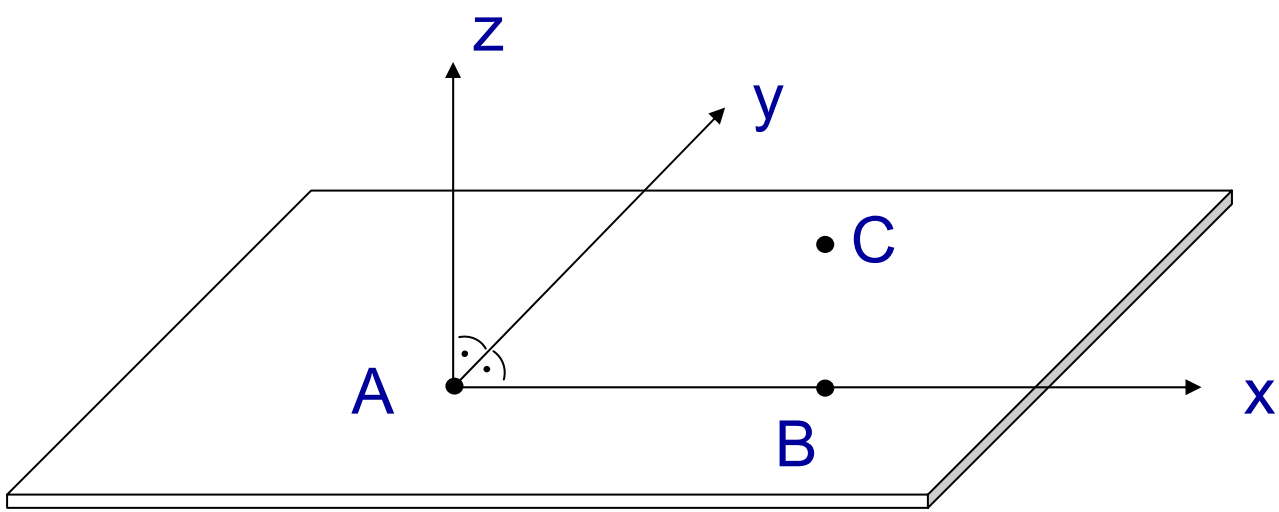
- *tömeg, tehetetlenségi nyomaték*
- *erő, forgatónyomaték*
- *lendület, perdület*
- *energia*

vonatkoztatási rendszer : koordinátarendszer

koordinátarendszer :

három, nem egy egyenesen levő ponthoz lehet viszonyítani

vagy az ezekre illesztett tengelyekhez :



x-y-z jobbsodrású rendszer legyen

pl. egy merev testen kijelölhetjük ezeket a pontokat

földrajzi hely megadása:

origó a Föld kp.-ja

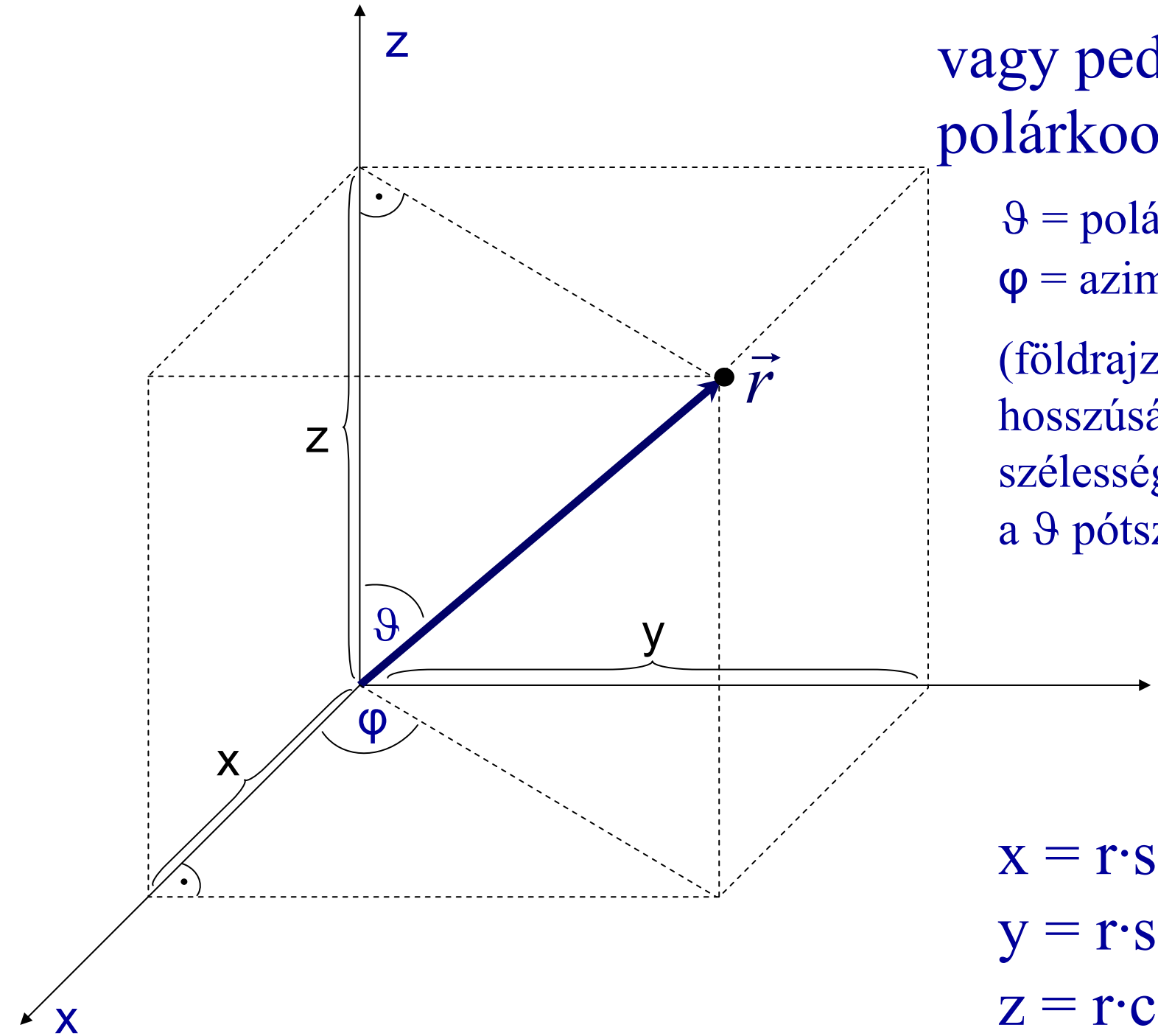
z-tengely a Sarkcsillag felé mutat, az yz sík átmegy a Greenwich angol falu csillagvizsgálóján

munkadarabon furandó lyuk helyének megadása:
a munkadarab élei a koordináta-tengelyek (tervrajz)

épületek, stb…

derékszögű koordinátarendszer:

pont helyzete = az yz, zx és xy síktól mért távolságok (vagyis az x-, y- és z-tengelyekre vett merőleges vetületek)



vagy pedig polárkoordináták:

ϑ = polárszög

φ = azimutszög

(földrajzban ez a hosszúsági fok, a szélességi fok pedig a ϑ pótszöge)

$x = r \cdot \sin\vartheta \cdot \cos\varphi$

$y = r \cdot \sin\vartheta \cdot \sin\varphi$

$z = r \cdot \cos\vartheta$

∞ sok, ehhez képest nem mozgó újabb koord.rdsz. is megadható → **vonatkoztatási rendszer**

nem kell anyaghoz hozzárendelni

pontszerű testek pl. Föld a Nap körül, v. vonat BP és NyH között…
pontrendszerek pl. felrobbanó bomba repeszei, tüzijáték, …
merev testek pl. forgó pörgettyű, falhoz támasztott létra, …

hétköznapi életünk során a vonatkoztatási rendszer a **Föld**
(eltekintünk a forgástól)

kinematika = mozgás jellemzése :

milyen **pályán** mozog
mennyi **idő** alatt mennyi **utat**
tett meg, vagy :
mekkora **elmozdulása** van…

idő, időtartam, időpillanat, esemény
idő = két esemény közötti időtartam

időmérés : *periodikus* folyamatok alapján („órák”)

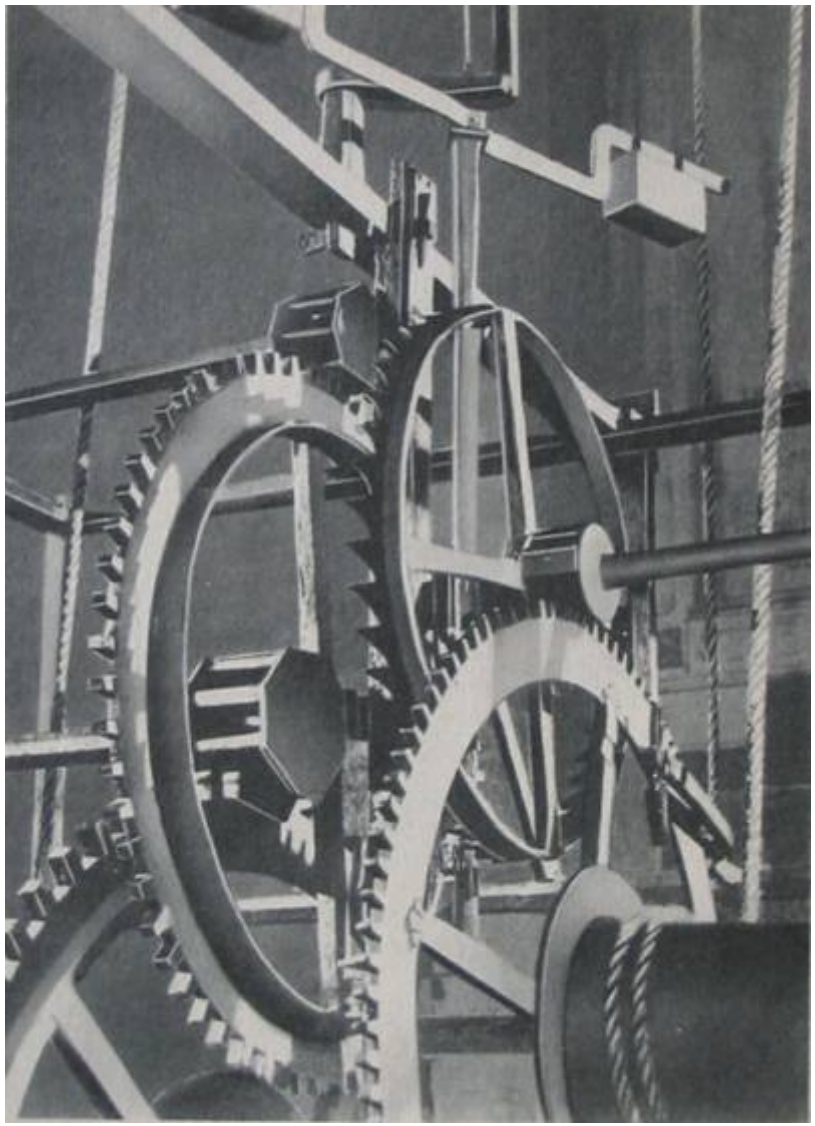
pl. csillagok járása, homokóra fordítgatása, stb…

Galilei (1583) : ingalengések egyenlő időtartamúak

→ első ingaóra

(kevésbé pontos órák már előtte is voltak)

a legrégebbi mechanikai időmérő szerkezet
1386, Anglia



legpontosabb óra
atomóra (Cs)

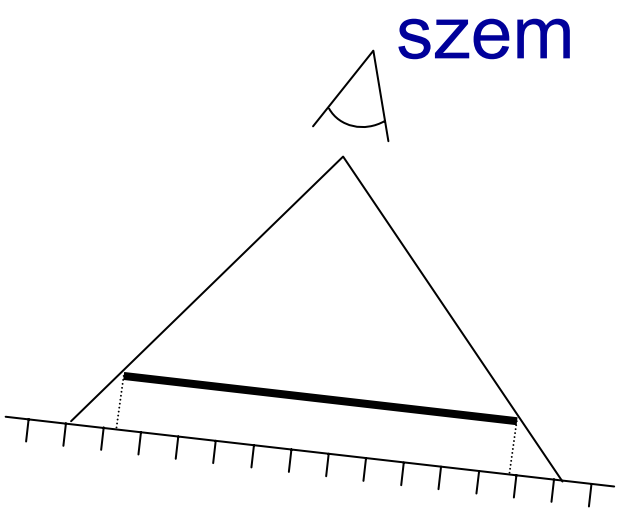
idő egysége :
másodperc

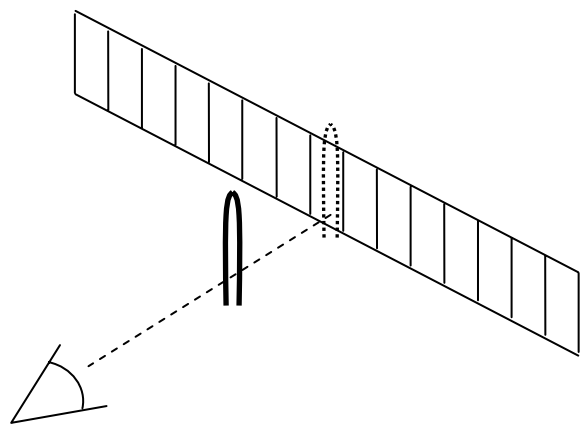
1s = 9192631,770
Cs-rezgés

távolságmérés : a *méter-etalonnal* való összehasonlítás alapján („vonalzók”)

végpontok összeillesztése, 0 jelzés

ha nem lehet egymás mellé tenni:
leolvasás párhuzamos fénysugarakkal (tükörskála)



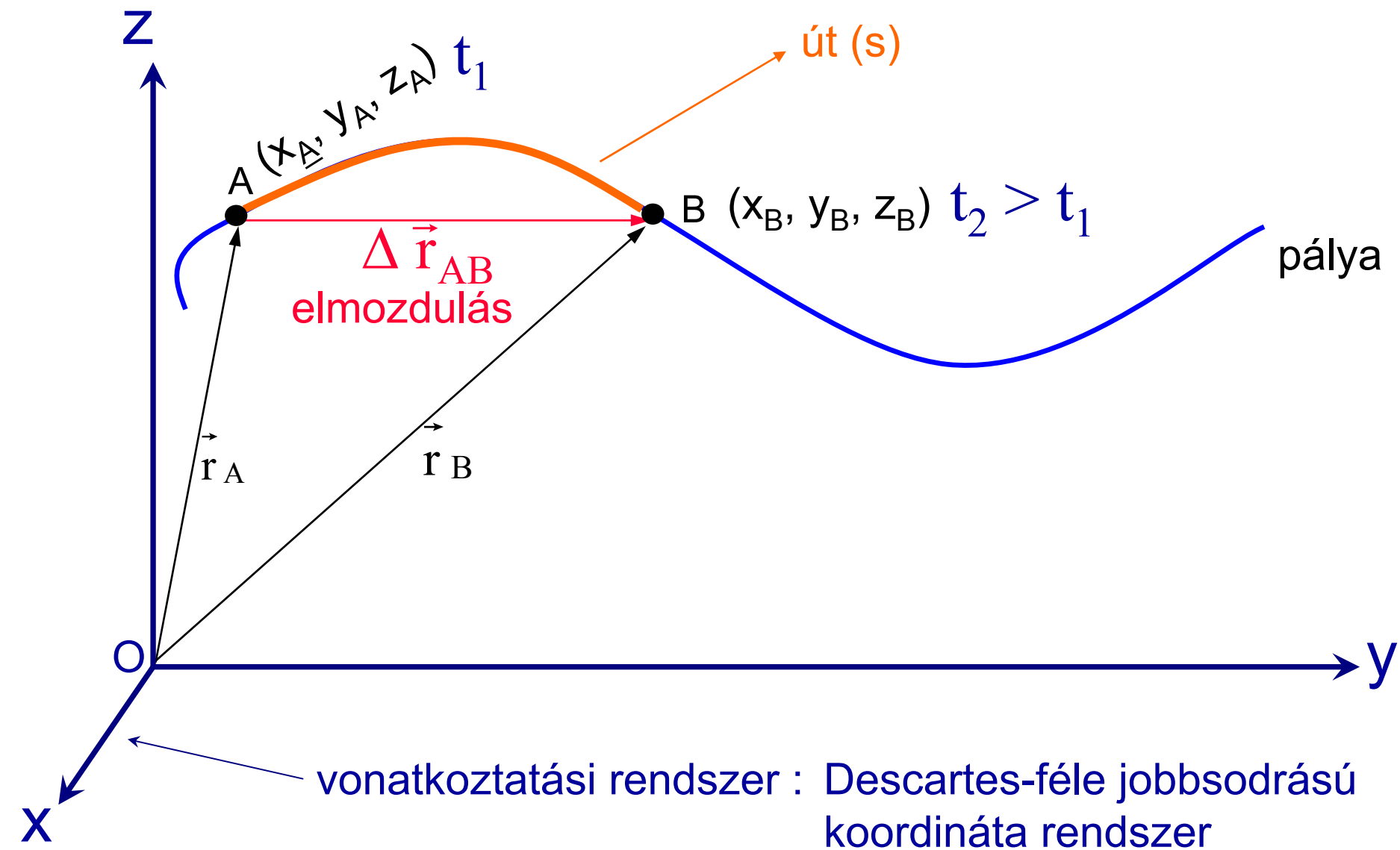


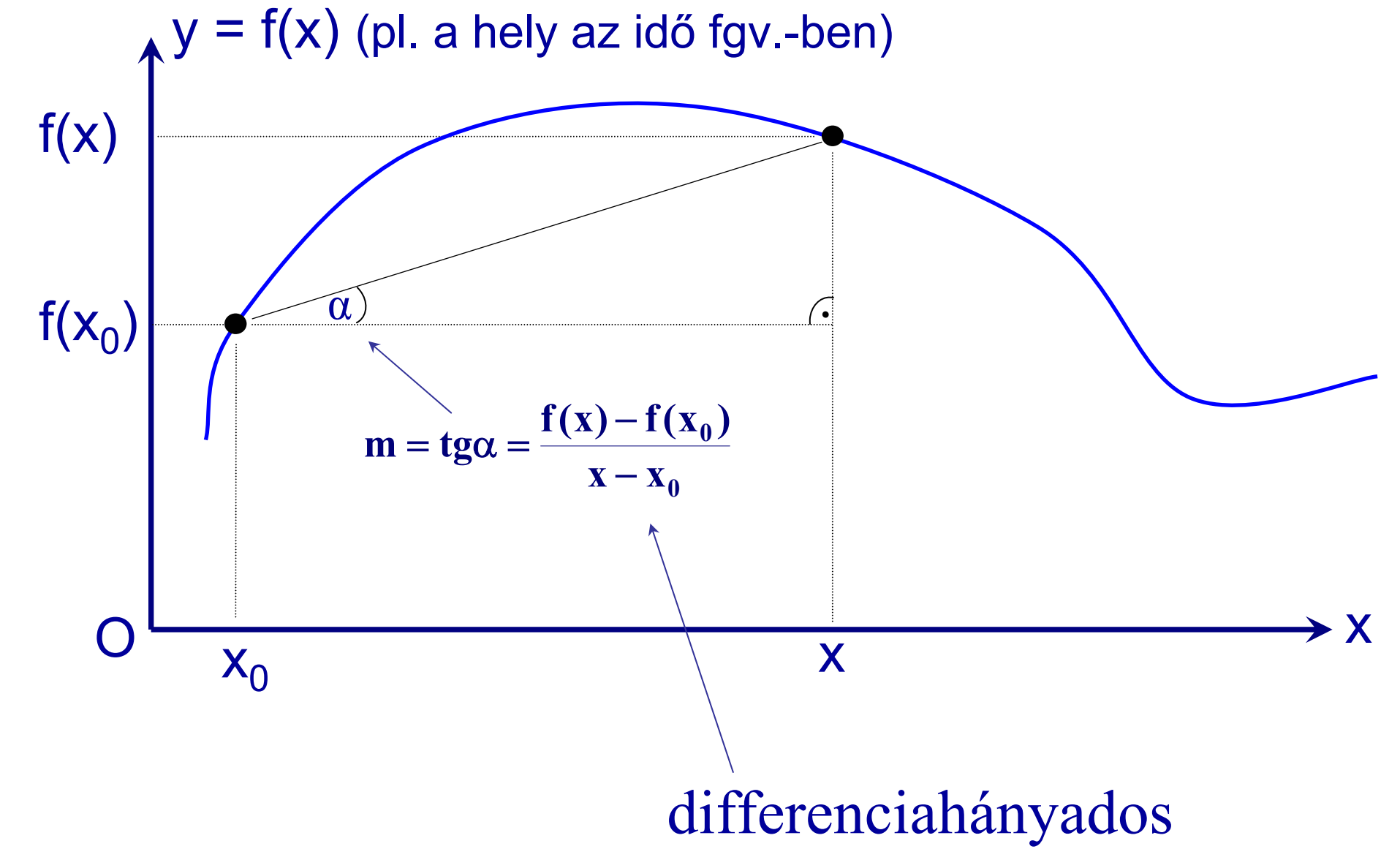
leolvasás pontosságának növelése : optikai eszközök
finommechanika (csavarmikrométer), nóniusz

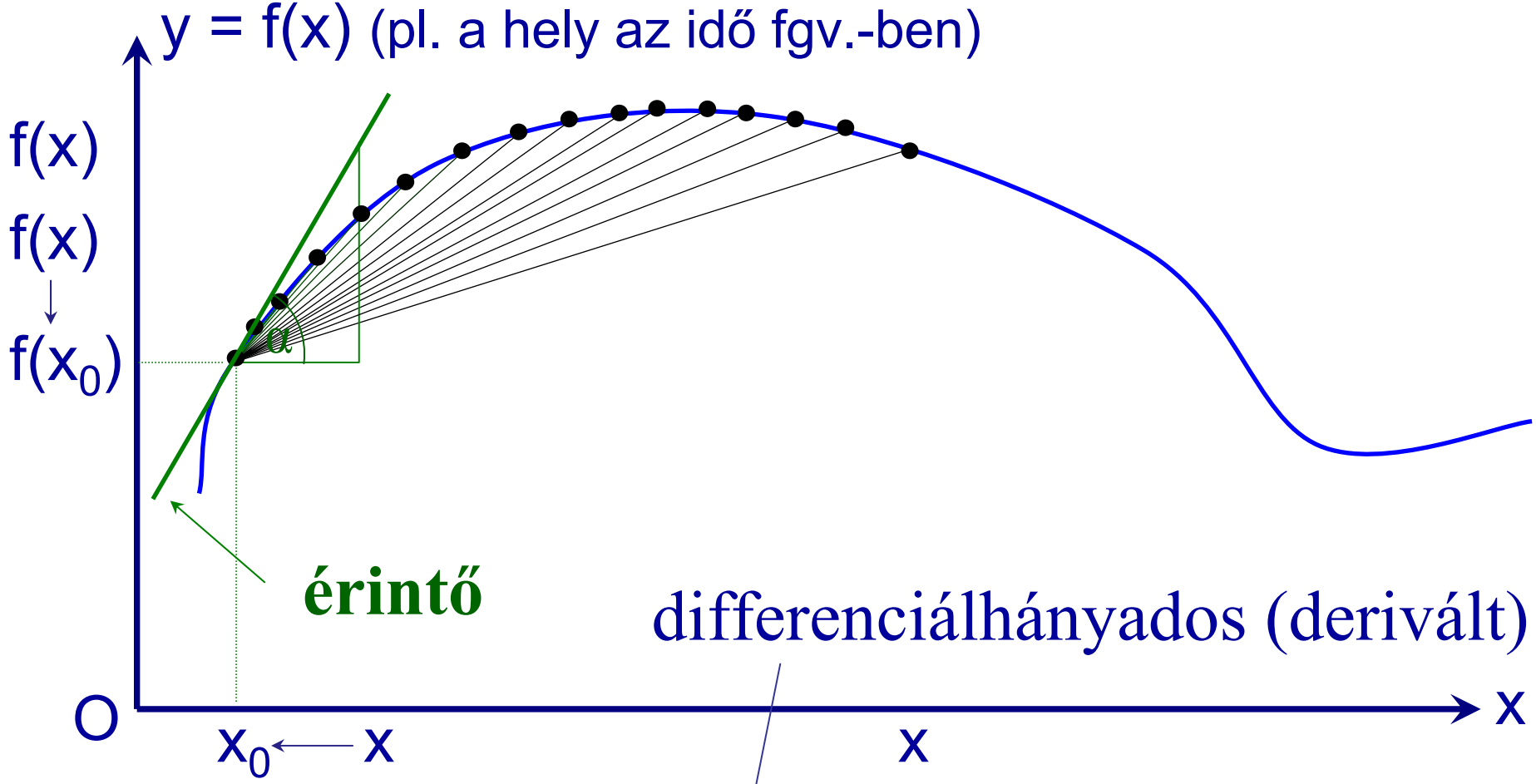
mérési pontatlanságok → pl :

$\ell = (3{,}46 \pm 0{,}07)$ cm

mozgás jellemzése :



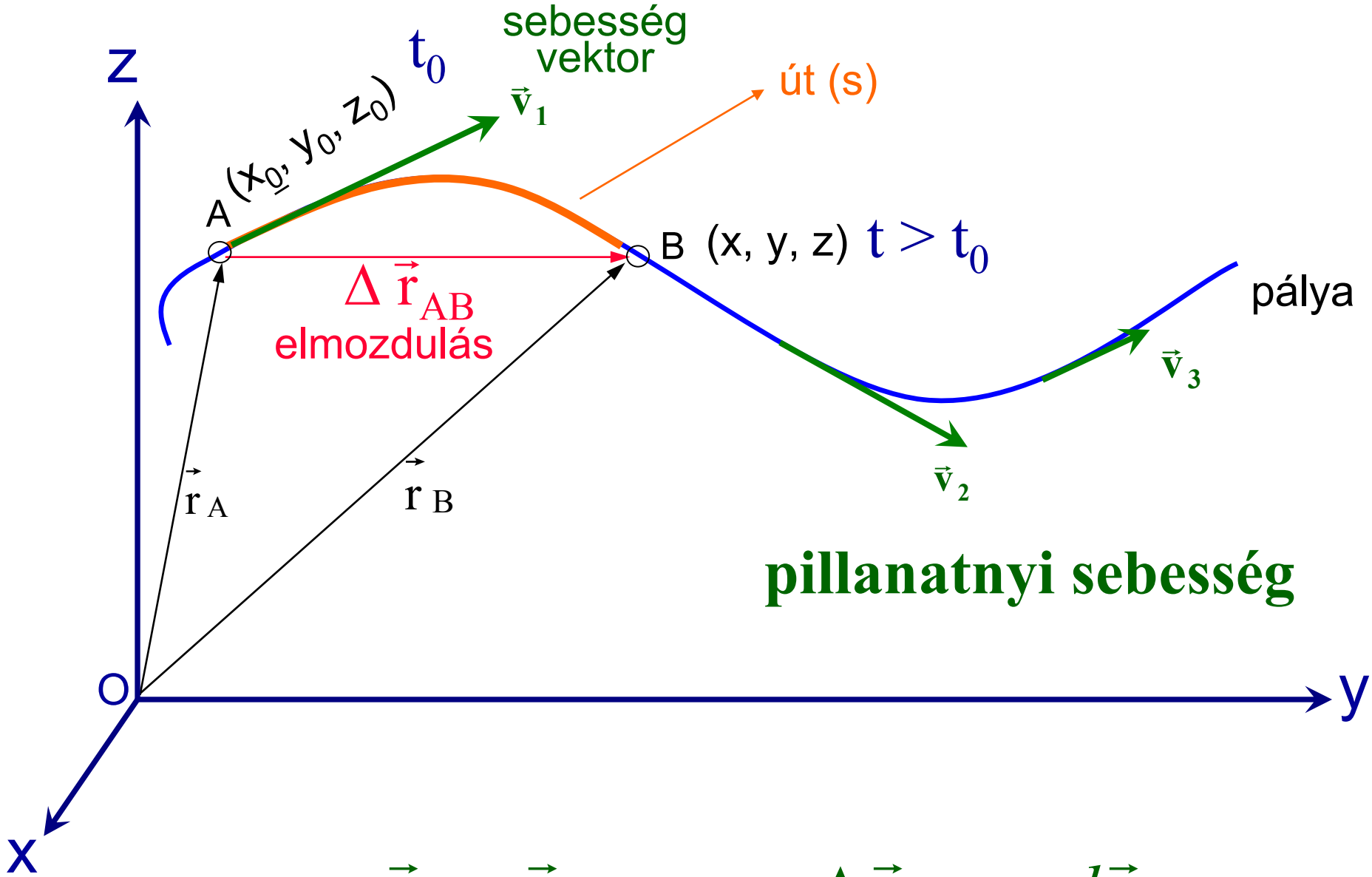

y = f(x) (pl. a hely az idő fgv.-ben)
f(x)
f(x0)
α
m = tgα = f(x) − f(x0) / x − x0
O
x0
x
x
differenciahányados



$$m = (\mathrm{tg}\alpha) = \lim_{x \to x_0} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} \equiv \frac{df(x)}{dx} \equiv f'(x)$$

ha időfüggés van (x = t) :

$$\frac{df(t)}{dt} \equiv \dot{f}(t)$$



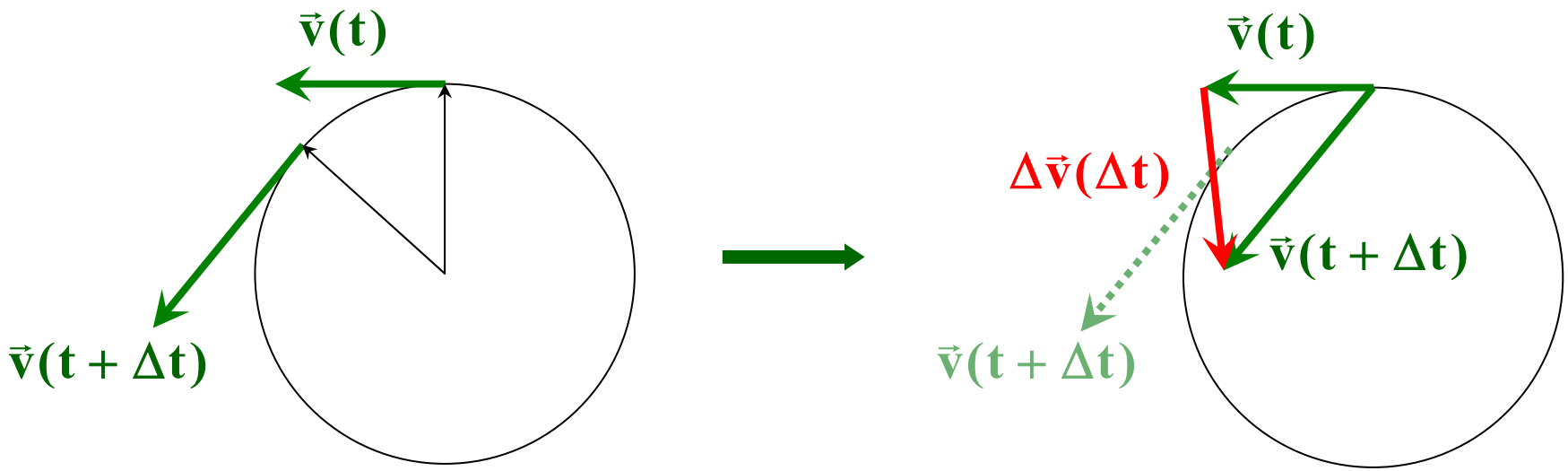
pillanatnyi sebesség

$$\vec{v} = \lim_{t \to t_0} \frac{\vec{r}_B - \vec{r}_A}{t - t_0} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}_{AB}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \equiv \dot{\vec{r}}$$

sebességvektor időben változhat

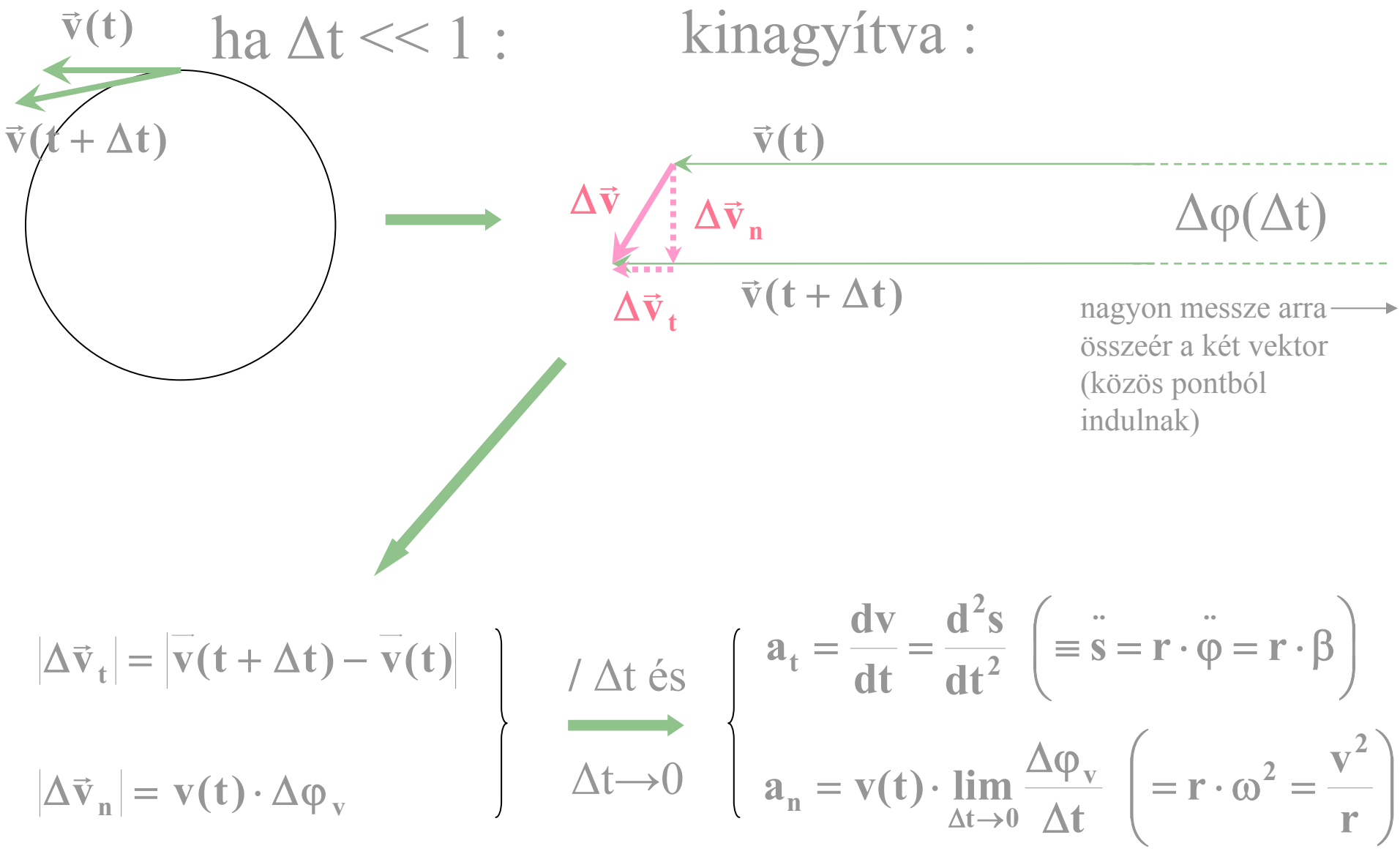
$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \equiv \frac{d\vec{v}}{dt} \equiv \dot{\vec{v}} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \ddot{\vec{r}}$$

gyorsulásvektor



gyorsulásvektor

- tangenciális, a_t — $\Delta|\vec{v}|$
- centripetális, a_{cp} — $\Delta\vec{v}$



$$\left|\Delta\vec{v}_t\right| = \left|\vec{v}(t+\Delta t) - \vec{v}(t)\right|$$

$$\left|\Delta\vec{v}_n\right| = v(t)\cdot\Delta\varphi_v$$

/ Δt és

$\Delta t \to 0$

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} \quad \left(\equiv \ddot{s} = r\cdot\ddot{\varphi} = r\cdot\beta\right)$$

$$a_n = v(t)\cdot\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\varphi_v}{\Delta t} \quad \left(= r\cdot\omega^2 = \frac{v^2}{r}\right)$$

mozgásfajták

haladó mozgás

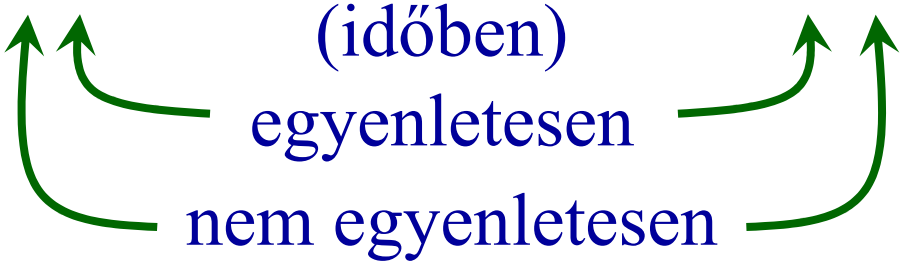
- egyenletes
- változó

körmozgás, forgó mozgás

- egyenletes
- változó

rezgőmozgás, hullámmozgás

- harmonikus
- anharmonikus



pl. : haladó mozgás :

pl. vonat a sinen, gyalogos a járdán, stb…

legegyszerűbb mozgás :

egyenesvonalú egyenletes mozgás:

pálya : egyenes

sebesség : időben állandó

(vektor !) ⟶ $\vec{a} = 0$

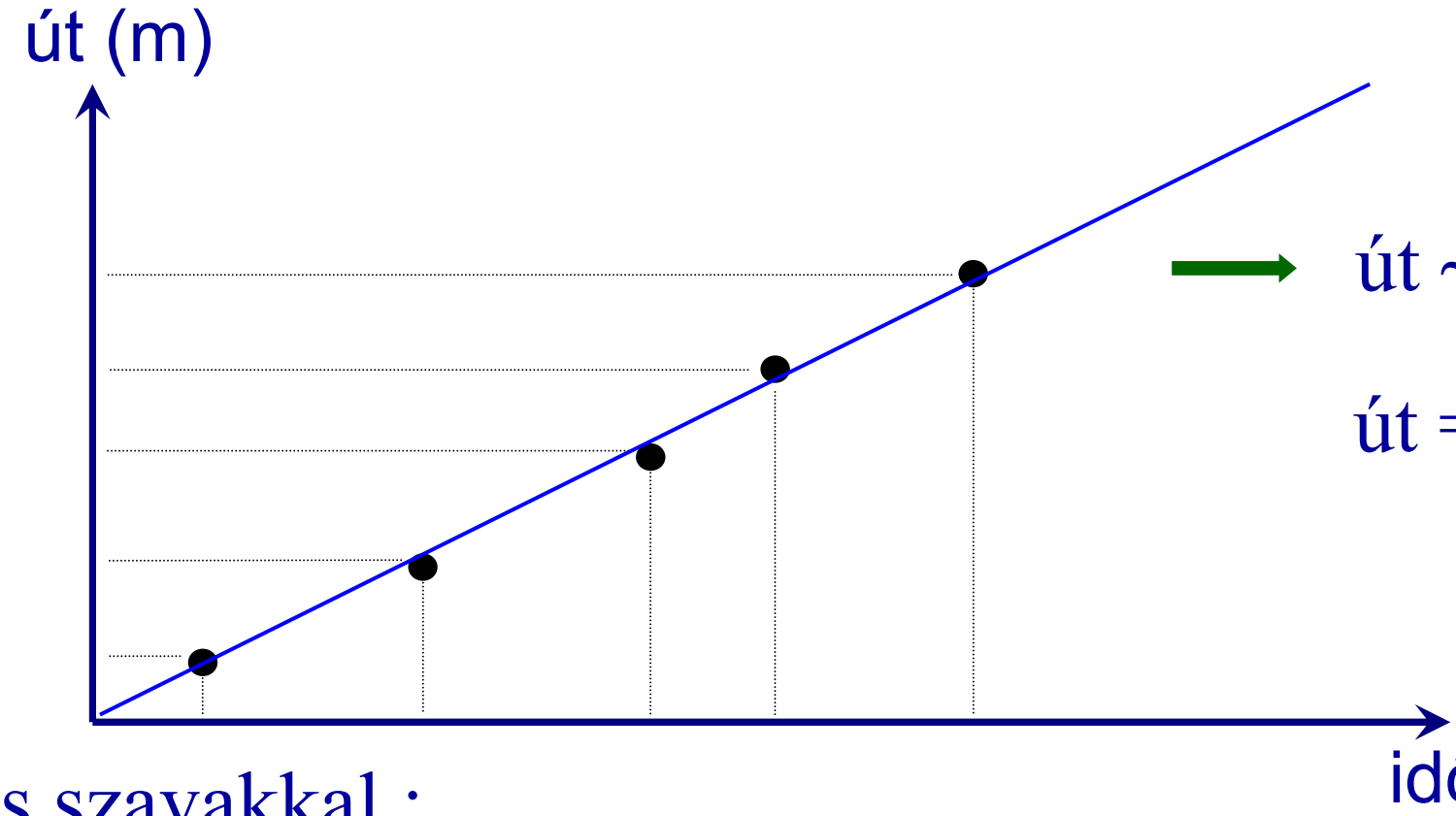
pl. : vonat a nyílt egyenes pályán mozgólépcső, …

ellenőrzés **kísérlettel** : **Mikola-cső**

(gimnáziumi tanár volt a múlt század első felében)

tapasztalat : a buborék által megtett utak az idők függvényében egyenest adnak :

tapasztalat : a buborék által megtett utak az idők függvényében egyenest adnak :



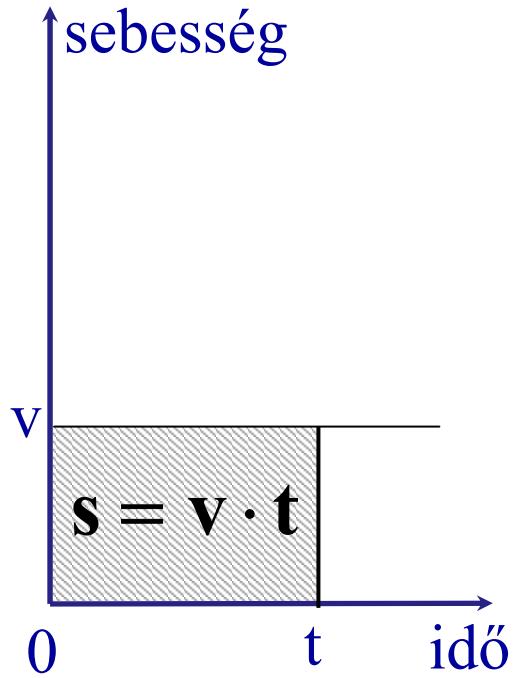
út ~ idő

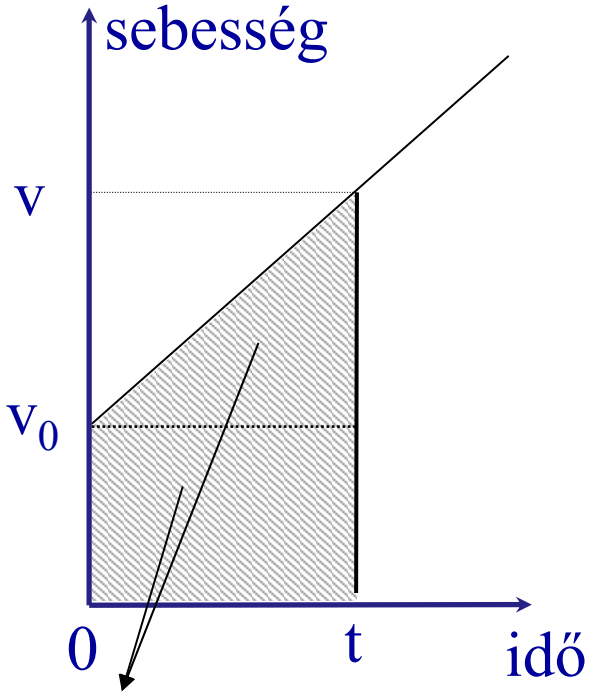
út = v · idő

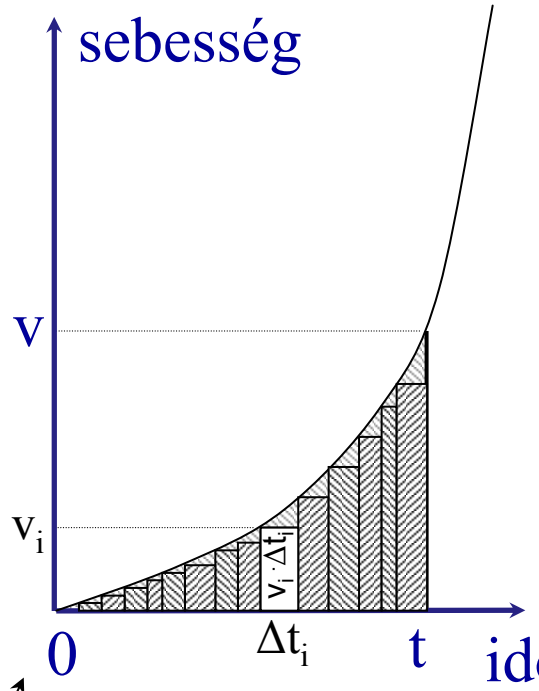
más szavakkal :
az egyforma idők alatt megtett utak egyformák

$$v = \frac{\textbf{megtett út}}{\textbf{közben eltelt idő}} \equiv \frac{s}{t} =$$ **sebesség**

a megtett út meghatározása a v-t grafikonról :







$$s = v_0 \cdot t + \frac{v - v_0}{2} \cdot t$$

$$s \approx s_0 + \sum_{i=1}^{n} v_i(t_i) \cdot \Delta t_i$$

út = görbe alatti terület

$$s = s_0 + \int_{t_1}^{t_2} v(t)dt$$

sebesség → **pillanatnyi sebesség**

→ **átlagsebesség**

pl. : autó v. vonat NyH és BP között, időnként megáll

feladat : egy gépkocsi egy utat odafele 60 km/h sebességgel, visszafele 80 km/h sebességgel tesz meg. Mekkora a teljes (oda-vissza) útra számított átlagsebessége ? (68.5 km/h)

átlagsebesség ≠ sebességek átlaga !!!

$$\overline{v} = \frac{\textbf{összes út}}{\textbf{összes idő}}$$

(mert lassabban hosszabb ideig megy)

hasonlóan „egyszerű” mozgás még :

egyenesvonalú egyenletesen gyorsuló mozgás:

pálya : egyenes

sebességvektor : időben nem állandó :

iránya állandó

nagysága időben egyenletesen nő

$\vec{a} > 0$ $(\mathbf{a_t})$

pl. : vonat az állomásról elindul és gyorsít (egyenes pályán)

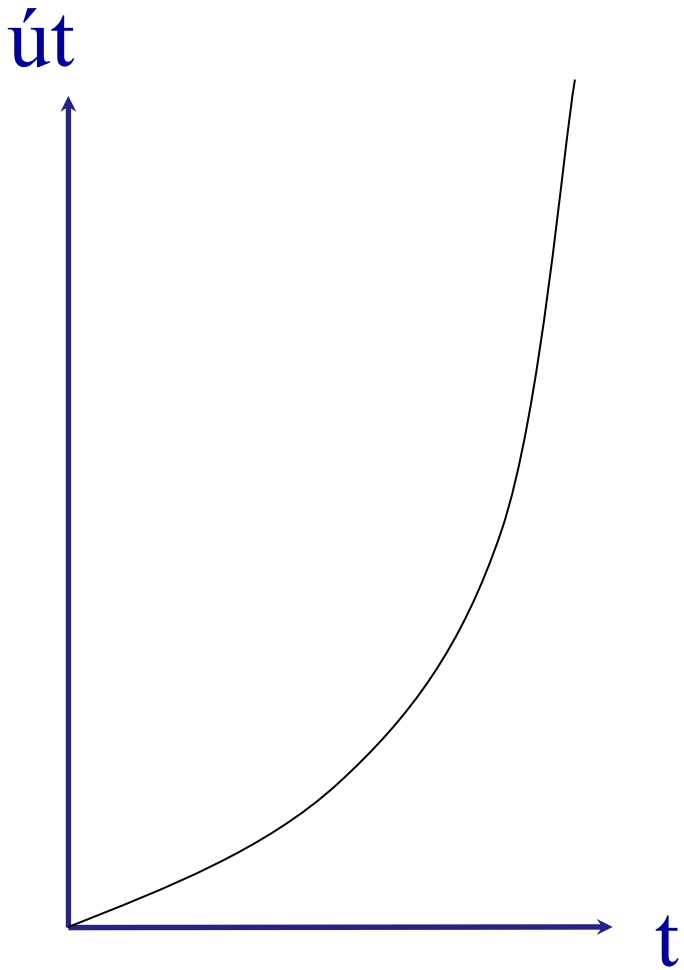
ellenőrzés **kísérlettel** : **lejtőn leguruló golyó** (különböző hajlásszögeknél)

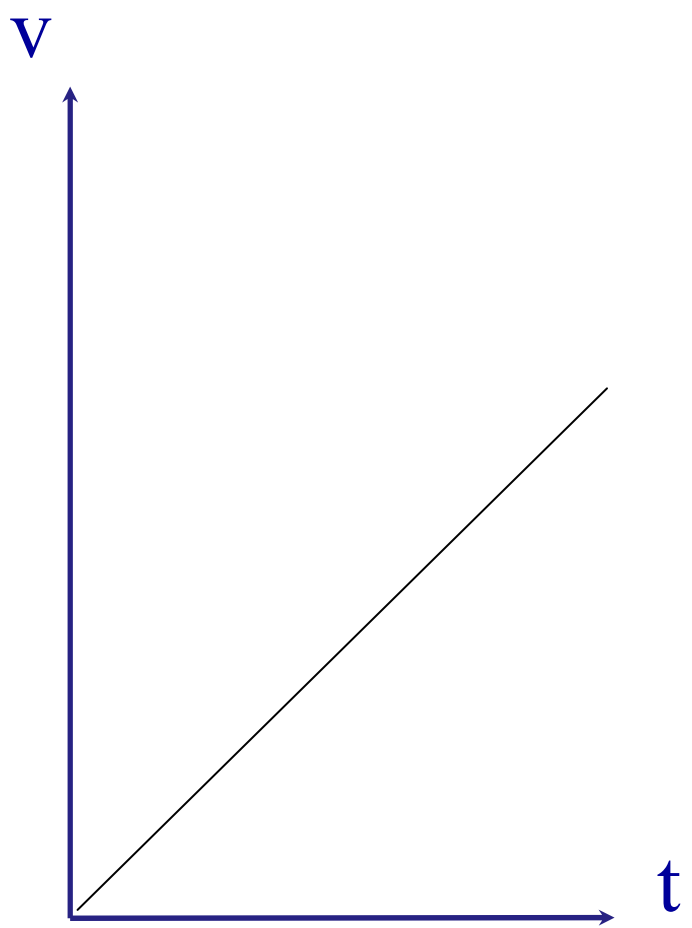
tapasztalat : $\mathbf{s \sim t^2}$ → parabola

$s \sim t^2$ konkrétan :

$$s = \frac{a}{2} \cdot t^2 \quad \text{és} \quad v = a \cdot t$$

gyorsulás





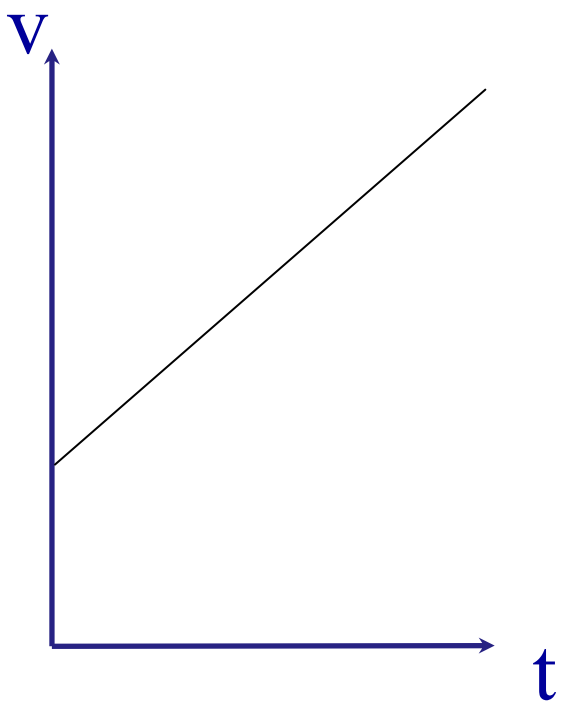
matematika: egyenletesen gyorsuló mozgásnál

$v = a \cdot t$

$$s = \int_0^t v\,dt = \int_0^t (a \cdot t)\,dt = a \cdot \int_0^t t\,dt = a \cdot \left.\frac{t^2}{2}\right|_0^t + C = \frac{a}{2} \cdot t^2 - 0 + C$$

$$s = \frac{a}{2} \cdot t^2$$

lassulásnál : $-\mathbf{a}$



nem nulla kezdősebességről
induló mozgás :

$$\mathbf{s = v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2} \quad \text{és} \quad \mathbf{v = v_0 + a \cdot t}$$

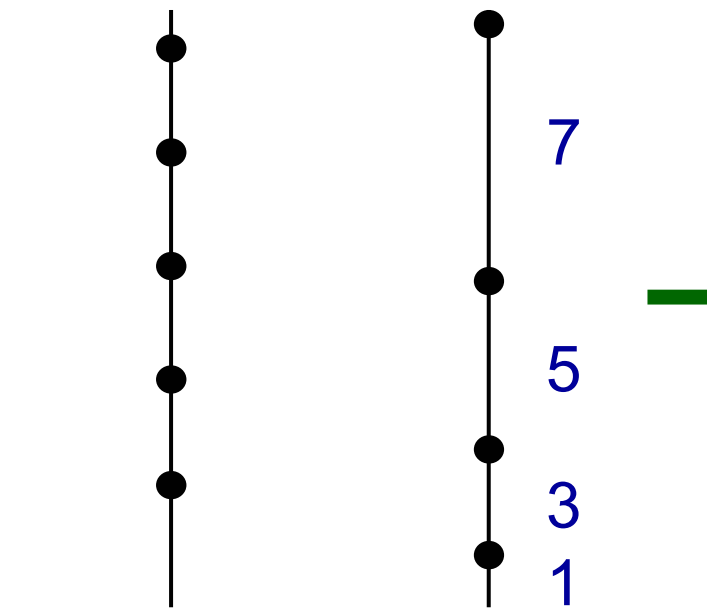
szabadesés :

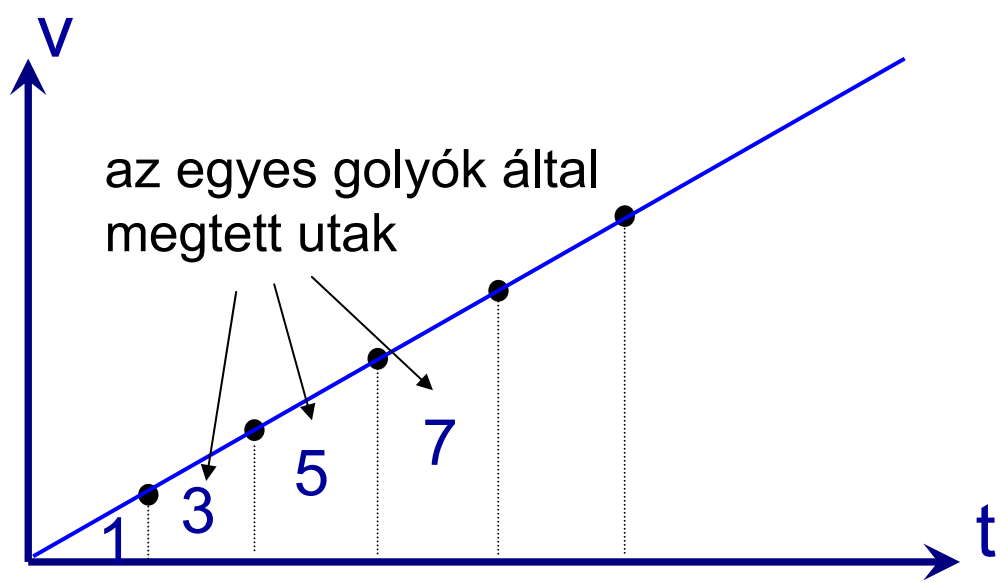
elejtett test mozgását csak a Föld vonzása befolyásolja

első kísérleti vizsgálata : Galilei

Galilei :
„ … az eső, nehéz test szabad mozgása állandóan gyorsul… amennyire én tudom, még senki sem állapította meg, hogy a távolságok, melyeket egy nyugvó állapotból induló test egyenlő intervallumok alatt befut, úgy aránylanak egymáshoz, mint a páratlan egész számok, kezdve az egységgel… „

kísérlet : ejtőzsinór





azaz itt is **v ~ t**

$v \sim t$ → a szabadesés is egyenesvonalú, egyenletesen gyorsuló mozgás

kísérlet : papírdarab és vasgolyó ejtése levegőben

ejtőcső → nem egyszerre érkeznek le

kísérlet : papírdarab és vasgolyó ejtése (vákuumban) → egyszerre érkeznek le

↓

minden **szabadon** eső test gyorsulása ugyanakkora !!!

$$\mathbf{v = g \cdot t}$$

$$\mathbf{h = \frac{g}{2} \cdot t^2}$$

← = nehézségi gyorsulás, $g \approx 9.81\ {}^{m}/_{s^2}$ függ a helytől !!!

pl. : kút mélységének mérése beledobott kővel $\approx 5t^2$

függőleges hajítás lefelé, felfelé :

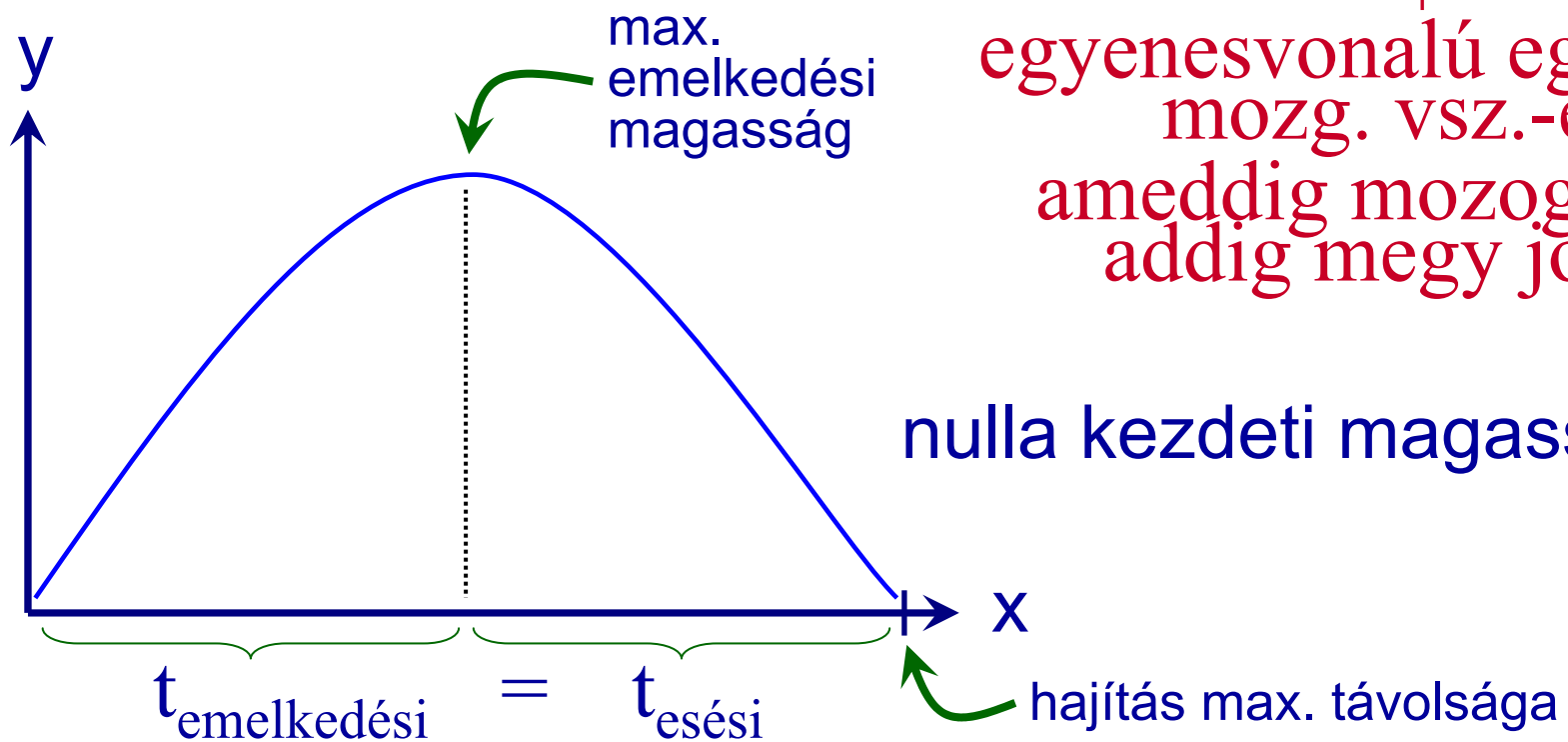
= nem nulla kezdősebességű szabadesés $\mathbf{v = v_0 \pm g \cdot t}$

$$\mathbf{h = h_0 \pm v_0 \cdot t \pm \frac{g}{2} \cdot t^2}$$

ferde hajítás (vízszintes hajítás) :

függőleges és vsz. komponensekre bontva :

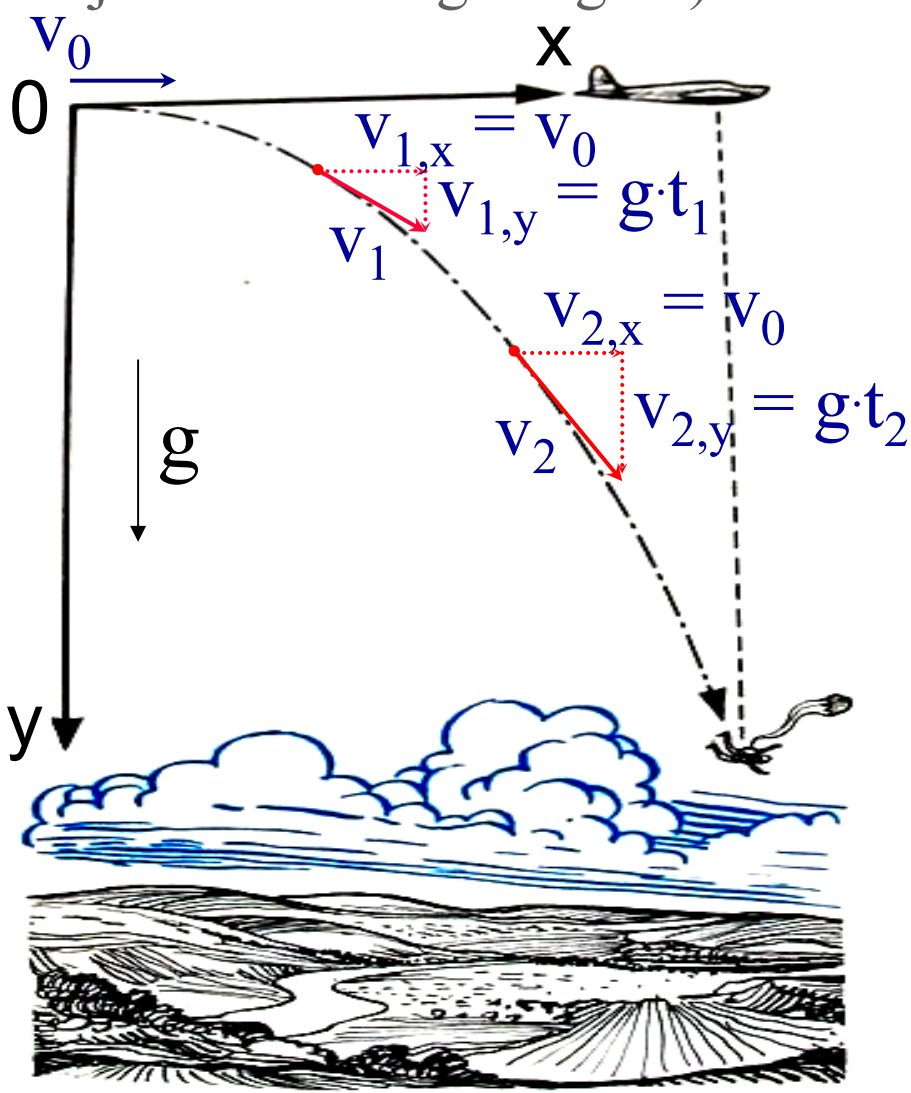
függ. hajítás felfele
+
egyenesvonalú egyenletes mozg. vsz.-en :
ameddig mozog föl-le, addig megy jobbra



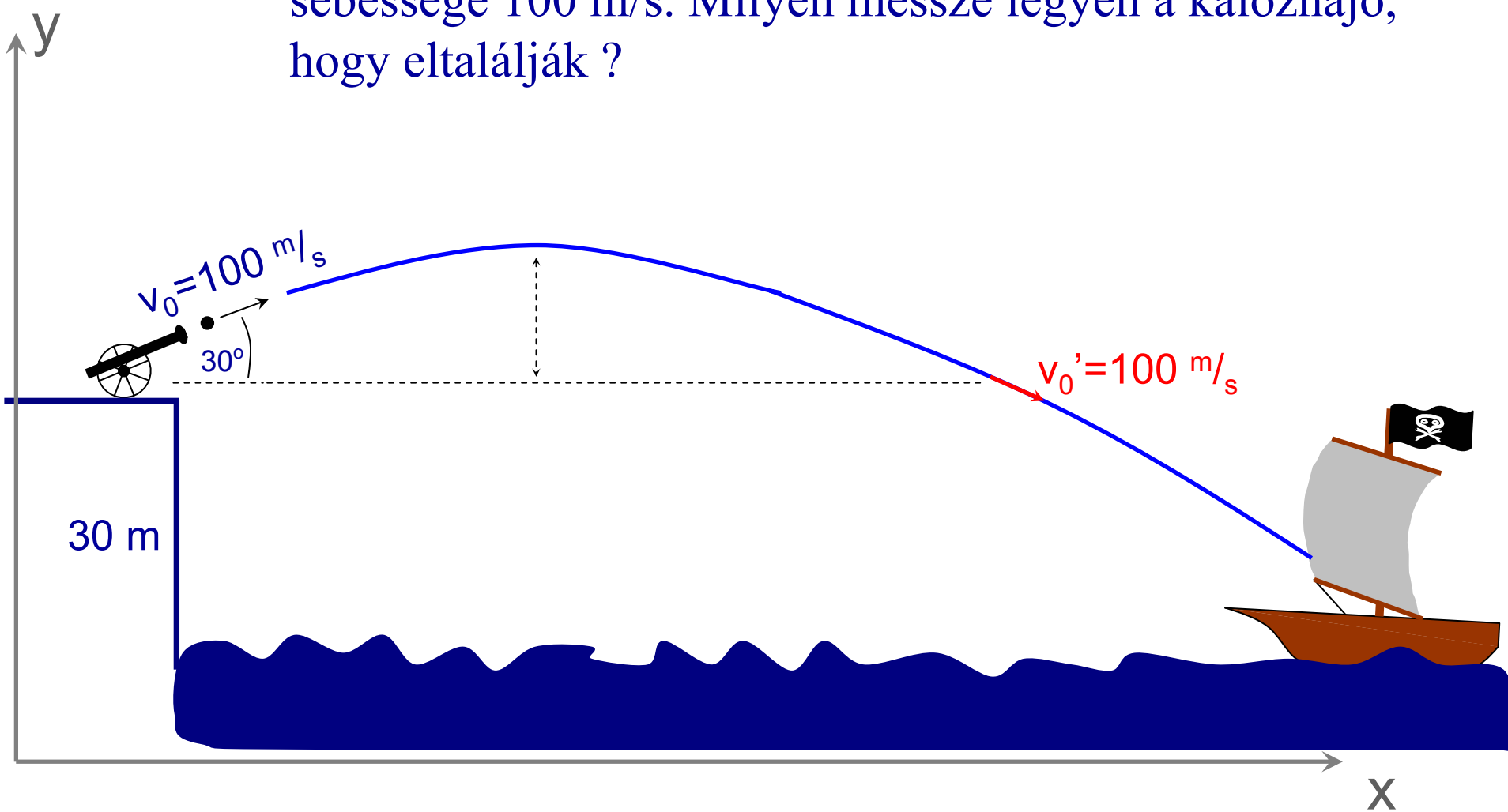
nulla kezdeti magasságról

feladat : egy 150 m magasan szálló repülőgépről csomagot dobnak ki. Mennyivel a cél előtt kell a csomagot kidobni, ha a gép sebessége 200 km/h ? (304 m)

(= vsz. hajítás adott magasságból)



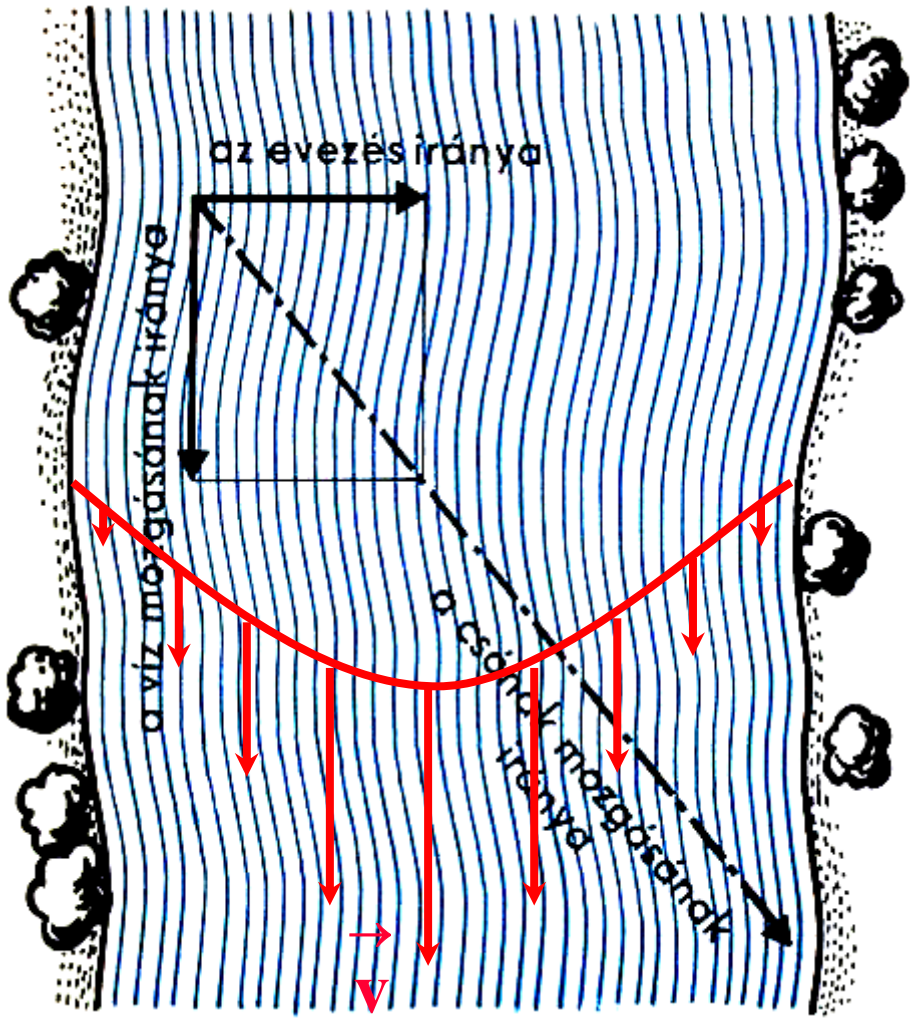
feladat : egy 30 m magas sziklaperemről 30°-os szögben lőnek ágyúval az érkező kalózhajóra. A lövedék kezdősebessége 100 m/s. Milyen messze legyen a kalózhajó, hogy eltalálják ?



$$y(t) = y_0 + v_{0y} \cdot t - \frac{g}{2} \cdot t^2, \text{ és } v_{0x} = \text{áll.}$$

mozgások összetevése :

folyón egy csónak megy keresztül, hol ér partot ?

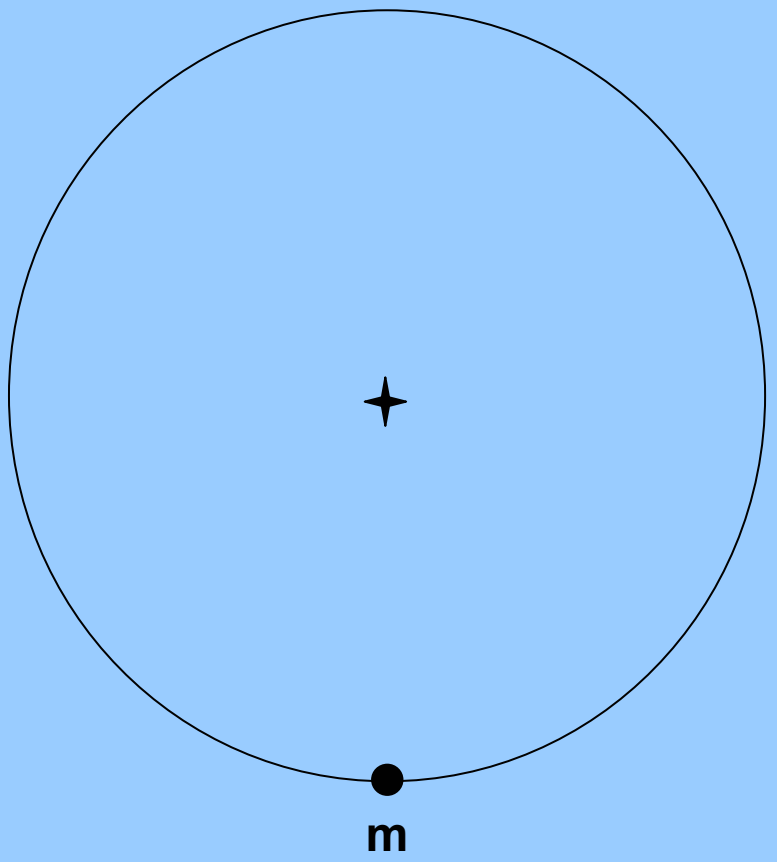


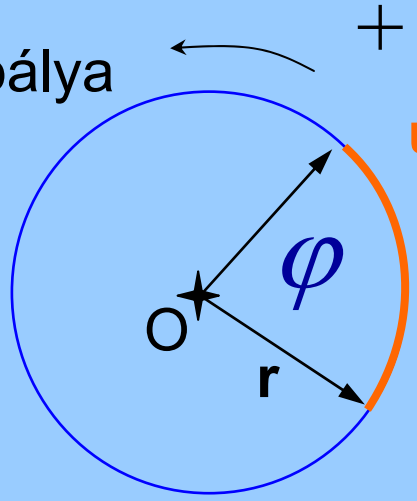
vektorok összeadása !

körmozgás : → egyenletes
→ egyenletesen gyorsuló (lassuló)

egyenletes körmozgás :

ω = **áll.**





út = ívhossz

szögelfordulás = $\Delta\varphi$

$\vec{\varphi}$!

jobbkéz-szabály

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\underbrace{\Delta t}}$$

periódusidő : T → 2π

fordulatszám : f → $1/T$

szögsebesség : $\boldsymbol{\omega = 2\pi/T} = 2\pi f$

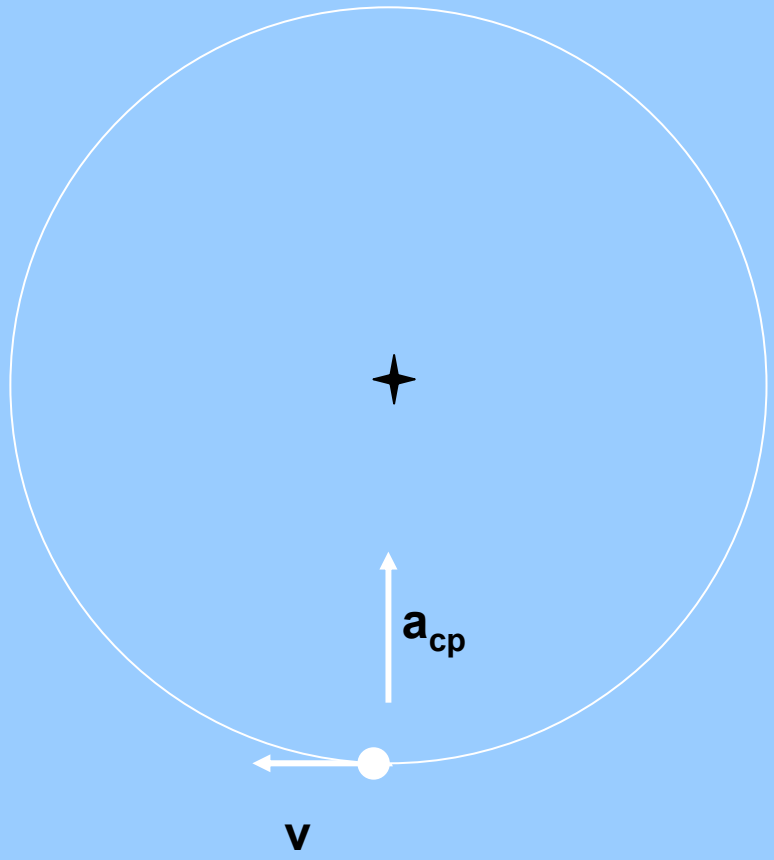
$\boldsymbol{\varphi = \omega \cdot t}$

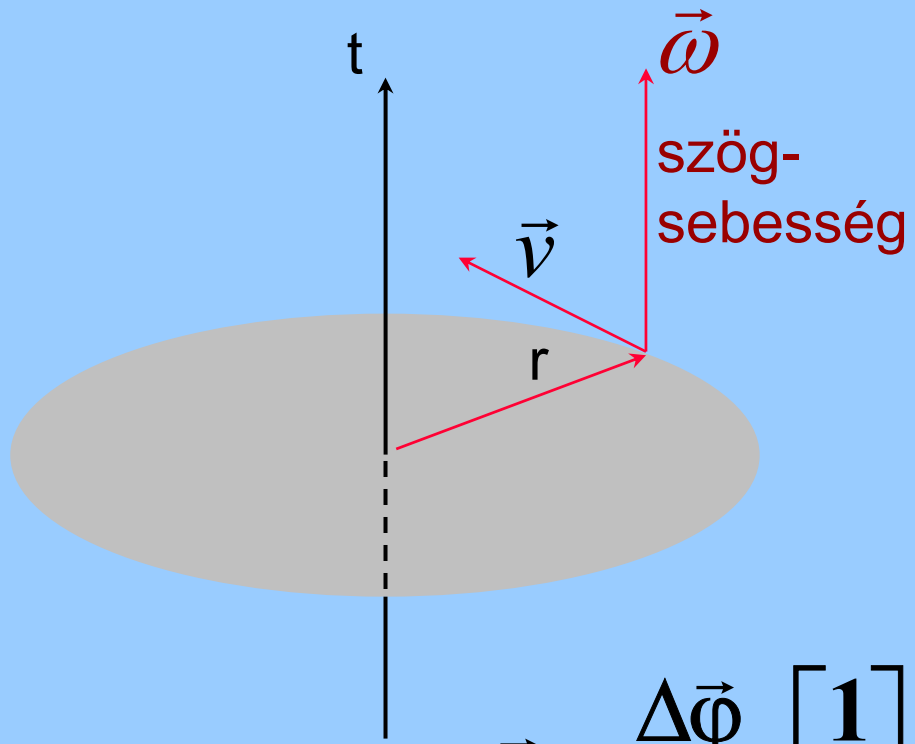
$\boldsymbol{s = r \cdot \varphi}$

$\boldsymbol{v = r \cdot \omega}$

$a_t = 0$, de $a_{cp} \neq 0$:

$\vec{\varphi}$!





$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$\vec{\omega} = \vec{r} \times \vec{v}$$

$$\vec{\omega} = \frac{\Delta\vec{\varphi}}{\Delta t} \left[\frac{1}{s}\right]$$

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} \; !$$

egyenletesen változó körmozgás : $a_t = \text{áll.}$

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \textbf{áll.} \qquad a_t = r \cdot \beta \qquad a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \textbf{áll.}$$

$$\omega = \beta \cdot t \qquad v = r \cdot \omega \qquad v = a \cdot t$$

$$\varphi = \frac{1}{2}\beta \cdot t^2 \qquad s = r \cdot \varphi \qquad s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

mozgás tetszőleges pályagörbén :

a pályagörbét minden pillanatban egy-egy körpályával helyettesíthetünk

↓

egyenletes mozgás
egyenletesen változó mozgás } szabályai érvényesek

forgó mozgás :

merev testek egy tengely körüli forgása :

a test egyes pontjai nem mozdulnak

forgástengely

rögzített tengely,
legalább 2 pont rögz.
(kerék, motor,…)

szabad tengely
1 pont körül forog
(pörgettyű, labda,…)

kísérlet : pörgettyű

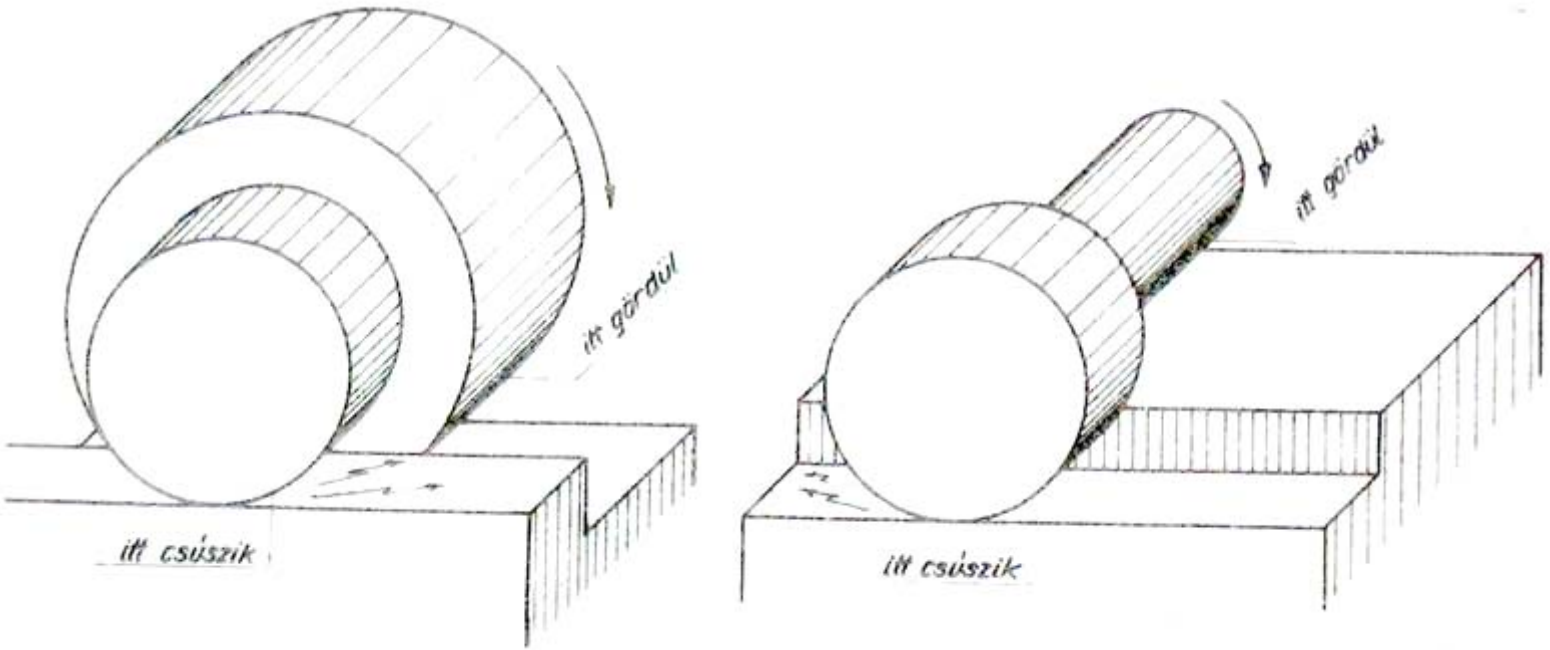
ω = áll. és v ≠ áll. minden pontra

a többi pontjai a tengely körüli körpályákon mozognak

visszavezettük körmozgásra

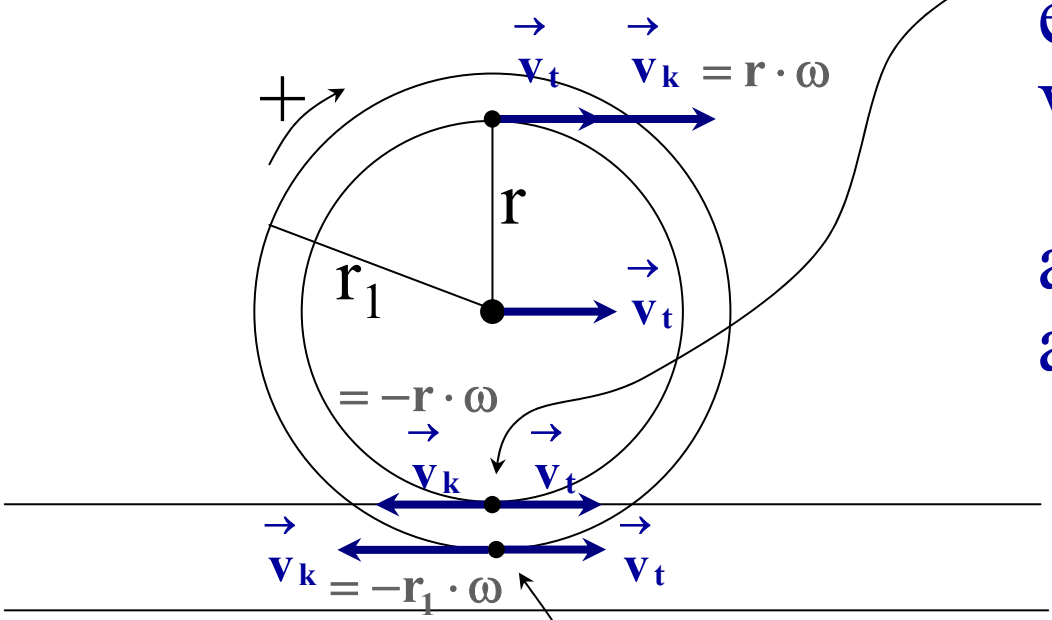
gördülő mozgás : = forgás rögzített tengely körül + haladó mozgás

kísérlet : gördülések



gördülés →
- tiszta gördülés = csúszásmentes (autó egyenletesen halad)
- csúszva gördülés (hirtelen indulás, vagy fékezés)

vonatkerék :



az a pont „annyit halad előre, mint amennyit visszafele fordul” :

$$v_t = r \cdot \omega$$

azaz a sinhez képest áll !!!

pillanatnyi forgástengely

ez a pont hátrafele mozog !

rezgőmozgás : → harmonikus
anharmonikus

harmonikus rezgőmozgás :

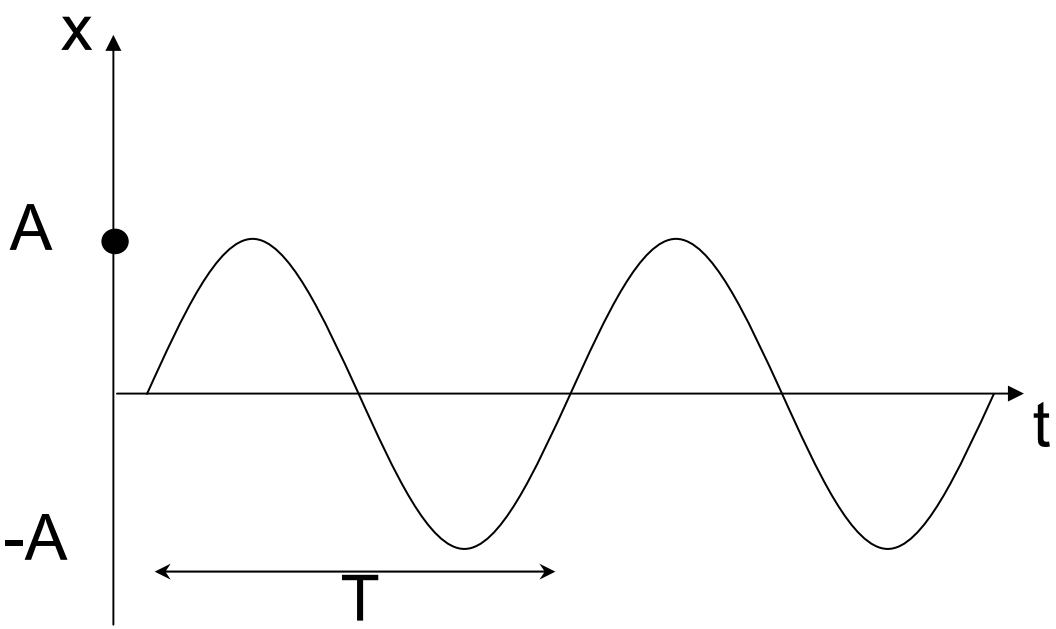
$$x(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

amplitúdó

körfrekvencia

T = periódusidő
rezgésidő

f = 1/T
frekvencia

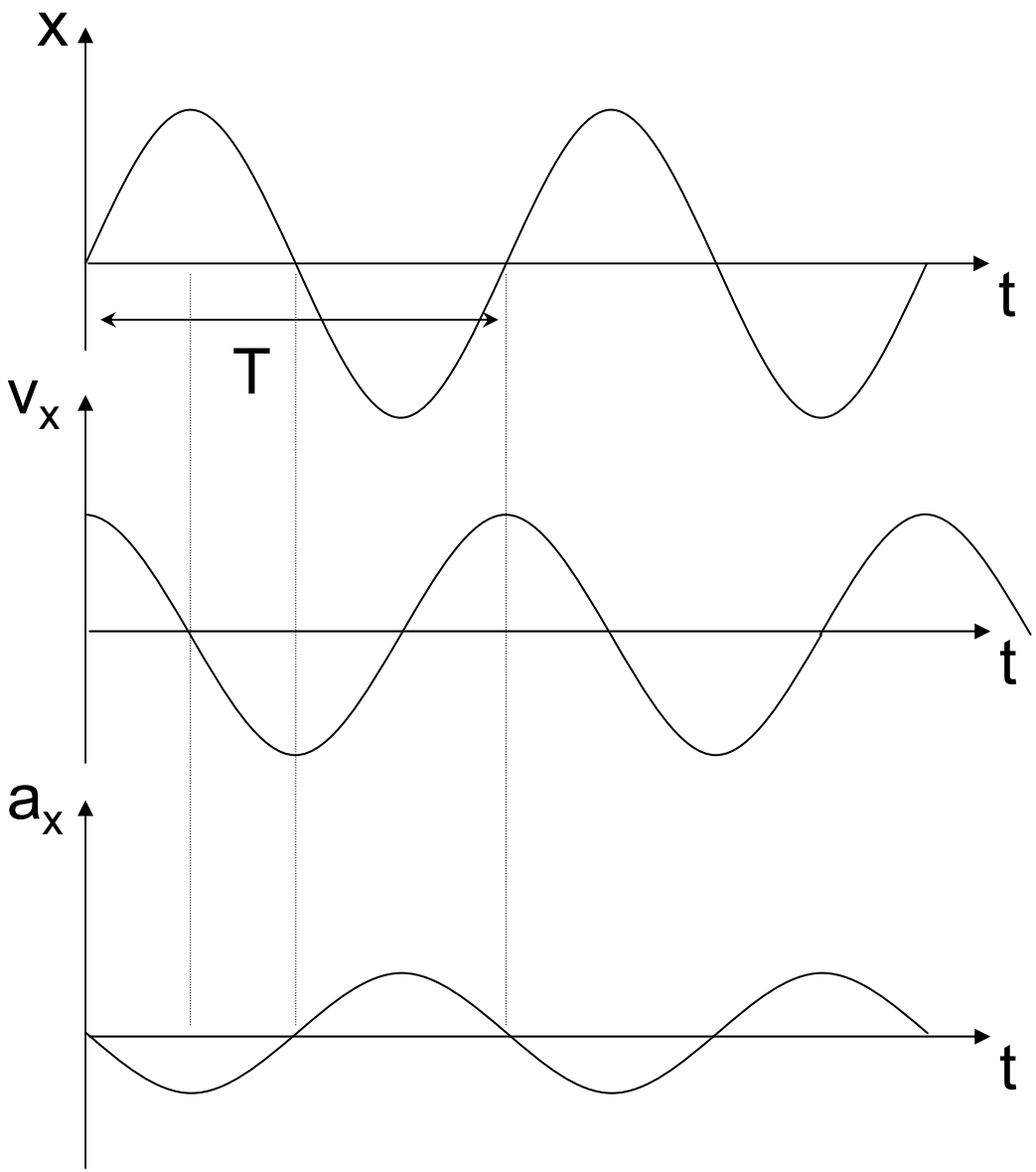


kísérlet :

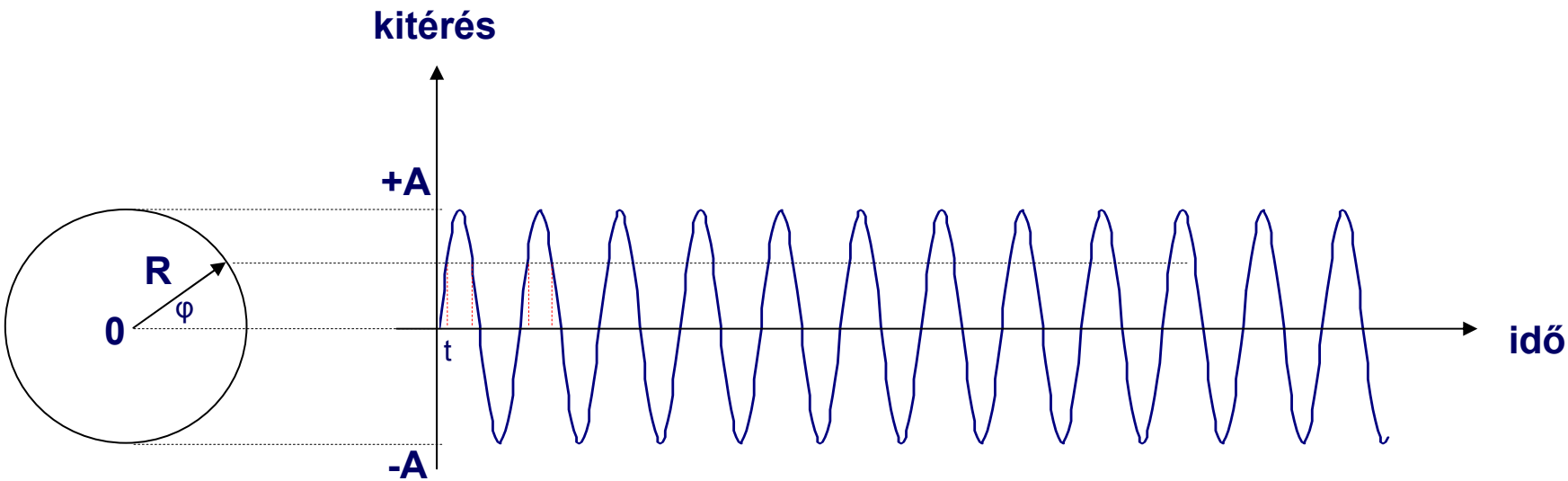
rúgón rezgő test,
megpendített húr,
hangvilla végén tű, megütjük, majd kormozott üveglaphoz érintve egyenletesen húzzuk

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t) \longrightarrow v(t) = A \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$a(t) = -A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$



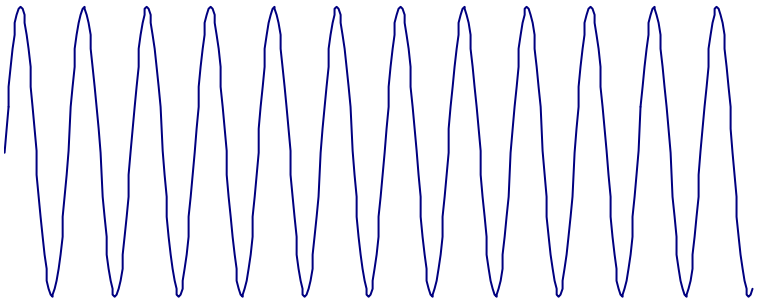
a harmonikus rezgőmozgás és egyenletes körmozgás kapcsolata :



csillapodó rezgés :

β = 0

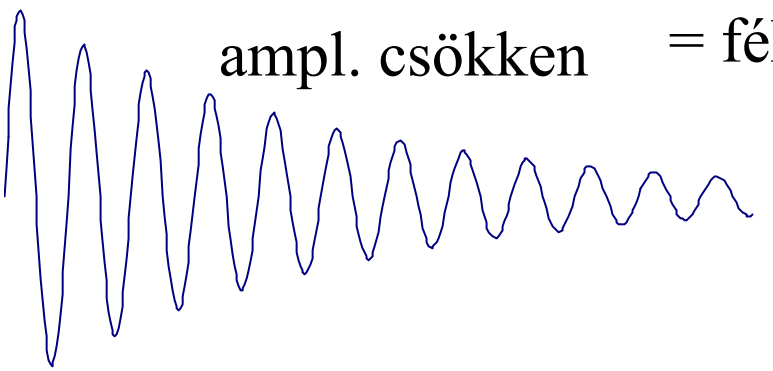
harmonikus



β = 0.1

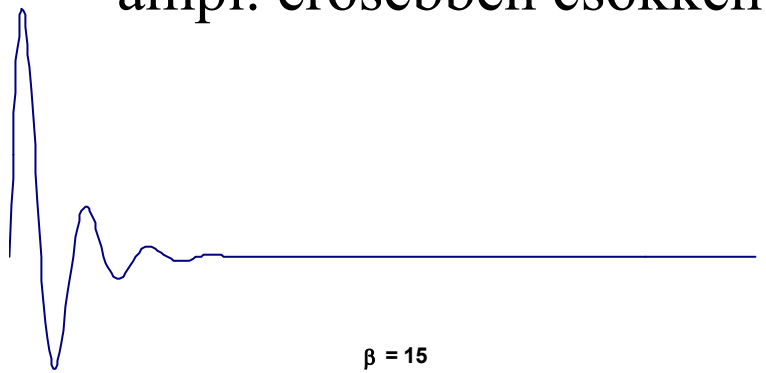
csillapítási tényező
= fékezés

ampl. csökken

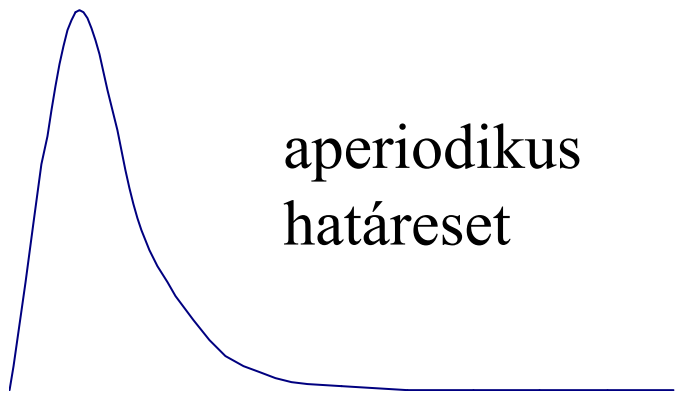


β = 0.4

ampl. erősebben csökken



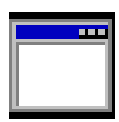
β = 15



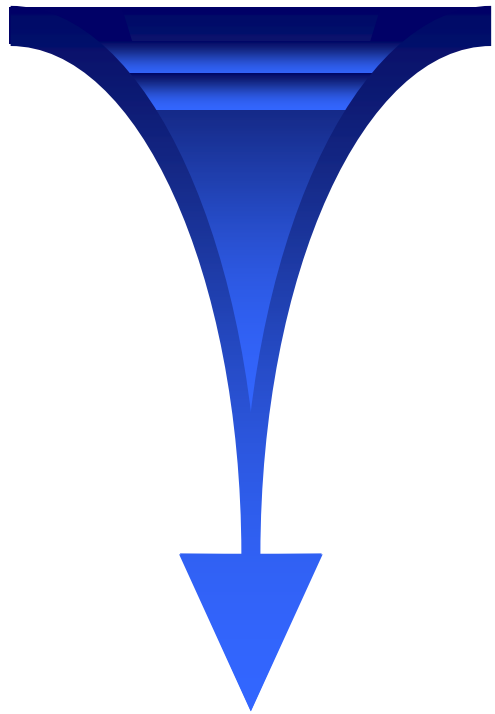
aperiodikus
határeset

rezgések összeadása → párhuzamos
merőleges

kísérlet : rezgések összeadása →



Fizdemo.exe



dinamika = mozgások, mozgásállapot-változások okainak vizsgálata, leírása

régen : a mozgás fenntartásához egy másik test állandó hatása (= „erő”) kell, pl. egy kocsi csak akkor mozog, ha húzzuk

Galilei : elindított és magára hagyott test annál hosszabb utakat tesz meg, minél simább/csúszósabb a felület

gondolatban folytatta : az egyszer elindított test megtartaná mozgásállapotát, ha a felület akadályozó hatását (súrlódás) ki lehetne küszöbölni = **tehetetlenség törvénye**

a tehetetlenség törvénye → **axióma** = alaptörvény

valószínűleg igaz

Newton megfogalmazásában :

minden test megtartja mozgási állapotát (= sebességének nagyságát és irányát), amíg más test/testek hatása annak megváltoztatására nem kényszeríti

→ **Newton I. törv.**

Newton : 1642-1727

mechanika törvényei, differenciálszámítás, szín, optika, tükrös távcső, graviáció (öszefoglalta Kopernikusz, Galilei és Kepler felfedezéseit)

1687-ben „Principia” → 1705-ben lovaggá ütik

Newton előtt : erő = ember által kifejtett „erőfeszítés”

utána : erő = testek kölcsönhatásának mértéke

feltétele: érintkezés, különböző állapot …

eredménye: mozgásállapot-változás

ha két test kölcsönhatásba lép

mindkettőnek megváltozik a mozgásállapota :

pl. : két, korcsolyán álló ember húzza egymást / egyik húzza a másikat / másik húzza az egyiket, mindkettő elmozdul

az elmozdulások (és a kapott sebességek) ellentétes irányúak

a kövérebb fog lassabban mozogni

kísérlet : kocsik ütközése sinen / légpárnás asztalon

a kölcsönhatás törvénye : (= tapasztalat !)

a sebességváltozások ellentétes irányúak, és a sebességváltozások nagyságának hányadosa egy adott testpárra jellemző állandó, nem függ a kölcsönhatás módjától → a **tömeg**et lehet definiálni :

tömeg : egy B test tömege n-szerese az A test tömegének, ha kölcsönhatásuk során a B test sebességváltozása n-ed része az A sebességváltozásának

[kg]

a tömeg a test tehetelenségének mértéke

de : fénysebességnél más !!!

másképpen fogalmazva : $\mathbf{m_1 \cdot \Delta \vec{v}_1 = -m_2 \cdot \Delta \vec{v}_2}$

impulzus (lendület) $\longrightarrow$ $\mathbf{\vec{p} = m \cdot \vec{v}}$

2 test kölcsönhatása során $\mathbf{\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2}$

zárt rdsz.-ben ! $\longrightarrow$ **= impulzusmegmaradás**

ütközéskor a **tömegközéppont** egyenesvonalú egyenletes mozgást végez

erő = kölcsönhatás mértéke :
mennyi idő alatt mekkora impulzusváltozás van ? :

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{\Delta\left(m\vec{v}\right)}{\Delta t} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \underbrace{m \cdot \vec{a}}$$

impulzus-tétel

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

[N]

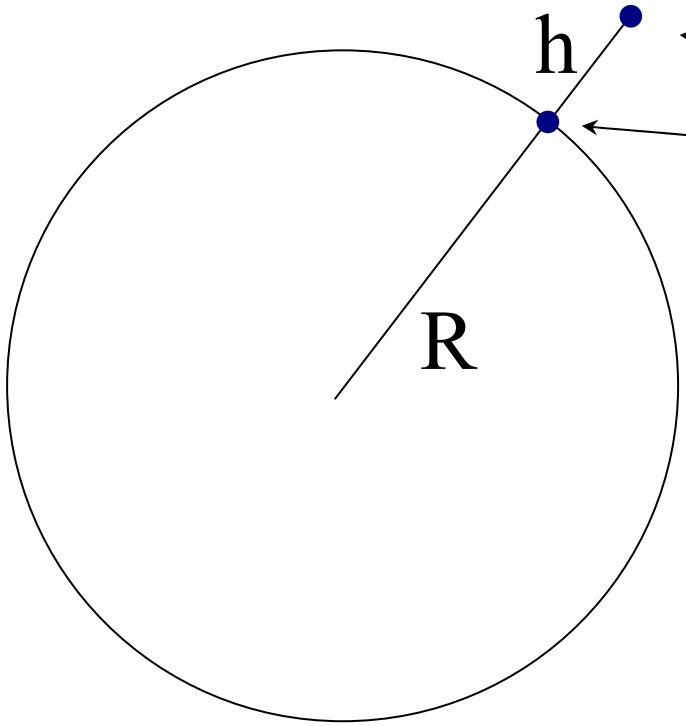
Newton II. törv.

pl.: kalapácsütés

(= dinamika alaptörvénye)

erőtörvények : *rúgó* : $F_r = -k \cdot (\Delta \ell)$ (megnyúlás is)
(Hooke-törv.)

gravitáció: $G = m \cdot g$ de: $F_g = \gamma \frac{m \cdot M}{r^2}$



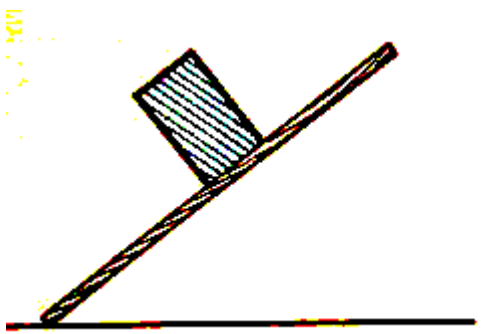
$$F_g = \gamma \frac{m \cdot M}{(R+h)^2}$$

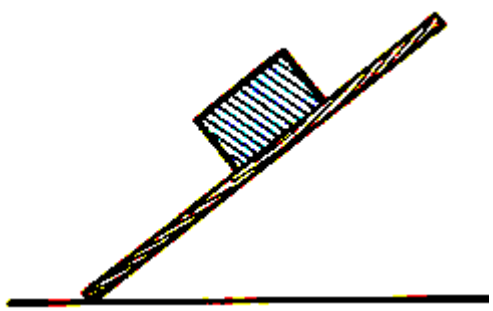
$$F_g = \gamma \frac{m \cdot M}{R^2} = m \cdot \underbrace{\gamma \frac{M}{R^2}}_{g} = m \cdot g$$

súrlódás :

kísérlet :

lejtőn lecsúszó fahasáb :





tapasztalat : F_{surl} ellentétes az elmozdulás irányával
nagysága nem függ az érintkező felületek nagyságától
álló tárgyat nehéz megmozdítani, de utána már könnyebb tolni

súrlódás → csúszási : $F_{cs} = \mu_{cs} \cdot F_{ny}$

súrlódás → tapadási : $0 < F_t < F_{t,max} = \mu_t \cdot F_{ny}$

és $\mu_{cs} < \mu_t$

álló tárgyat nehéz megmozdítani, de utána már csúszik

tapadás: fa-fa : 0,6; acél-acél : 0,15; acél-jég: 0,027

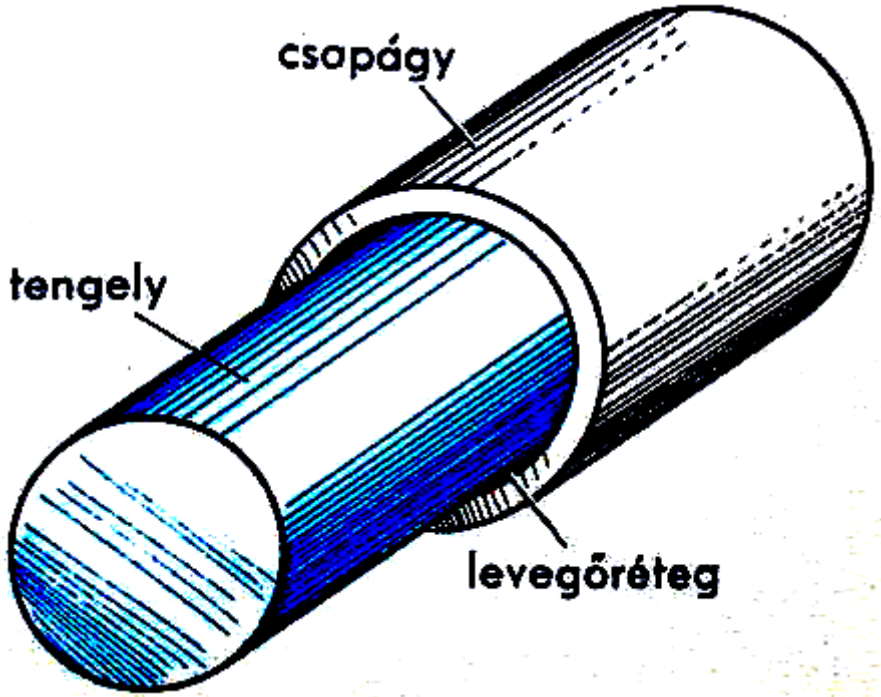
$\mu_{cs} < \mu_t$ ⟶ fékhatás : ne csússzon meg a kerék !!!

blokkolásgátló

elindulás ⟶ kipörgésgátló

csapágyak : olaj, gáz

→ μ_{cs} csökkentése
kopás csökkentése



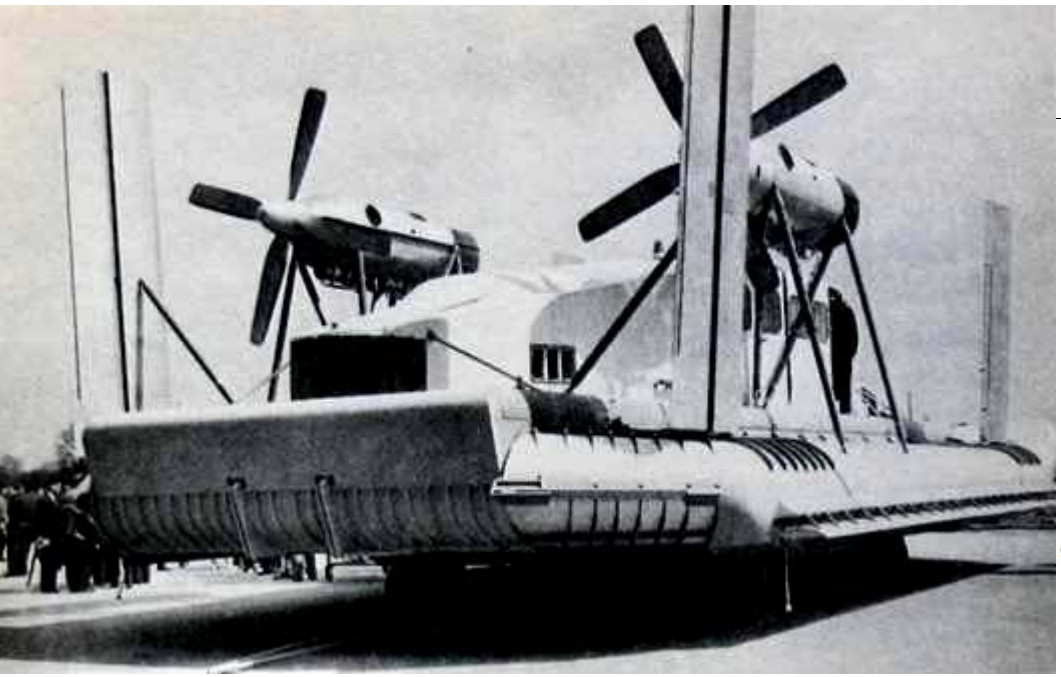
pl.: teherautón vaslemezek egymáson, kanyarodik, szemből jön a busz, lemezek lecsúsznak …

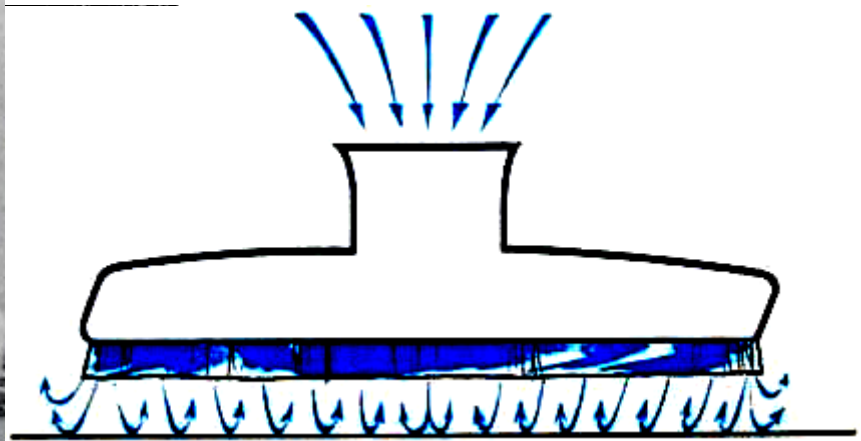
autógumi mérete, fékpofa/fékbetét mérete mégsem mindegy ⟶ miért ???

az anyagot le kell „reszelni” a felületről :
nagyobb felület ⟶ több atom ⟶ több kötés felvágása

pl. : az autó miért tud kanyarodni (miért nem csúszik ki egyenesen az útról) ?

mert ki akarna csúszni, de a tapadási súrlódási erő ezzel ellentétesen hat, azaz a körpálya közepe felé (= F_{cp}), ez tartja körpályán az autót.





közegellenállás :

folyadékban, gázban mozgó testek

tapasztalat : $F_{köz}$ ellentétes az elmozdulás irányával
nagysága függ a mozgó test felületétől,
sebességétől és a felület alakjától

$F_{köz} = -k \cdot A \cdot \rho \cdot v$ ← kis sebességeknél

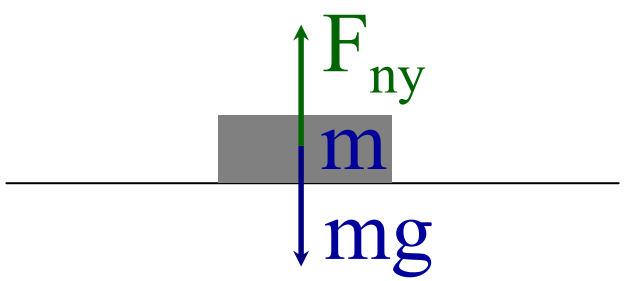
$F_{köz} = -k \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$ ← nagy sebességeknél

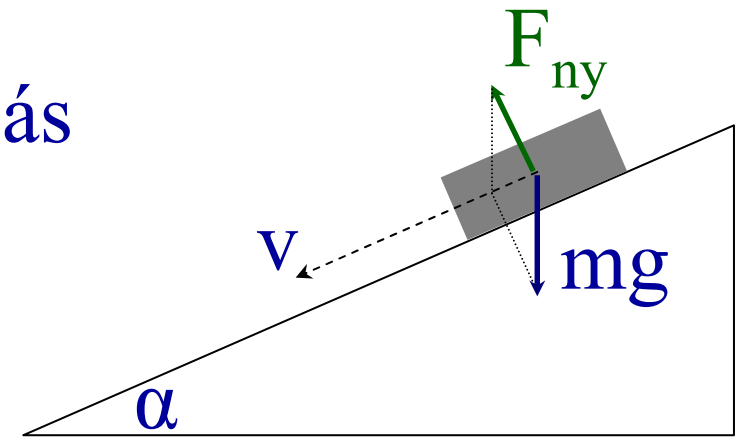
pl. : hordót visznek tetőcsomagtartón

kényszererő :

pl. alátámasztás (felfüggesztés) által a testre ható erő

ingamozgás





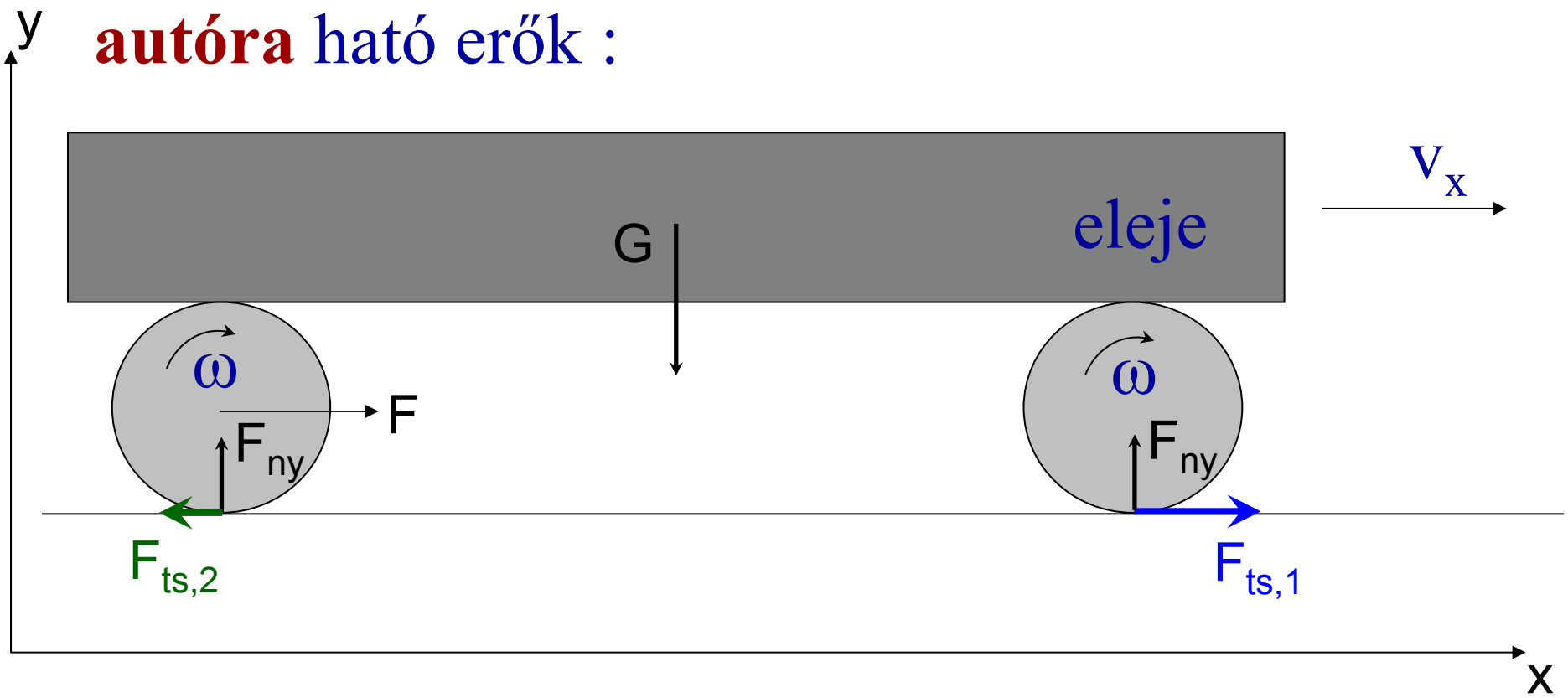
$F_{ny} = mg$

$F_{ny} < mg \quad (=mg\cos\alpha)$

F_{ny} **mindig merőleges** az alátámasztó felületre

pl. : az autó miért halad az úton ? :

autóra ható erők :



$$a_y = 0 \longrightarrow \sum F_{i,y} = 0 \longrightarrow G = 2 \cdot F_{ny}$$

$$\sum F_{i,x} = F_{ts,1} - F_{ts,2} > 0 \longrightarrow a_x = \frac{dv_x}{dt} \neq 0$$

felhajtóerő, Coulomb-erő, mágneses erő, van der Waals, stb … } ld. később

további tapasztalat :

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

↳ **Newton III. törv.**

(= hatás-ellenhatás törvénye)

= kölcs.hat.tv. újrafogalmazása

pl.: birkózáskor A felemeli B-t, akkor A erősebb, de mégis ugyanakkora erővel hat B-re, mint B A-ra !!!

pl.: ló húzza a lovaskocsit, akkor N.III. szerint a kocsi is ugyanakkora erővel húzza a lovat visszafele → miért megy mégis előre ???

pl.: lehet így utazni ? (Cyrano)

(mágnest feldobja, az a kocsit magához húzza, fent a golyót újra feldobja, és így tovább …)

miért ?

további tapasztalat :

ha több erő hat egy testre:

$$m \cdot \vec{a} = \sum \vec{F}_i$$

Newton IV. törv.

(= erőhatások függetlenségének elve)

ha nem egyetlen tömegpontról van szó

tömegpontrendszer

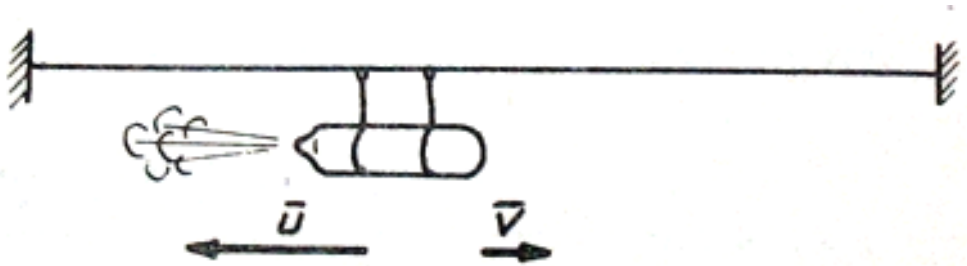
zárt pontrendszer tömegkp.-nak sebessége állandó
pl. : szétrobbanó repeszdarabok

a tömegközéppontja úgy mozog, mint egyetlen tömegpont, amire az összes külső erők hatnak

merev test = speciális pontrendszer

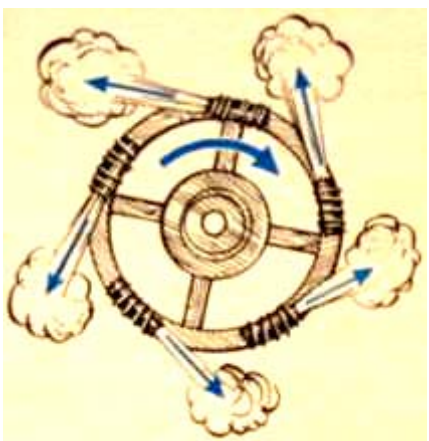
Newton törv.-i ezekre is érvényesek

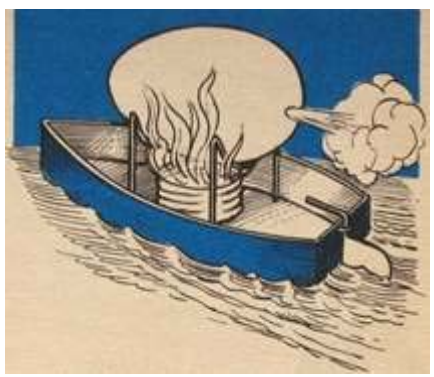
rakétamozgás :



kísérlet: patron – rakéta, vagy kocsi

a rakéta testére a kiáramló gáz fejt ki erőt





továbbá : ágyú, puska, stb. hátralökődése

égitestek mozgása : (bolygómozgás, mesterséges égitestek, Kepler törv.-i)

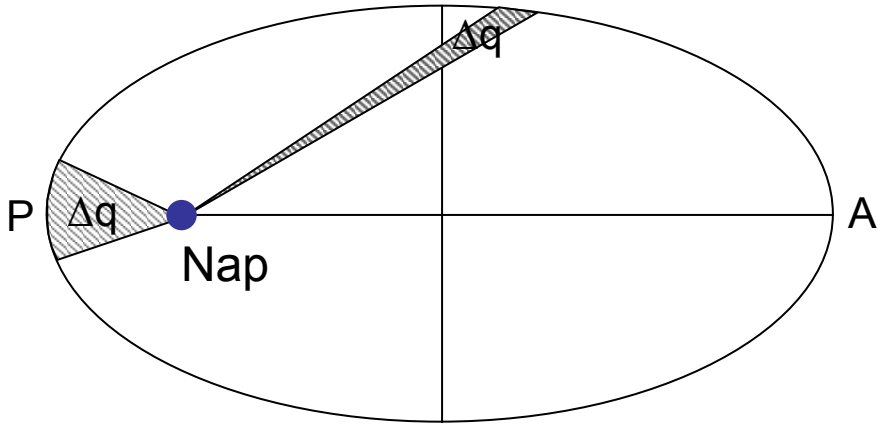
i.e. 2.sz. : geocentrikus világkép (Ptolemaiosz) = kör-pályák, kp.-ban a Föld

≈1500 : helocentrikus világkép (Kopernikusz) Nap körüli pályák, és tengely körüli forgás

1609-1619 : **Kepler-törv.-k :** Tycho Brahe is !

1. ellipszispálya, egyik gyújtópt.-ban a Nap;
2. a Naptól a bolygókhoz húzott sugár egyenlő idők alatt egyenlő területeket súrol;
3. a bolygók keringési időinek négyzetei úgy aránylanak egymáshoz, mint az ellipszispályák nagytengelyeinek köbei.

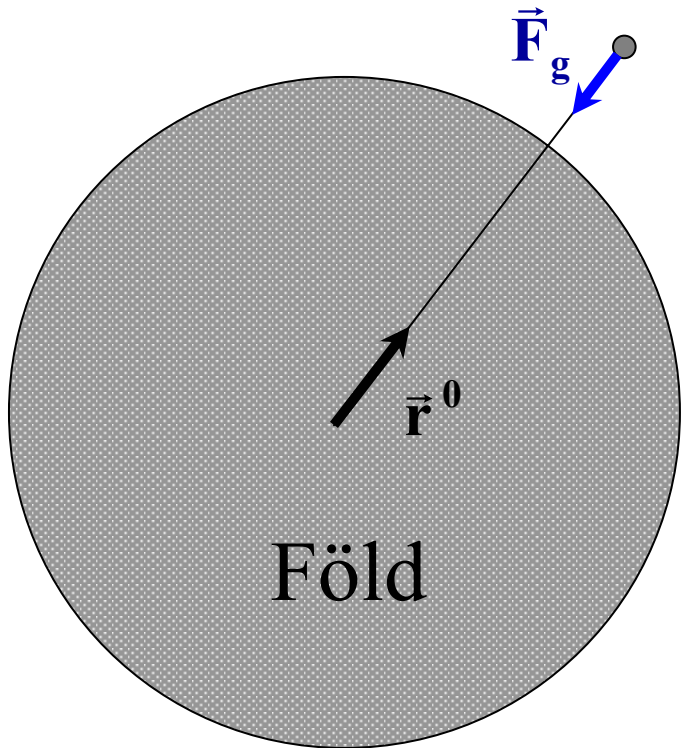
Kepler II. szerint:



a Föld sebessége legnagyobb P-ben (január 3-án), legkisebb A-ban

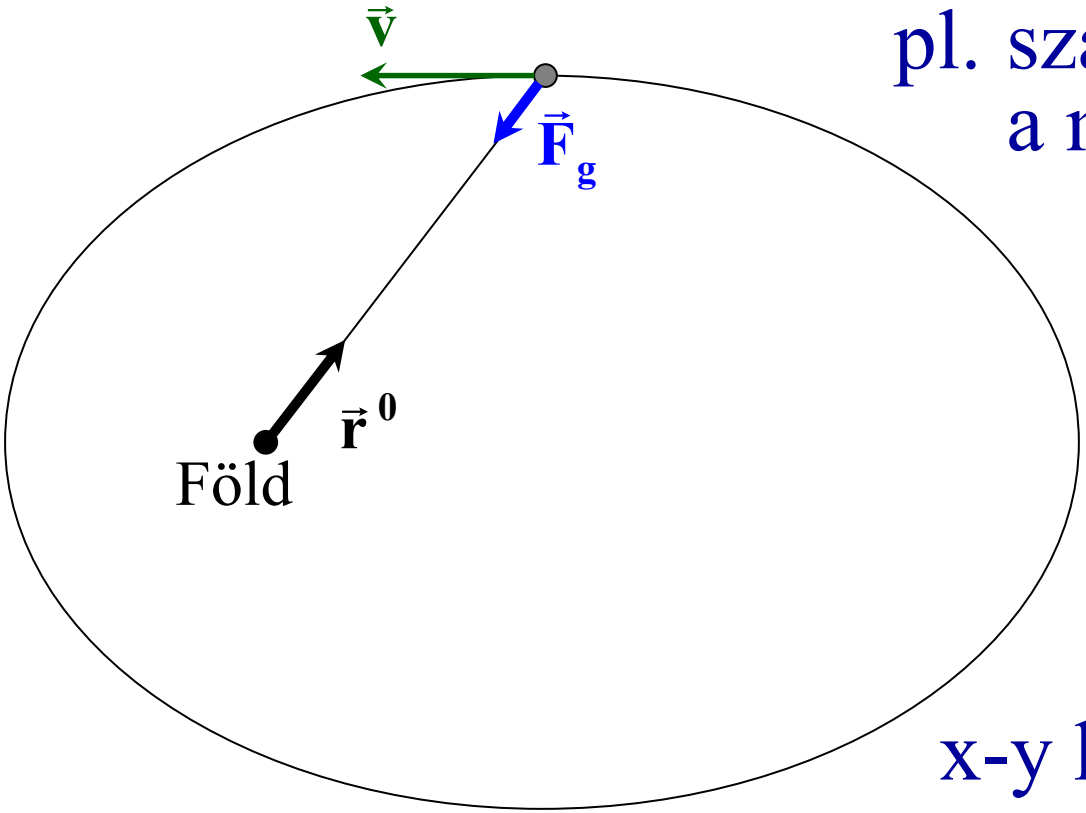
időegység alatt súrolt terület = területsebesség $\approx \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} = \text{áll.}$

már Kepler is sejtette az ált. tömegvonzás törv.-t



tömegpontoknak vesszük

$$\vec{F}_g = -\gamma \frac{m \cdot M}{r^2} \vec{r}^{\,0}$$



pl. számítógéppel szimulálni a mozgást :

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{F}_g = -\gamma \frac{m \cdot M}{r^2} \vec{r}^{\,0}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = -\gamma \frac{M}{r^2} \vec{r}^{\,0}$$

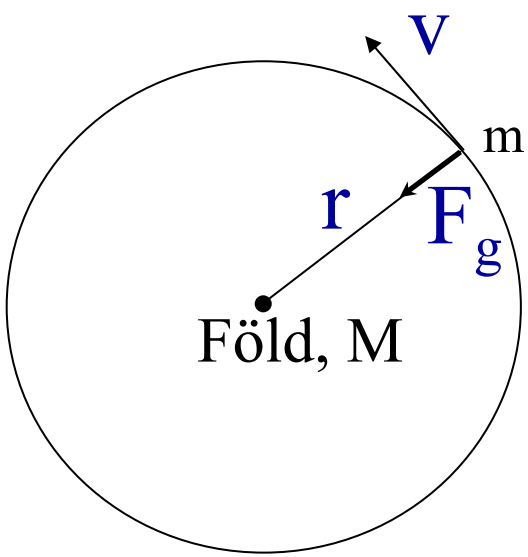
x-y koordináta rendszerben

+ kezdeti feltételek : $x(0)$, $y(0)$, $v_x(0)$, $v_y(0)$

- ellipszis alakú pályák, egyik fókuszban a Föld (Kepler)
- nagytengely mérete és keringési idő v_0-lal nő
- ha speciálisan v_0 olyan, h. $a_{cp} = v_0^2/r$, ⟶ $F_{cp} = \gamma mM/_{r2} = mv_0^2/r$ ⟶ körpálya;

geostacionárius pálya

geostacionárius pálya :



$$F_g = \gamma \frac{mM}{r^2} = ma_{cp} = mr\omega^2$$

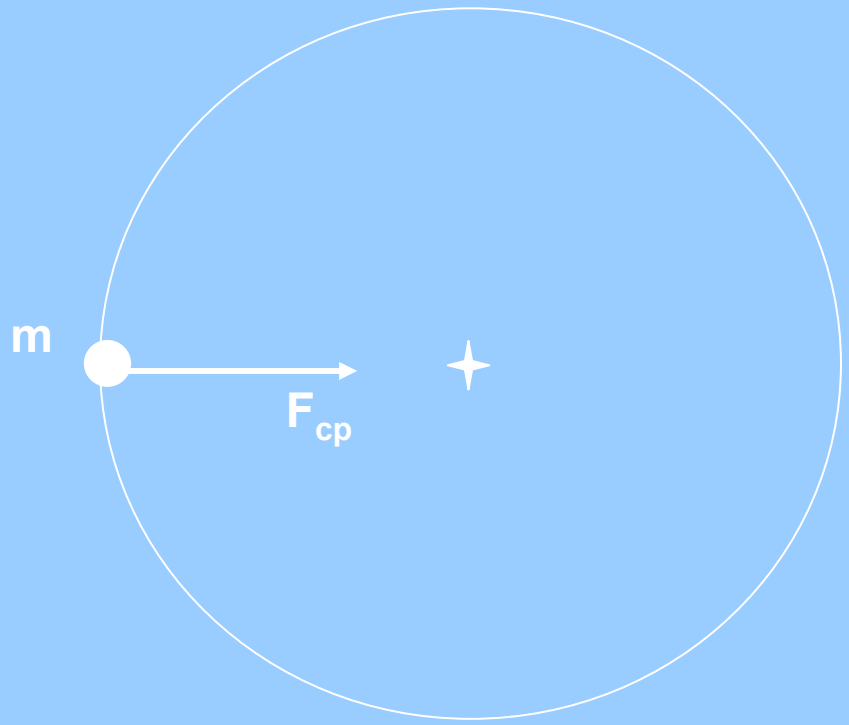
$$\gamma M = r^3 \omega^2$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$ és T = 24h = 86400s

$$r = \sqrt[3]{\frac{\gamma M T^2}{4\pi^2}} = \ldots$$

pl. távközlési műholdak

de : F_{cp} NEM erőtörvény



F_{cp} lehet pl kötélerő, rúgóerő, grav.erő, … (ami „húzza” a testet, h körpályán maradjon)

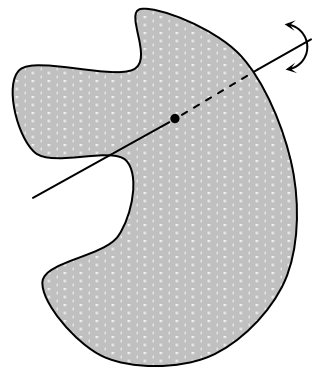
matematikai inga : = kötélinga

vékony, „súlytalan”, nyújthatatlan fonálon lengő test

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad \rightarrow \quad \text{g - t lehet mérni}$$

fizikai inga :

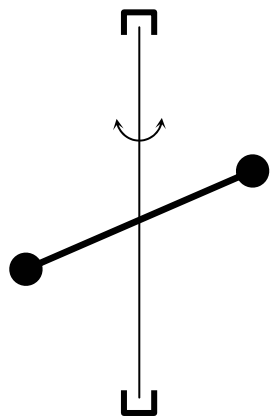
kiterjed test leng valamely pontján felfüggesztve



T függ a geometriai méretektől

g - t itt is lehet mérni

torziós inga :



mozgás mozgó vonatkoztatási rendszerben :

Galilei-féle relativitási elv : egymáshoz képest egyenletesen haladó vonatk.rdsz.-k közül nem tudunk egy abszolút nyugalomban levőt kiválasztani

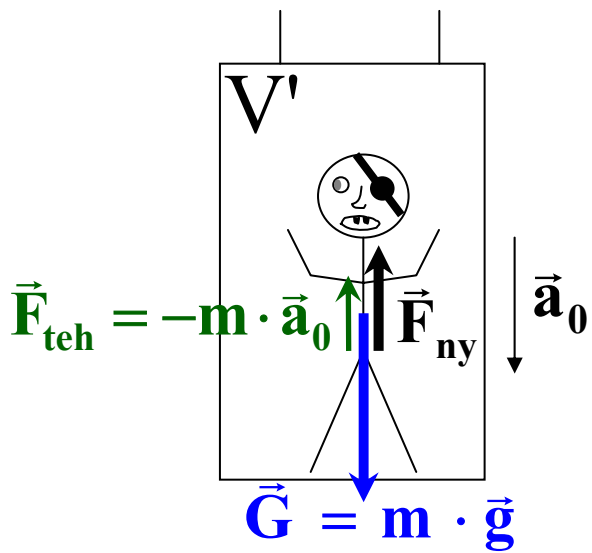
pl. : egyenl. mozgó vonaton egy inga ugyanúgy leng, mint az állomáson

gyorsulva haladó vonatk. rdsz. :

pl. : mekkora erő hat egy a_0 gyorsulással lefele induló liftben álló emberre ? :

$\vec{F}_{teh} = -m \cdot \vec{a}_0 \longrightarrow$ **tehetetlenségi erő**

N.II. érvényes marad



az ember a lifthez képest nem gyorsul

$$\sum_i \vec{F}_i = \underbrace{\vec{G} + \vec{F}_{ny} + \vec{F}_{teh}}_{\vec{F}_{ny} \text{ meghatározható}} = m \cdot \vec{a} = 0$$

forgó rendszerben :

ha egy V' rendszer egyenletes $\vec{\omega}$ szögsebességgel forog egy „nyugvó” V-hez képest :

$$\vec{F}_{cf} = m \cdot \omega^2 \cdot \vec{r} \quad \rightarrow \quad \textbf{centrifugális erő}$$

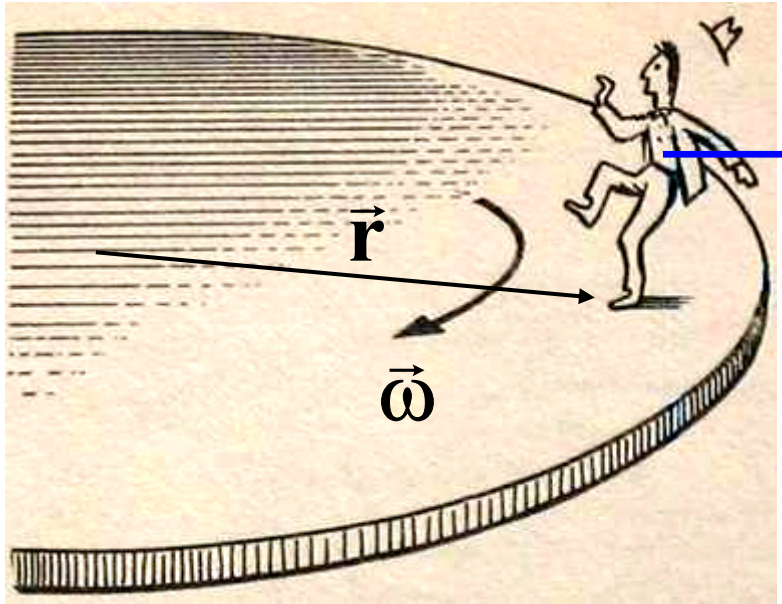
$$\vec{F}_{Co} = 2m \cdot \vec{v}' \times \vec{\omega} \quad \rightarrow \quad \textbf{Coriolis-erő}$$

ezekkel N.II. forgó rdsz.-ben is igaz :

$$m \cdot \vec{a}' = \vec{F} + \vec{F}_{cf} + \vec{F}_{Co}$$

pl. : forgó rendszerben álló test

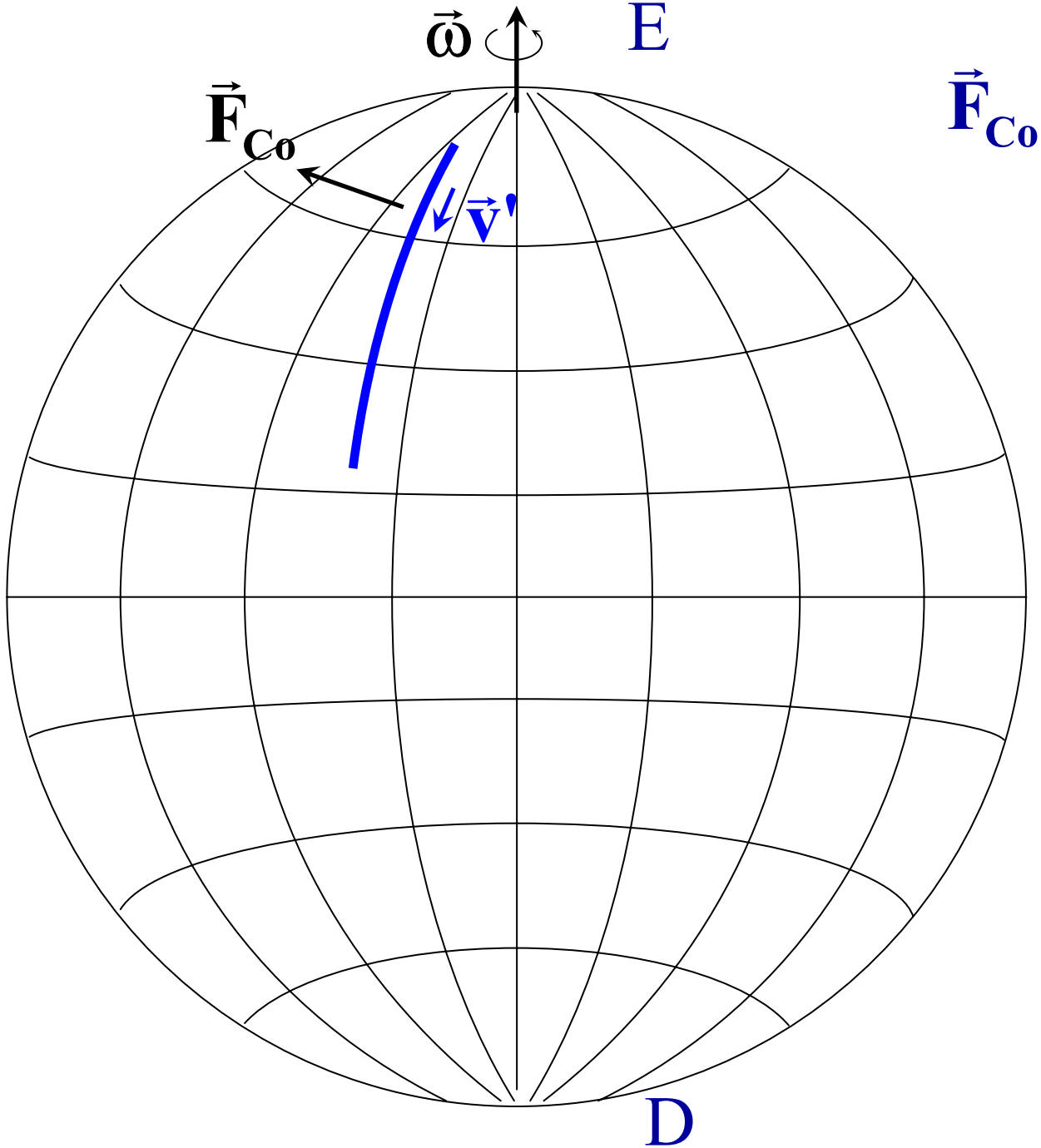
$$\vec{F}_{cf} = m \cdot \omega^2 \cdot \vec{r}$$



pl. : az északi féltekén É-D irányban folyó folyók a jobb partjukat mossák, vagy
az É-D irányban haladó vonatok kerekei a jobb oldali sint jobban koptatják

$$\vec{F}_{Co} = 2m \cdot \vec{v}' \times \vec{\omega}$$ miatt

a kádban lefolyó víz forog



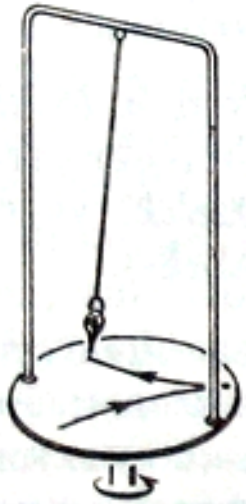
$$\vec{F}_{Co} = 2m \cdot \vec{v}' \times \vec{\omega}$$

a Föld tényleg forog ? :

igen, bizonyíték a Foucault-féle ingakísérlet :

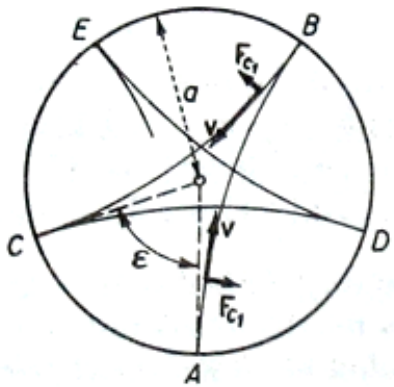
hosszú kötélen nagy tömeg leng

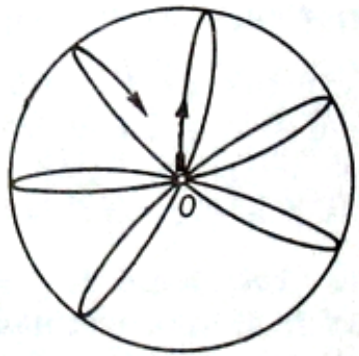
⟶ sokáig leng, kis csillapodással



kezdeti lengési síkot megjelölik, tapasztalat :

lengési sík óránként kb. 15°-t elfordul





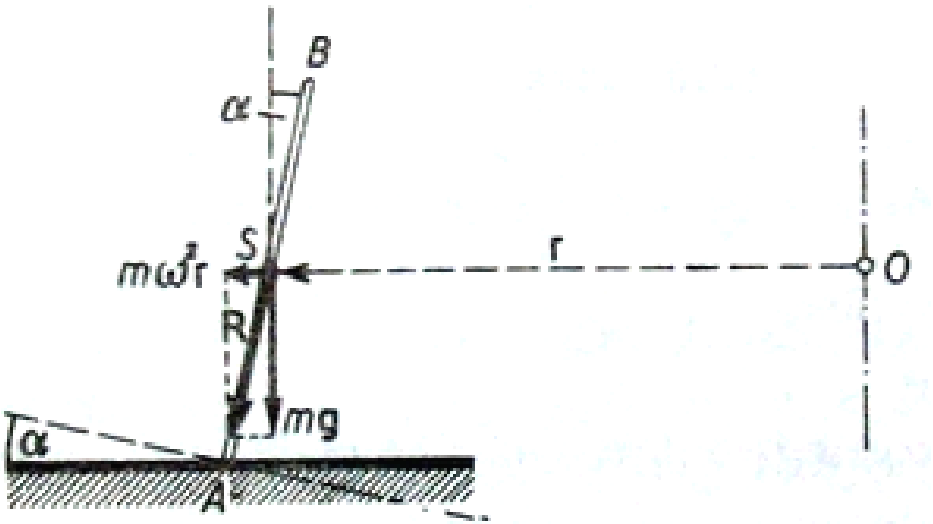
értelmezés :

forgó rdsz.-ben : a testre oldalirányú eltérítő erő hat, a pillanatnyi seb.-hez képest jobb oldal felé (= Coriolis-erő)

inerciardsz.-ben : az inga megtartja lengési síkját, csak a Föld „kifordul” alóla

példák, alkalmazások :

1. kerékpár ($\vec{v}$) bedől (α) a kanyarban :



$\omega = \frac{v}{r}$ szögseb.-el forgó rdsz-ből nézve :

a bicikli nyugalomban van :

$m\vec{g}$ és $m\vec{r}\omega^2$ eredője $\vec{R}$

$\vec{R}$ a bicikli síkjában kell, h. legyen

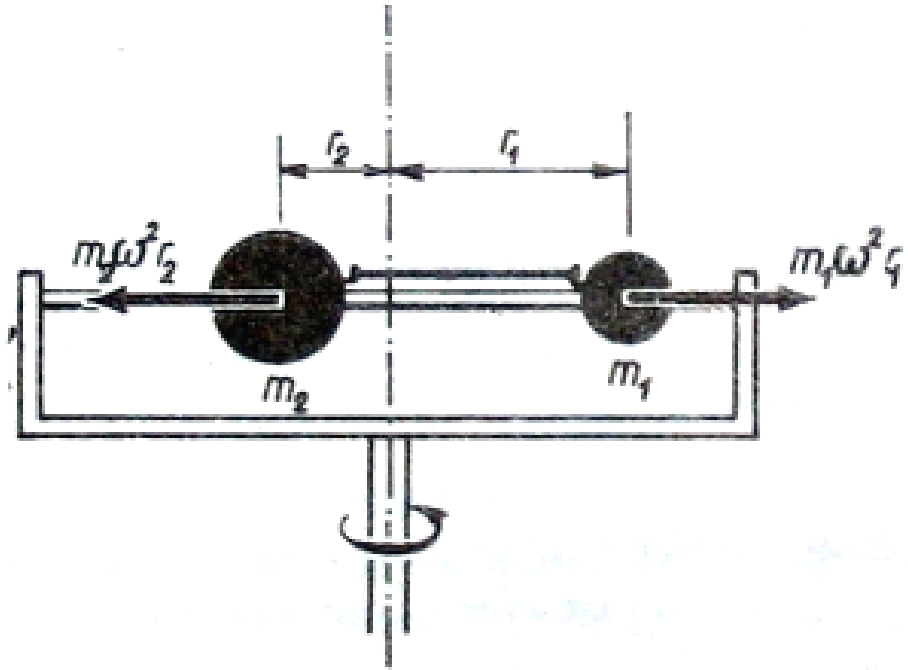
$$\rightarrow \quad tg\alpha = \frac{mr\omega^2}{mg} = \frac{r\omega^2}{g} = \frac{v^2}{rg}$$

a talaj síkjának $\approx \perp$ kell lenni biciklire, mert a tapadás nem tud egyensúlyt tartani $\rightarrow$ kicsúszik oldalra

$\rightarrow$ a versenypályák külsejét megemelik

kanyarban a vasúti sin külső szálát is feljebb teszik

2. két golyó centrifugális géppel megforgatva :



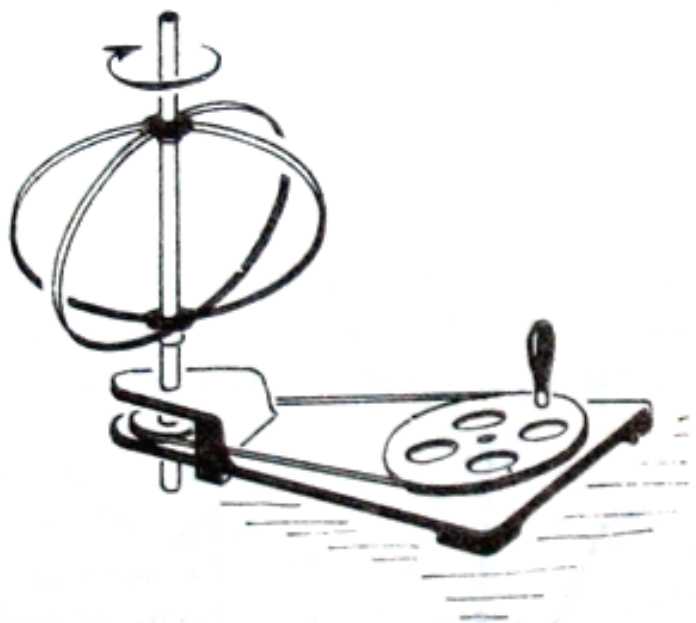
golyók a forgó rdsz.-ben egyensúlyban vannak, ha

$$m_1 \vec{r}_1 \omega^2 = m_2 \vec{r}_2 \omega^2$$

$$m_1 \vec{r}_1 = m_2 \vec{r}_2$$

3. forgó abroncs belapul : ⟶

kísérlet !



kerékre kifelé ható $F_{cf} = F_{deform}$

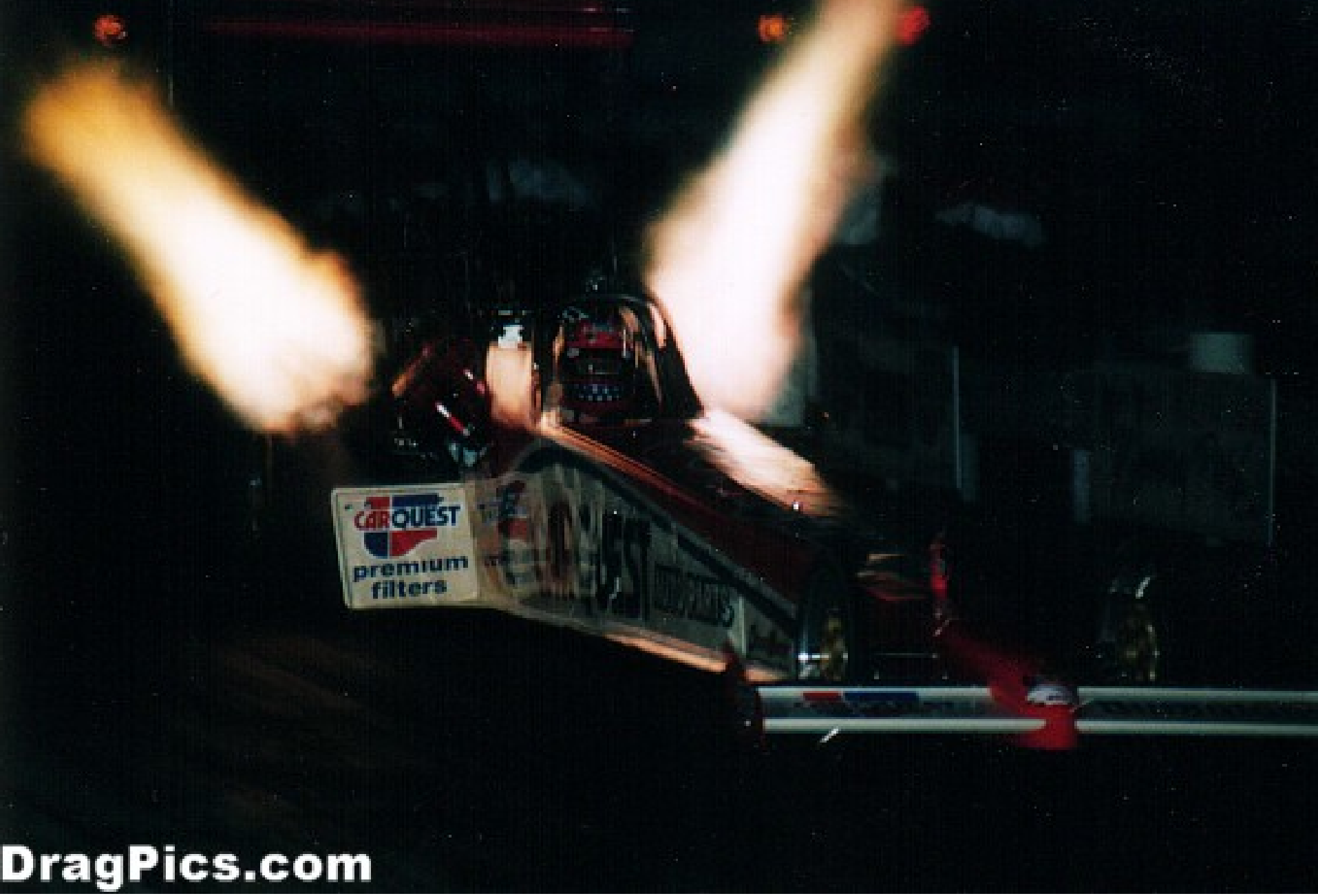
pl. gyorsulási verseny:
hátsó kerék

Castrol
WIX
DragPics.com

DragPics.com

DragPics.com

STIHL
KUBOTA
FORD
JACKSON
RACE CARS
Barry Allen
RACE ENGINES
DragPics.com


CARQUEST
premium
filters
DragPics.com

CADENCE
CADENCE
mobile audio

DragPics.com

Rock'n Roll
THUNDER
DragPics.com

GRAND BEND MOTORPLEX
Bob Motz
DragPics.com

4. dinamikus merevség :

kísérletek :

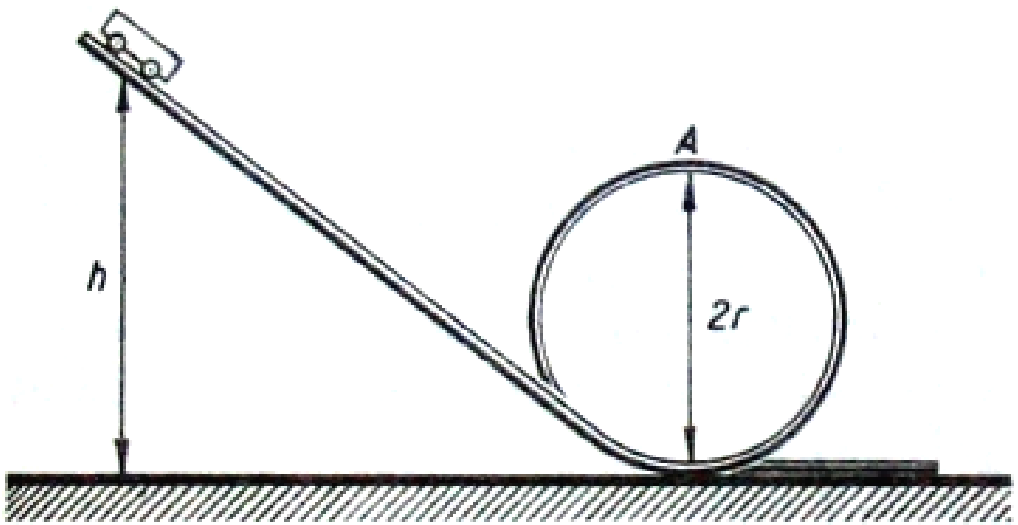
forgó lánc „kemény” → gurul, akadályokat átugrik
forgó papírlap „merev” → fűrészelni lehet vele

5. centrifuga : háztartás, biológia, élelmiszeripar,…

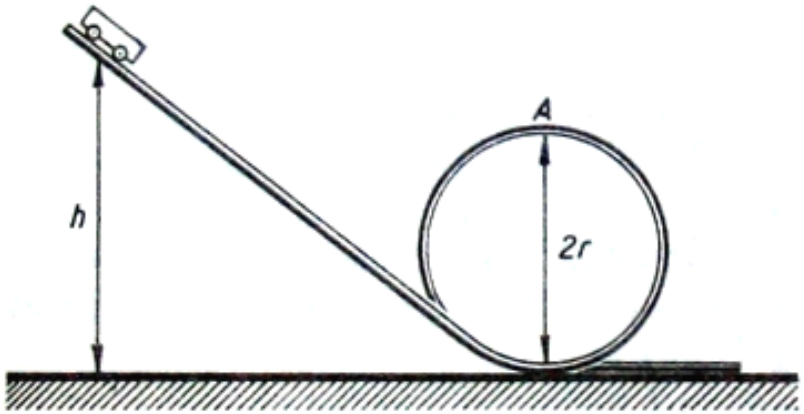
6. centrifugál szabályozó

7. szivattyúk

8. cirkusz:



h = ?



a kocsiban ülve a körpályán forgó rendszerből nézzük :

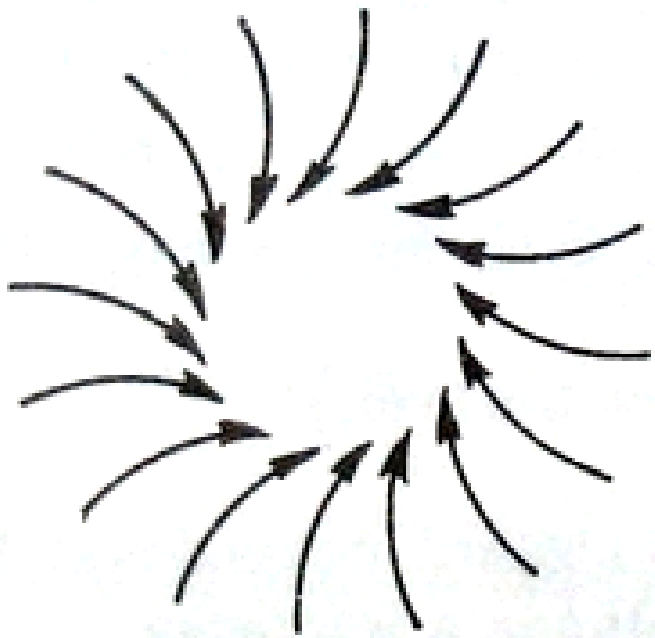
A-ban F_{cf} fölfele min. akkora legyen mint m·g lefelé :

$$\frac{mv_A^2}{r} \geq mg$$

(+ energiamegmaradás → később)

9. ciklonok : (az É-i féltekén) → (F_{Co})

passzátszelek, ÉK és DK felé, a levegő a kisebb nyomású helyekre áramlik + F_{Co}



10. a lövedékek jobbra eltérnek

11. a Föld a sarkoknál belapul

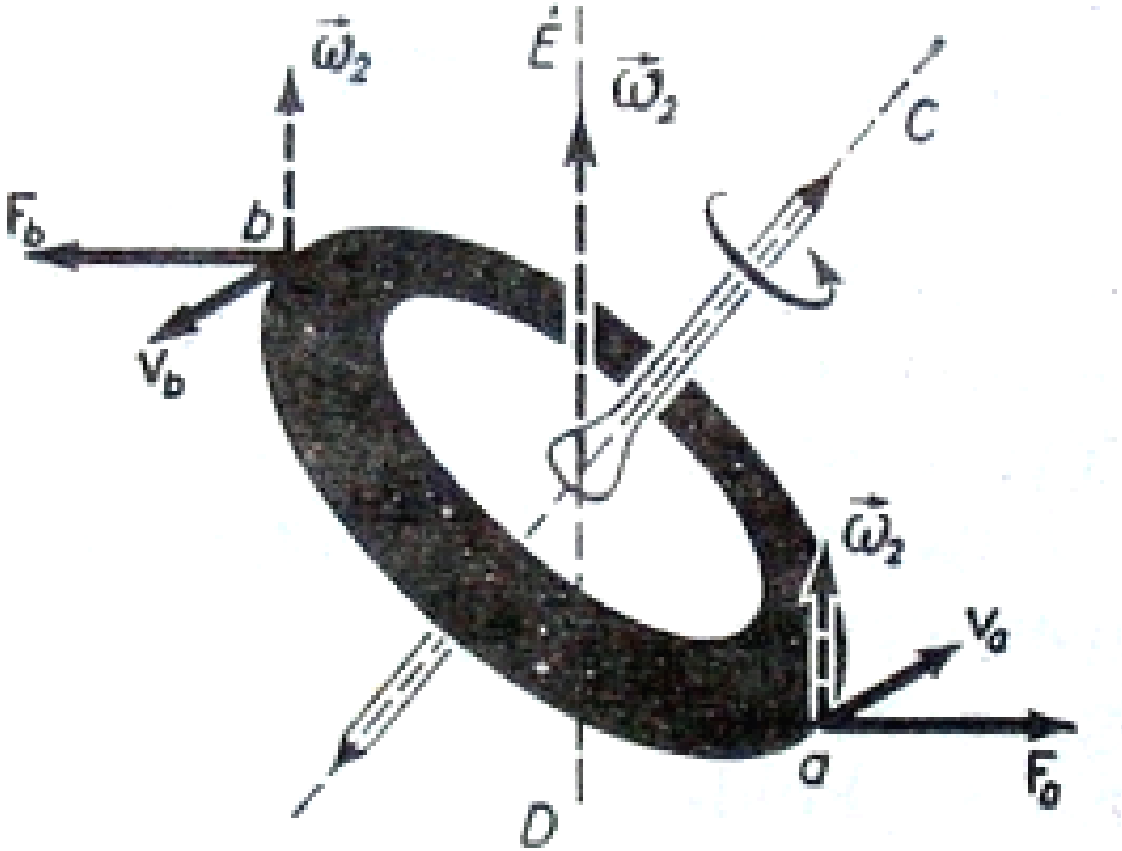
12. a szabadon eső testek K-felé eltérnek :
a 45 szélességi foknál: 100 m magasságnál 1.5 cm-t

13. ha egy test K→NY irányban mozog :
F_{Co} lefelé mutat ⟶ látszólagos súlynövekedés
Eötvös-effektus

NY→K irányban fordítva

pörgettyűs iránytű :
Foucault, 1852

a C szimm.-teng. a függ. körül elfordulhat
a pörgettyű C körül gyorsan forog ⟶ a rá ható F_{Co} miatt beáll É-D irányba



fordulatszám nagy legyen (≥20ezer/perc)

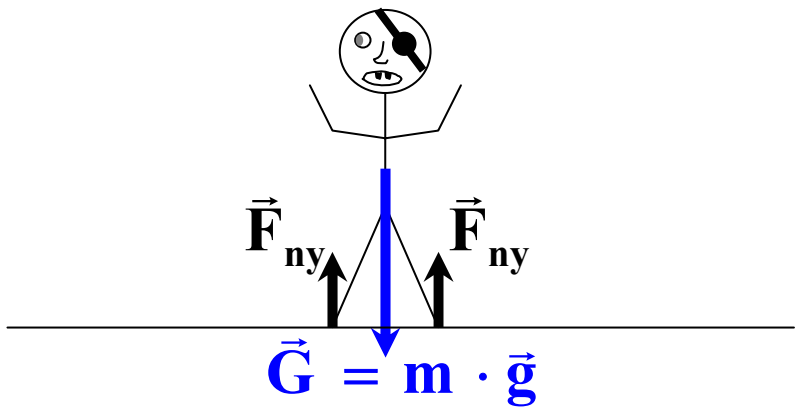
súlytalanság :

ha csak a saját súlya hat rá :

pl. : szabadon eső test

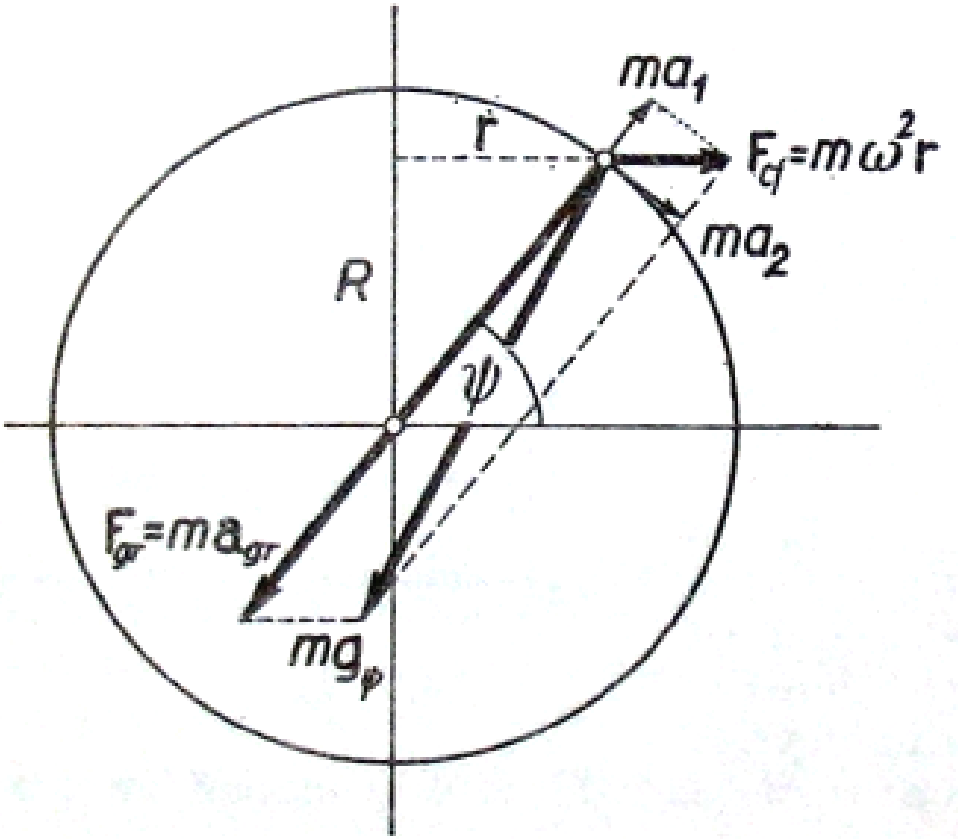
Föld körüli körpályán keringő test

a ránk ható súlyerőt akkor érezzük, ha az alátámasztás által kifejtett nyomóerő is hat :



$$2\vec{F}_{ny} = m\vec{g}$$

nehézségi erő, gravitációs tér :



súly = $m\vec{g}_\psi = \vec{F}_{gr} + \vec{F}_{cf}$

és $\vec{g}_\psi = \vec{a}_{gr} + \vec{a}_{cf}$

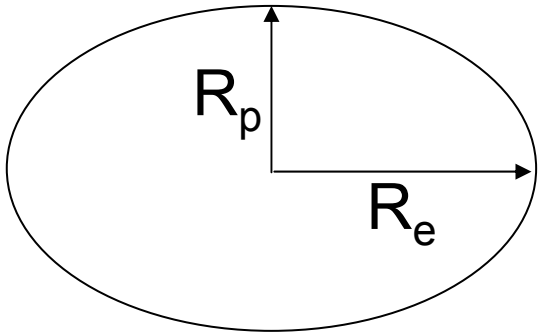
⬇

a súly nem a középpont felé mutat !!!
(csak a sarkokon)

a súly és $g = g_\psi$ a sarkokon a legnagyobb (ott $F_{cf} = 0$), az egyenlítőn a legkisebb (F_{cf} itt a legnagyobb)

de a Föld nem gömb → geoid (= forgási ellipszoid), a felülete mindenütt ⊥ a grav. és F_{cf} erők eredőjére

Föld :



$R_e = 6378$ km

$R_p = 6357$ km

számítás szerint : $g_\psi = (g_{90^o} - 3.4\cos^2\psi)$ cm/s^2

mérések szerint : $g_\psi = (983.2 - 5.2\cos^2\psi)$ cm/s^2

(nem egyeznek, mert nem gömb alakú)

de ettől van pontosabb g_ψ – formula is !

$$g_{Budapest} = 9.80852 \text{ m/s}^2$$

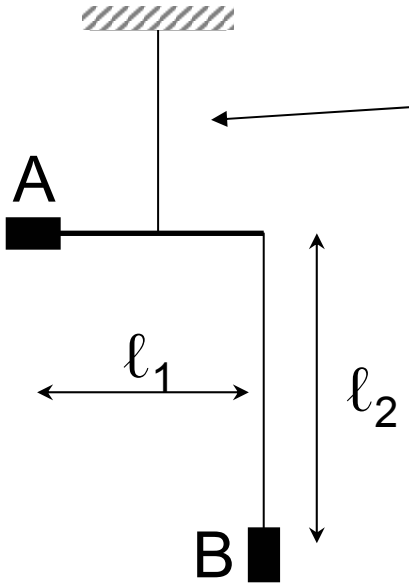
g függ a magasságtól is

g függ a helytől is :

a talaj sűrűségének lokális változásai miatt

→ ásványi anyagok, Föld szerkezetének kutatása

Eötvös Loránd : Eötvös-inga :



← $\approx 40\mu m$ Pt-Ir torziós szál

$A = B = 15\text{-}20$ g

$\ell_1 = 25\text{-}40$ cm

$\ell_2 = 50\text{-}60$ cm

torziós szálon tükör → igen precíz leolvasás

a nehézségi erőtér inhomogén → $\vec{g}_A \neq \vec{g}_B$

↓

torziós szál elfordul

Eötvös : súlyos és tehetetlen tömeg egyenlősége

ld. otthon !

g időben sem állandó :

Nap és Hold hatása → árapály

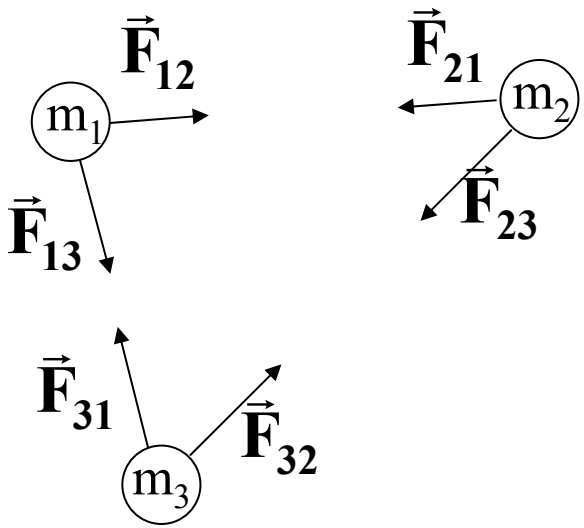
tömegpontrendszerek és testek :

ha nem egyetlen tömegpontról van szó

tömegpontrendszer

(pl. : szétrobbanó repeszdarabok)

zárt pontrendszer :



$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \ldots$$

$$\frac{d\vec{p}_2}{dt} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} + \ldots$$

stb …

de : erőhatások függetlensége + hatás-ellenhatás
minden pontra külön-külön ⟶ $\vec{F}_{ij} = -\vec{F}_{ji}$

$$\frac{d\vec{p}_{teljes}}{dt} = \frac{d\vec{p}_1}{dt} + \frac{d\vec{p}_2}{dt} + \ldots = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{31} + \ldots$$

$$\frac{d\vec{p}_{teljes}}{dt} = 0$$

$$\vec{p}_{teljes} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \ldots = \text{állandó}$$

ha külső erő nem hat

impulzusmegmaradás pontrendszerre

másként fogalmazva :

$$\vec{r}_{tkp} = \frac{m_1 \cdot \vec{r}_1 + m_2 \cdot \vec{r}_2 + \ldots}{m_1 + m_2 + \ldots} = \sum_i \frac{m_i \cdot \vec{r}_i}{m_i}$$

$$\vec{v}_{tkp} = \frac{m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 + \ldots}{m_1 + m_2 + \ldots} \longrightarrow m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 + \ldots = (m_1 + m_2 + \ldots) \cdot \vec{v}_{tkp}$$

$$\vec{p}_{teljes} = m \cdot \vec{v}_{tkp}$$

a tömegkp. sebessége állandó

a tömegkp. sebessége állandó = zárt rdsz. tkp.-ja inerciamozgást végez

impulzustétel pontrendszerekre, azaz ha külső erők is hatnak :

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} = \vec{F}_1 + \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \dots$$

$$\frac{d\vec{p}_2}{dt} = \vec{F}_2 + \vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} + \dots$$

stb …

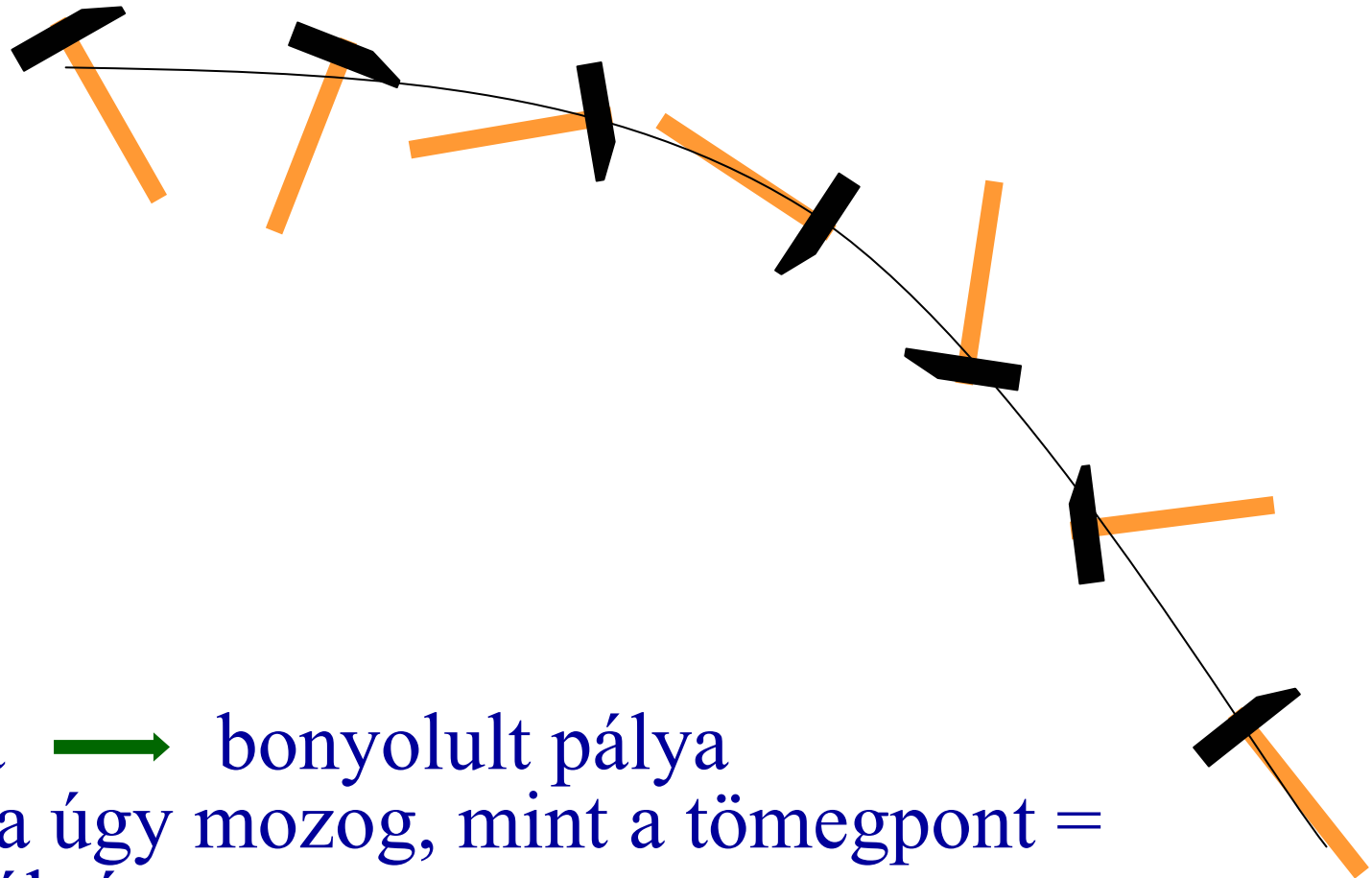
$$\frac{d\vec{p}_{teljes}}{dt} = \sum_i \vec{F}_i + 0 = \vec{F}_{eredő}$$

$$\vec{F}_{eredő} = m \cdot \vec{a}_{tkp}$$

a tömegközéppont úgy mozog, mint egyetlen tömegpont, amiben a rendszer teljes tömege van és amire az összes külső erők vektori eredője hat

merev test = speciális pontrendszer

pl. eldobott kalapács :



tetsz pt.-ja ⟶ bonyolult pálya

de a tkp.-ja úgy mozog, mint a tömegpont = parabolapályán

a tkp. úgy mozog, mint egyetlen elhajított tömegpont

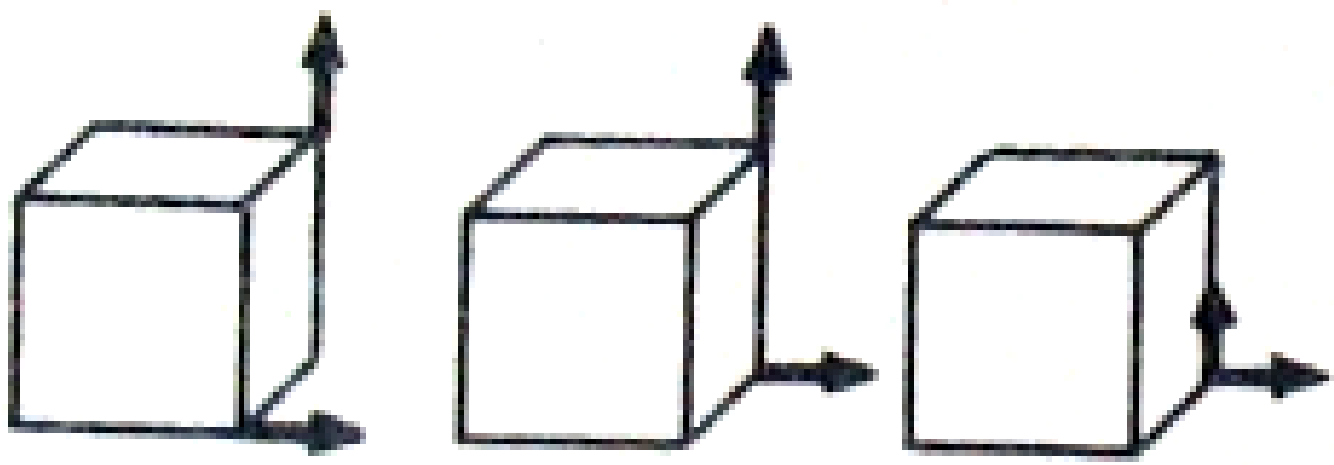
∀ test tömegpt.-nak vehető, ha haladó mozg.-t végez, vagy megelégszünk a tkp mozgásának leírásával

ekkor elég a rá ható külső erőket ismerni (még ezen erők támadáspt.-ját sem kell ismerni)

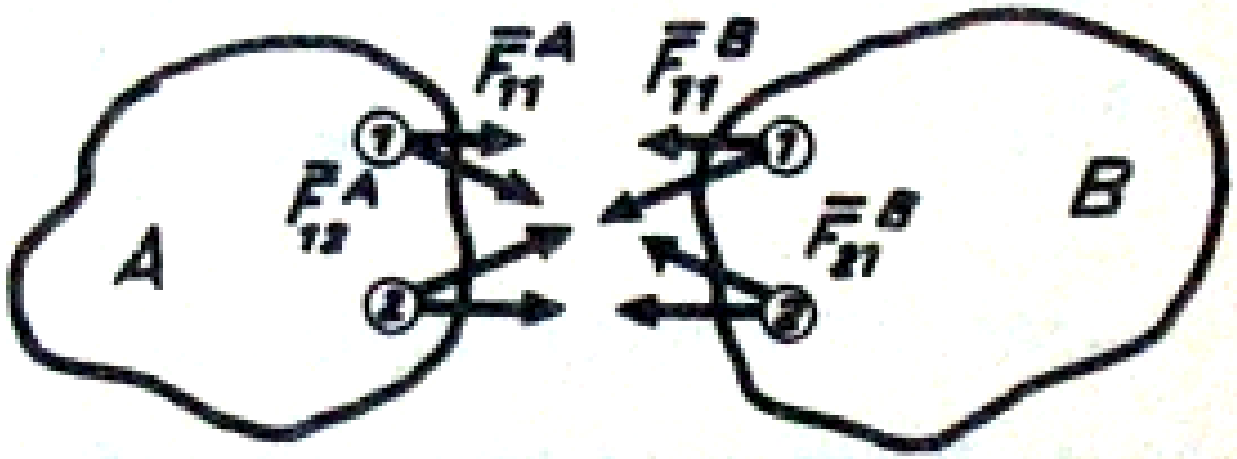
tehát :

minden test tömegpontnak tekinthető, ha haladó mozgást végez, vagy ha megelégszünk a tkp mozgásának leírásával

itt ∀3 test egyformán gyorsul, de másként forog és másként deformálódik



testrendszerek :



$\vec{F}_{ij}^{\,A} = -\vec{F}_{ij}^{\,B}$ $\forall$ tömegpontra

a 2 testre $\vec{\mathbf{F}}_{12} = -\vec{\mathbf{F}}_{21}$

vagy ezzel egyenértékű : $\vec{\mathbf{p}}_1 + \vec{\mathbf{p}}_2 = \mathbf{áll.}$

zárt testrdsz. teljes imp. = állandó
ha külső erők → impulzustétel,
egész testrdsz. tkp.-nak mozgása… (mint pontrdsz.)

TEHÁT : Newton törv.-i ezekre is érvényesek :

felületi és térfogati erők :

térf.-i erők (pl. grav. erő)

felületi erők (érintkezés)
a belső pontokra is hatnak erők, de azok már belső erők, a külső erők hatására elmozduló felületi pontok fejtik ki
(pl. súrlódás)

az erő felület menti eloszlására nincs ált. szabály

koncentrált erő (pontban hatónak képzeljük) az érintkezési felület igen kicsi → **támadáspont**
ilyenkor N.III. egyértelműen megfogalmazható

Newton törv.-i testekre :
1. tehetetlenség törv. a tkp.-ra, 2. N.II. a tkp.-ra vagy impulzustétel, 3. hatás-ellenhatás

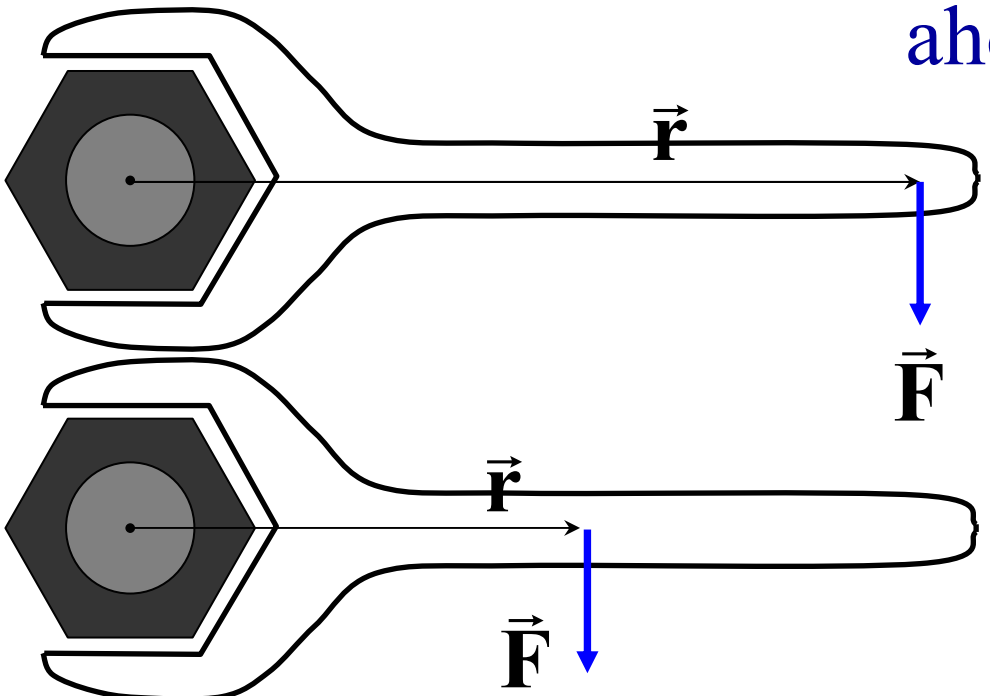
merev test egyensúlya, forgatónyomaték, impulzusmomentum (perdület) :

egyensúlyban van $\longleftrightarrow$ nyugalomban van

$\vec{v} = \text{áll.}$ $\qquad$ $\vec{v} = 0$

$\updownarrow$ $\qquad$ $\updownarrow$

$\sum_i \vec{F}_i = 0$ $\qquad$ $\sum_i \vec{M}_i = 0$



ahol M = **forgatónyomaték**

$\downarrow$

= „forgató hatás”

M = erő × erőkar = F·r

$$\left(\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \right)$$

pl. : kétkarú mérleg, lipityóka, benzinmotor, …

erőhatás → elmozdulás, ha F hatásvonala átmegy a forgástengelyen (erőkar = 0)

erőhatás → elfordulás, ha nem megy át (van erőkar)

ha több erő hat ⟶ hasonlóan az eredő erővel …

de egy „kivétel” : **erőpár** ⟶ csak forgatónyomatéka van (csak forgatni tud)

$\vec{F}$

$-\vec{F}$

$\sum \vec{F} = 0$

impulzusmomentum (perület) : $\mathbf{L = r \cdot m \cdot v}$ ($= r \cdot p$)

= „forgási impulzus”

($\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$)

erőhatás → impulzusváltozás → impulzustétel

forgató hatás → perdületváltozás → perdülettétel :

$$\left(\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}\right)$$

$$\vec{M} = \frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t} \quad \left(= \frac{d\vec{L}}{dt} \equiv \dot{\vec{L}}\right)$$

perdületmegmaradás :

ha $\vec{M} = 0$ → $\vec{L} =$ **áll.**

zárt rdsz.

körmozgásra : $L = \Theta \cdot \omega =$ áll.

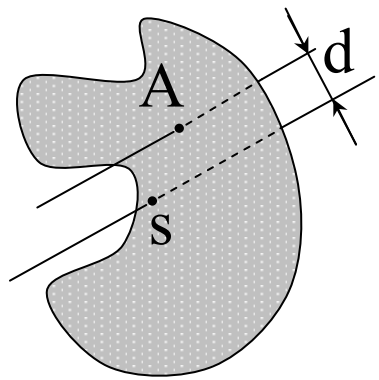
tehetetlenségi nyomaték :

$$\Theta = \sum_i \Delta m_i \cdot \ell_i^{\,2}$$

Θ = a forgató hatással szembeni „ellenállás”, tehetlenség mértéke

(mint a tömeg a mozgató hatással szembeni tehetetlenség mértéke)

Steiner-tétele : $\Theta_A = \Theta_s + m \cdot d^2$



merev test forgása rögz. tengely körül :

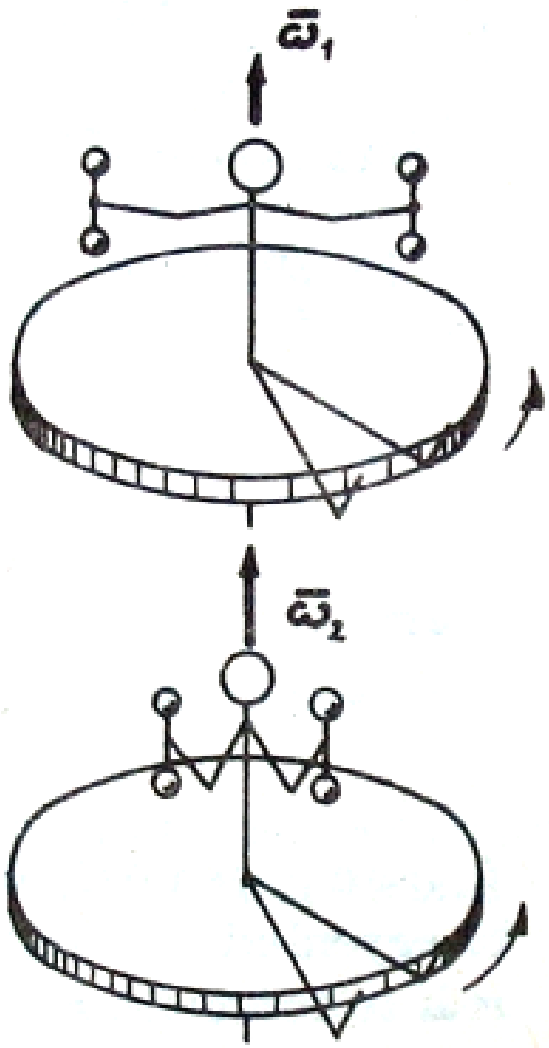
a **forgó mozgás alapegyenlete :** $M = \Theta \cdot \beta$

$\updownarrow$

haladó mozgásra $F = m \cdot a$

az impulzusmomentum megmaradása forgásnál :

kísérlet : forgózsámoly súlyzókkal ↔ piruettező korcsolyázó



$M = 0 \longrightarrow \Theta \cdot \omega = \text{áll.}$

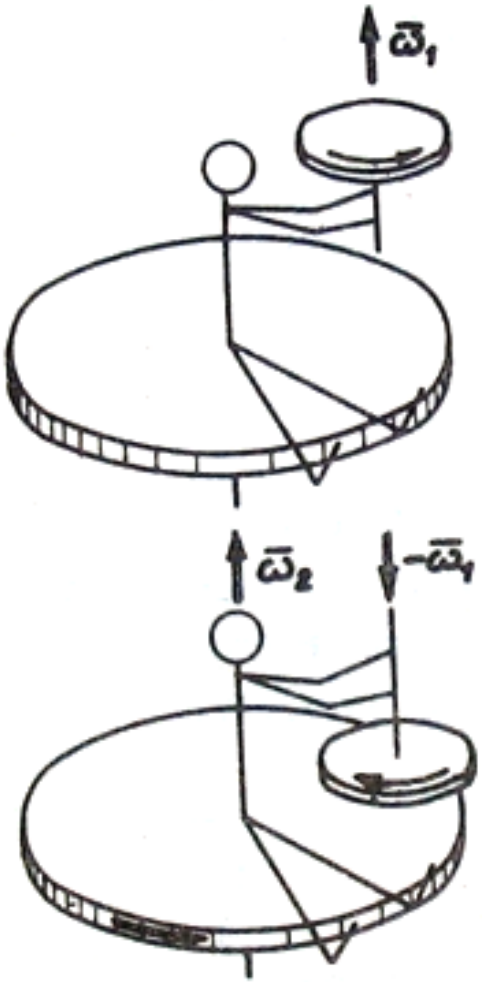
összehúzza a karjait ⟶ Θ csökken

ω növekszik !

$\omega_2 > \omega_1$

és fordítva

kísérlet : forgózsámolyon ülő ember forgó bicikli-kereket kap



kezdetben nyugvó zsámoly + a keréknek felfelé mutató perdületvektora van

⟶ továbbra is nyugalomban marad

de ha a kerék tengelyét 180°-al elfordítja, a zsámoly fogásba jön

ha visszafordítja a kereket, megint megáll

értelmezés :

perdületmegmaradás :

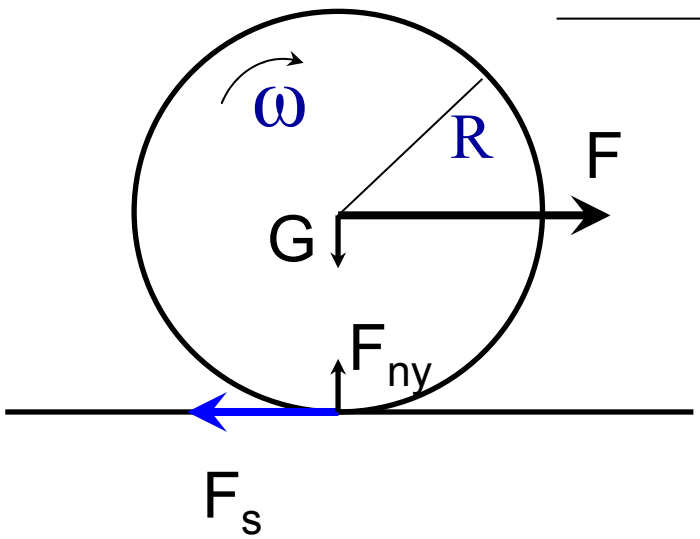
$$L_{kezd} = \Theta_1\omega_1 = L_{vég} =$$

$$= (\Theta_2+m_1s^2) \quad - \Theta_1(\quad - \quad)$$

valamint : tornász a nyújtón, földön v. forgó-zsámolyon ülő ember forgásba tudja hozni magát

fizikai inga : (korábban volt) $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\Theta}{m \cdot g \cdot s}}$

gördülés, gördülési ellenállás :



halad → N.II. :

$$F - F_s = m \cdot a$$

forog → forgó mozg. alapegy. :

$$F_s \cdot R = \Theta \cdot \beta$$

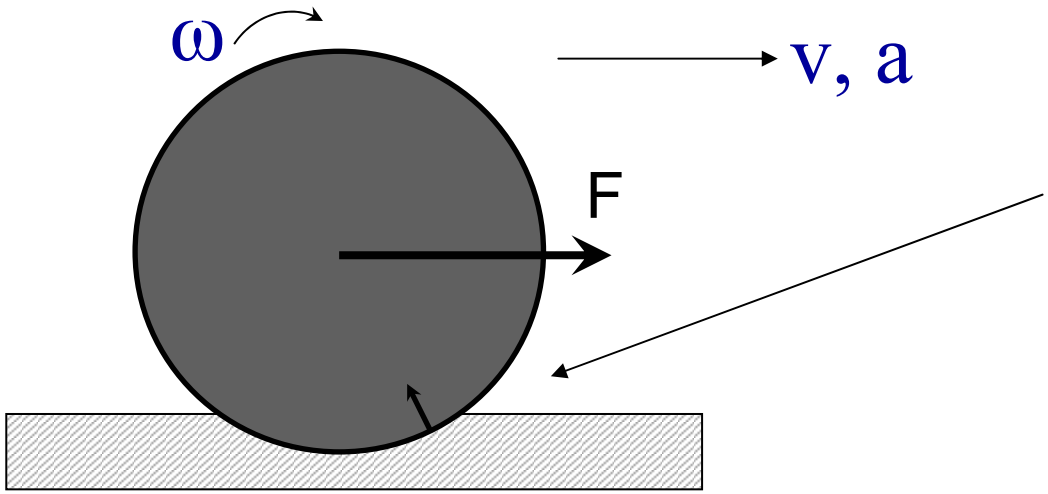
és :

$$a = R \cdot \beta$$

tapadás vagy csúszás

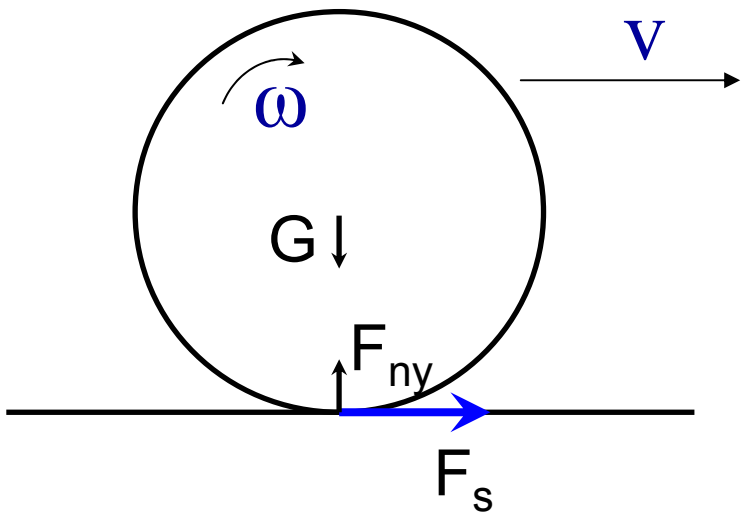
tiszta gördülés vagy csúszva gördülés

a gördülés a valóságban :



ott behorpad =
gördülési ellenállás

gépjárművek haladása :



a tapadási surlódási
erő viszi előre a kocsit !

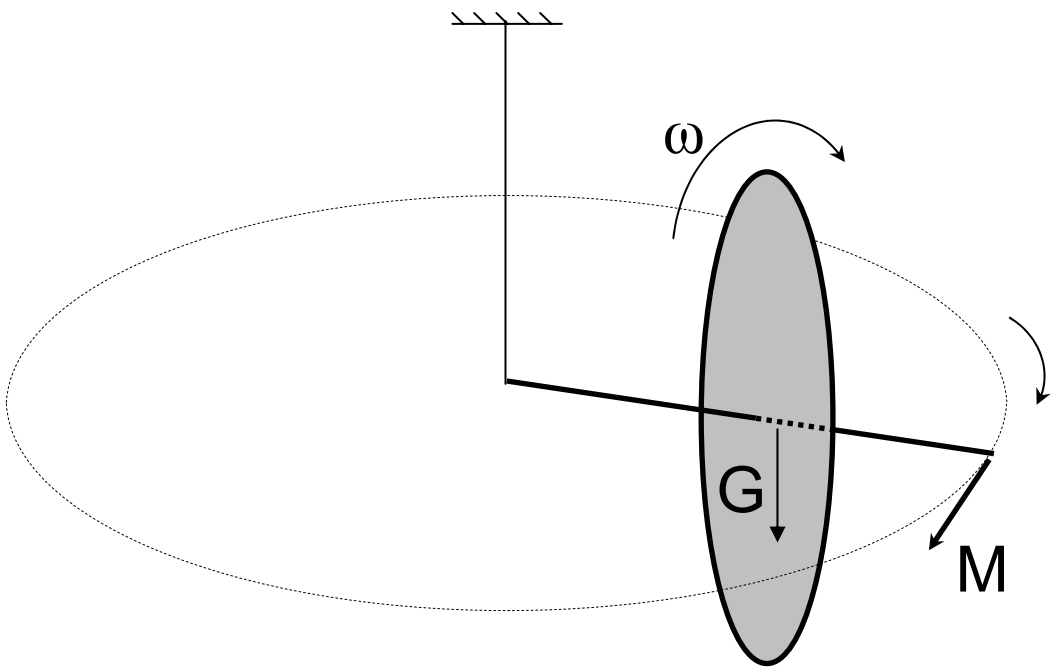
pörgettyű :

pörög a szimmetriatengelye körül (szabad tengely) és a tengely is „körbejár” → nutáció

ha a pörgettyű nem a súlypontjában van alátámasztva :

a súlyerőnek forgatónyomatéka van

kísérlet : megpörgetett biciklikerék madzagon



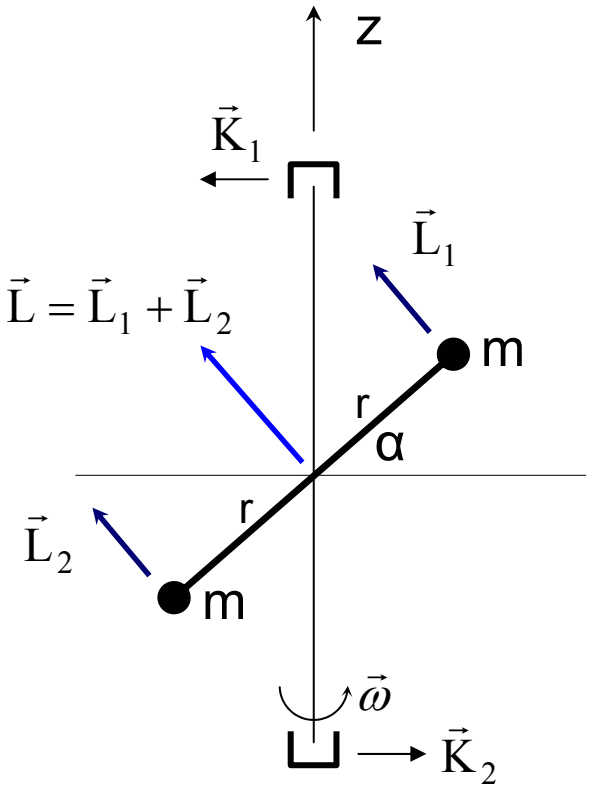
a tengely „körbejár”

a vsz. síkban

↓

precesszió

csapágy-kényszererők, szabad tengely :



forgatónyomatékot (erőpárt) a csapágyak által kifejtett kényszererők tudnak kifejteni

ha a súlyzó $\perp$ vagy $\parallel$ a teng.-el, akkor a kényszererők eltűnnek

szabad tengelyek
(átmennek a test tkp.-ján)

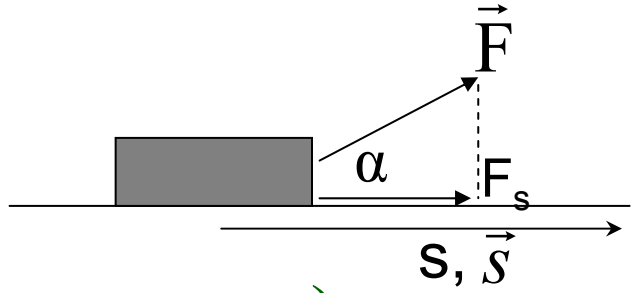
kísérlet: fonálon megpörgetett testek, lánc

forgásszimmetrikus homogén test szimm.-teng.-i egyúttal szabad tengelyek is

a szimm.teng. körül megpörgetett és eldobott test repülés közben is megőrzi a tengelyirányát

pl. : diszkosz, megpörgetett pénzdarab

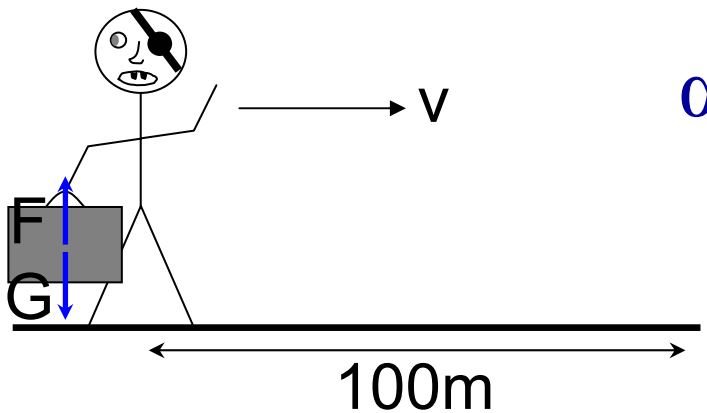
munka, energia, teljesítmény :



$$W = F \cdot s \rightarrow W = F_s \cdot s = F \cdot \cos\alpha \cdot s =$$
$$= F \cdot s \cdot \cos\alpha$$

(olyan, mint $\vec{F}$ és $\vec{s}$ skaláris szorzata)

pl. : mennyi munkát végez az ember, ha egy bőröndöt elvisz 100 m messzire ?



$\alpha = 90^o \rightarrow W = 0$ **!?**

akkor miért fárad el ?
(utánanézni !)

mozgási energia haladó mozgás esetén :

$$E_m = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

munkatétel : $\Delta E_{kin} = W$

$$\Delta E_{kin} = W$$

ha több erő hat, akkor az eredő erő munkája

forgó mozgásra : $E_{forg} = \frac{1}{2}\Theta \cdot \omega^2 \quad \longleftrightarrow \quad E_m = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

pl. : gördülés = haladás + rögz. teng. körüli forgás :

$$E_m = \frac{1}{2} m \cdot v_{tkp}^{\ 2} + \frac{1}{2}\Theta_{tkp} \cdot \omega^2$$

teljesítmény, hatásfok : $P = \frac{\Delta W}{\Delta t}$ [W] $\left(= \frac{dW}{dt} \right)$

$$\eta = \frac{W_{hasznos}}{W_{befektetett}}$$

potenciális energia : (= „munkavégző képesség”)

konzervatív erőtérben ⟶ a végzett munka nem függ az úttól

ilyen pl. a rúgóerő,
a grav. erő,

de a súrlódás NEM !

rúgó : $\mathbf{E_r = \frac{1}{2} k \cdot (\Delta \ell)^2}$

grav. a Föld felszínén : $\mathbf{E_h = m \cdot g \cdot h}$

grav. a Földtől messze : $\mathbf{E_{grav} = \gamma m M \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right)}$

összes energia = **mechanikai energia** = $\mathbf{E_{mozg} + E_{pot}}$

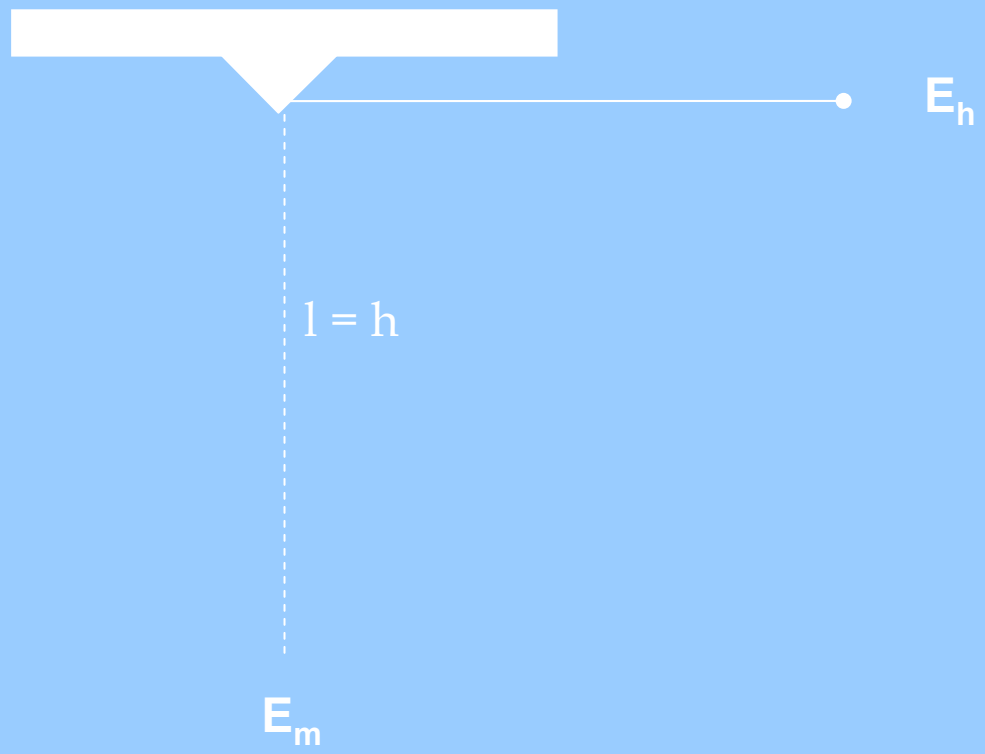
energiamegmaradás törv. : csak zárt rendszerekben !

$$\underbrace{E_{mozg} + E_{pot}}_{\text{kezdeti}} = \underbrace{E_{mozg} + E_{pot}}_{\text{végső}}$$

időben állandó

pl. : adott magasságból elejtett test mekkora sebességgel csapódik a földbe ?

pl. : fonálinga :



pl. : mennyi lesz a h magasságú lejtőről súrlódásmentesen lecsúszó test végsebessége, ha a kezdőseb.-e 0 volt?

pl. : a Föld felszínéről egy testet nagy v_0 kezdőseb.-el függ.-en fellövünk. Milyen magasra jut ?

$$U = -\gamma\frac{mM}{r} \quad \text{és } r = R \rightarrow -\gamma\frac{mM}{R} + \frac{1}{2}mv_0^2 = -\gamma\frac{mM}{R+h}$$

$$\downarrow$$

$$h = \ldots$$

pl. : mekkora kezdőseb.-el kell fellőni, hogy ne essen vissza ?

ha az össz E a kilövés pillanatában < 0, akkor lesz o. táv., ahol a test seb.-e 0 lesz → hogy ne forduljon vissza :

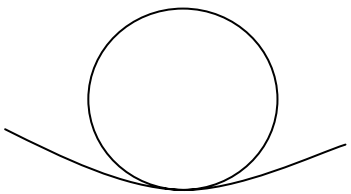
$$v_0 \geq \sqrt{\frac{2\gamma M}{R}} = \sqrt{2gR} \approx 11\frac{km}{s} \leftarrow -\gamma\frac{mM}{R} + \frac{1}{2}mv_0^2 \geq 0$$

második kozmikus sebesség

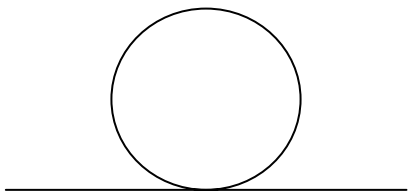
kísérlet : üres és tömör karika lejtőn legurul

→ tömör hamarabb leér → miért ???

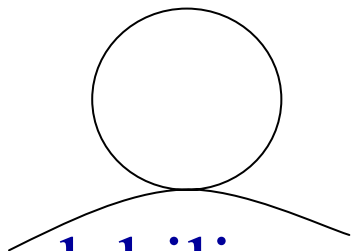
egyensúlyi helyzetek :



stabil



indifferens



labilis

metastabil

hogy lehet eldönteni, h. milyen egyensúlyi helyzet ? :
igen kicsit kimozdítjuk, és megnézzük, h. visszatér-e

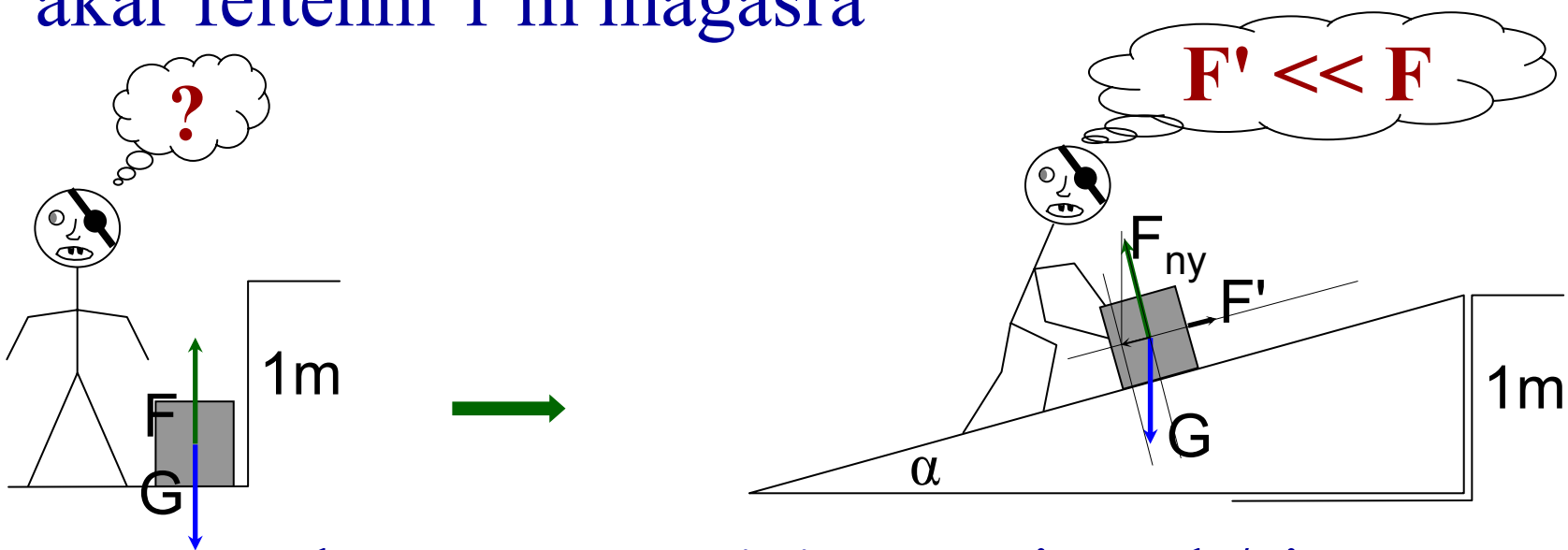
egyszerű gépek : ≈ erőátviteli eszközök

kisebb erővel (erőlködéssel) tudjuk ugyanazt a munkát elvégezni

pl. : lejtő, emelő, ék, hengerkerék, csigák, stb …

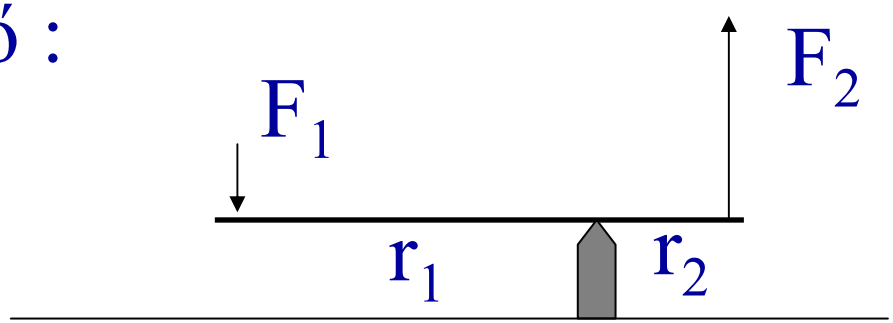
állócsiga, mozgócsiga, csigasor

pl. : egy 100 kg tömegű nagy ládát 1 ember egyedül akar feltenni 1 m magasra



$W = F \cdot s = mgh$ $W = F' \cdot s' = mg\sin\alpha \cdot h/\sin\alpha = mgh$

emelő :

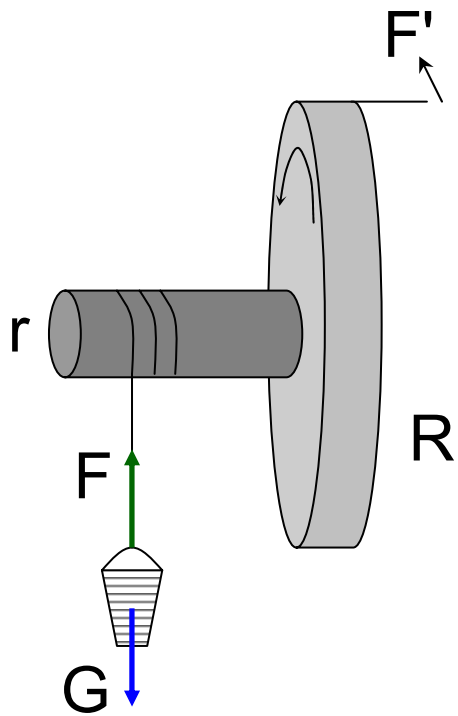


$$M_1 = M_2$$

$$F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$$

$$\rightarrow \mathbf{F_1 << F_2}$$

hengerkerék : (pl. kerekeskút)



ék : pl. : balta :

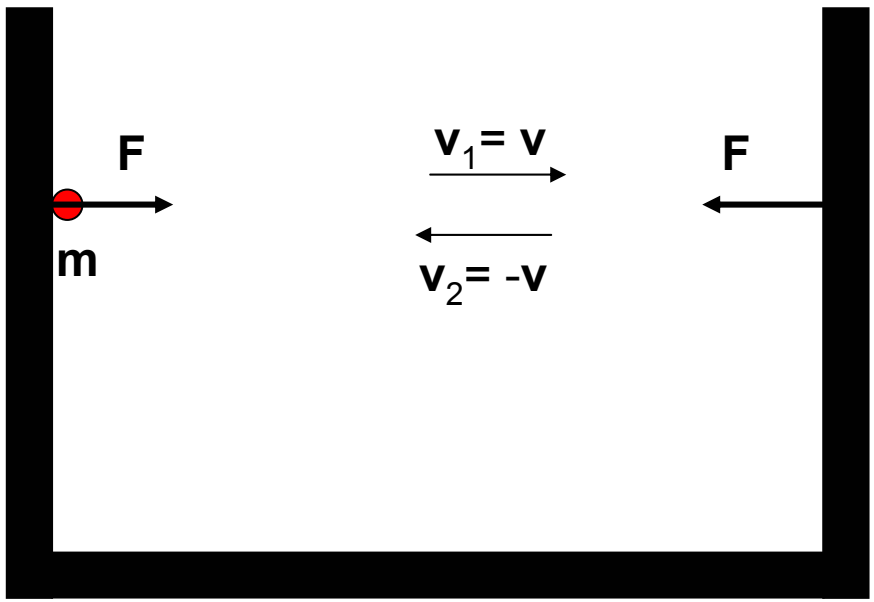
miért könnyebb nagy fatuskót „fejjel lefele” széthasítani ?

csavar :

= speciális lejtő

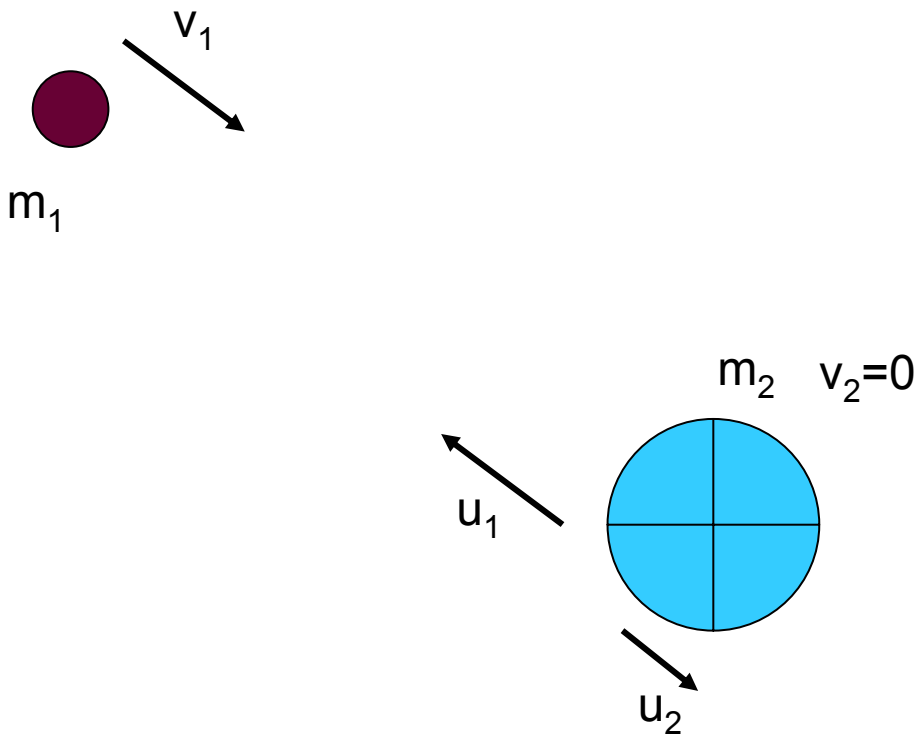
$$F \cdot r = F' \cdot R \longrightarrow \mathbf{F' << F}$$

Golyó dobozban

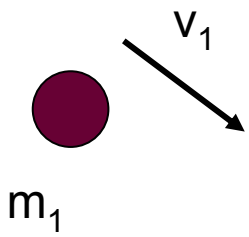


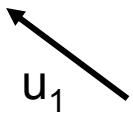
Visszalépés: ← Kilépés: Esc.

Rugalmas egyenes ütközés 1.

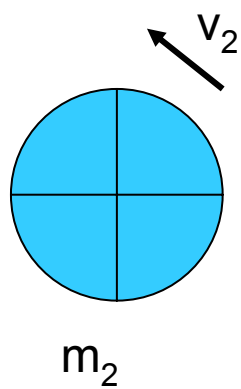


Rugalmas egyenes ütközés 2.



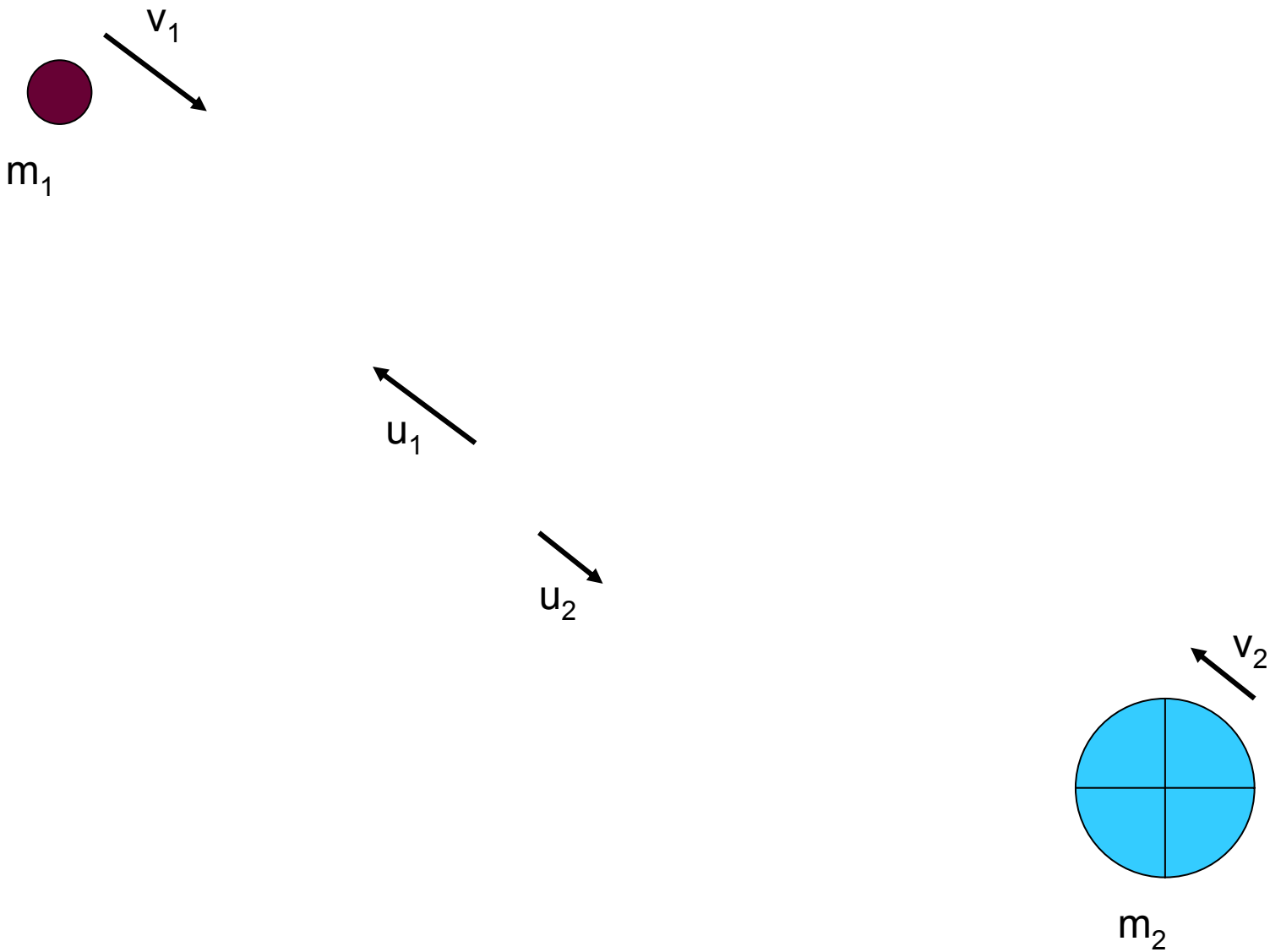


$u_2=0$



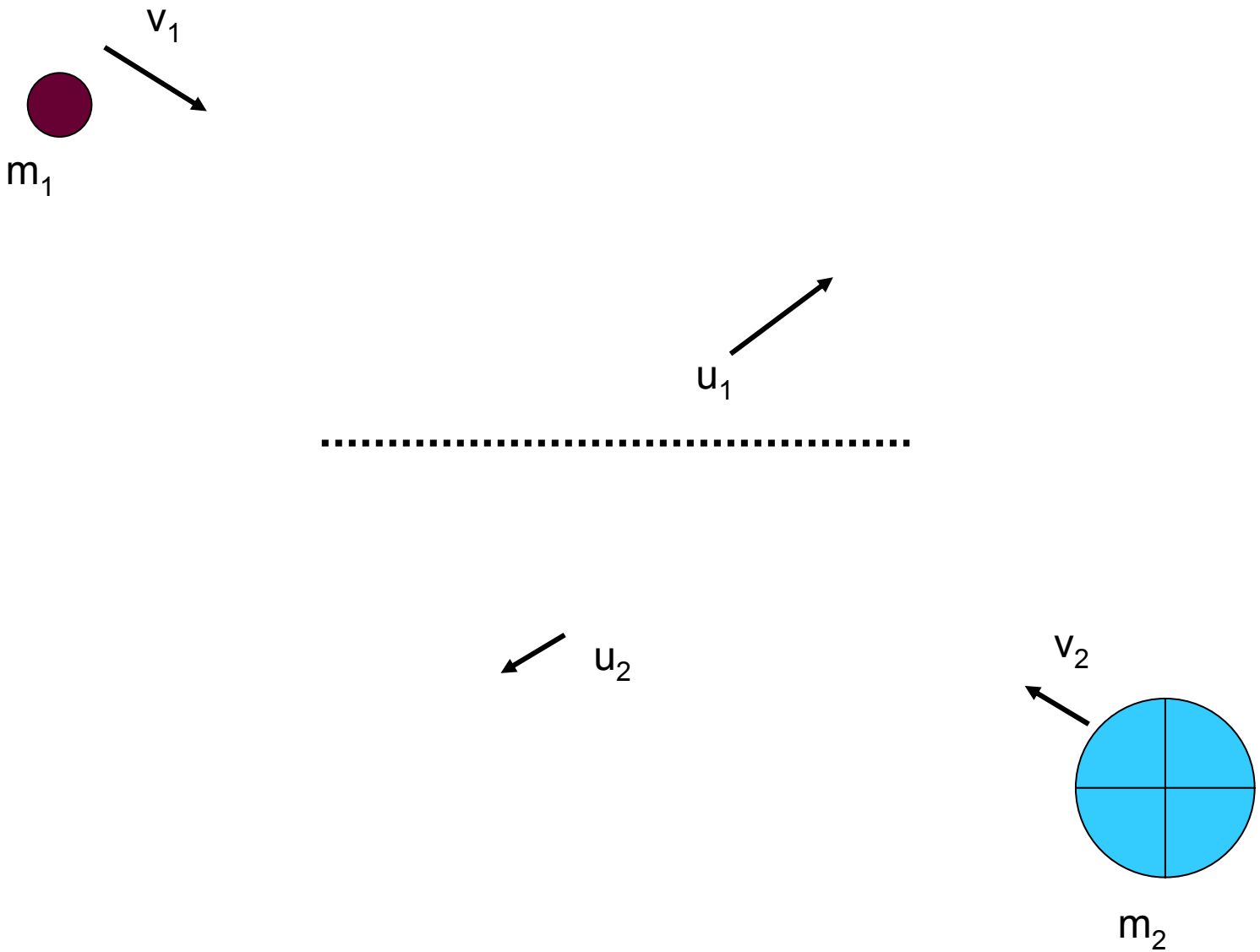
Visszalépés: ← **Kilépés: Esc.**

Rugalmas egyenes ütközés 3.



Visszalépés: ← **Kilépés: Esc.**

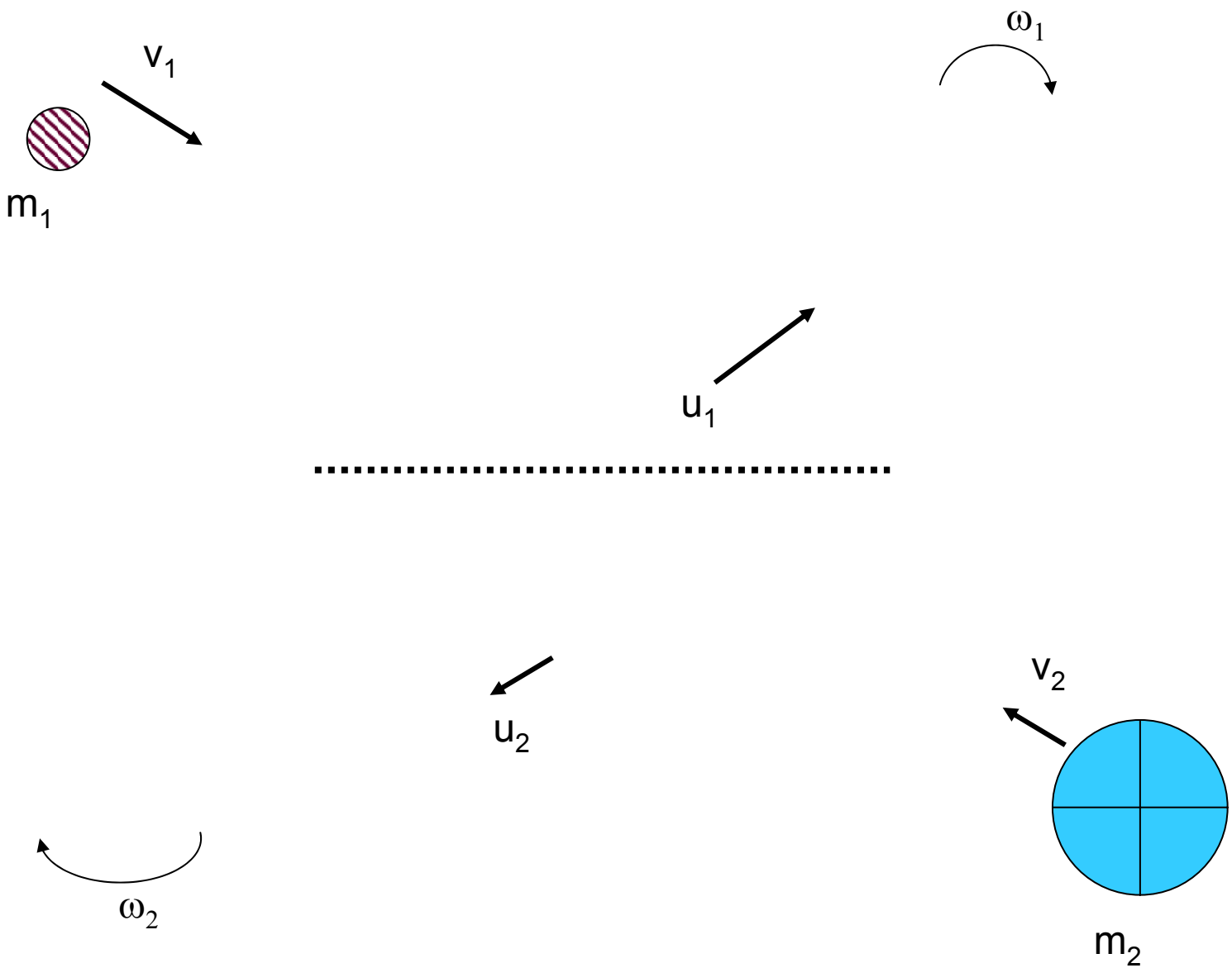
Rugalmas ferde ütközés 1.



Visszalépés: ←

Kilépés: Esc.

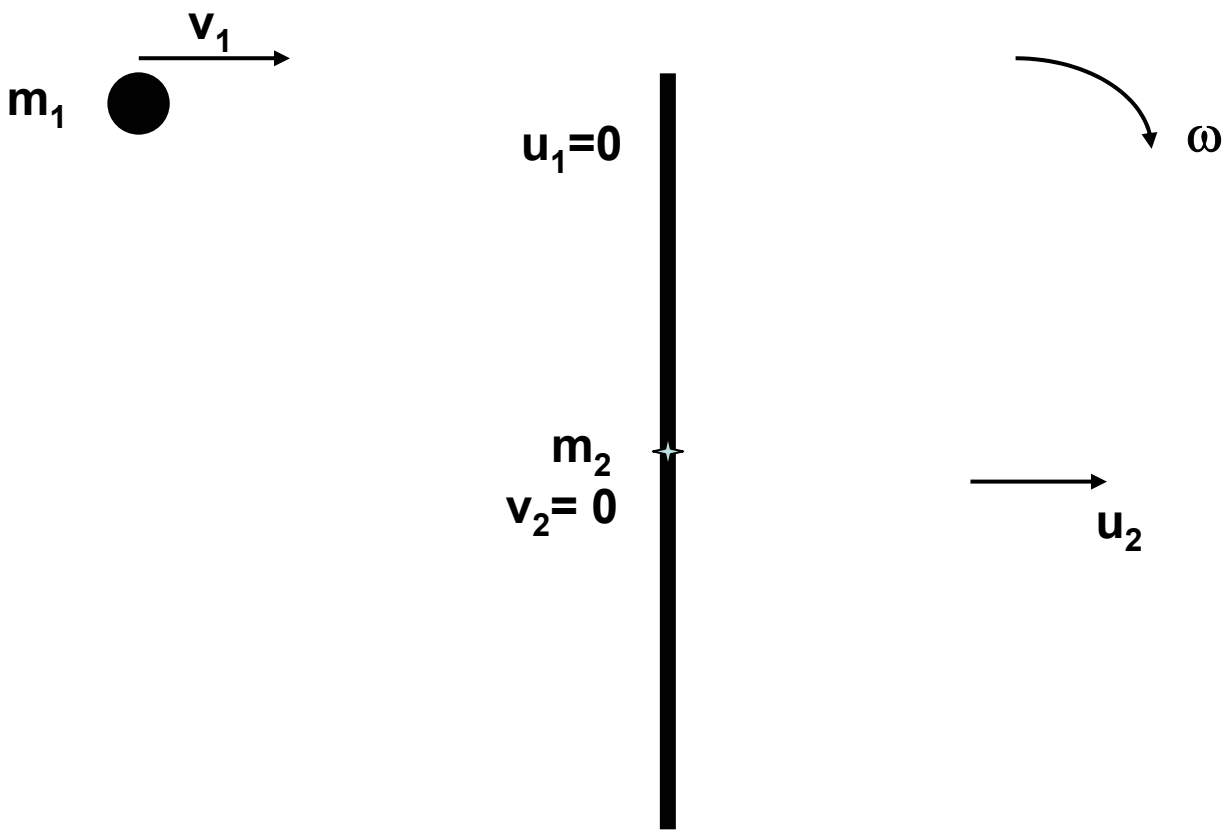
Rugalmas ferde ütközés 2.



Visszalépés: ←

Kilépés: Esc.

Golyó rugalmas ütközése rúddal



Visszalépés: ← Kilépés: Esc.

deformálható testek :

szilárd testek rugalmas alakváltozásai
folyadékok és gázok sztatikája
áramlás (folyadékok, gázok)

csillapodó rezgés, kényszerrezgés, rezonancia
hullámmozgás
akusztikus hangszerek

merev test = ideális eset ≈ szilárd testek (kristályos /egykrist. v. polikrist., amorf)
folyadék: nincs határozott alakja, de V = áll. (amorf szerk. hasonló a foly.-hoz)
gáz: sem alak, sem V ≠ áll.

szilárd testek rugalmas alakváltozásai

rugalmas: erőhatás → alakváltozás; erőhatás megszűnik → alakvált. megszűnik

pl.: rúgó, csavarrúgó, drót megnyújtása, rúd le/behajlása, gumilabda összenyomása, ….

ideális rugalmasságot közelítik a szilárd testek kis alakvált. esetén (rugalmasság határa alatt)

1676: HOOKE – törvény :

nyúlásra és összenyomásra : $\frac{\Delta \ell}{\ell} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{A}$

$$\frac{\Delta\ell}{\ell} = \frac{1}{E}\cdot\frac{F}{A}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell} \qquad \sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = E\cdot\varepsilon$$

Young-modulus; fémekre : E ≈ 10^5 N/mm^2
10^{11} N/m^2

rel. megnyúlás, feszültség

harántösszehúzódás is van: $\frac{\Delta d}{d} = -\mu\frac{\Delta\ell}{\ell}$

Poisson-szám, fémekre ≈ 0.2-0.3

$$\frac{\Delta V}{V} \approx \frac{\Delta\ell}{\ell}$$

összenyomásnál σ < 0 → **σ = -p**

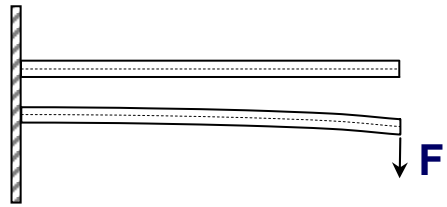
nyomás: $p = \frac{F}{A}$ **[σ] = [p] = Pa =** $\frac{N}{m^2}$

$$\frac{\Delta V}{V} = -\kappa p$$

kompresszibilitás = összenyomhatóság

hajlítás, nyírás, csavarás:

- egyik végén befogottt rúd lehajlása → $s = \frac{4}{E}\frac{\ell^3}{ab^3}F$
- két végén alátámasztott rúd behaljása → $s = \frac{1}{48E}\frac{\ell^3}{\frac{ab^3}{12}}F$



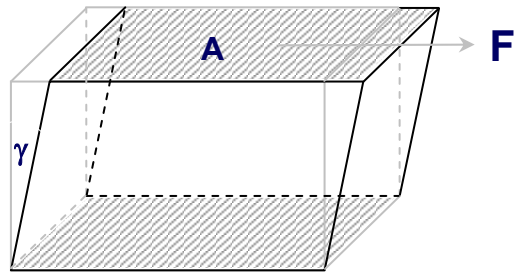
neutrális szál !!!

- nyírás

olló

$$\gamma = \frac{1}{G}\cdot\frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

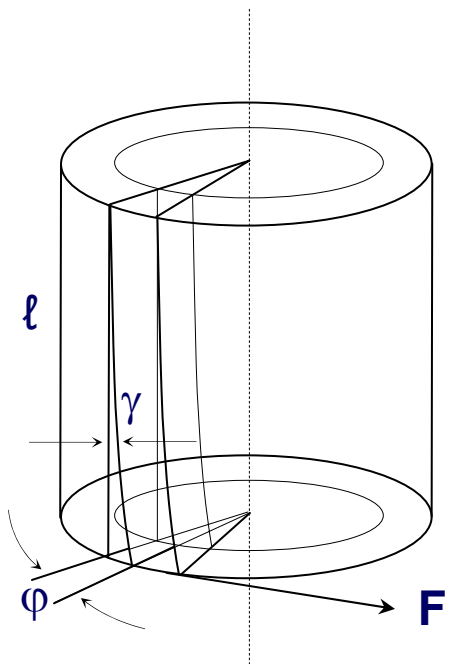


nyírási (csúsztatási; torzió) modulusz

kísérlet : csavarás

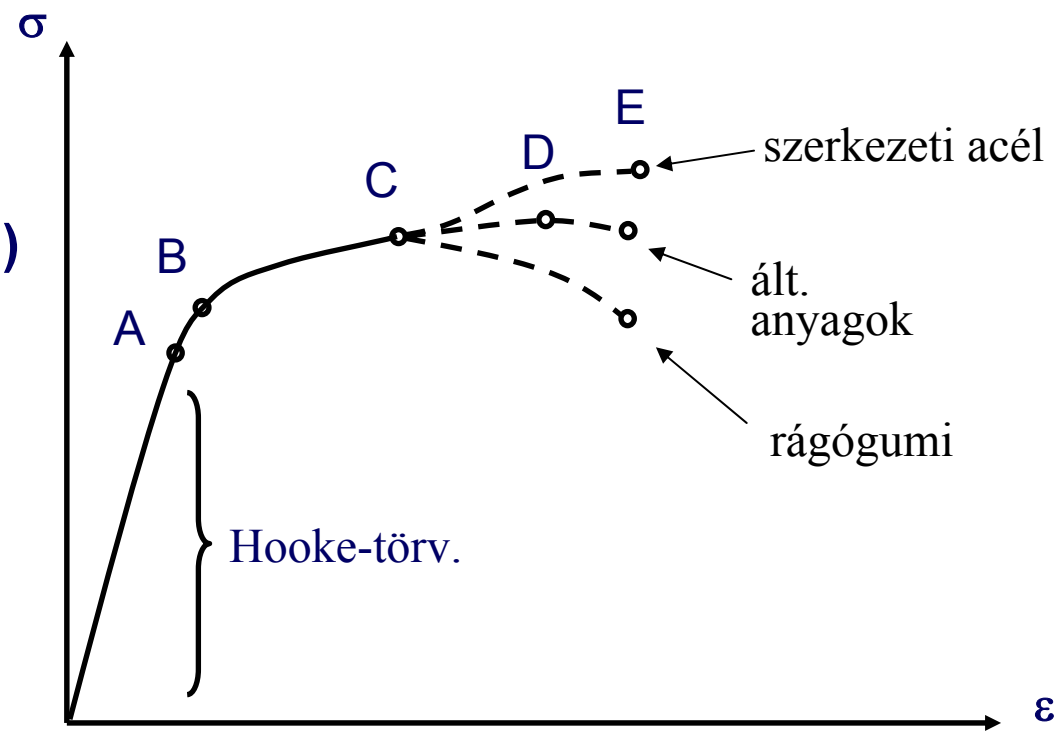
- csavarás

$$\varphi = \frac{2}{\pi}\cdot\frac{1}{G}\cdot\frac{1}{R^4}\cdot M$$

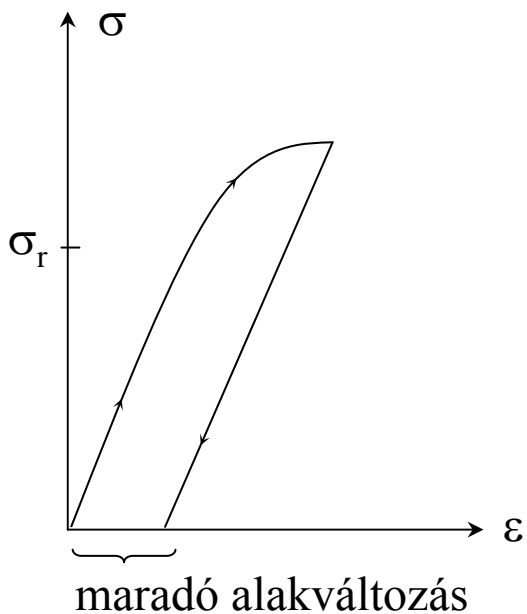


viselkedés a rugalmassági határon túl :

O-A szakasz : Hooke-törv.
B : rugalmasság határa
C : képlékenység
D : maximum
E : szakadás (szakítószilárdság)



képlékeny anyagok
rideg anyagok



FOLYADÉKOK ÉS GÁZOK STATIKÁJA ÉS ÁRAMLÁSA :

folyadékok :

állandó térf., nem állandó alak, a részecskék „gördülhetnek” egymáson ➔ folyik

pl.: csapágygolyók egy edényben; homok, liszt, cement, … is folyik

↓

nyugvó folyadékban nincsenek érintőleges (nyíró) feszültségek !

de pl. méz, olaj, szurok,… - ban észlelhető, **ha folyik**

↓

belső surlódás : az egymáson elmozduló rétegek közötti surlódás

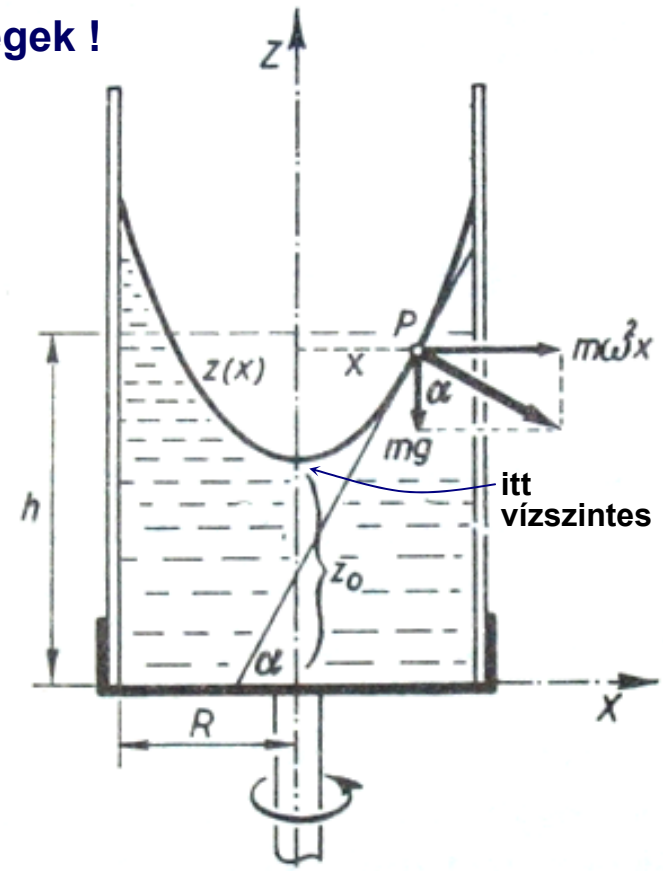
ideális folyadék : nincs belső surlódás

inkompresszibilis = összenyomhatatlan

nyugvó foly. szabad felszíne mindenütt merőleges a külső erők eredőjére

vagy pl. a Földet borító vizek felülete is gömb alakú

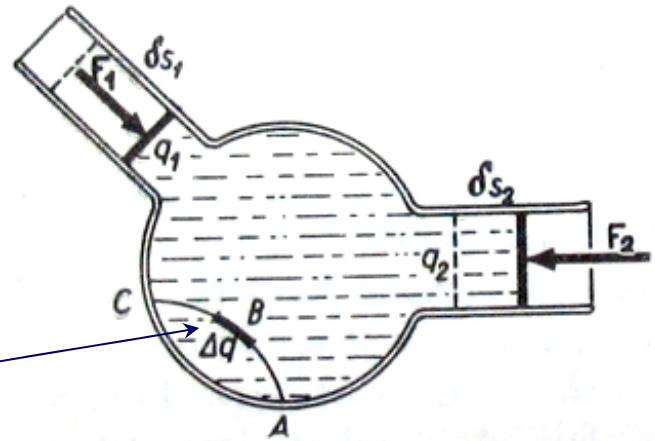
ha az eredő (F) nem lenne ⊥ a felszínre → F-nek lenne a felszínnel ∥ komponense is → a felületen levő folyadék-részecskék az F irányában elmozdulnának = nem lenne nyugalomban



forgási paraboloid lesz a felület

nyomás nyugvó folyadékban, hidrosztatikai nyomás :

Kísérlet :



összenyomhatatlan → $\delta s_1 \cdot q_1 = \delta s_2 \cdot q_2$

és : $F_1 \cdot \delta s_1 = F_2 \cdot \delta s_2$

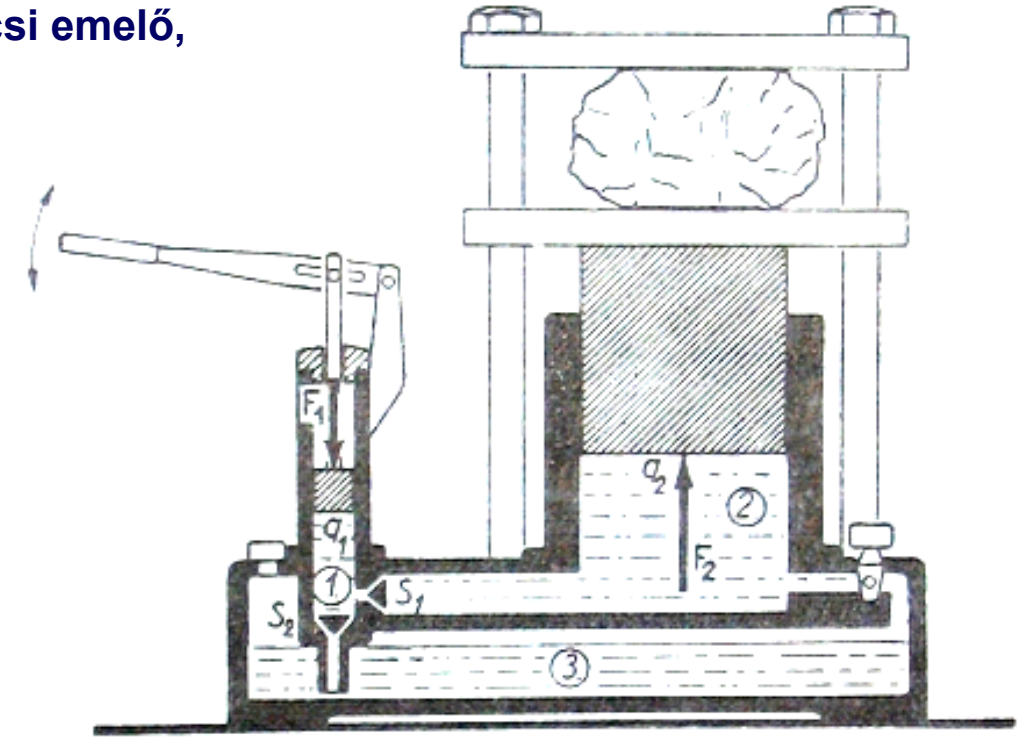
$$\frac{F_1}{q_1} = \frac{F_2}{q_2} \leftrightarrow p_1 = p_2 \qquad \left(p = \frac{F}{A}\right)$$

a Δq felület-darabka (bárhol is vesszük fel a foly. belsejében és ∀ irányítással) egyensúlyban van

a nyomás egyenletesen terjed és izotróp, vagyis

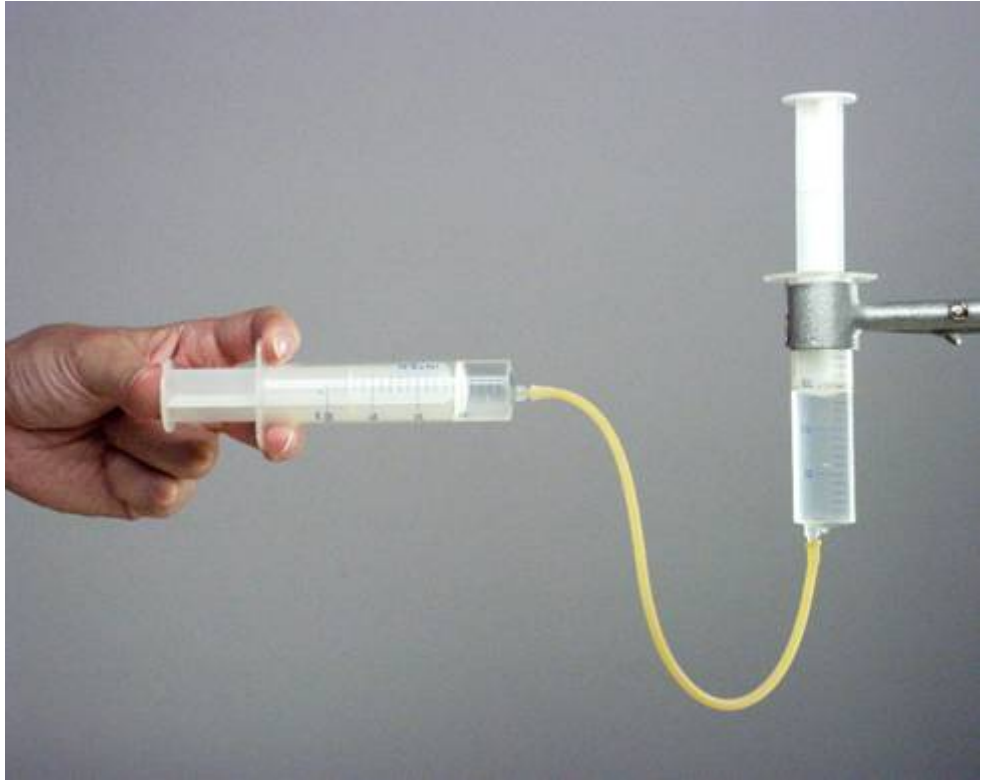
<u>Pascal törvénye</u> : a súlytalannak képzelt nyugvó folyadék belsejében és határfelületén a nyomás mindenhol ugyanakkora, és független a tekintetbe vett felületelem irányításától (1659)

pl. : hidraulikus sajtó/sajtoló/prés; gépkocsi emelő, hidraulikus fék, stb…



Kísérlet :

hidraulika modellezése



ha a folyadék súlyát is figyelembe vesszük: **hidrosztatikai nyomás:**

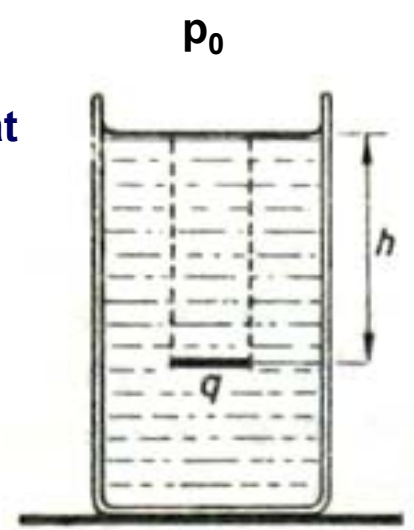
a *h* magasságú foly.-oszlop a *q* felületen $F = mg = \rho Vg = \rho gh \cdot q$ erővel hat

$$p = \frac{F}{q} = \rho gh$$

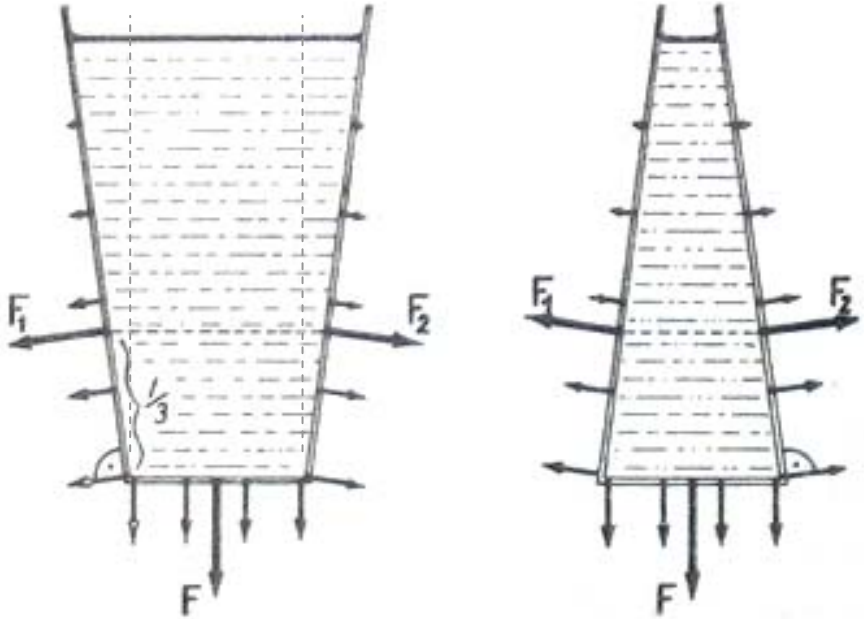
pl. : víz : 10 m mélyen 1 bar nyomás

ha p_0 külső nyomás (pl. légnyomás) is van → $\mathbf{p = p_0 + \rho gh}$

gázban is !!!



kísérlet : **hidrosztatikai paradoxon** : a fenéknyomás fgtl. az edény alakjától !!!



oldalnyomás lefelé lin. nő

↓

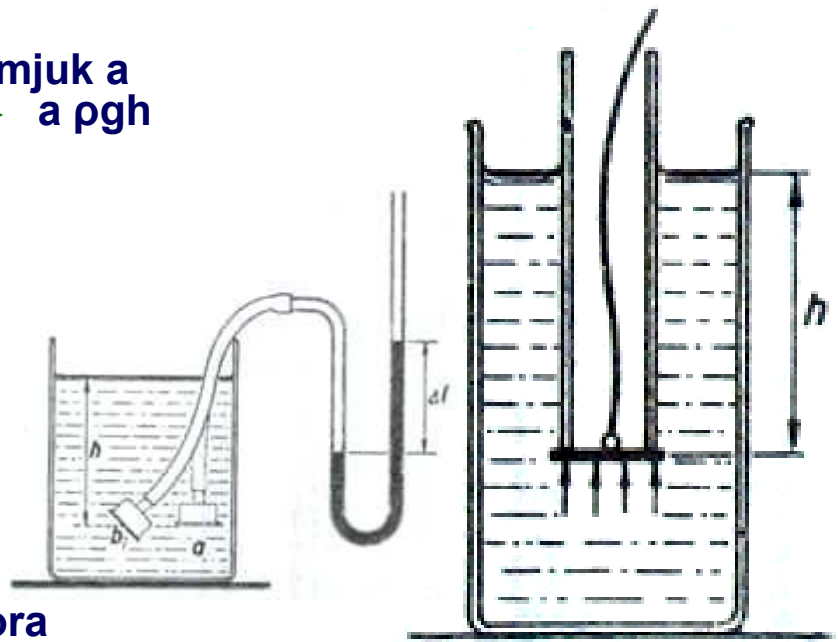
nyomásközéppont a magasság harmadánál van

kísérlet :

pl. : üvegcsövet lezárunk egy üveglappal és benyomjuk a víz alá → az üveglap nem fog leesni → a ρgh nyomás felfelé is hat !!!
(de ha a csőbe is töltünk vizet → leesik)

kísérlet :

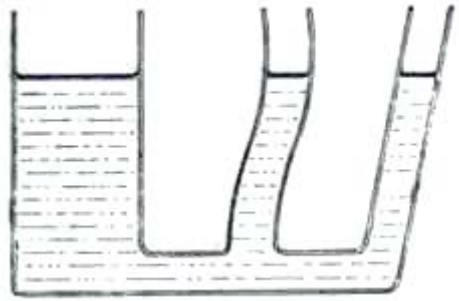
kis keresztmetszetű csövet (üvegpalackot, poharat) megtöltünk vízzel és papírlappal lefedve szájával lefele fordítjuk → papír a helyén marad + víz nem folyik ki

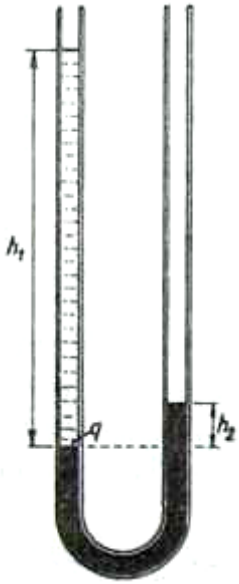


adott mélységben a nyomás ∀ irányban ugyanakkora

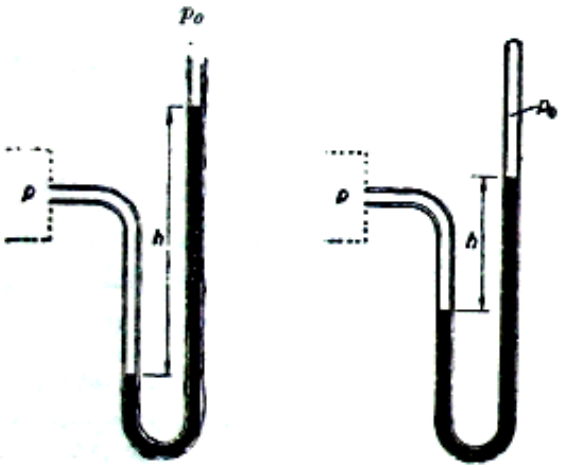
közlekedőedény : egyensúlyban minden ágban egyenlő szinten van a folyadék

kísérlet :



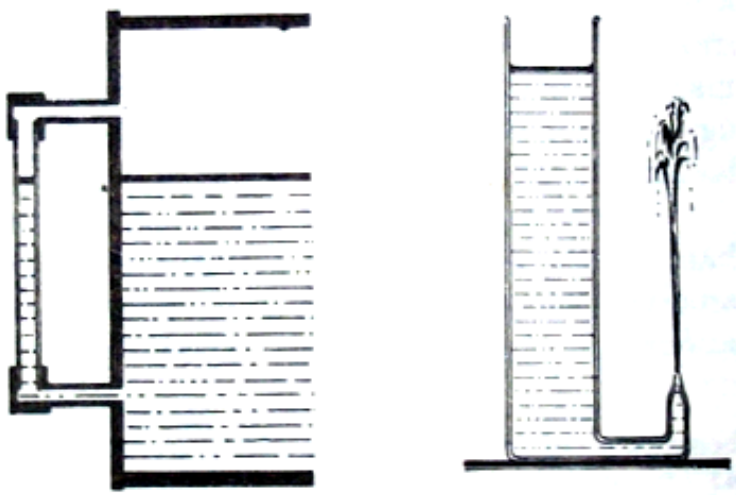


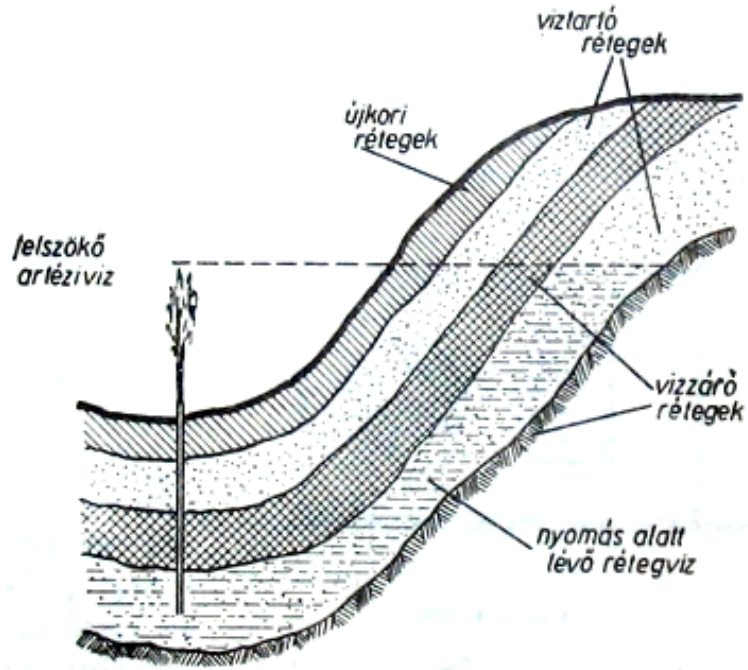
pl. : ezen alapszik az U-csöves folyadékmanométer
(főleg gázok nyomásának mérésére)
vízvezetékek, fűtésrendszerek, szökőkutak,
artézi kutak, víztorony



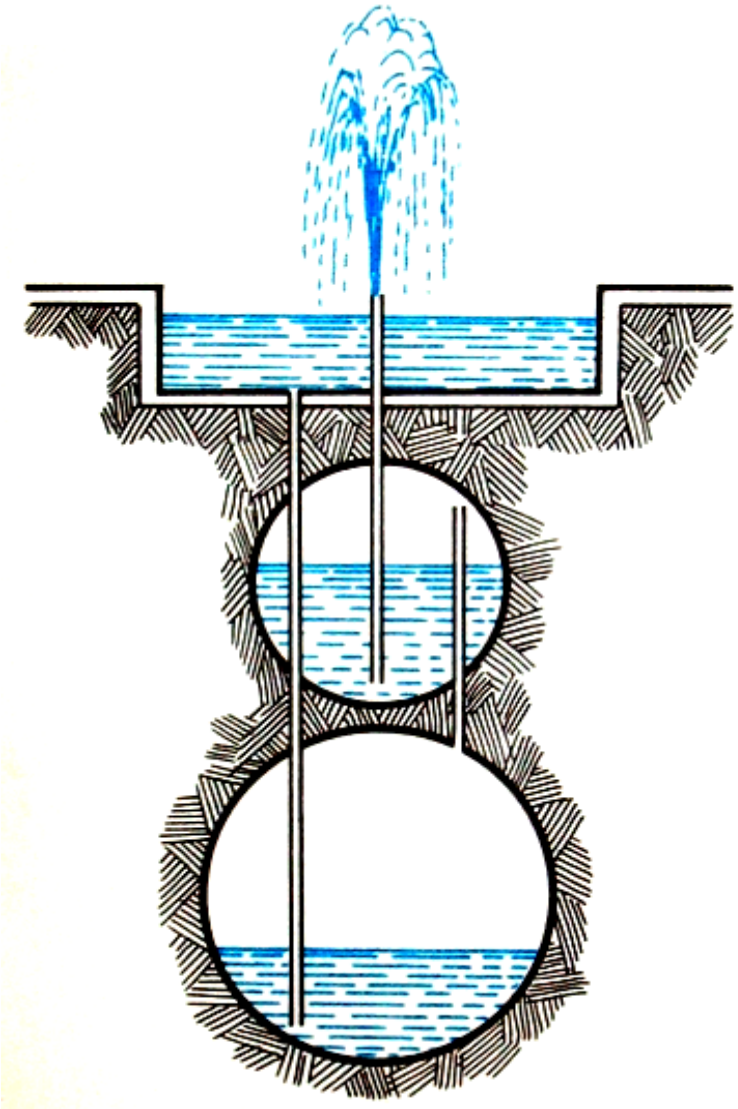
kül. sűrűségű folyadékokkal →

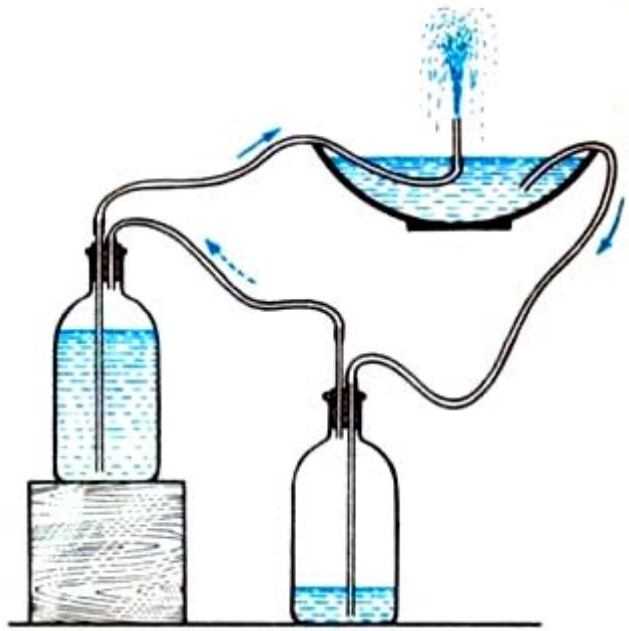
$$p_1 = \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 = p_2$$





pl. : szökőkút :





Héron kútja

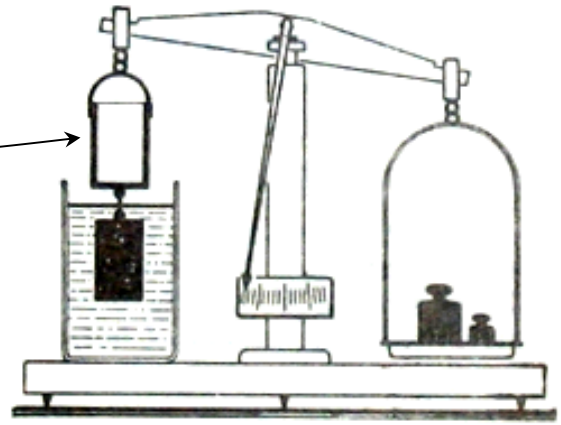
a hidrosztatikai felhajtóerő :

Arkhimédesz törv.: minden folyadékba (gázba) merülő testre felhajtóerő hat – a test látszólag súlyveszteséget szenved – melynek nagysága egyenlő a test által kiszorított folyadék (gáz) súlyával (i.e. ≈250):

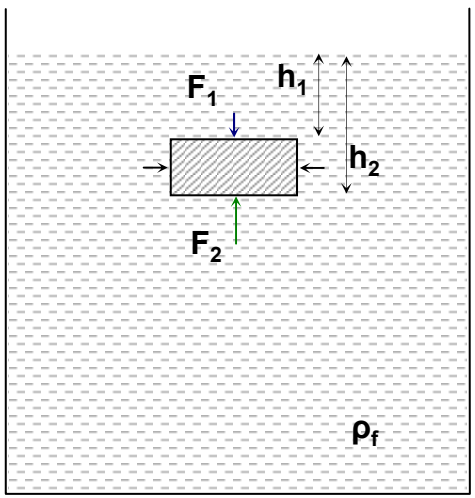
$$F_f = \rho_f \cdot V \cdot g$$

versben v. dalban :
„minden vízbe mártott test
a súlyából annyit veszt,
amennyi az általa
kiszorított víz súlya”

ha ezt megtöltjük vízzel
→ újra egyensúly lesz



(laborban Mohr-Westphal mérleg „hasonló”)



a bemerülő test egyensúlyban van:

$$F_{eredő} = F_2 - F_1 = \rho_f g h_2 A - \rho_f g h_1 A = \rho_f g A (h_2 - h_1) = \rho_f g h A = \rho_f V_{test} g$$

a kiszorított foly. tf.-a

a kiszorított foly. súlya

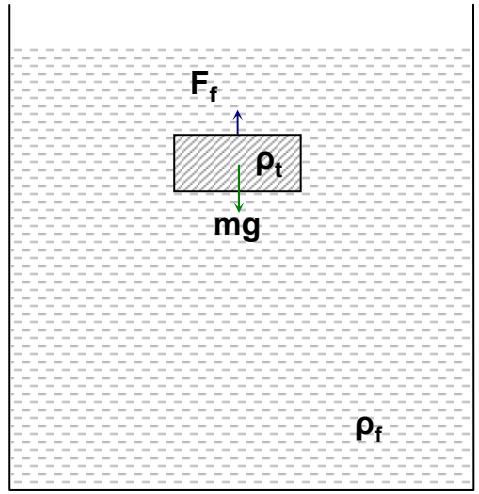
$$F_f = \rho_f \cdot V_{test} \cdot g$$

∀ foly.-ba v. gázba merülő testre !

∀ alakú testre is érv. !!!

úszás
lebegés
lesüllyedés

a folyadék és a bemerülő test sűrűségeinek viszonyától függ :



hajó, jégtábla, tutaj, stb…
a hal pl. nem úszik, hanem lebeg !

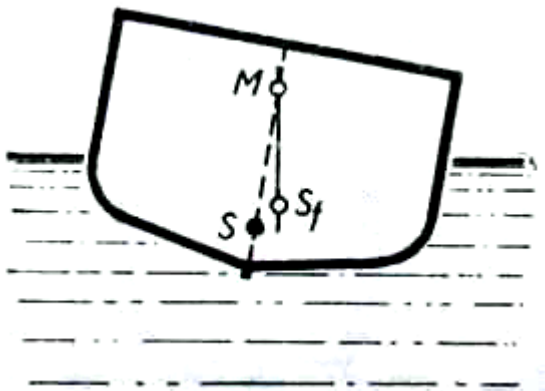
$$F_{eredő} = F_f - mg = \rho_f Vg - \rho_t Vg = (\rho_f - \rho_t)Vg \quad <=> 0$$

úszás	$\rho_f > \rho_t$, de ekkor a bemerülő tf. < V !
lebegés	$\rho_f = \rho_t$
lesüllyedés	$\rho_f < \rho_t$

az úszó test **átlagsűrűség**e kell !!! → vas hajó is fennmarad a vízen

pl. : $\rho_{jég} \approx 0{,}9\rho_{víz}$ → a jéghegynek csak kb. 10%-a látszik ki

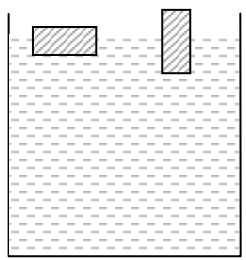
az úszás stabilitása :



***F_f = mg*; és *F_f* és *mg* ne fejtsen ki forgatónyomatékot az úszó testre**

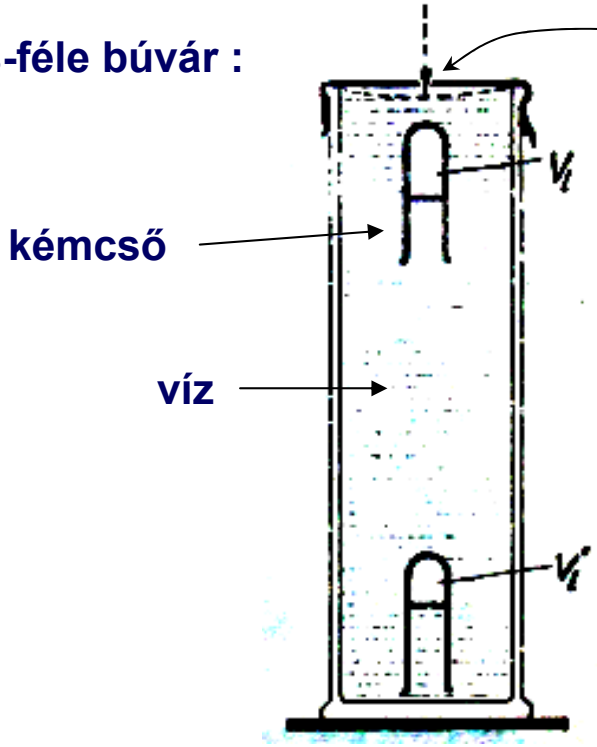
az *mg* támadáspt.-ja a súlypt. (S), az *F_f* támadáspt.-ja pedig a kiszorított foly. súlypt.-ja (S_f)

stabil, instabil, metastabil helyzetek :



kísérlet :

Cartesius-féle búvár :



benyomjuk/össze-nyomjuk

↓

a víz benyomódik a kémcsőbe

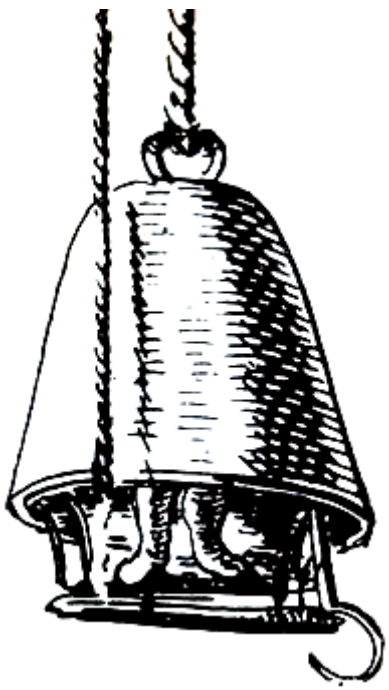
↓

benne kisebb tf.-ú levegő ➔ átlag-sűrűség csökken

↓

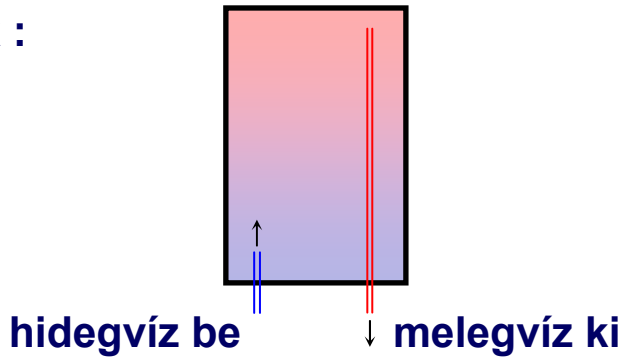
lesüllyed

pl. : búvárharang :

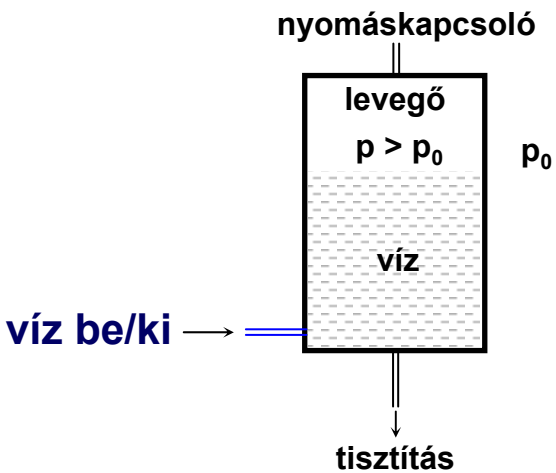


tehát : a kisebb sűrűségű test (anyag) felfelé emelkedik a folyadékban

pl. : bojler tartályban a melegvíz felülre emelkedik :



pl. : hidrofor (házi vízmű)



térfogatmeghatározás, sűrűségmérés :

homogén anyag $\rho = \frac{m}{V}$

inhomogén anyag $\rho = \frac{dm}{dV} \approx \frac{\Delta m}{\Delta V}$

ρ meghat.-hoz tömeg- és térf.-meghatározás kell

↓ mérleg ↓ mérés vagy számolás

térfogatmérés :

piknométer :

ismert sűrűségű folyadék a víz :

$\rho_{víz}(4^oC) = 0{,}999\ 972\ g/cm^3 \approx 1\ g/cm^3$

$\rho_{víz}(20^oC) = 0{,}998\ 204\ g/cm^3$

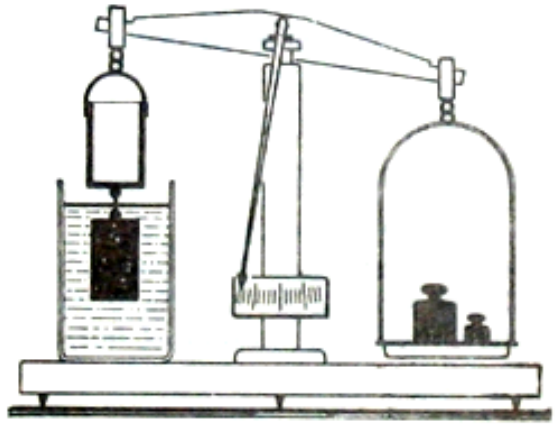
ezzel töltve az edényt + tömegmérés

↓

ismeretlen V meghatározható

a térf. ismert

szilárd testek sűrűségének mérése:

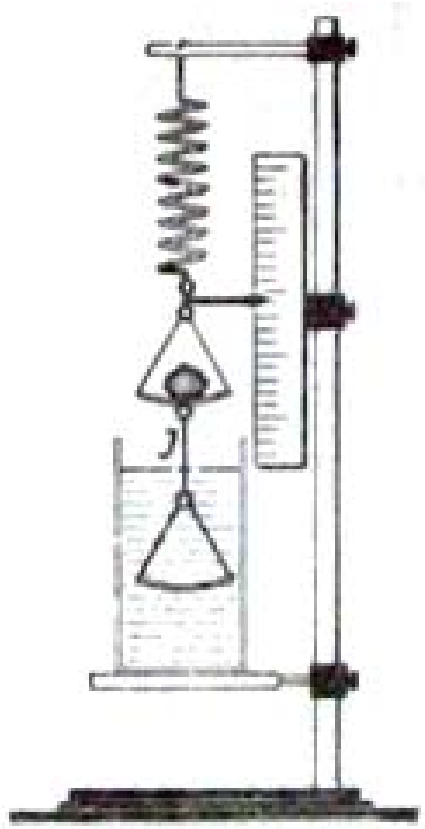


- hidrosztatikai mérleg : **kétkarú mérleg egyik karján levő mérendő testet ism. ρ_0 folyadékba merül, a súlyveszteséget mérjük**

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{m - m'}{\rho_0}} = \frac{m}{m - m'}\rho_0$$

- Jolly-mérleg : **rúgós erőmérővel mérjük egy test súlyát levegőben (felső serpenyőben), leolvassuk a súlyával arányos h megnyúlást, majd folyadékba merítve (alsó serpenyő) a h' megnyúlást, a különbségből a sűrűség meghatározható**

$$\rho = \frac{h}{h - h'}\rho_0$$



- piknométerrel : **kicsi darabokból álló anyagot mérhetünk, mérjük a szilárd test tömegét (m_t), a vízzel tele piknométer töm.-t (m_{pf}), majd a testet betesszük a pm.-be, kiszorít vmennyi folyadékot és így a tömege m_{pft}, a test sűrűsége**

$$\rho = \frac{m}{m + m_{pf} - m_{pft}}\rho_0$$

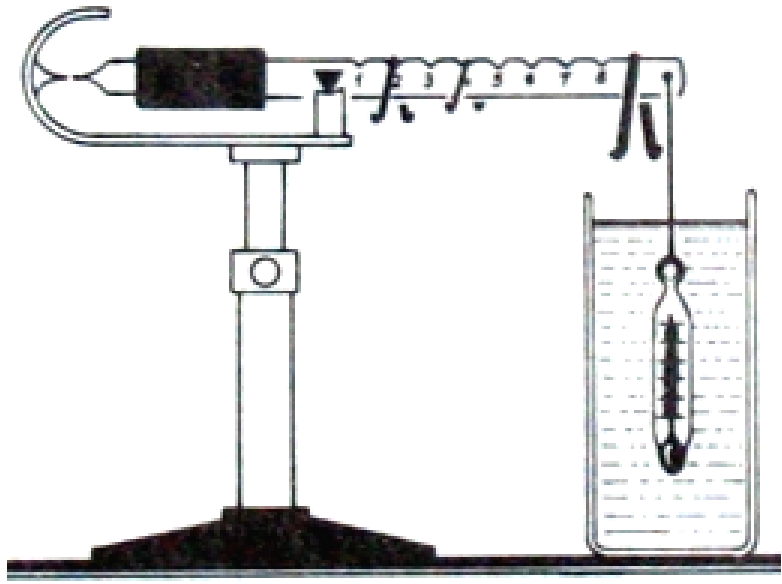
folyadékok sűrűségének mérése:

- hidrosztatikai mérleggel : hasonlóan fentebbihez …

- piknométerrel : hasonlóan fentebbihez …

- Mohr-westphal mérleggel: a víz sűrűségéhez (ρ_0) viszonyított relatív sűrűséget mérjük : a ρ és a ρ_0 sűrűségű folyadékokban ható felhajtóerők aránya

$$\frac{F}{F_0} = \frac{\rho}{\rho_0}$$



- aerométerrel : (pl. alkohol-, bor fokoló)

reális folyadékok: összenyomhatók, de a kompresszibilitás nagyon kicsi
van súlya
van belső súrlódás

kohézió, adhézió :

kis összenyomhatóság → a molek.-k között taszítás van

de vonzóerők (összetartó erők = **kohéziós erők**) is vannak :

tiszta üveglapot fektetünk vízfelszínre és próbáljuk felemelni → erőhatás kell hozzá → a foly.-nak is van szakítószilárdsága
(a leszakított üveglap vizes, vagyis nem az üveget szakítottuk le, hanem két szomszédos vízréteget választottunk el)

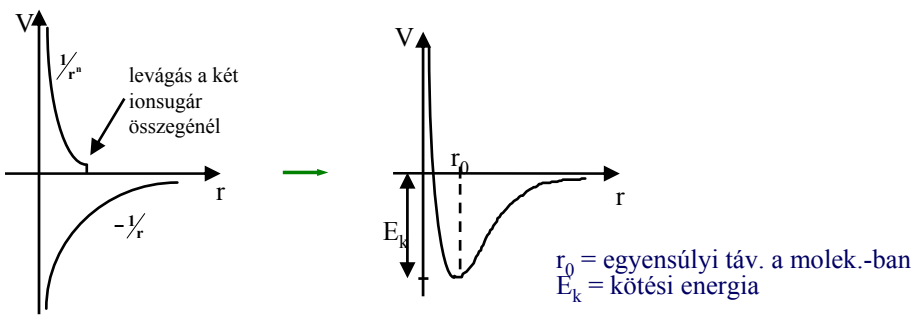
ha az üveglapot pl. Hg-ról választjuk le, akkor is erőhatás kell, de az üveg száraz marad, vagyis most az üveg-Hg közti összetartó erőket kell legyőzni → **adhéziós erő**

↓

ragasztás („adhesive”)
toll
ceruza

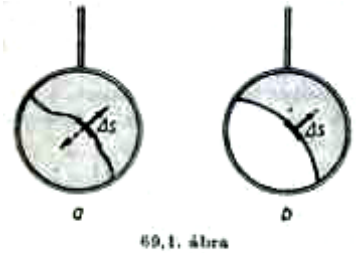
víz nedvesíti az üveget → a vízmolek.- közötti erők kisebbek mint a víz-üveg adh.erők
Hg nem nedv. üveget → a Hg molek.-k közti koh.erők nagyobbak, mint a víz-Hg közti adh. erők

molekulák között ható erők = van der Waals-erők

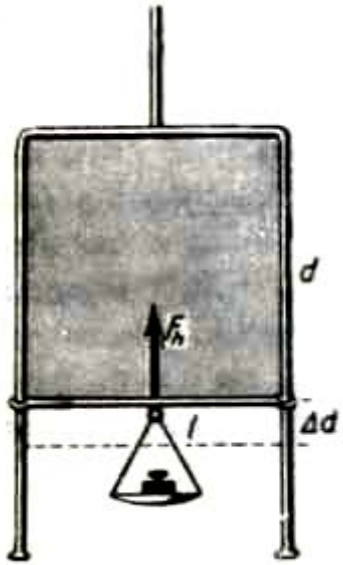


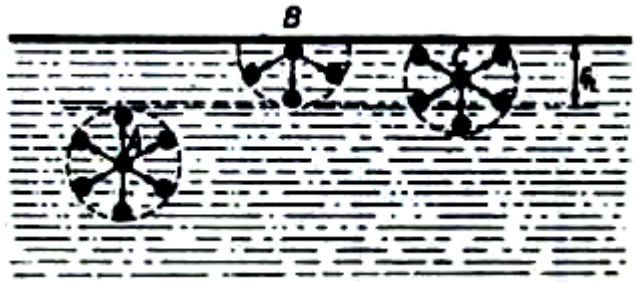
r_0 = egyensúlyi táv. a molek.-ban
E_k = kötési energia

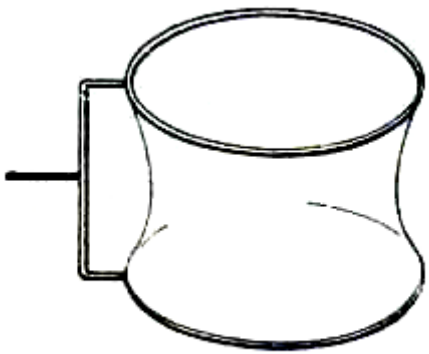
felületi feszültség, kapillaritás : ld. oktatófilm



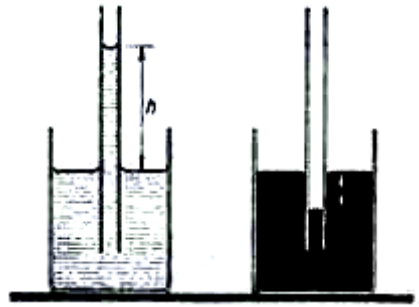
69,1. ábra

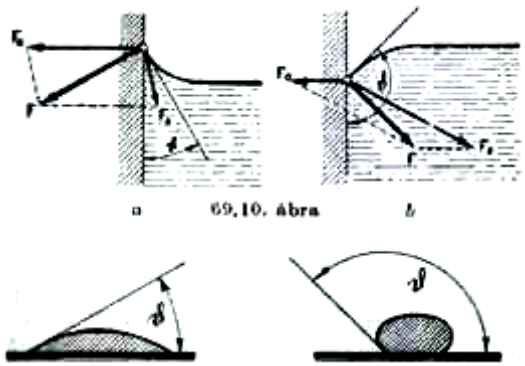




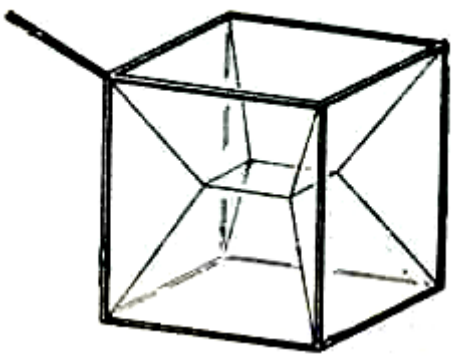


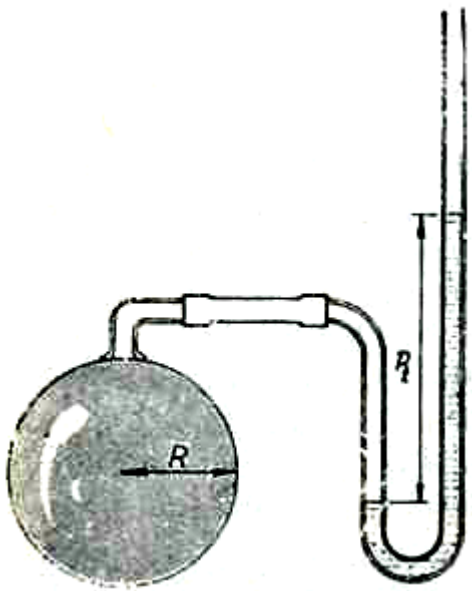
69,5. ábra

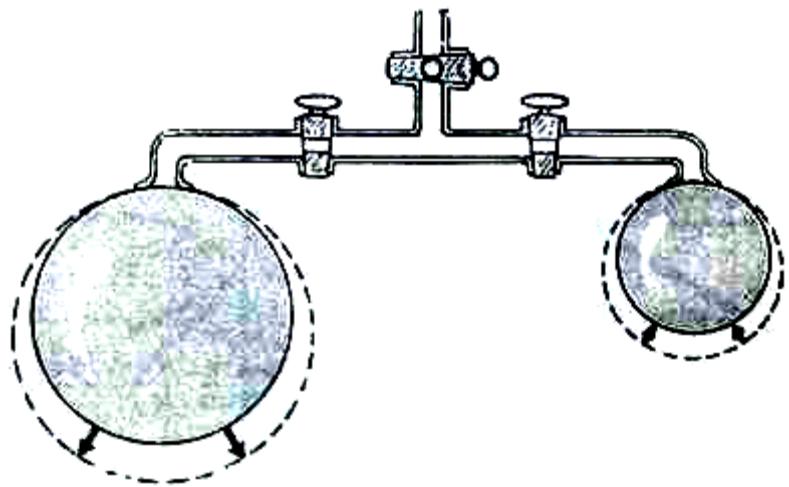


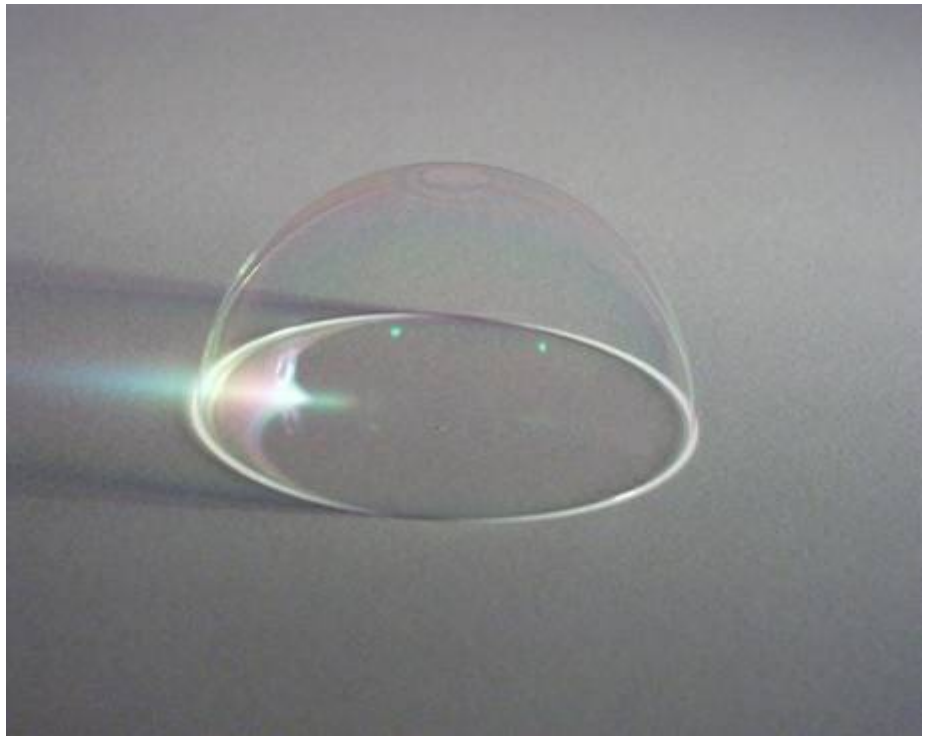


69,10. ábra









ceruzát ki lehet radírozni, tollat nem lehet

hajszálcsövesség

ruha, papír,… felissza a vizet

Tetra Pak

nyugvó gázok mechanikája :

nincs szabad felszín, összenyomható, sűrűsége sokkal kisebb mint a foly.-é (pl. levegő ~1.2-1.3 kg/m^3)

DE : a folyadékoknál megismert törv.-ek nagyrészt érvényesek

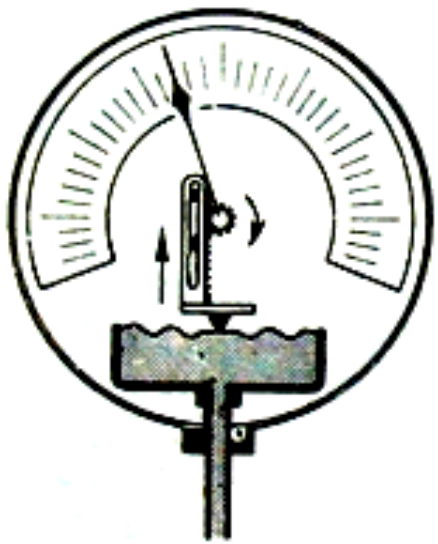
- **Pascal-törv.**

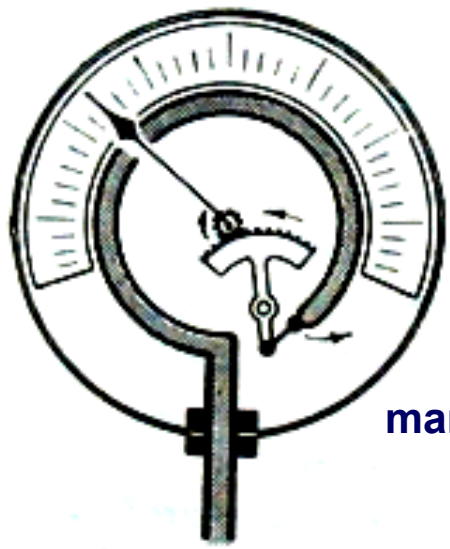
- **van légnyomás (Torrichelli, 1643 : 1m hosszú üvegcső szinültig töltve Hg-al és fejjel lefele Hg-al teli edénybe tenni, kb 76 cm magas Hg-oszlop marad a csőben) (később Otto von Guericke, 1654 : „Magdeburgi féltekék” = 42 cm átmérőjű félgömbök + 4-4 ló → nem bírták széthúzni)**

kísérlet : Magdeburgi féltekék
pezsgősüveg + celofánhártya

- **felhajtóerő (Arkhimédesz)**

légnyomás mérése:
barométer





manométer

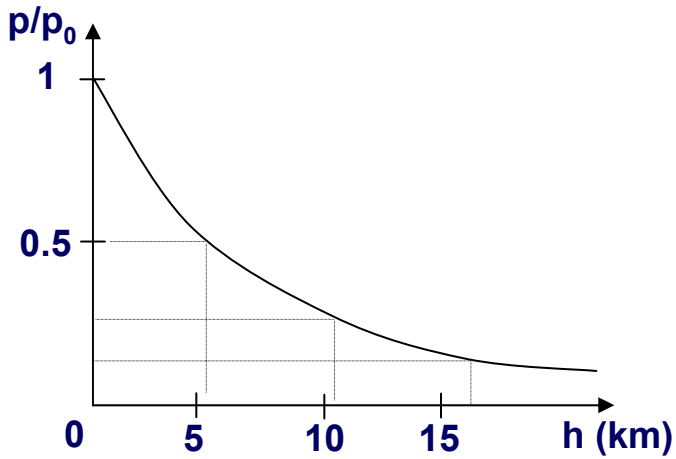
gázok nyomása és térfogata közötti összefüggés : Boyle-Mariotte-törv. :

(1662)

állandó hőmérsékleten állandó tömegű gázra : $p \cdot V = \text{állandó}$

barometrikus magasságformula : $p = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 g h}{p_0}}$

pl. tengerszinten a légnyomás 1 atm = 10^5Pa
5.5 km magasan 0.5 atm
11 km 0.25 atm

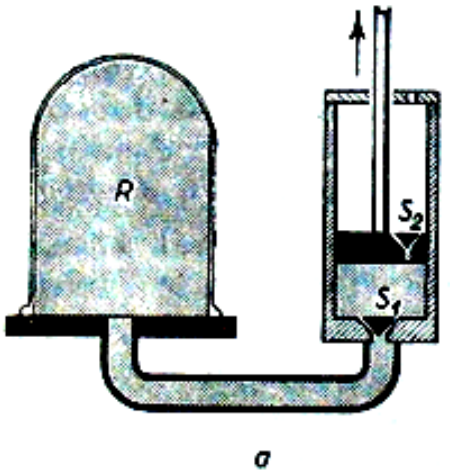


kémény huzat: kívül hideg levegő, belül meleg → kisebb a sűrűsége a kéményben
alul mint a kéményen kívül lent → a levegő lent kívülről befelé áramlik

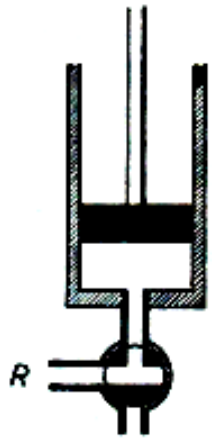
hőlégballon
gázzal töltött léggömb

vákuumszivattyúk, kompresszorok :

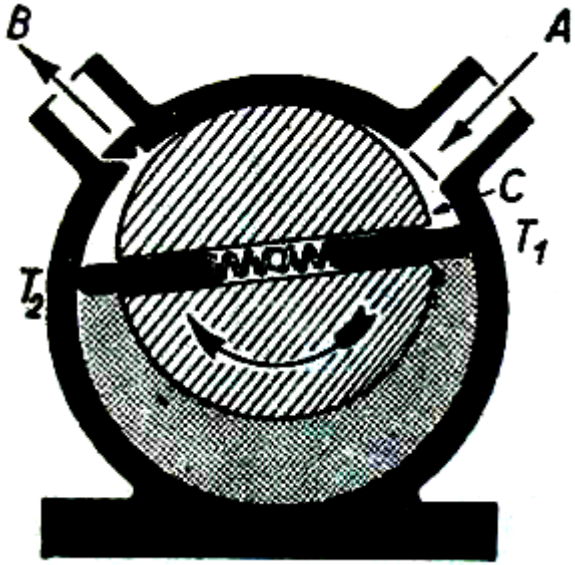
vákuum ≈ 10^3-10^2 Pa alatt, HV, UHV

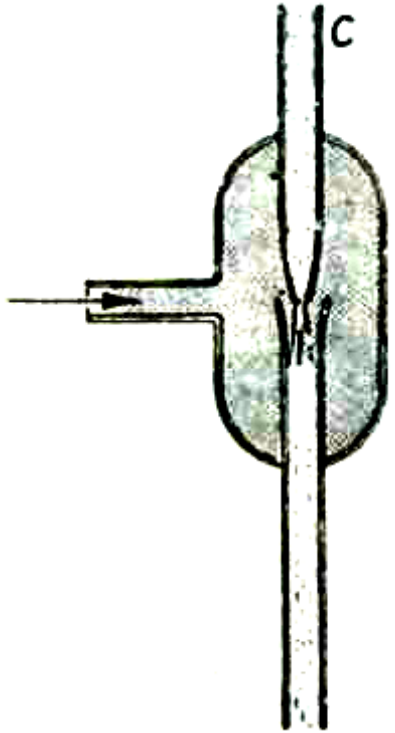


a

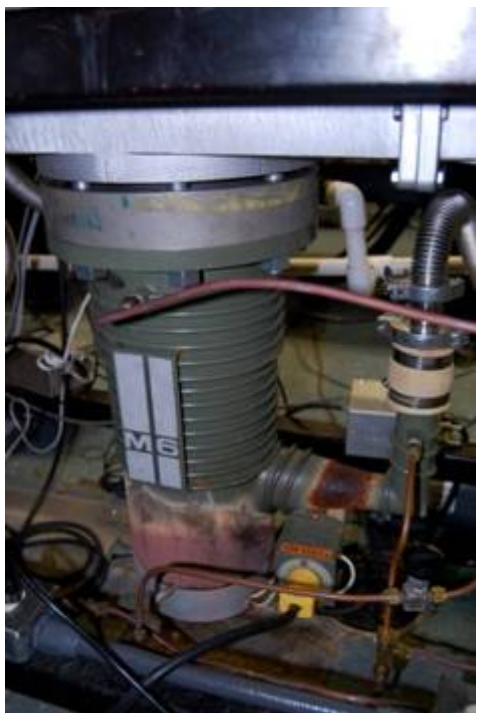


b



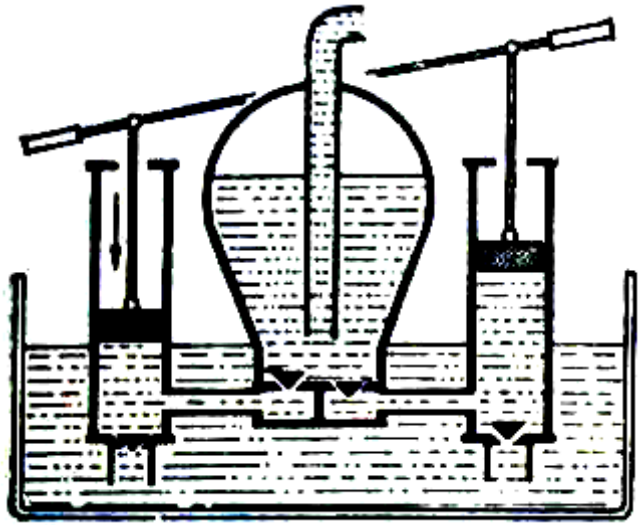


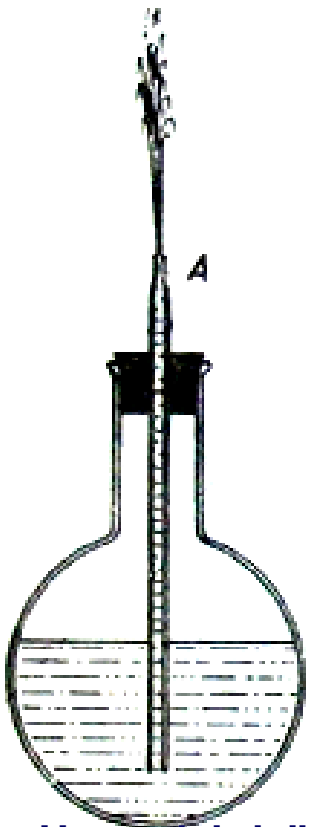
+ olajdiffúziós szivattyúk, turbomolekulár…, iongetter, stb…
kompresszorok….



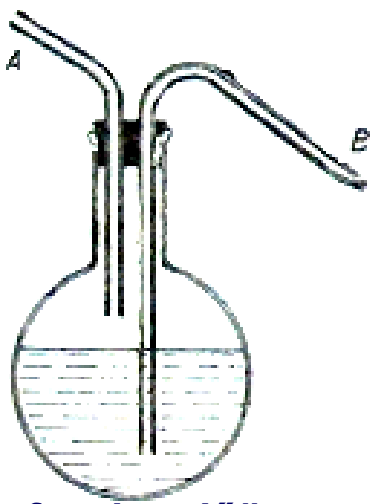
a levegő nyomásán alapuló eszközök:

szívókút, nyomókút, tűzoltófecskendő, centrifugálszivattyú, lopó, pipetta, szívószál, szivornya, injekciós fecskendő

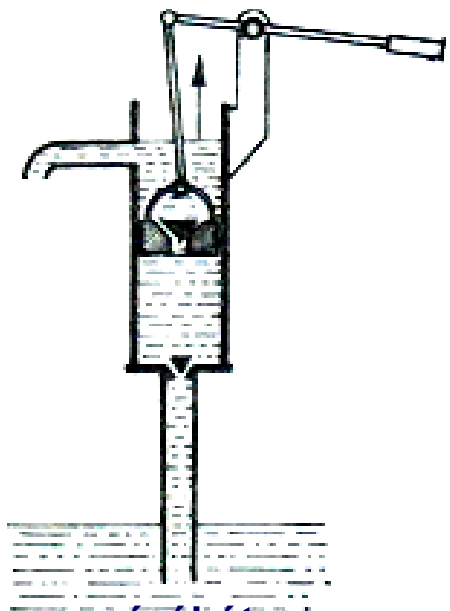




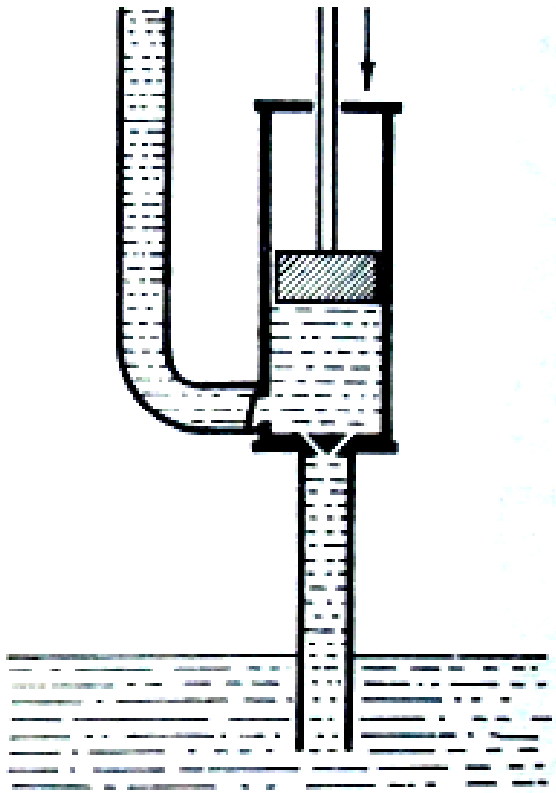
„Heron-labda”



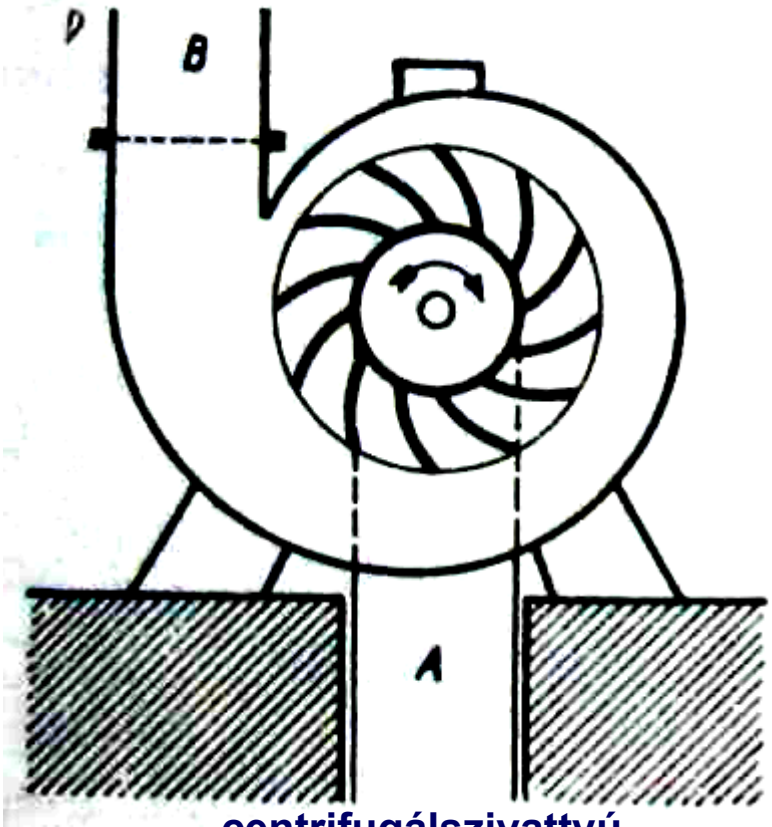
fecskendőüveg



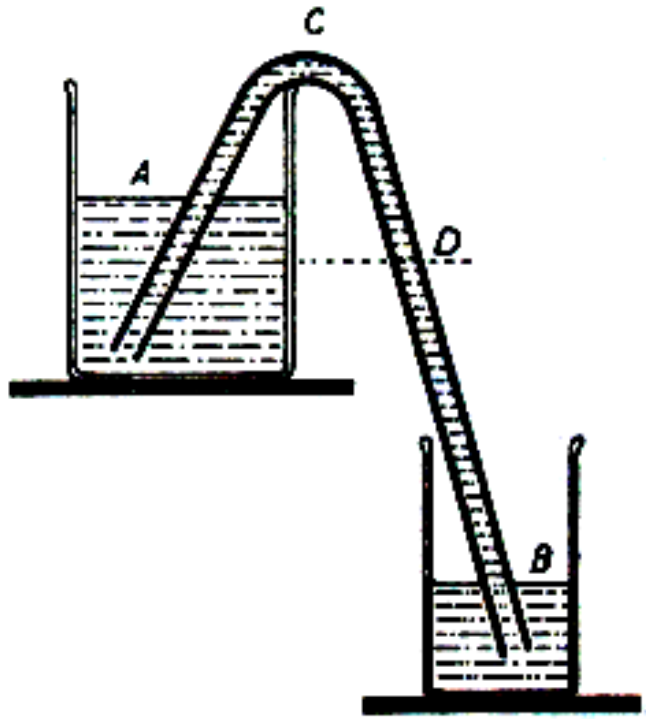
szívókút
max 10m mélyről!



nyomókút



centrifugálszivattyú



lélegzés is !!!

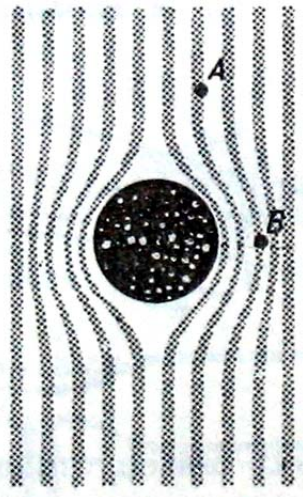
folyadékok és gázok áramlása :

együtt tárgyalható, mert kis áramlási sebességeknél (100-200 m/s alatt) és kis magasság-különbségek (néhány 100 m) esetén a gázokat is összenyomhatatlannak lehet venni

áramlás → ideális folyadék (nincs belső súrl.) → örvénymentes
áramlás → súrlódásos folyadékok → örvényes

kontinuitási egyenlet : $A \cdot v = \text{állandó}$ vagy $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$

(áramvonalak sűrűségével :
ahol az áramvonalak sűrűbbek, ott v nagyobb)



pl. : vízcsapból lefelé kifolyó vízsugár miért keskenyedik ?

a Bernoulli-egyenlet : (1738)

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = \text{állandó}$$ vagy $$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

sztatikai nyomás — torlónyomás/dinamikai nyomás — hidrosztat.nyomás

teljes nyomás

pl. : légáramlás = szél keletkezése, porszívó, ventillátor

pl. : folyadék áramlása : pl vízcső, …

áramlás → ideális folyadék (nincs belső súrl.) → örvénymentes, örvényes
áramlás → súrlódásos folyadékok → réteges, turbulens

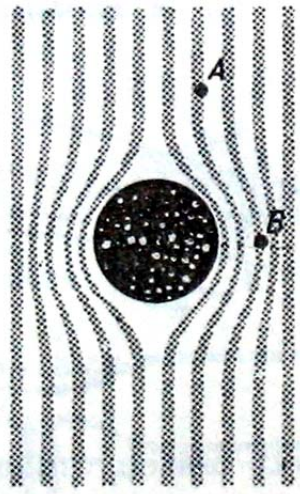
vagy :

áramlás → stacionárius (időtől független)
áramlás → időben változó áramlás

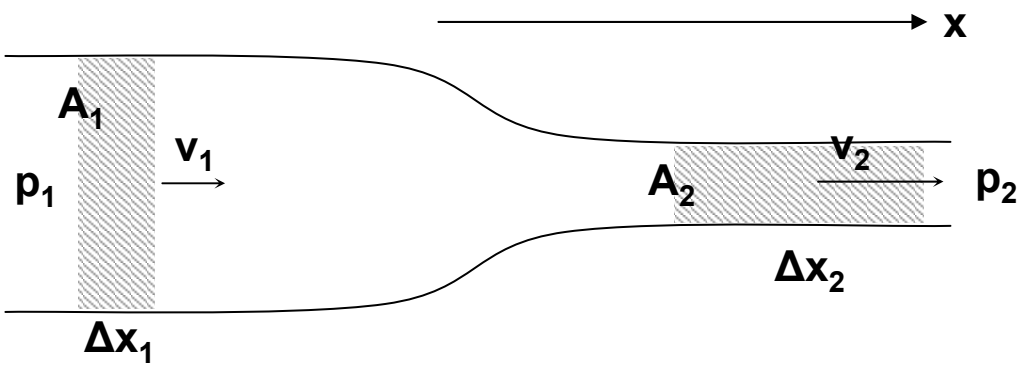
összenyomhatatlan, homogén folyadékok stacionárius áramlása:

kontinuitási egyenlet : $A \cdot v = \text{állandó}$ vagy $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$

(áramvonalak sűrűségével :
ahol az áramvonalak sűrűbbek, ott v nagyobb)



pl. : vízcsapból lefelé kifolyó vízsugár miért keskenyedik ?



$$V_1 = V_2$$

$$A_1 \cdot \Delta x_1 = A_2 \cdot \Delta x_2$$

$$A_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t = A_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

vagy az árammal : $I = \frac{V}{\Delta t} = \frac{A \cdot \Delta x}{\Delta t} = A \cdot v$ → $I = \text{állandó}$

a Bernoulli-egyenlet : (1738)

munkatétel : $$F_1 \cdot \Delta x_1 - F_2 \cdot \Delta x_2 = \frac{1}{2} m \cdot v_2^{\,2} - \frac{1}{2} m \cdot v_1^{\,2}$$

$$p_1 \underbrace{A_1 \cdot \Delta x_1}_{V} - p_2 \underbrace{A_2 \cdot \Delta x_2}_{V} = \frac{1}{2} \rho V \cdot v_2^{\,2} - \frac{1}{2} \rho V \cdot v_1^{\,2}$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^{\,2} - \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^{\,2}$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^{\,2} = p_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^{\,2}$$

$$p + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 = \text{állandó} \longleftarrow$$ **vízszintes csőben áramló folyadékra**

ha nem vízszintes, akkor hidrosztatikai nyomás tag is van :

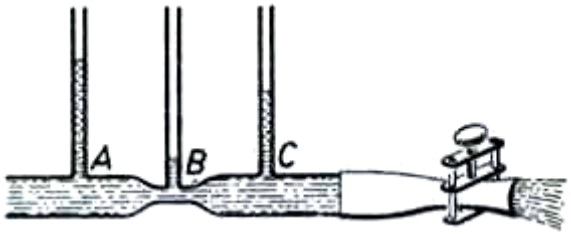
$$p_0 = p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{állandó}$$ **vagy** $$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^{\,2} + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^{\,2} + \rho g h_2$$

sztatikai nyomás **torlónyomás/dinamikai nyomás**

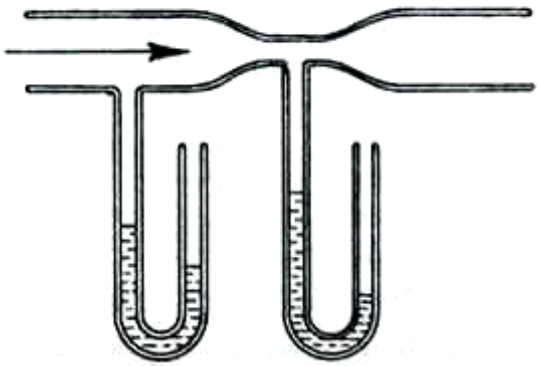
teljes nyomás

hidrosztat.nyomás (gázoknál elhanyagolható)

a Bernoulli-egy. alkalmazásai:

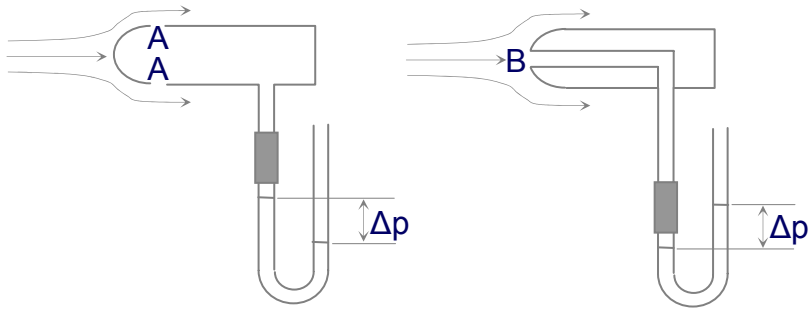


76,1. ábra



- ***nyomás-és sebességmérés áramlásoknál***

Pitot-cső



a p sztatikai nyomást méri A-ban

a v = 0-hoz tartozó p_0 teljes nyomást méri B-ben

Pitot-Prandtl cső :
a p_0-p torlónyomást méri :

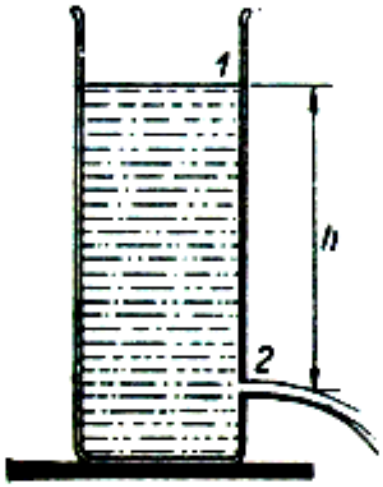
$$p_0 = p + \frac{1}{2}\rho \cdot v^2$$

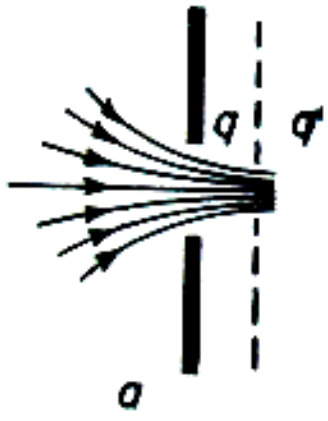
áramlás seb. mérhető (pl. repülőgép) :

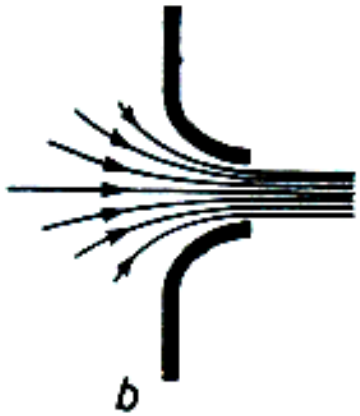
$$v = \sqrt{\frac{2(p_0 - p)}{\rho}}$$

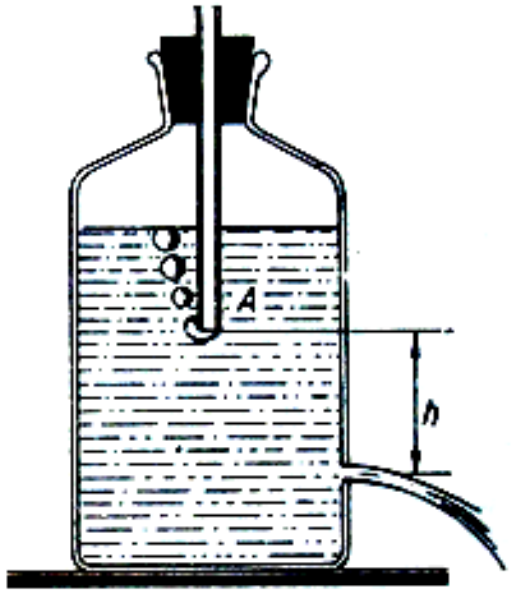
Venturi-cső is hasonló **(ld. mechanika labort !!!)**

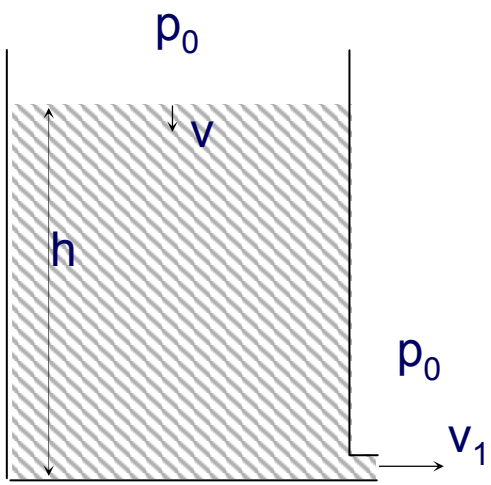
- **foly. és gázok kiáramlása kis nyílásokon :**







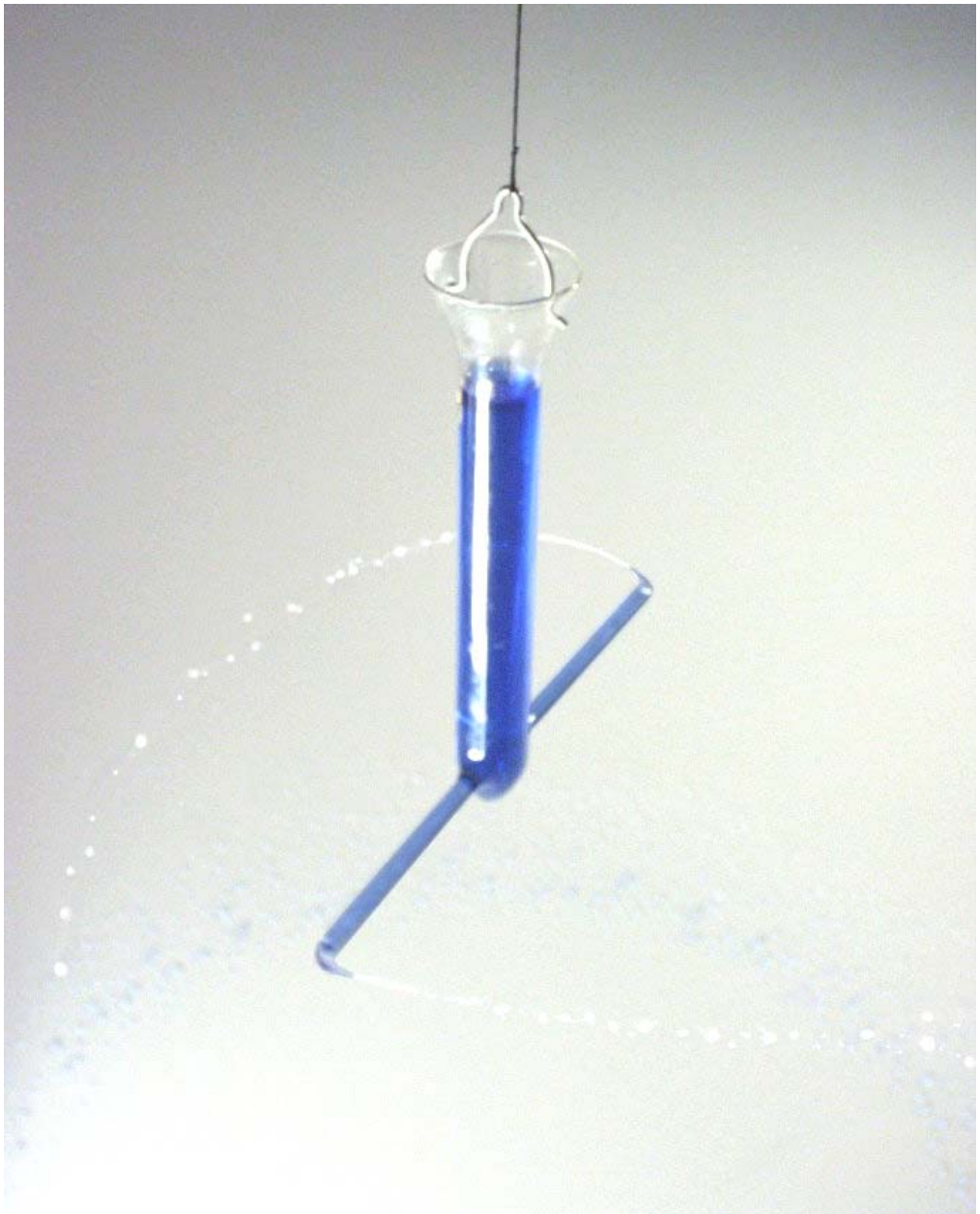




$$v_1 = \sqrt{2gh}$$

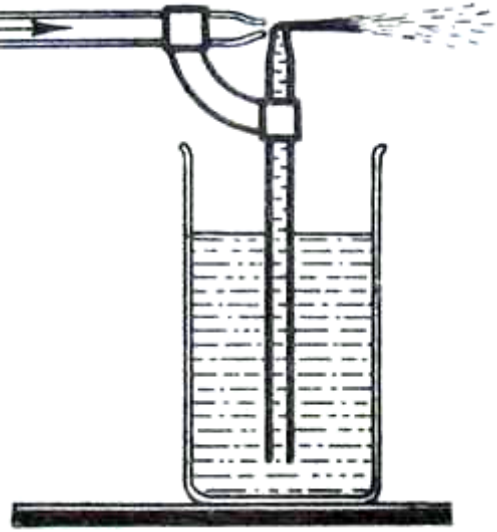
Torrichelli-féle kiömlési törv. (1646)

pl. : **kísérlet :** Segner-kerék :



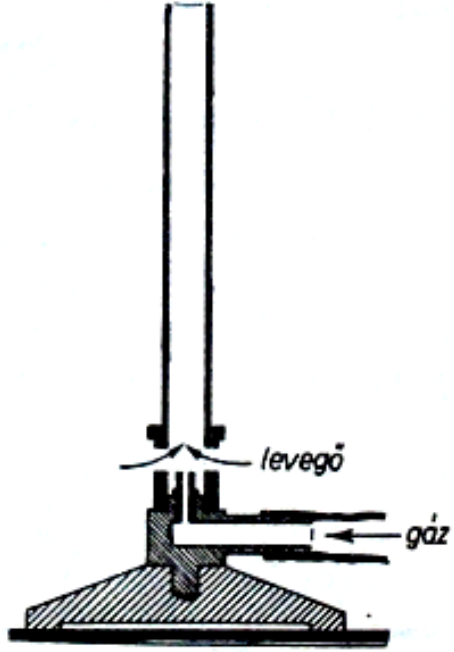
• további alkalmazások :

kísérlet : festékszóró, folyadékpermetező

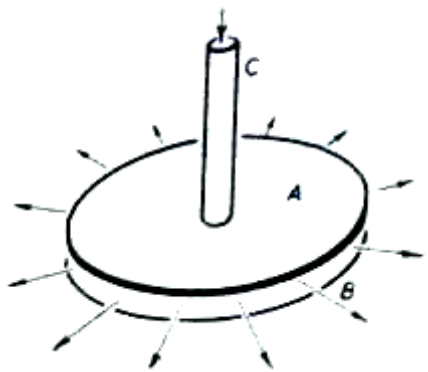


Bunsen-égő

vízlégszivattyú



kísérlet : aerodinamikai paradoxonok :



ping-pong labda a tölcsérben → nem esik le

papírlapok közé fújni → egymás felé mozd.

ping-pong labdák közé fújni → pattognak

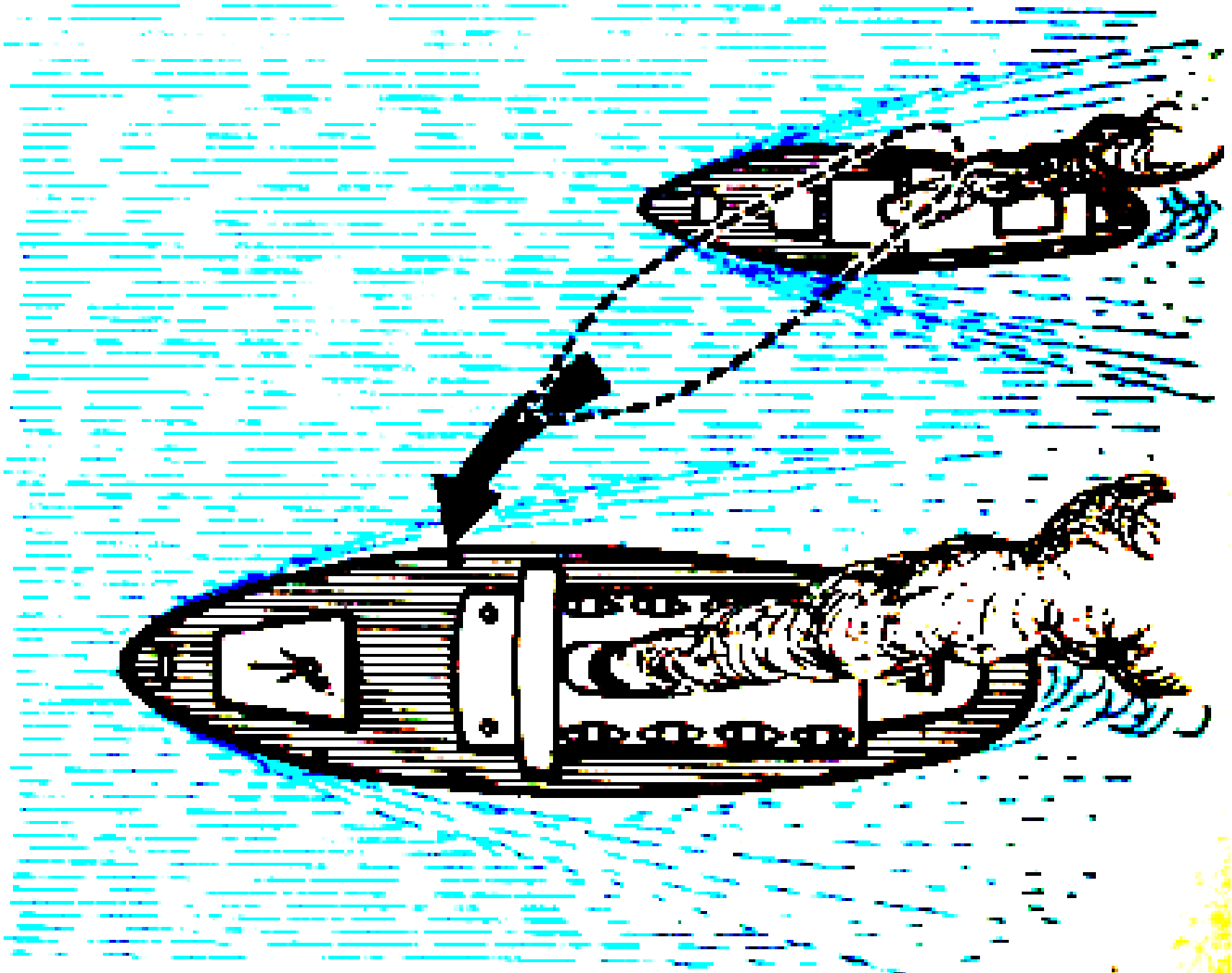
cső végén korong, alatta tömör korong, csőbe fújni → az alsó korong a felsőhöz nyomódik, visszapattan,…

a vihar „leszippantja” a háztetőt

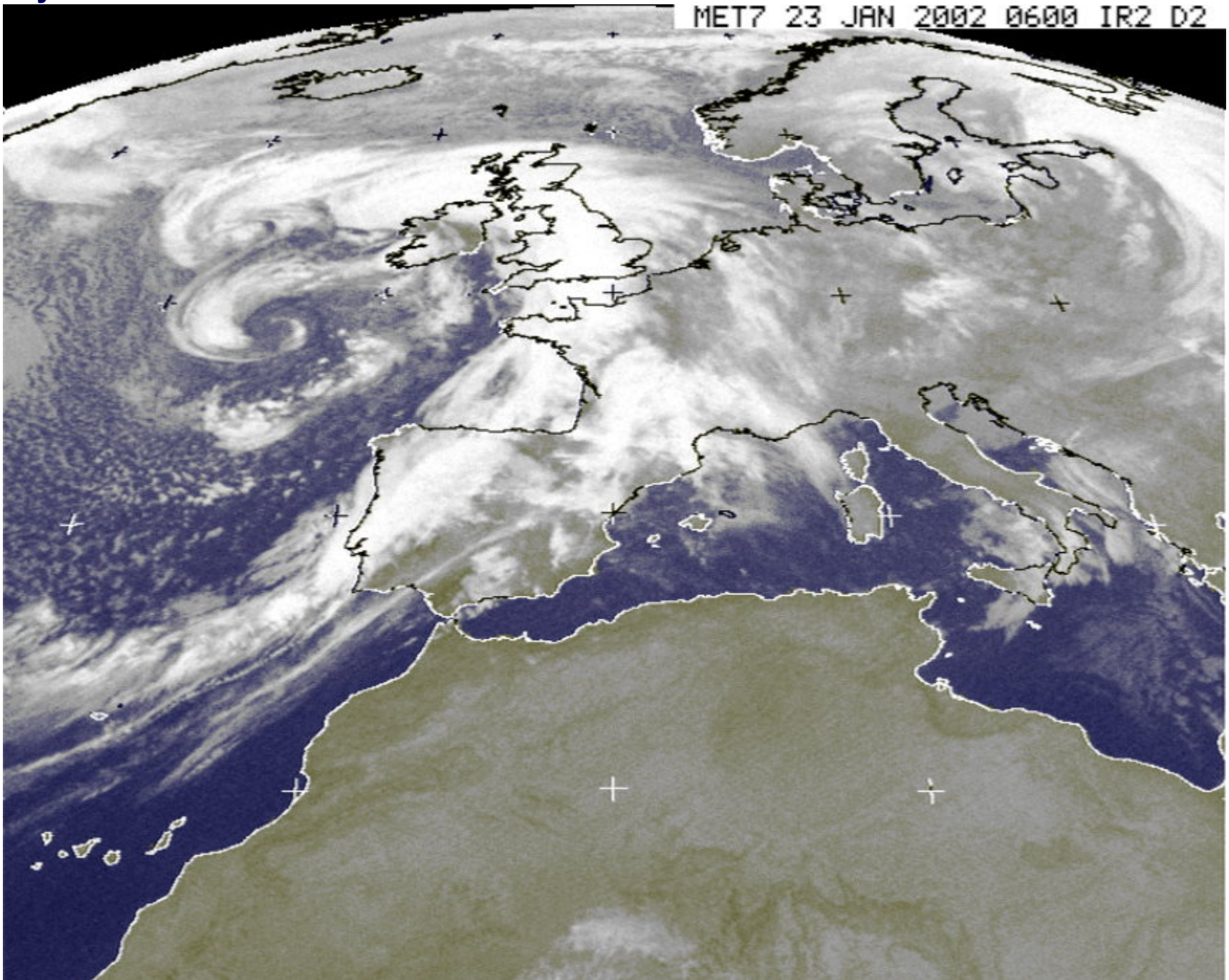
szélben jobb a kémények huzatja

nagy széllel szemben nem kapunk levegőt

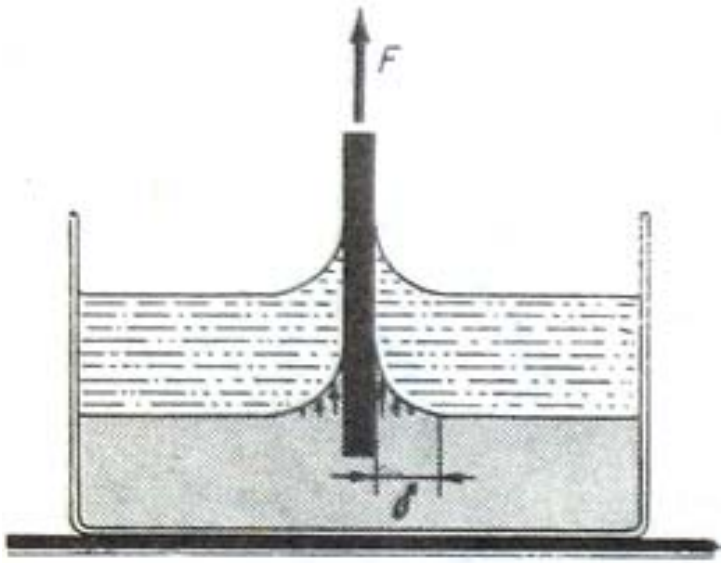
pl. : a kisebbik hajó nekiütközött a nagyobbnak



örvényes áramlás :



belső súrlódás (viszkozitás) :



Newton-féle súrlódási törv. : $F = \eta A \frac{dv}{dz}$

↑ viszkozitás

η függ T-től (pl hideg méz – meleg méz, vagy szurok, stb…)

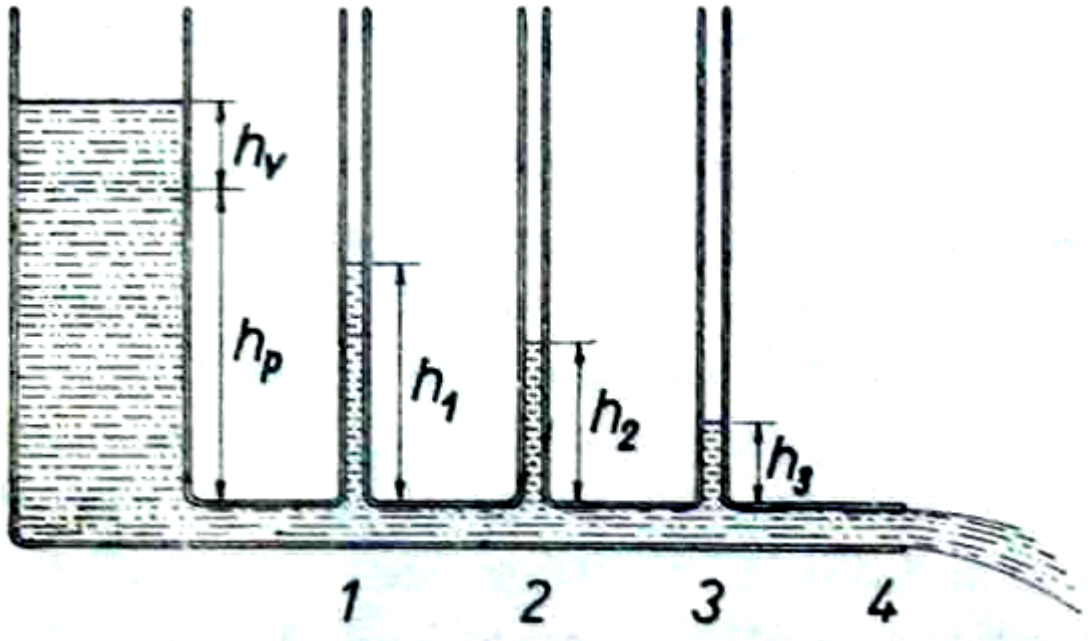
↑

amorf, hidegen is folyik nagyon lassan
(évek alatt átfolyik a tölcséren)

falba rögzített vsz. üvegrúd is lehajlik évek alatt

réteges áramlások :

vékony, mindenhol egyforma keresztmetszetű, vsz. csőben áramló foly. nyomása egyenletesen csökken (belső súrl. miatt)



Hagen-Poiseuille-törvény :

$$I \equiv \frac{V}{t} = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{p_1 - p_2}{\ell} \cdot r_0^{\,4}$$

pl.: öntözőberendezések

golyó mozgása folyadékban :

Stokes-törvénye : $F = -6\pi\eta r v$ → **közegellenállás**

viszkozitás mérése : **Ostwald-féle viszkoziméterrel**
Höppler-féle viszkoziméterrel
Stokes-törvénye alapján

közegellenállás :

(áramlási ellenállás, hidrodinamikai ellenállás)

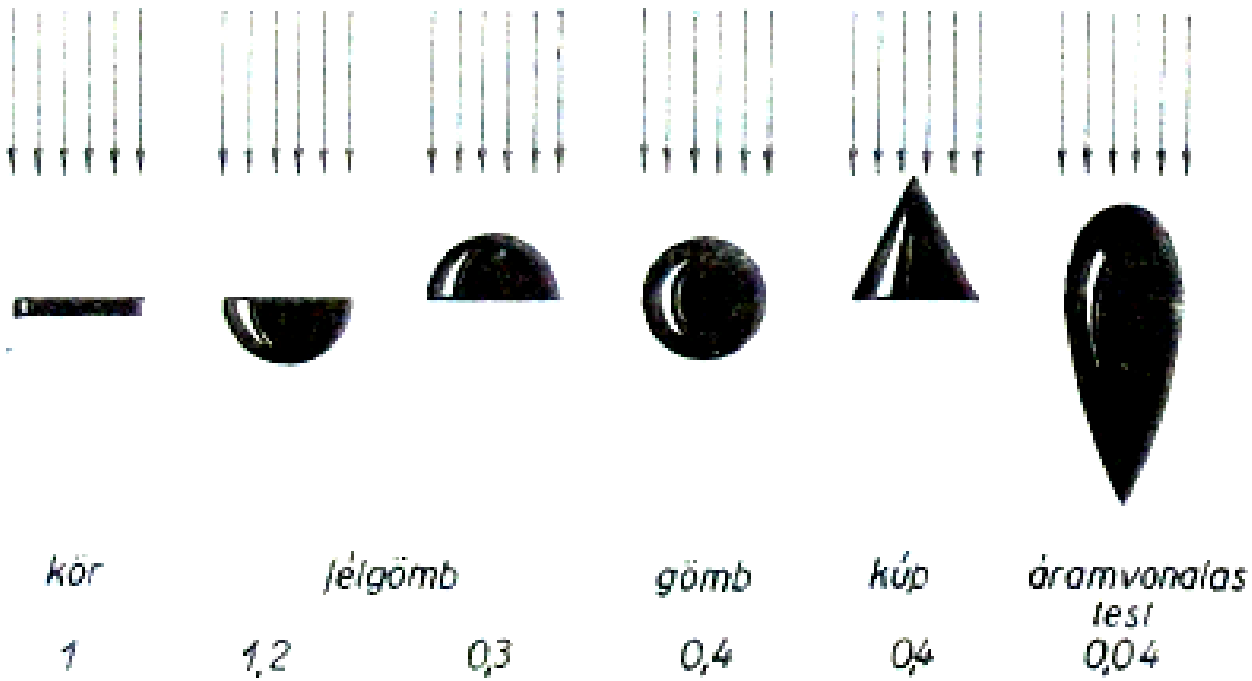
kis sebességekre : lamináris áramlás; F_k lineárisan függ v – től : Stokes-törv.

nagy sebességeknél : örvényképződés; F_k a v^2 – től függ :

$$F_k = cA\frac{1}{2}\rho v^2$$

↑

alaktényező



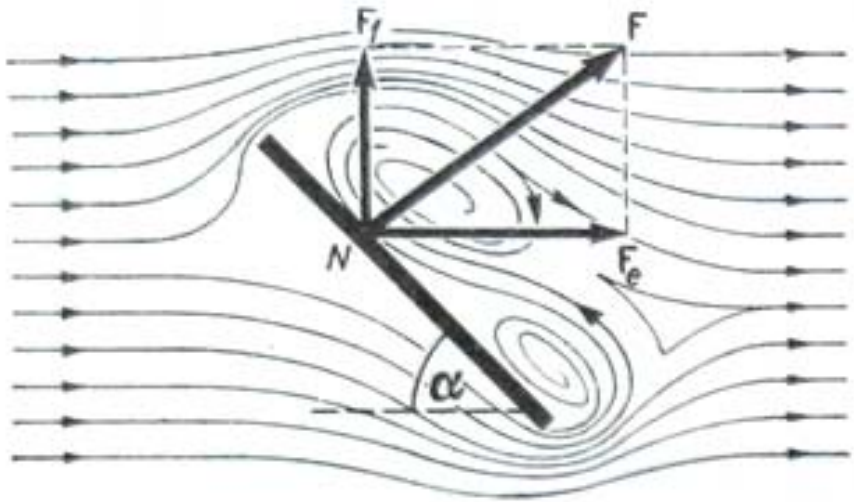
Kísérlet :

kör alakú nyíláson nagy sebességgel áthaladó foly. v. gázban örvénygyűrűk keletkeznek, több méterre is eljuthatnak és elfújják a gyertalángot → az örvények nagy stabilitásúak és „merevek” → folyókban veszélyes az úszók számára

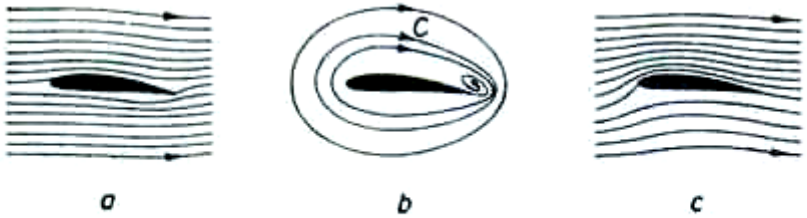
turbulens áramlás : áramlási sebesség növelésével a réteges áramlás átmegy turbulensbe → Reynolds-szám

a dinamikai felhajtóerő :

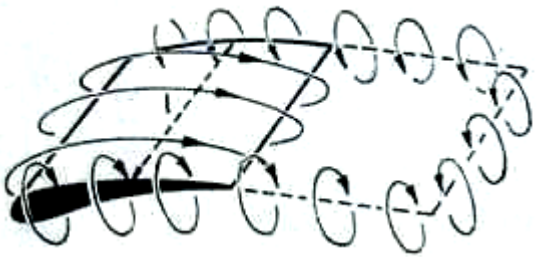
repülőgépszárny, ……

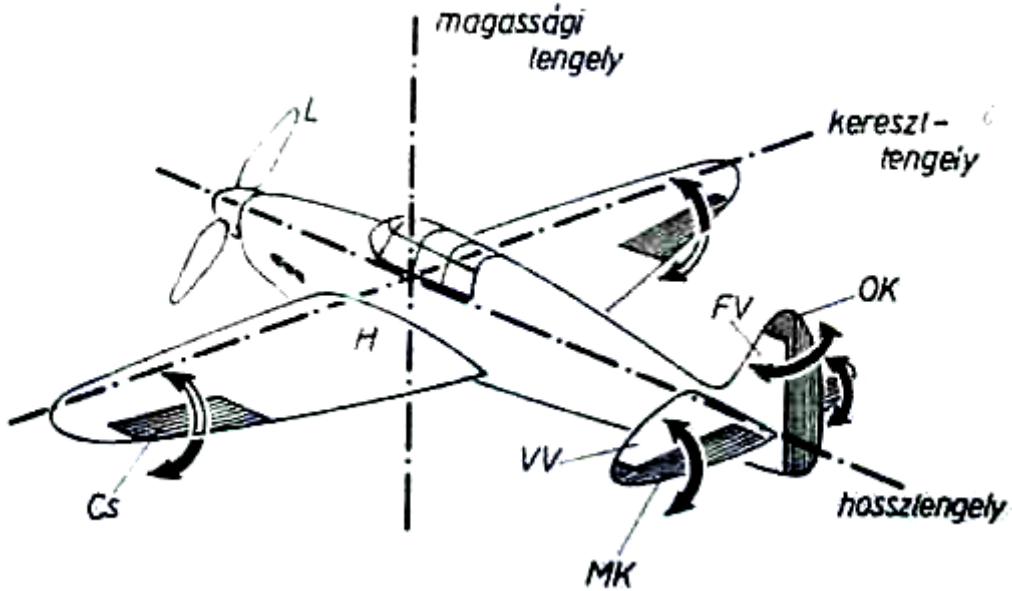


rotor profilja :



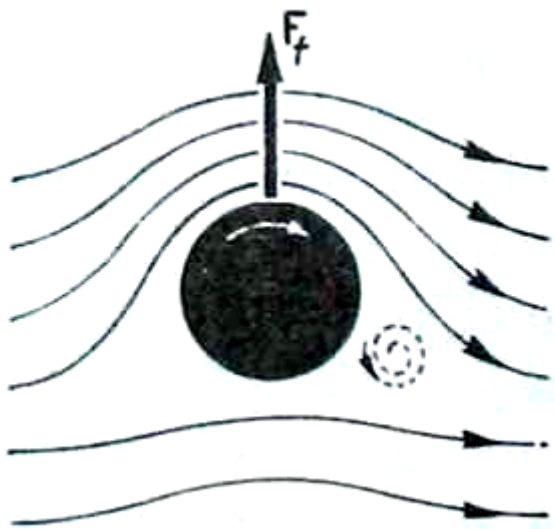
83,5. ábra





Magnus-effektus (1853) :

közegben forogva haladó test „elkanyarodik”,
pl, szabadrúgás megkerüli a sorfalat, tenisz,
ping-pong labda megcsavarása



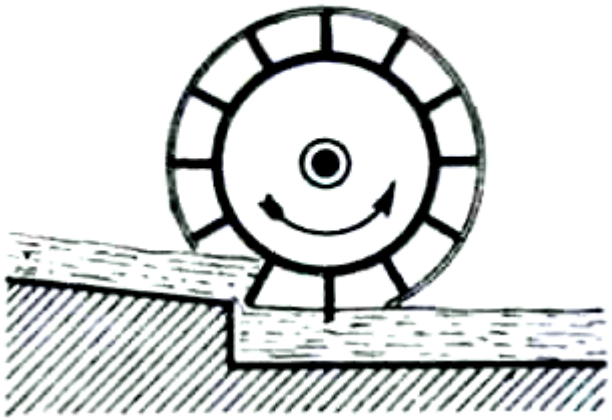
kísérlet :

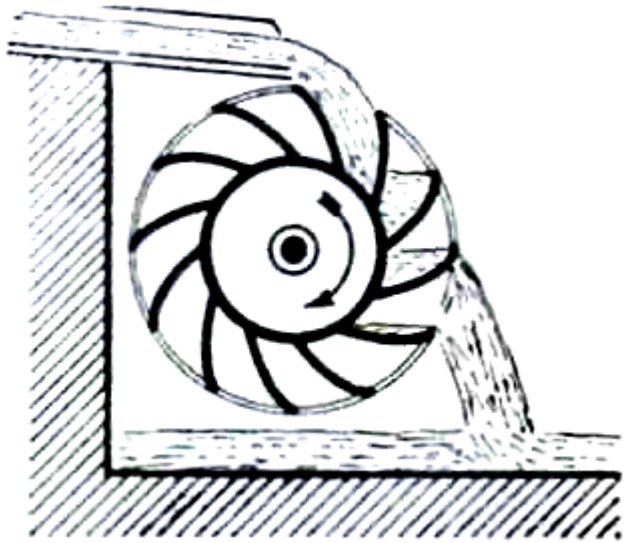
léggömböt megpörgetve elejtünk → nem függőlegesen esik le

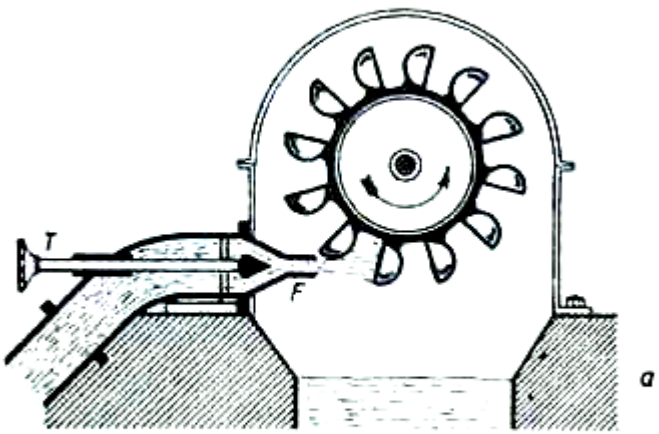
vízierőgépek :

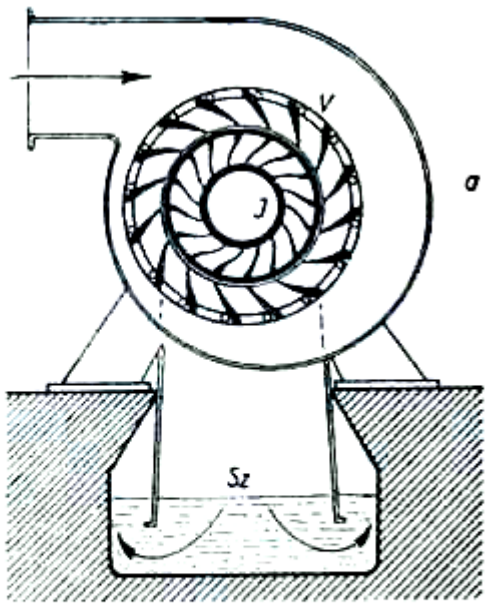
vizkerekek,
turbinák

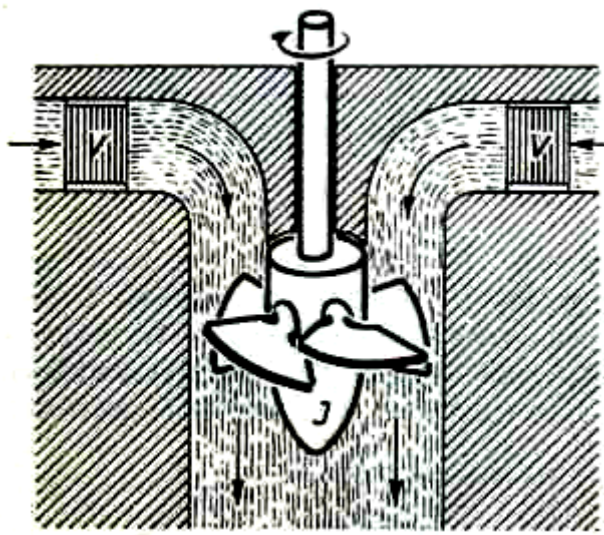
hatásfok



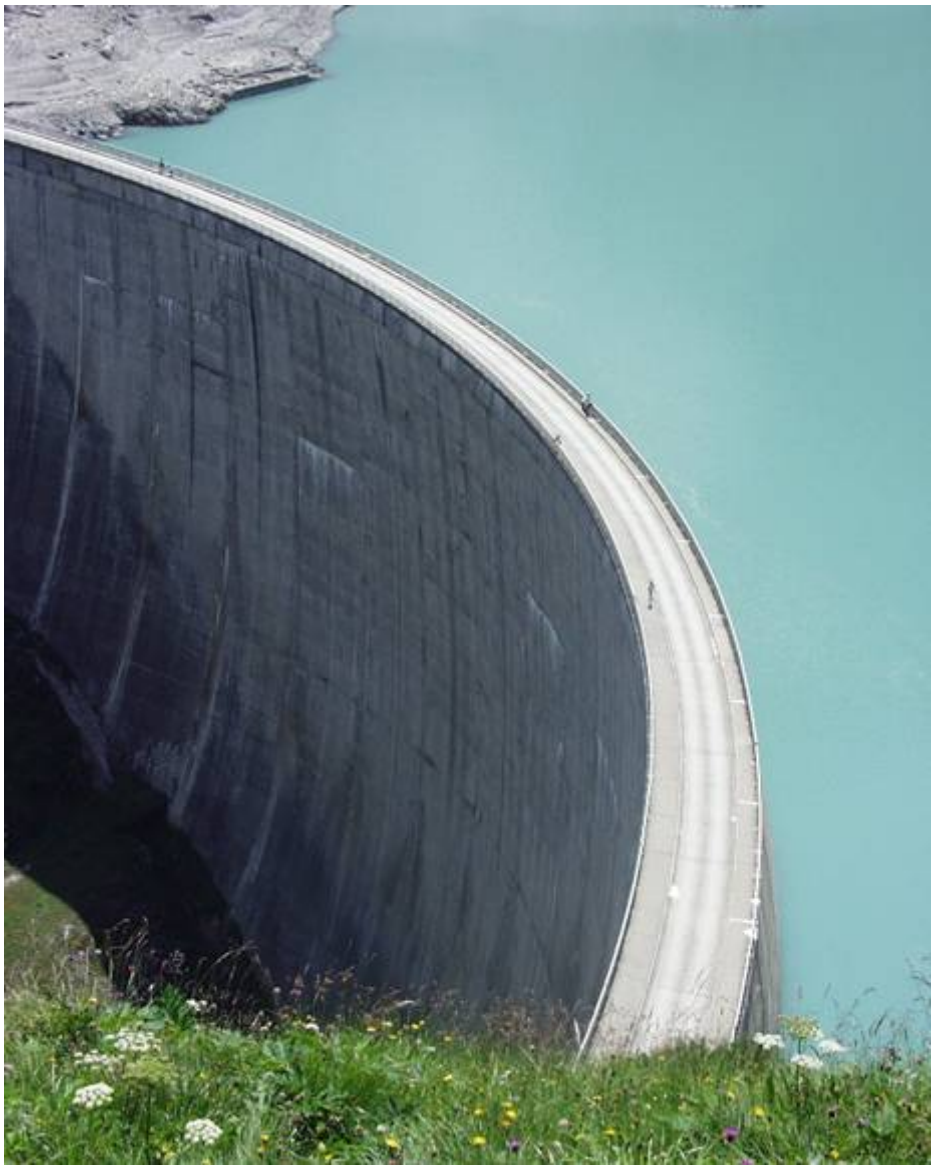








impulzustétel



ELIN

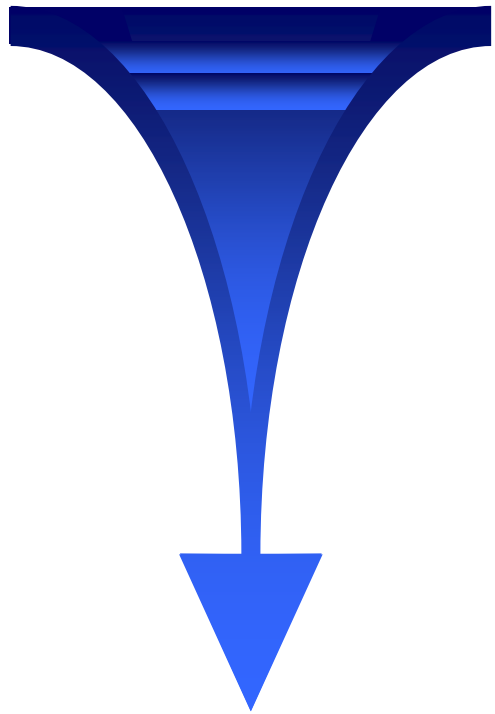
Pelton-Turbine

Hersteller:	Escher Wyss, Ravensburg
Baujahr:	1950
Leistung:	31.000 kW / 41.600 PS
Fallhöhe:	845 m
Schluckvermögen:	4 m^3/s
Drehzahl:	500 U/min
Durchmesser:	2.760 mm
Gewicht:	6.880 kg
Betriebsstunden:	110.000 h
Erzeugte Energie:	2.480,000.000 kWh
Einsatzort:	Kraftwerk Kaprun-Hauptstufe

Francis-Turbine

Hersteller:	J. M. Voith GmbH
Baujahr:	1957
Leistung:	31.000 kW / 42.000 PS
Füllhöhe:	142 m
Schluckvermögen:	27 m^3/s
Drehzahl:	375 U/min
Durchmesser:	2.265 mm
Gewicht:	5.850 kg
Betriebsstunden:	150.378 h
Erzeugte Energie:	3.200,000.000 kWh
Einsatzort:	Kraftwerk Schwarzach

Verbund
Austrian Hydro Power

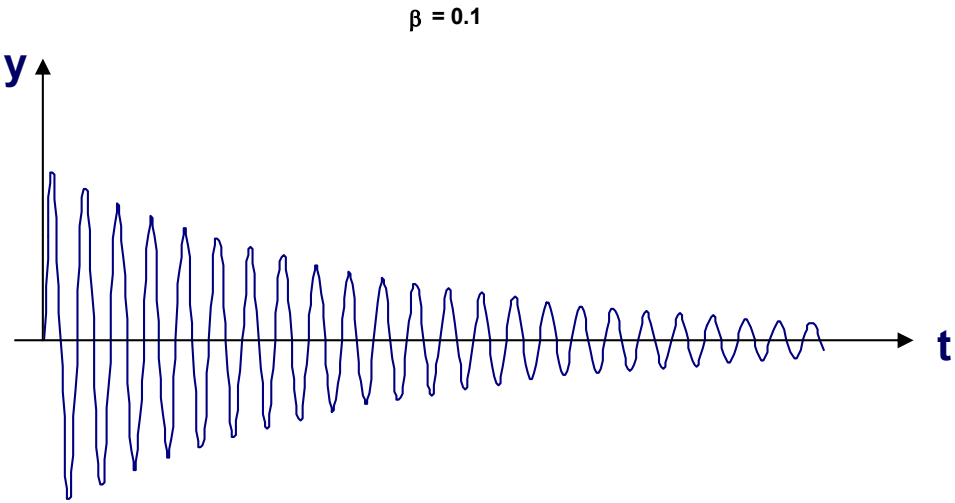


KÉNYSZERREZGÉS, REZONANCIA,

HULLÁMOK, HANGTAN

kényszerrezgés :

minden valódi rezgő rdsz. csillapodó →



gerjesztés : ha az energiaveszteséget pótoljuk

ha a gerjesztő frekv. megegyezik a sajátfrekvenciával

↓

rezonancia : amplitúdó nagyon megnőhet :

pl.: hinta lengetése : kicsi lökések → nagyon nagy amplitúdó
busz berezonál, ha a motor alapjárata nagyon alacsony
Tacoma híd katasztrófája : gyenge oldalirányú széllökések éppen megfelelő ütemben

video

kísérlet : kényszerrezgés, rezonancia, Fizikai kísérletek 3. CD, 23′00″

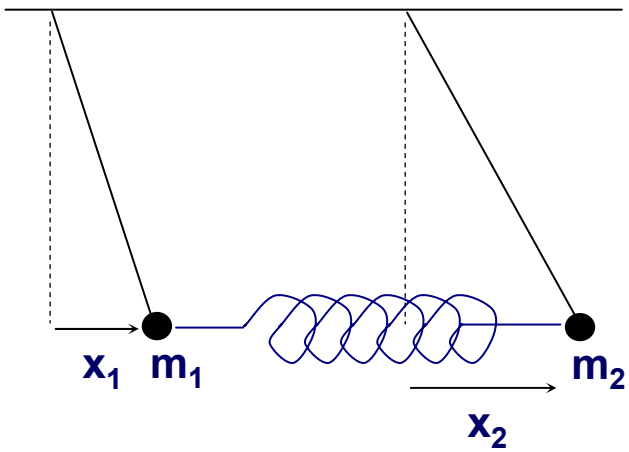
kísérlet : rezonáns hangvillák, Fizikai kísérletek 3. CD: 25′48″

csatolt rezgések :

kísérlet : csatolt ingák, Fizikai kísérletek 3. CD: 27′39″

$$m_1 \cdot a_1 = -D_1 \cdot x_1 + c \cdot (x_2 - x_1)$$

$$m_2 \cdot a_2 = -D_2 \cdot x_2 - c \cdot (x_2 - x_1)$$



ha $\omega_{1_0} = \sqrt{\frac{D_1}{m_1}}$ $\omega_{2_0} = \sqrt{\frac{D_2}{m_2}}$

$c_1 = \frac{c}{m_1}$ $c_2 = \frac{c}{m_2}$

csatolási tényezők

szoros csatolás,
laza csatolás

rezgések felbontása :

Fourier-analízis :

minden periodikus, nem harmonikus folyamat (rezgés) felírható olyan sin – és cos – rezgések összegeként, melyek frekvenciája az alaprezgés frekv.-nak egész számú többszöröse (Fourier tétele) :

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin\omega t + B_1 \cos\omega t + A_2 \sin 2\omega t + B_2 \cos 2\omega t + \ldots.$$

Fourier-együtthatók

2ω, 3ω, … = felharmonikusok

kísérlet : Fraknói ingák, Fizikai kísérletek 3. CD: 32′10″

hullámok:

- **mechanikai**
- **rugalmas közeg**
- **zavar-keltő tárgy**
- **(a közeg egy részecskéjét rezgőmozgásba hozza)**
- **hullám: a rezgésállapot**

- elektromágneses
- közeg nem szükséges
- hullámforrás
- (változó elektromágneses teret hoz létre)
- terjedése a térben

lökéshullám : egyszeri gerjesztés → a zavar végigfut a közegen
harmonikus hullám : időben periodikus (szinuszos) gerjesztés

kísérlet : **lökéshullám végigfutása kifeszített gumikötélen vagy csavarrúgón**

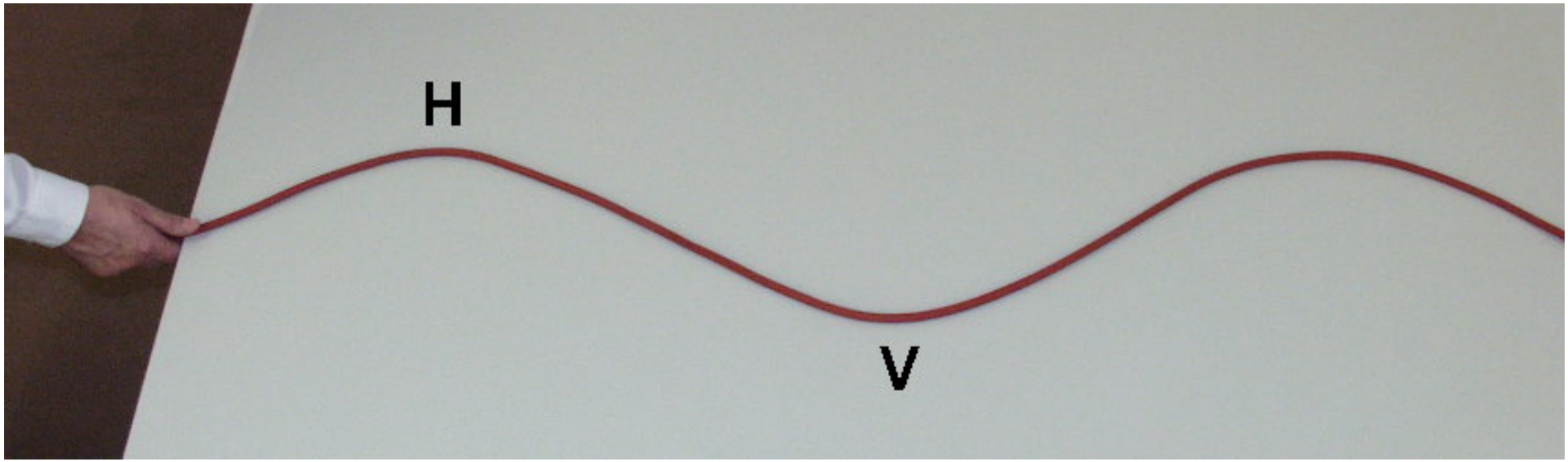
ld. még : Fizikai kísérletek (Televideo) CD, hullámok terjedése : 8′40″ - től

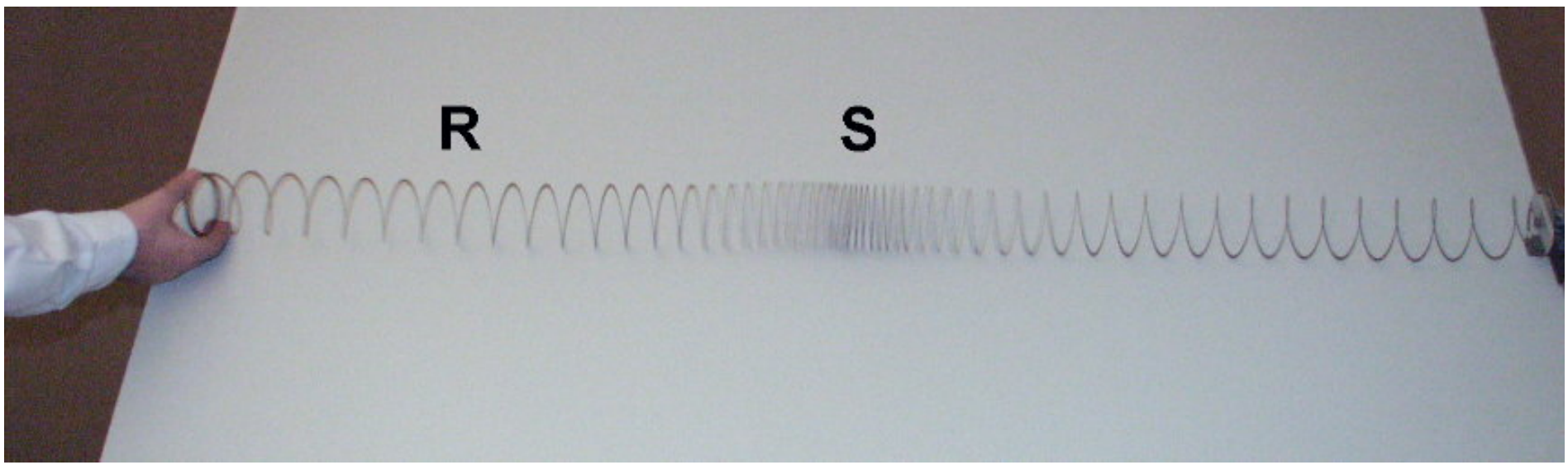
hullám különböző kiterjedésű közegekben :

vonalmenti → 1D
felületi → 2D
térbeli hullámok → 3D

hullámfajták : **transzverzális, longitudinális,**
torziós (csavarási) hullám
síkhullám, gömbhullám,

Microsoft
PowerPoint bemutató





polarizáció : elliptikusan-, cirkulárisan-, síkban poláros hullám

kísérlet : kötél

hullámterjedés : $x = c \cdot t$, **c = fázissebesség**

$$\Psi = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$ ← **a közeg gerjesztése**

$$\Psi = A \cdot \sin(\omega t - kx + \varphi_0)$$ ← **haladó hullám hullámfüggvénye**

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \qquad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

periodicitások :

x = állandó → **időbeli periódikusság : T**

t = állandó → **térbeli periódikusság : $c \cdot T = \lambda$ hullámhossz**

Doppler-effektus :

pl. : vonattal (szirénázó mentőautóval,…) szemben haladva a vonatduda hangja magasabb, ha már távolodunk, akkor mélyebb

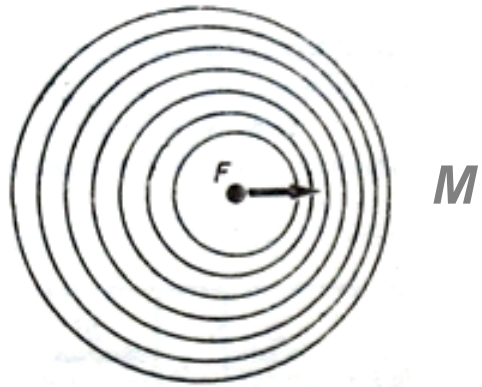
ha a hullámforrás (F) és/vagy a megfigyelő (M) mozog :

ha csak a M mozog :

$$\nu' = \nu \cdot \left(1 \pm \frac{v_m}{c}\right)$$

ha csak a F mozog :

$$\nu' = \frac{\nu}{1 \mp \frac{v_f}{c}}$$



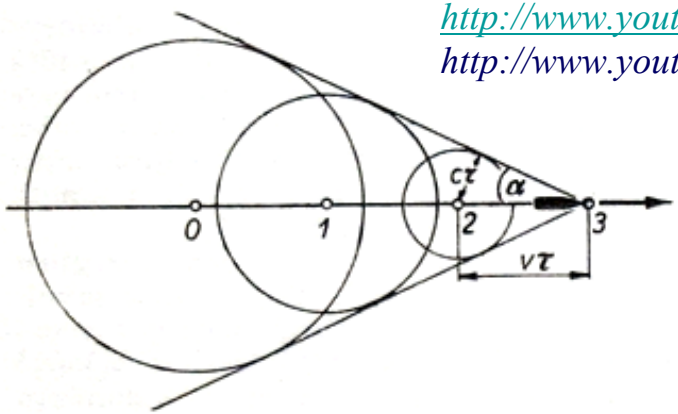
ha mindkettő mozog :

$$\nu' = \nu \cdot \frac{1 - \frac{v_m}{c}}{1 - \frac{v_f}{c}}$$

(v_f és v_m az $\overrightarrow{FM}$ irányában pozitív, ellentétes irányban negatív)

Id. még : Fizikai kísérletek (Televideo) CD, hullámok terjedése : 8′40″ - től

hangrobbanás :



http://www.youtube.com/watch?v=-d9A2oq1N38&feature=related

http://www.youtube.com/watch?v=CF7h3EwBPjc&feature=related

rugalmas hullámok kül. közegekben :

szilárd testekben, longitudinális hullámokra : $c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

transzverzális hullámokra (húrban) : $c = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$ gitár !

folyadékokban : csak longitudinális hullámok lehetnek !!! :

E helyett a K-t lehet használni: $K = \frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}}$ (kompressziómodulus)

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

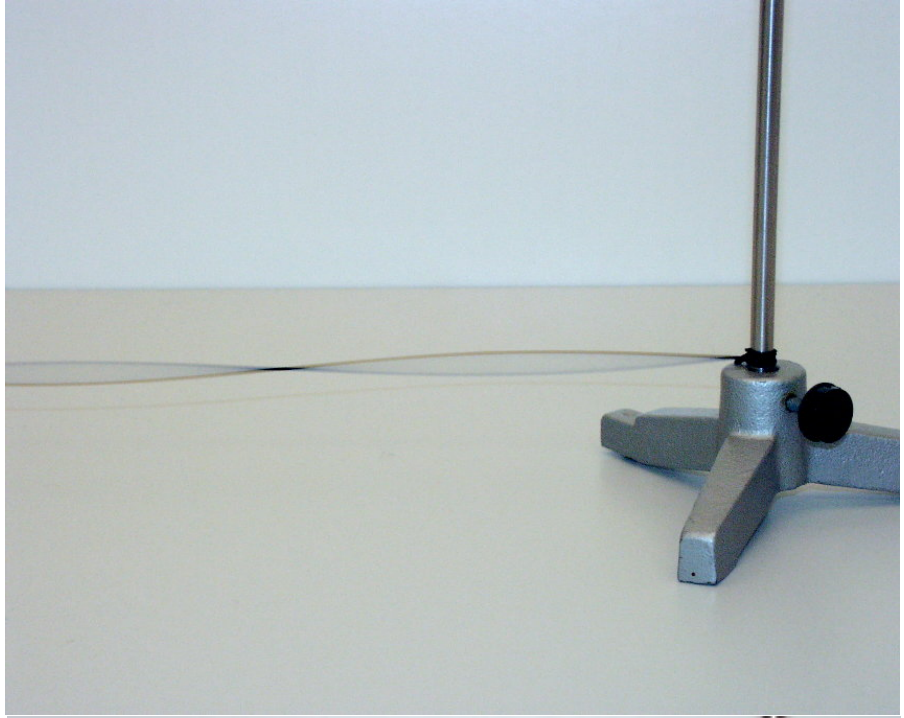
gázokban : ha T = áll. : $c = \sqrt{\frac{p}{\rho}}$ (nem teljesen jó)

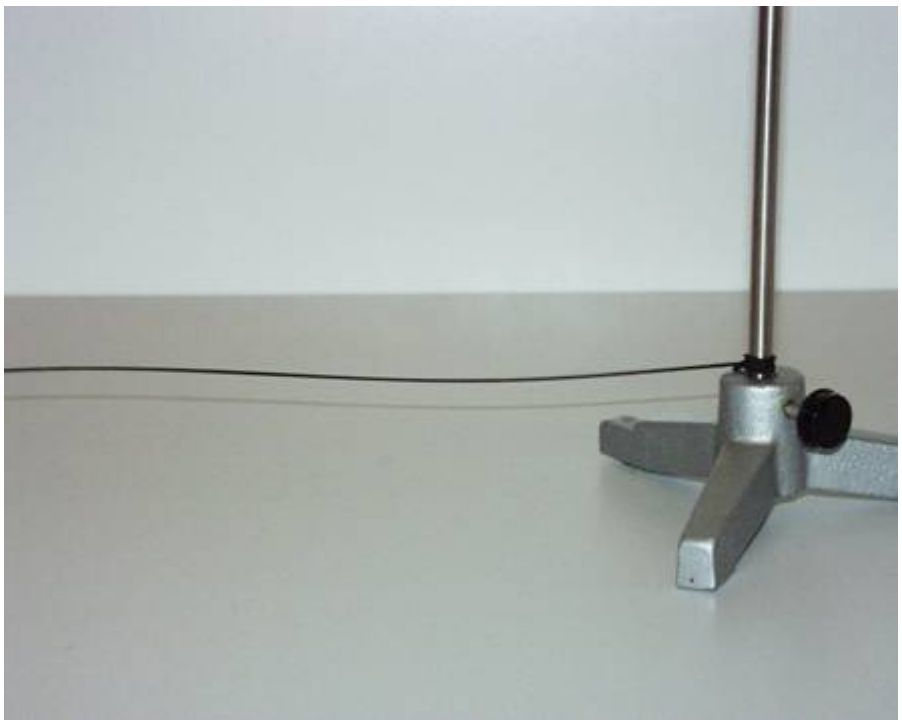
gázban is csak longitudinális hullám !!!
(foly. és gázokban nincsenek nyíróerők)

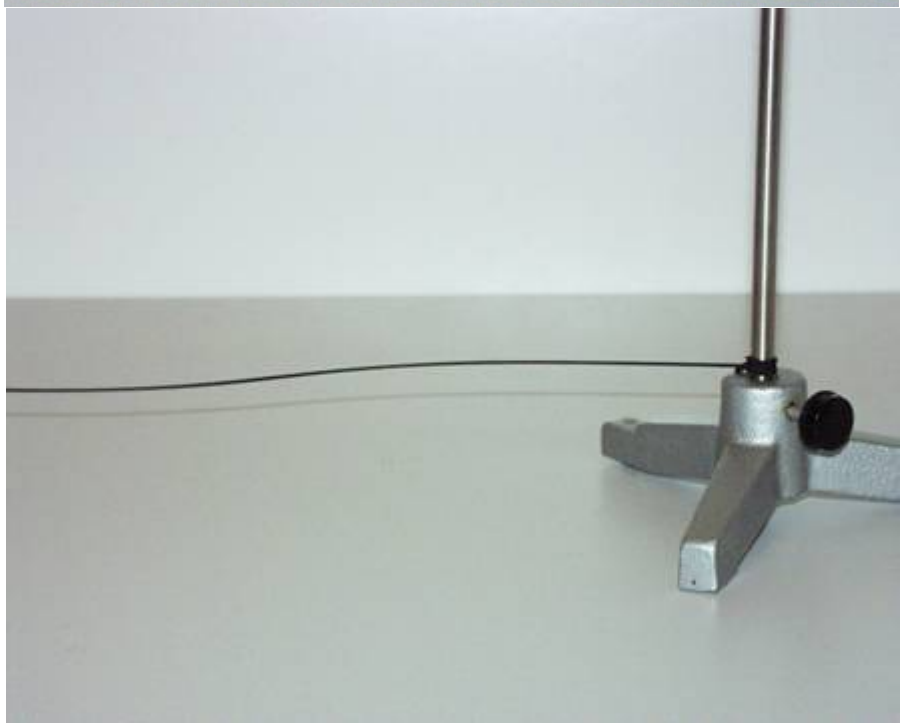
folyadékok felszíni hullámai : ha h << λ → $c = \sqrt{g \cdot h}$

(nincs rugalmas erő, a gravitáció és a kapillaritás okozza)

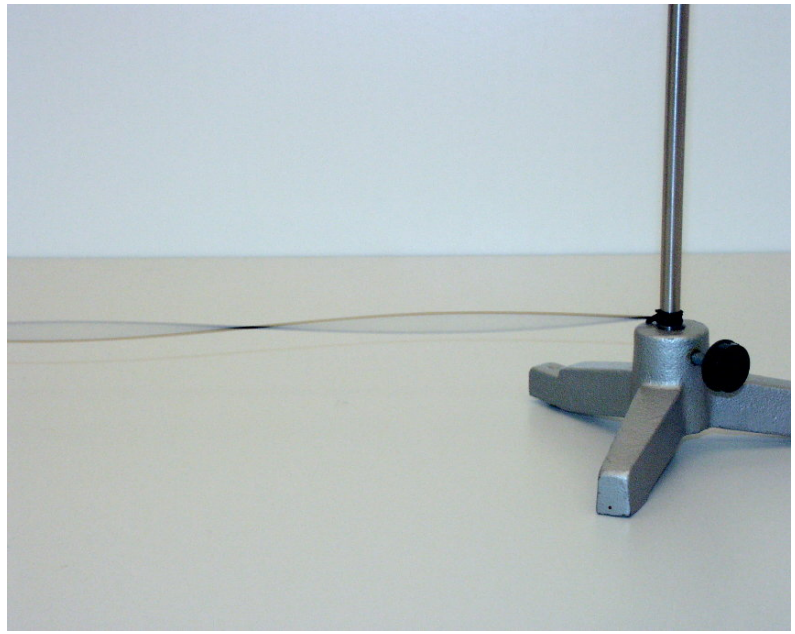
Kísérlet :





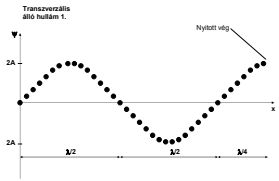


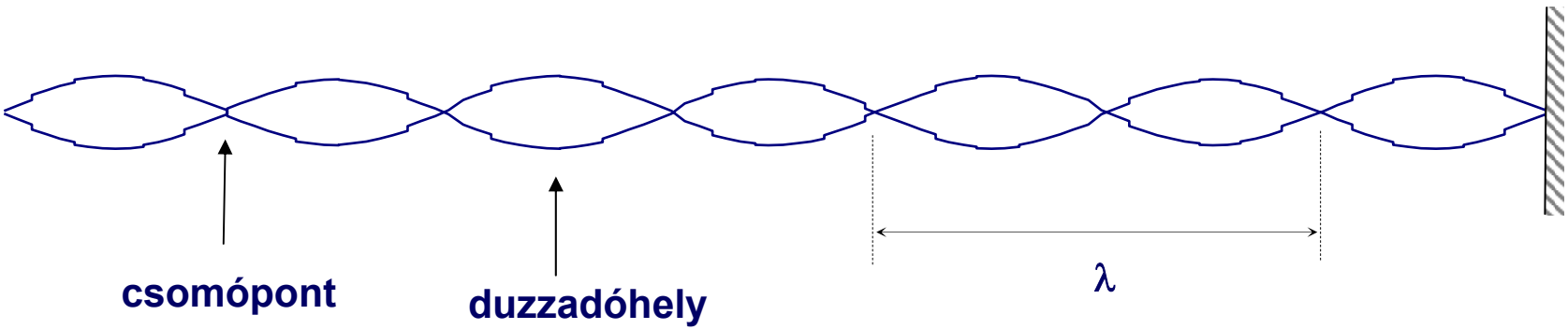
haladó és visszaverődő hullám találkozása → **állóhullám :**



pl. : 1D hullám visszaverődése a kötél végéről

állóhullámok :





visszaverődés rögzített végről : **ellentétes fázissal indul vissza**
visszaverődés szabad végről : **azonos fázissal indul vissza**

Kísérlet : Chladni-féle porábrák

lásd még : Fizikai kísérletek 3. CD: 39′12″

Kundt-cső : Fizikai kísérletek 3. CD: 35′20″

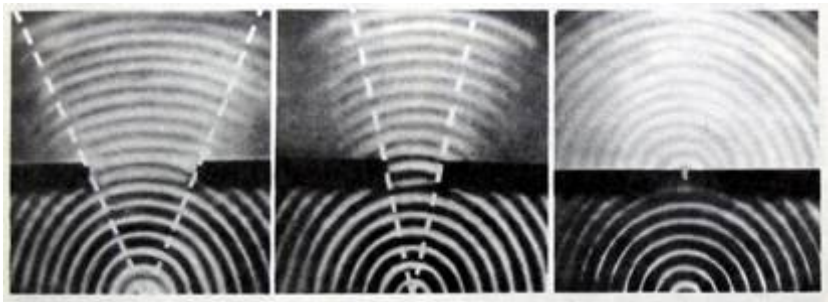
többdimenziós hullámok : **pl. víz felületén … (2D), hang (3D, pl. a robbanás)**

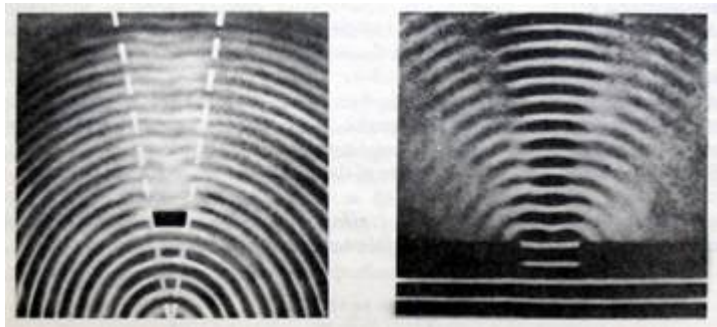
hullámjelenségek :

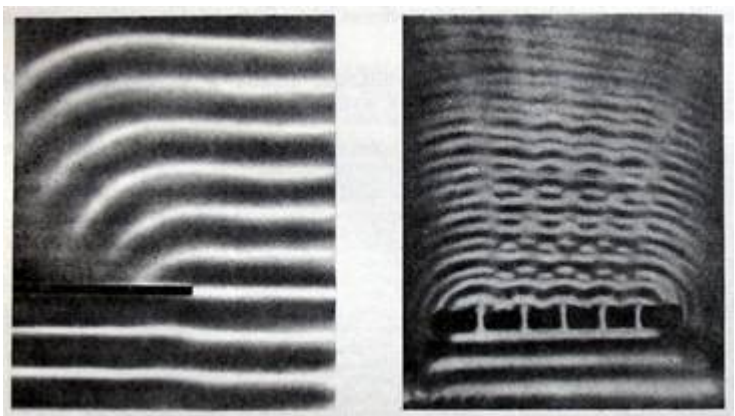
többdimenziós hullámok : **pl. víz felületén … (2D), hang (3D, pl. a robbanás)**

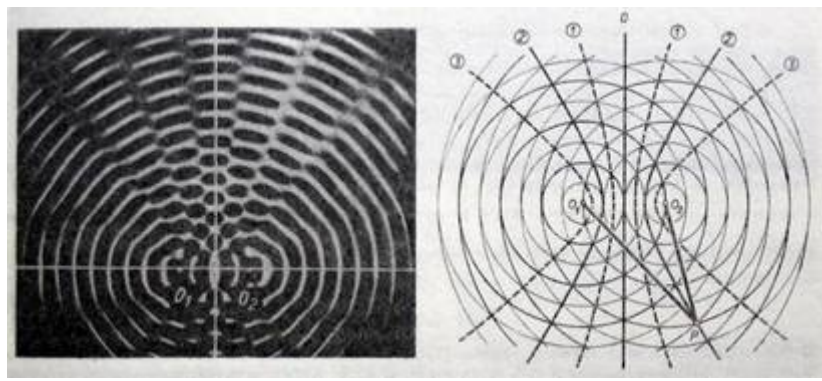
hullámjelenségek : **kísérlet :** hullámkád

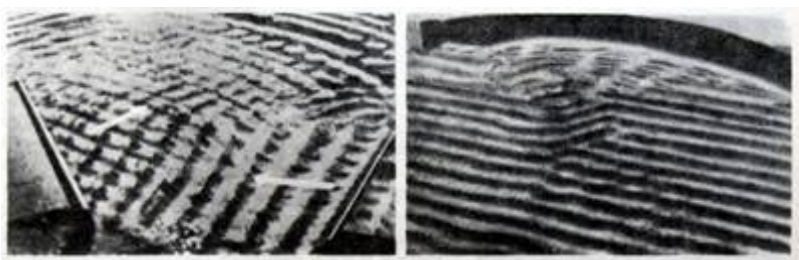
elhajlás, visszaverődés, törés, interferencia





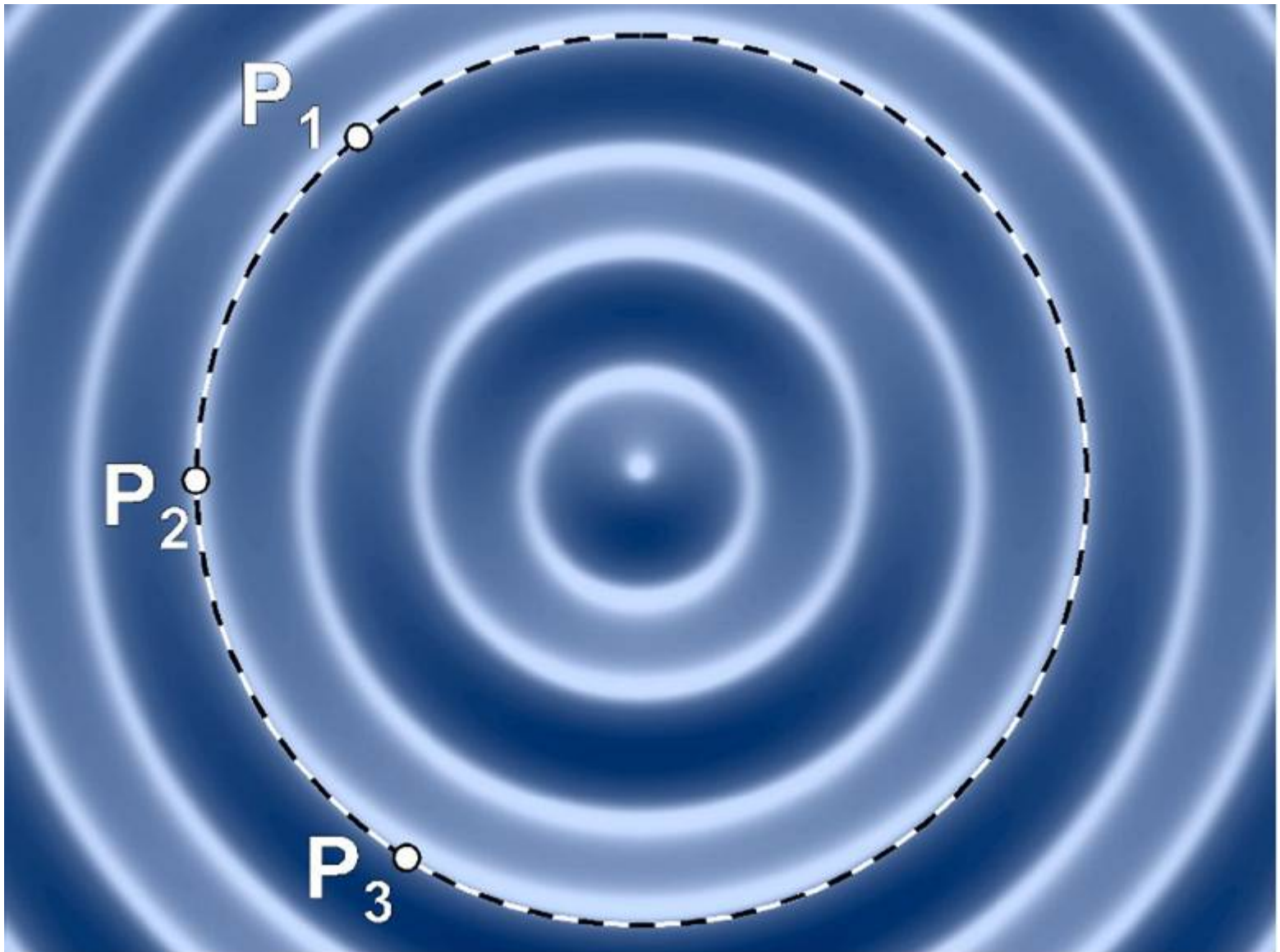


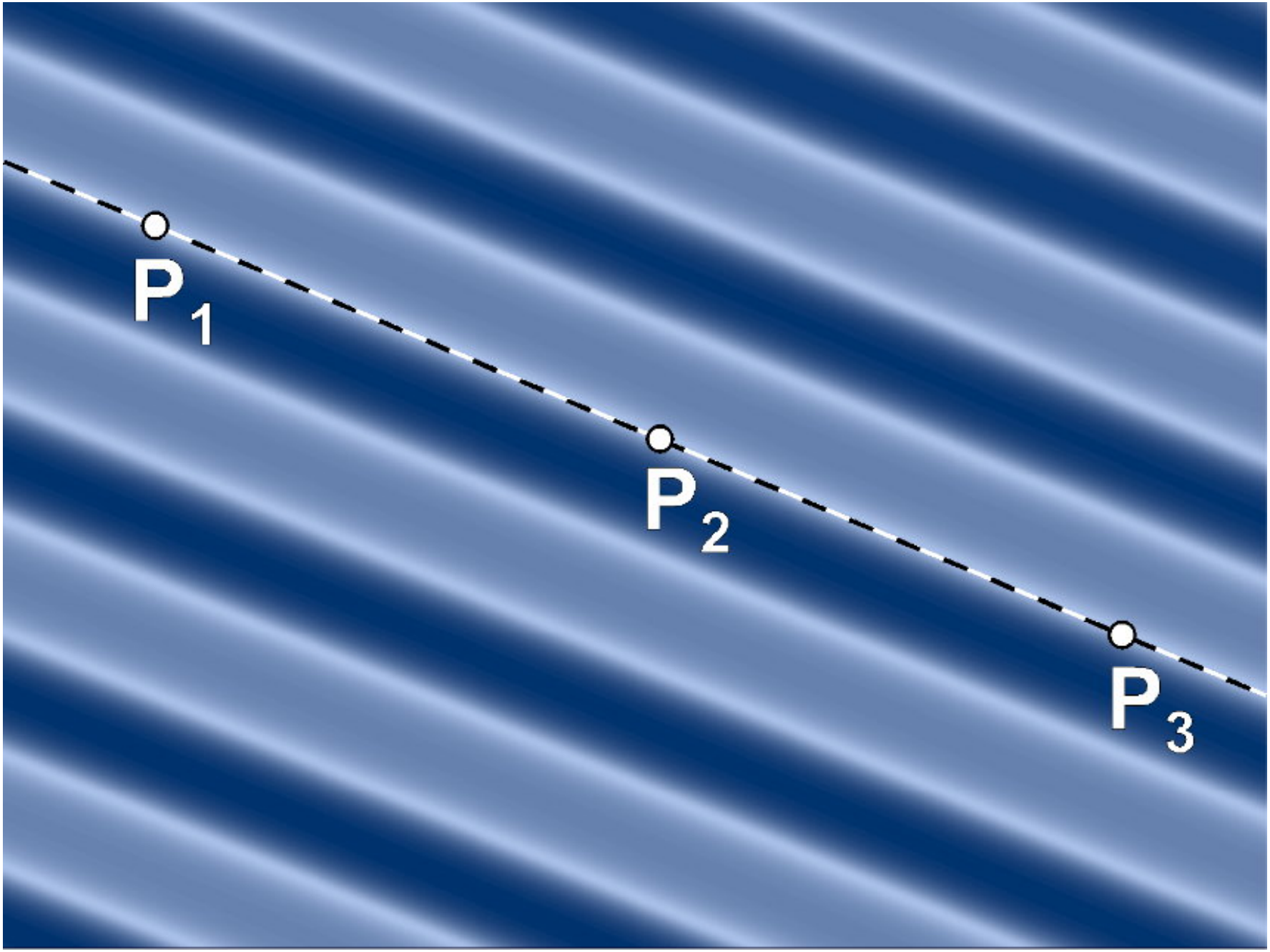


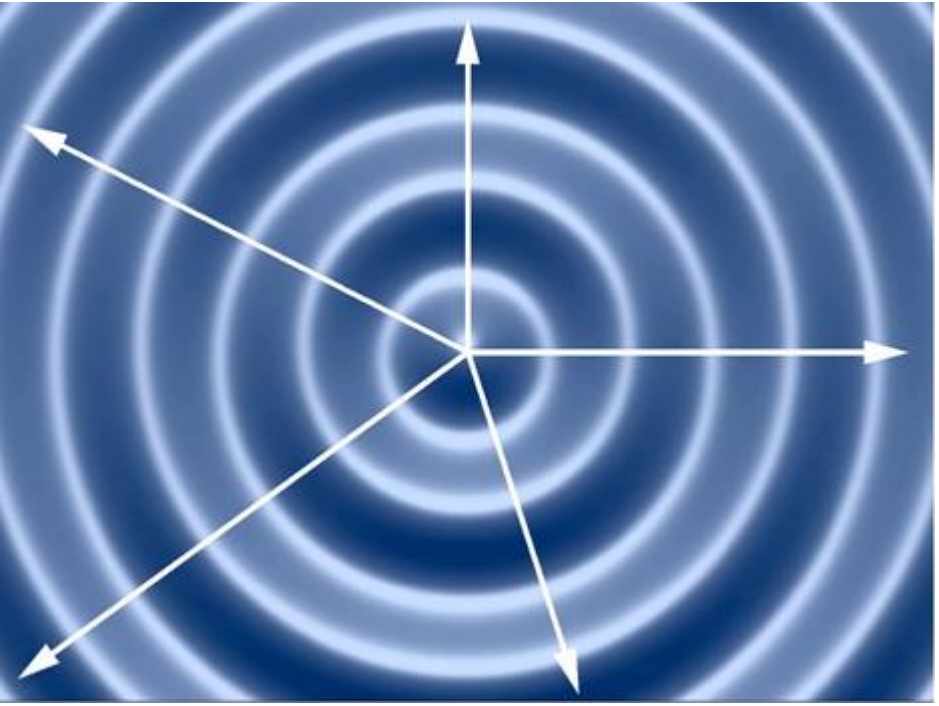


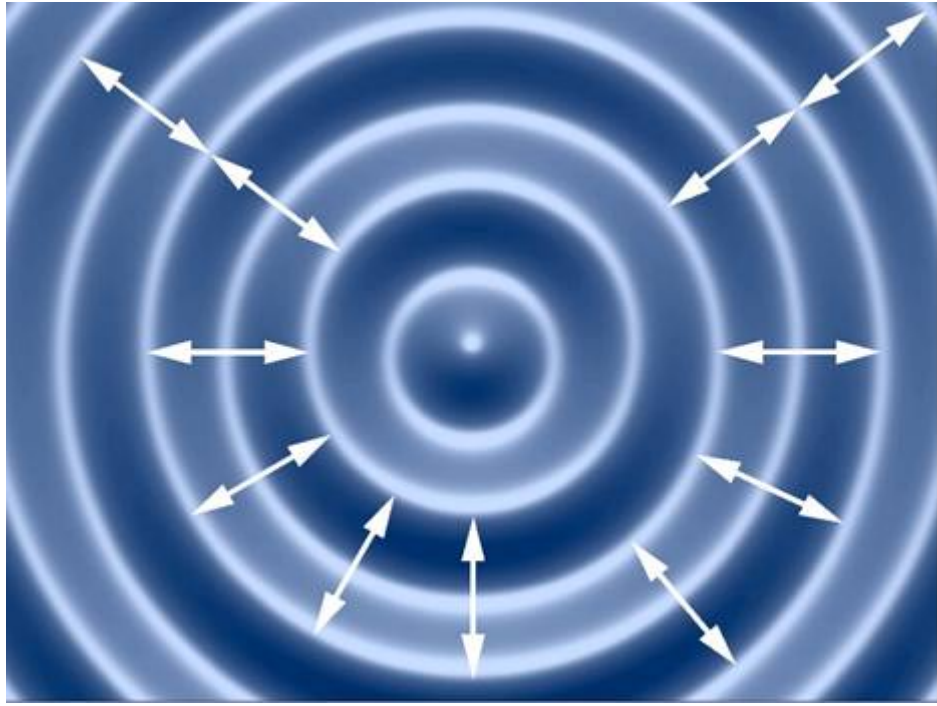
kísérlet : hullámkád

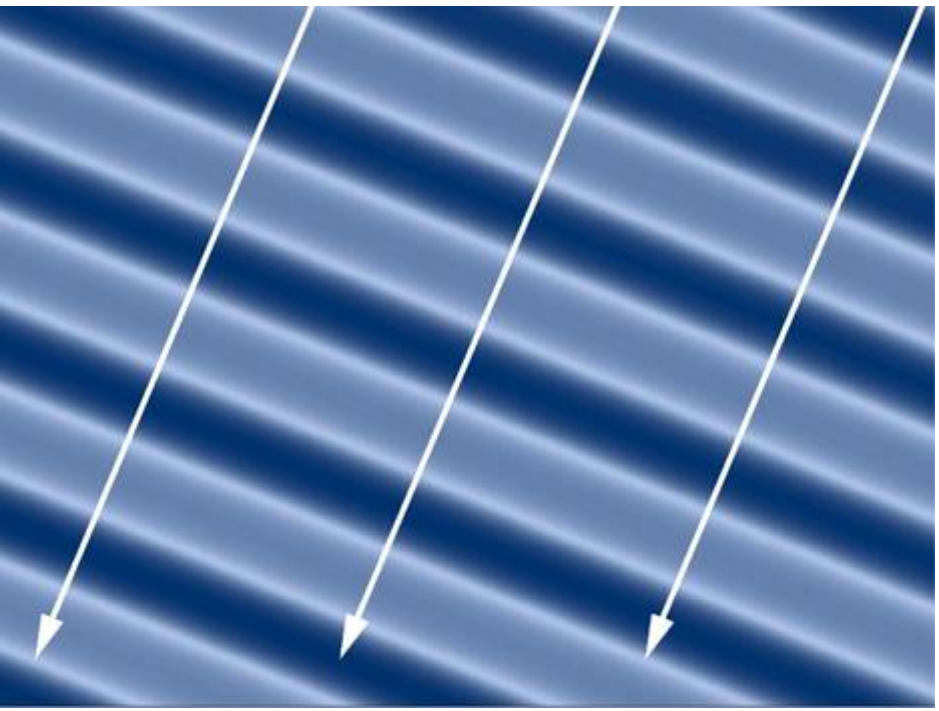
ld. még : Fizikai kísérletek (Televideo) CD, hullámok terjedése : 8′40″ - től

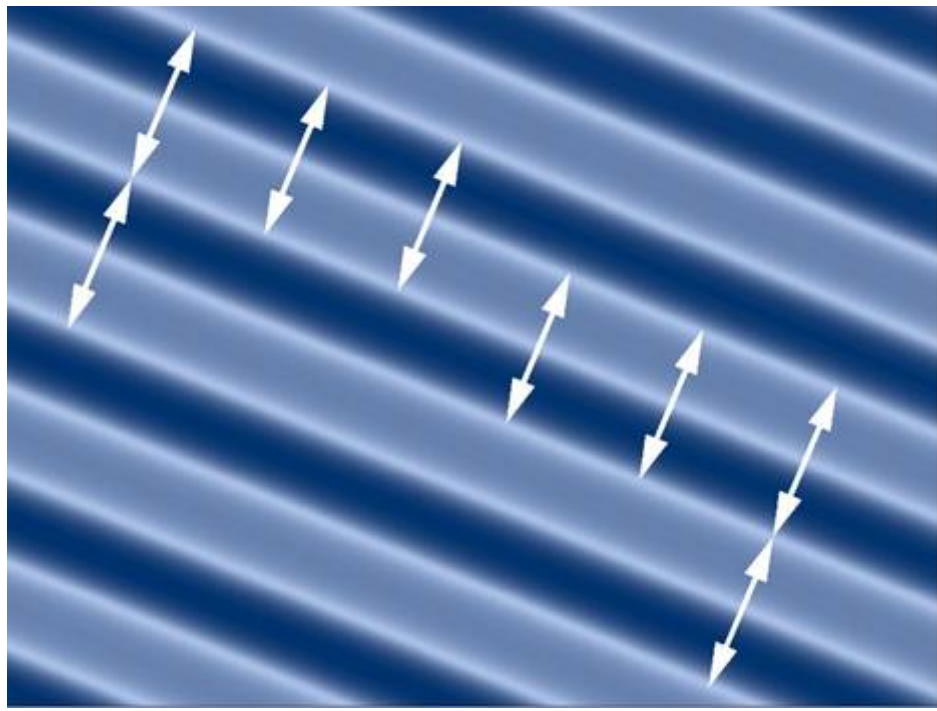


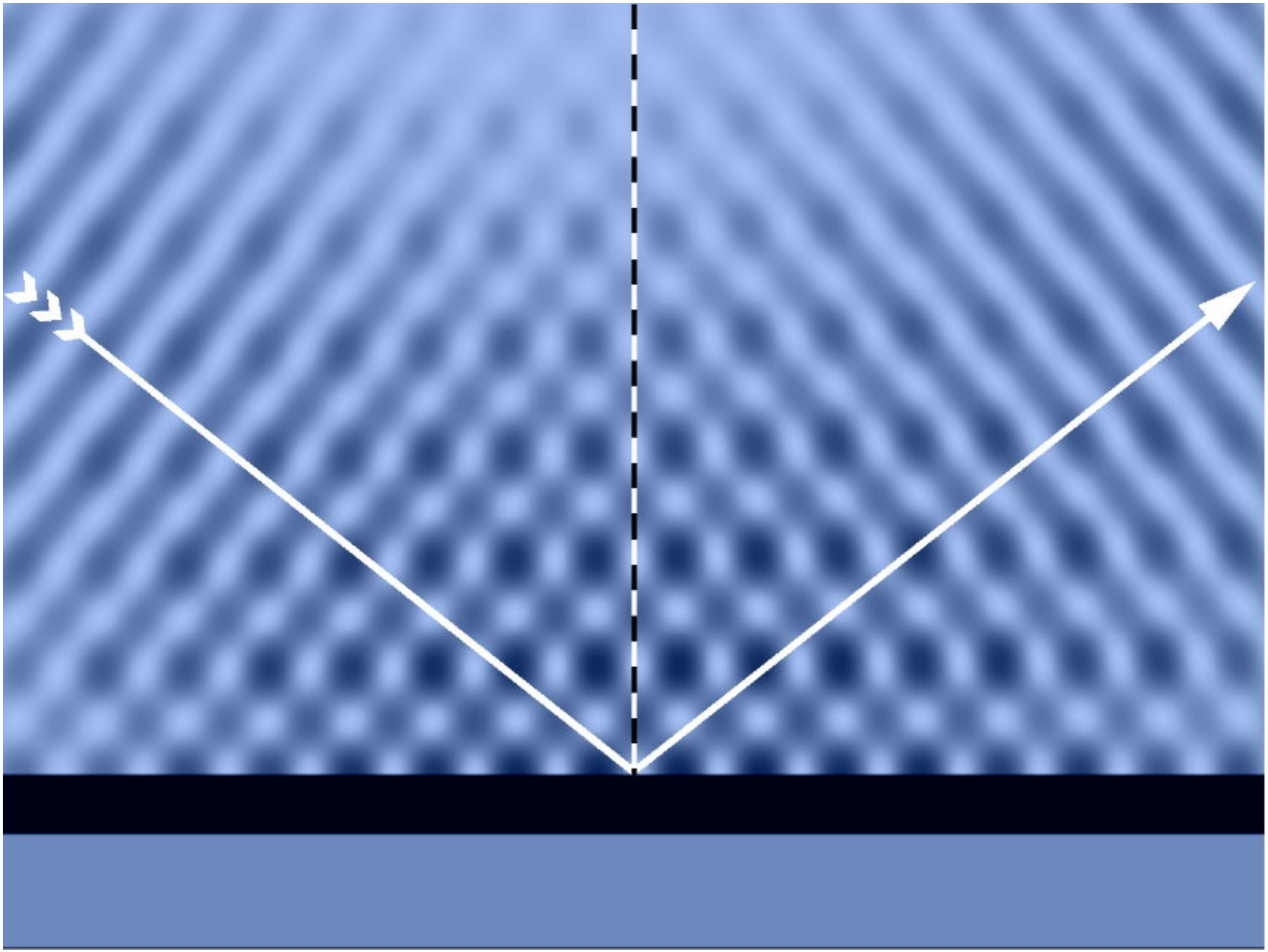

P1
P2
P3

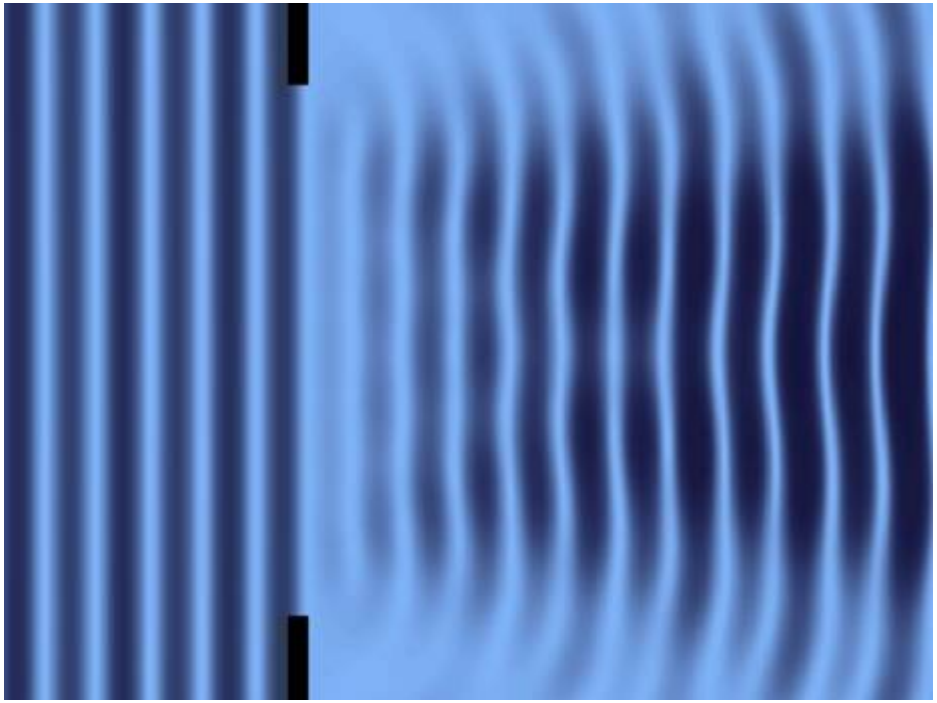


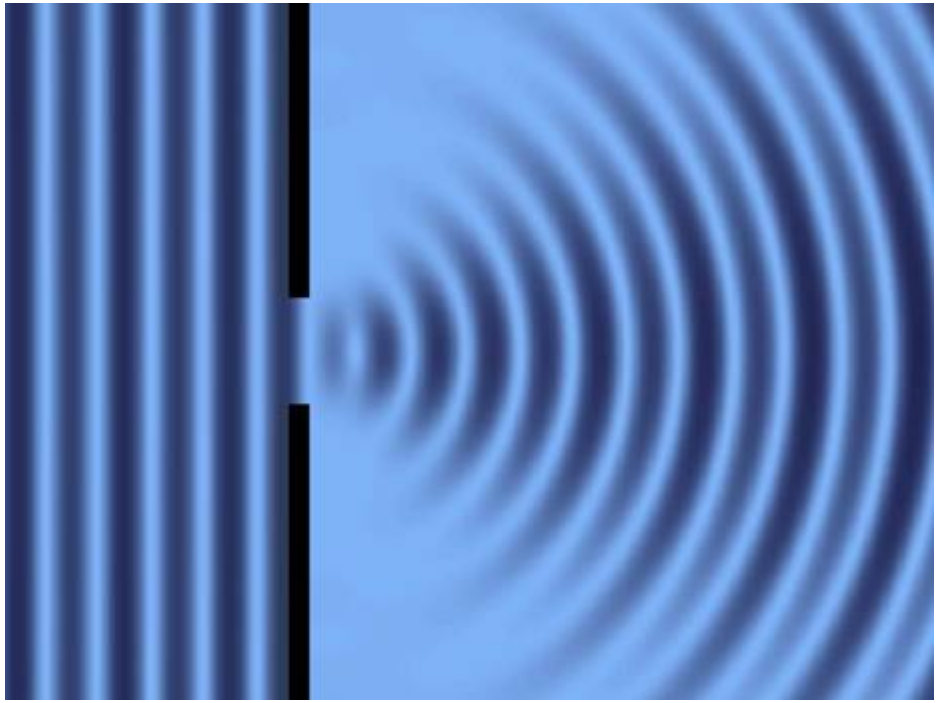


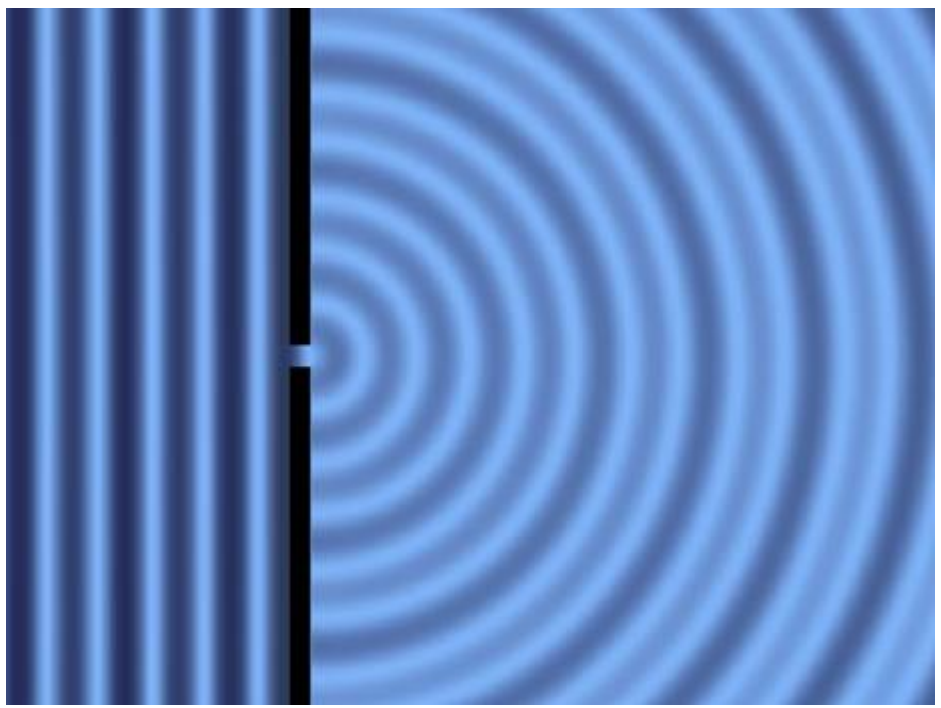


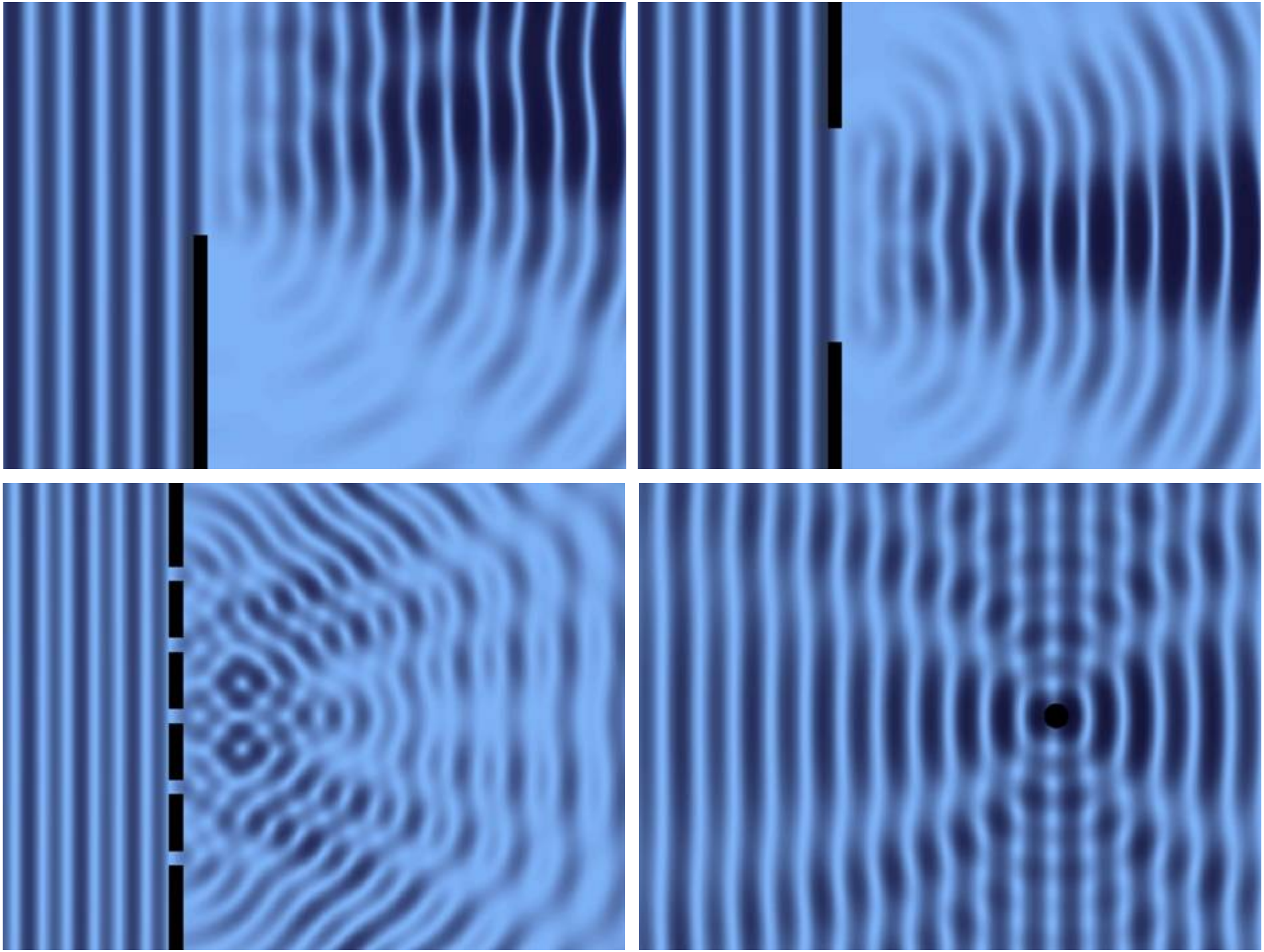


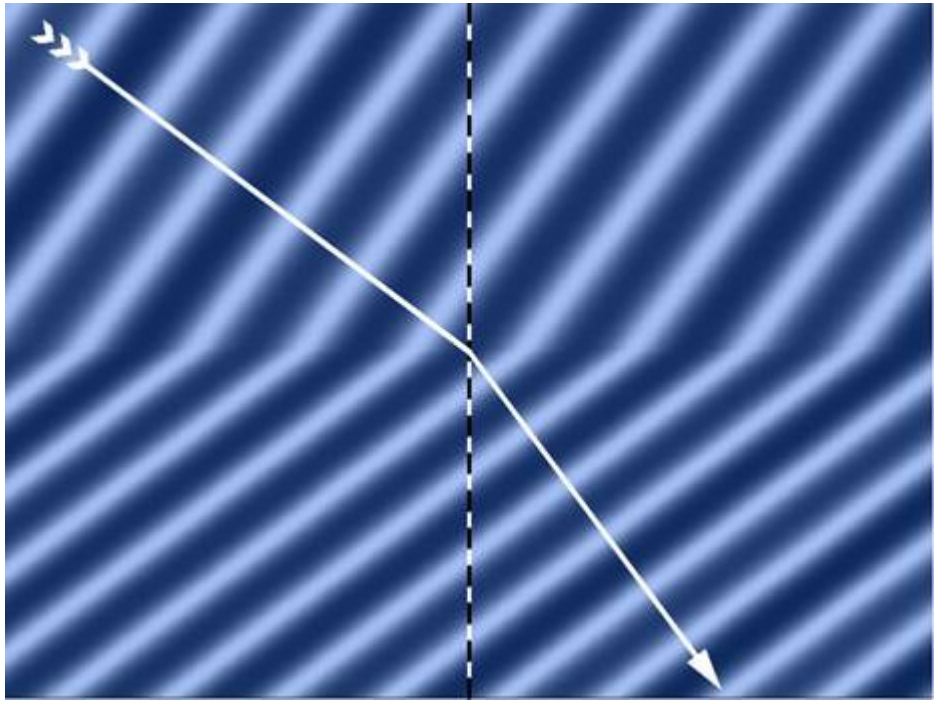


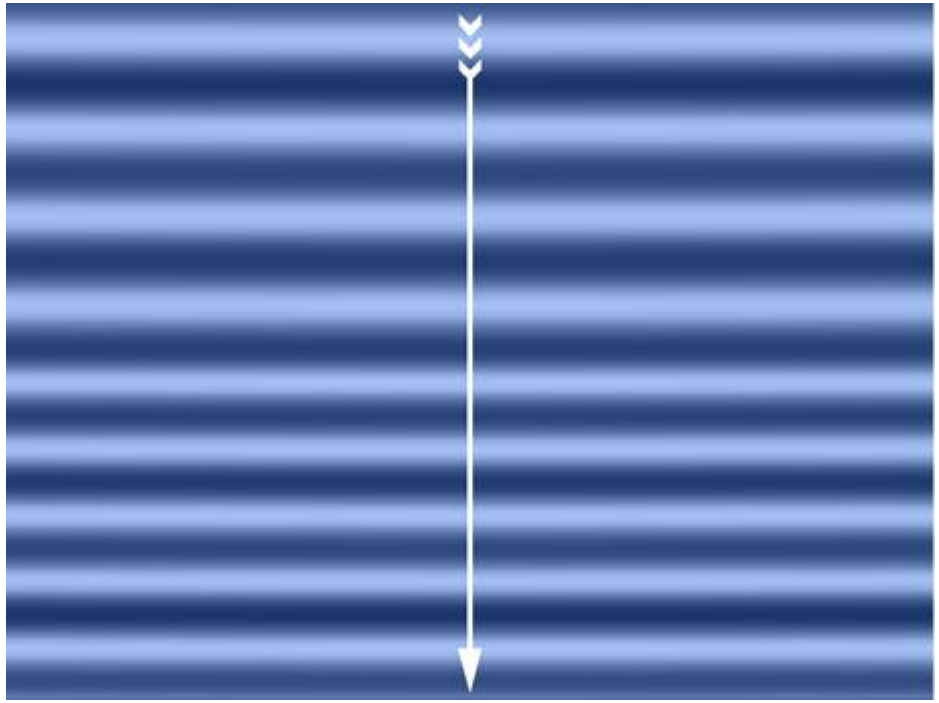




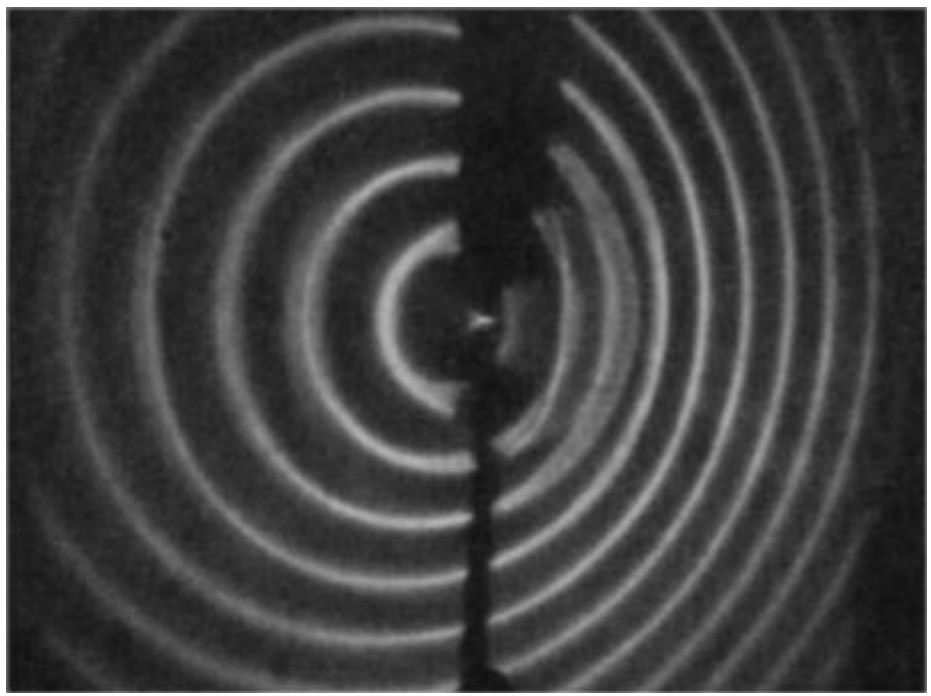








Doppler :



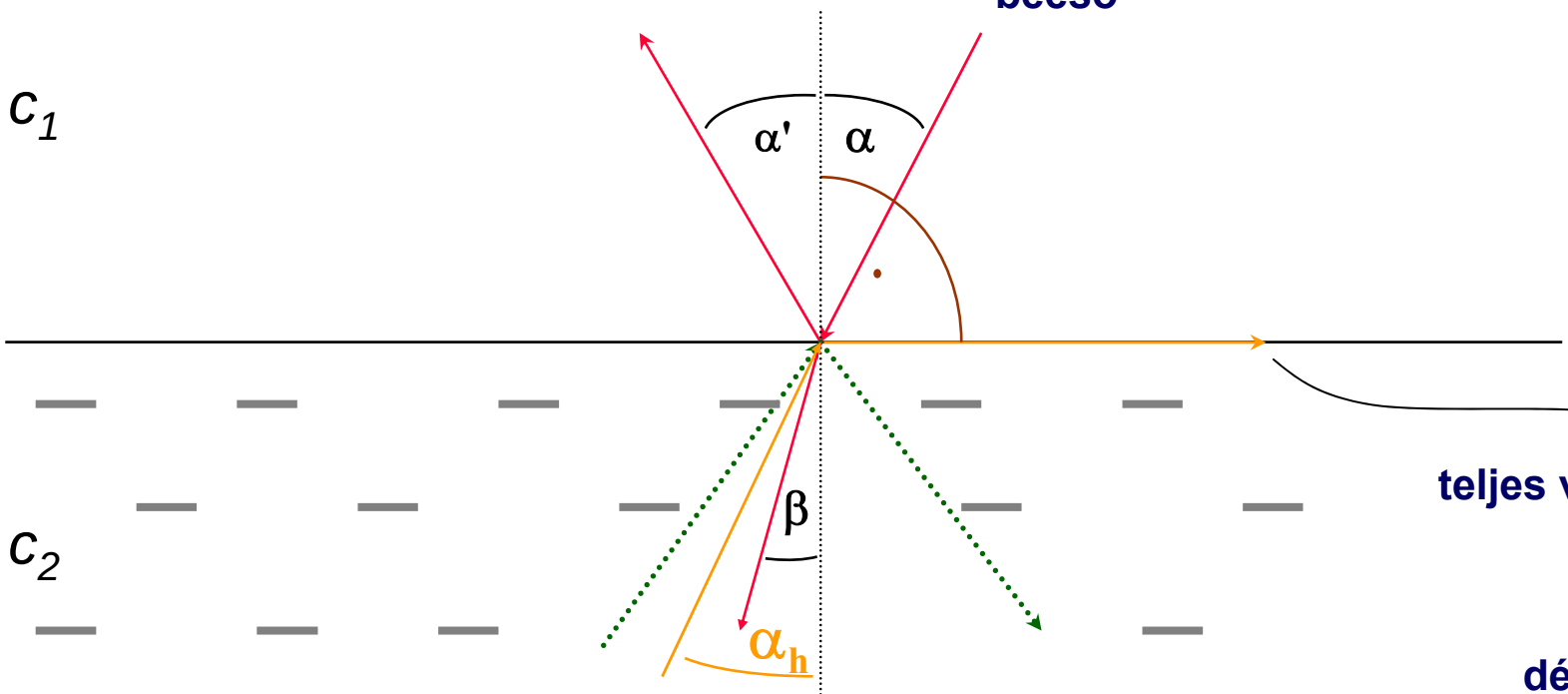
Kísérlet :

Fizikai kísérletek (Sulinet) CD :

állóhullámok
csatolt rezgések
hullámok a mélyben
lebegés bemutatása
longitudinális hullámok
rezonancia
szökőár a konyhában
transzverzális hullámok

visszaverődésre :

$$\alpha = \alpha'$$

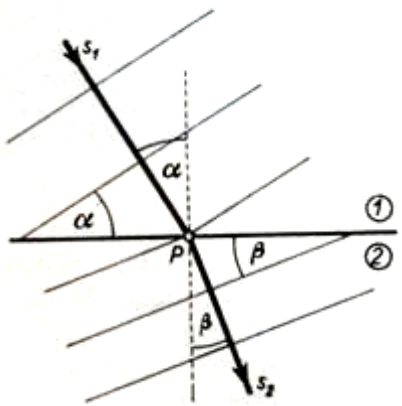


teljes visszaverődés

délibáb
„vizes úttest”
szivárvány
optikai kábel

Snellius-Descartes-törv. :
törésmutató

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{c_1}{c_2} = n_{21}$$



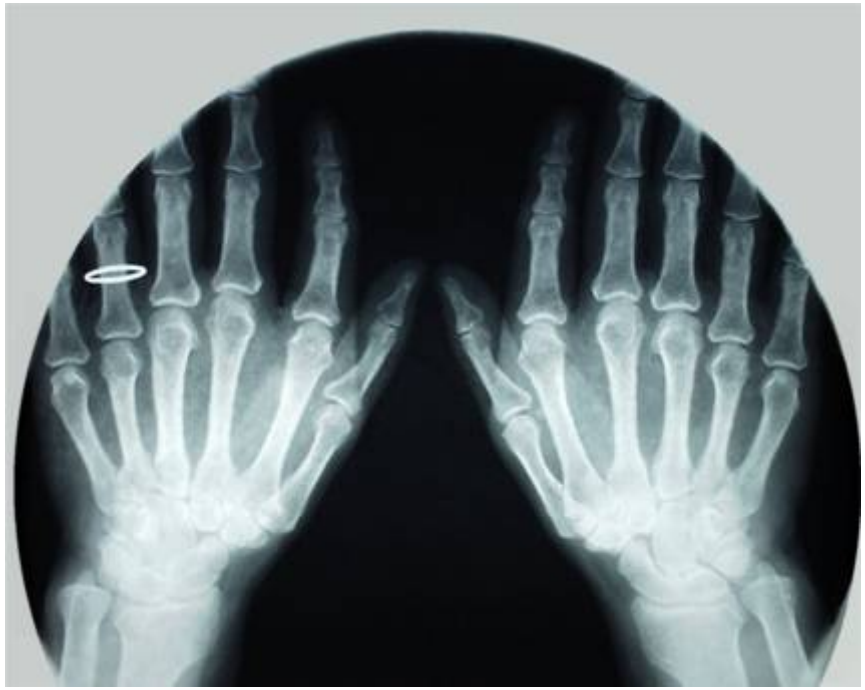
többdimenziós hullámok :

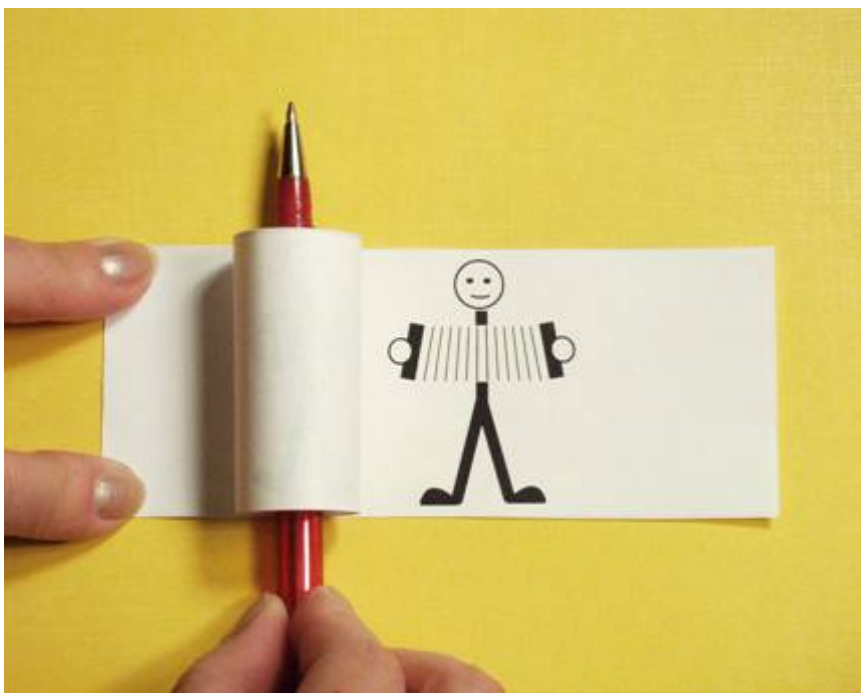
pl. víz felületén … (2D), hang (3D, pl. a robbanás)

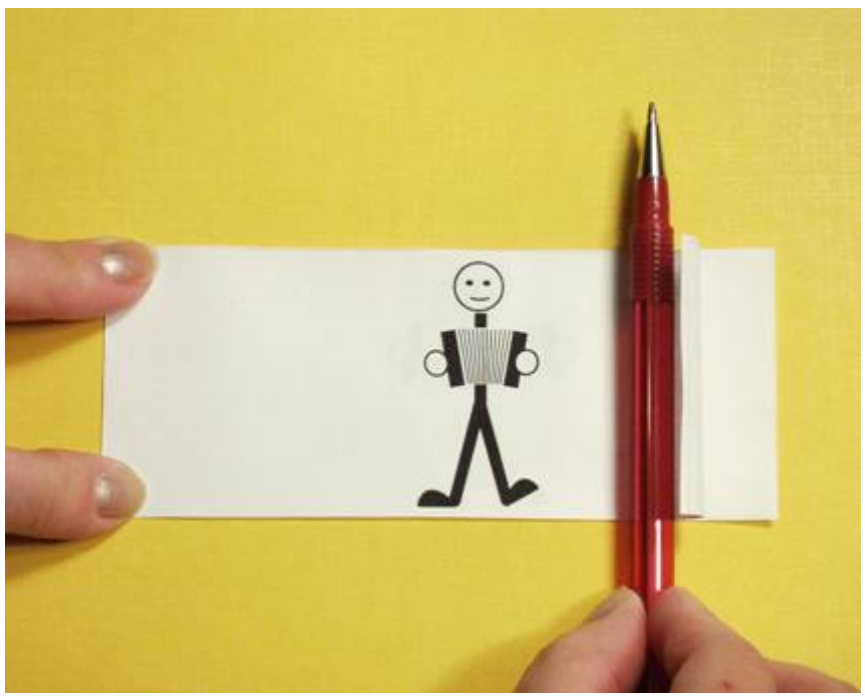
elhajlás
visszaverődés **Snellius-Descartes-törv.**
törés **törésmutató**
interferencia

Huygens-elv
Huygens-Fresnel-elv

pl. : alkalmazások :







hangtan : 3D hullámjelenség

rezgés → közvetítő közeg → fül
(rugalmas hullám)

Kísérlet : közvetítő közeg = levegő → ha kiszivattyúzzuk, nem hallatszik :

vákuum-
szivattyú

hallható tartomány,
20 – 16000 Hz

infrahang,
20 Hz alatt

ultrahang
16kHz fölött

↓

épületek ledöntése : rezonancia

energiaterjedés hullámokban :

$$\Delta E = \frac{1}{2}\Delta m \cdot v^2 + \frac{1}{2} D \cdot y^2$$

hangtan :

rezgés → közvetítő közeg → fül
(rugalmas hullám)

hallható tartomány, 20 – 16000 Hz

infrahang, 20 Hz alatt

ultrahang 16kHz fölött

épületek ledöntése : rezonancia

hangforrások :

szirénák
húros hangszerek (mint a megfeszített drót rezgései, állóhullámok)
sípok (nyitott, vagy zárt végű)

hangmagasság : az alaprezg. frekv.-tól függ : nagyobb rezg.szám → magasabb hang (Galilei)

két hang viszonylagos magassága = hangköz = f_1/f_2

2:1 arányú hangköz = oktáv

20-16000 Hz → 10 oktáv (beszéd ≈ 1 oktáv, zene ≈ 7 oktáv)

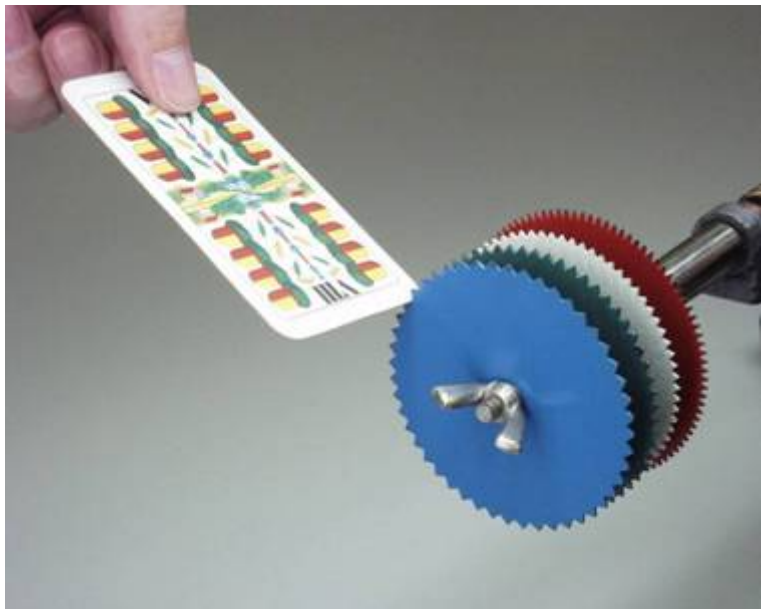
hangszín :

alaphang + a felharmonikusok frekvenciája és erősségétől függ

hangforrások : szirénák
húros hangszerek (mint a megfeszített drót rezgései, állóhullámok)
sípok (nyitott, vagy zárt végű)

Kísérlet :

hangkeltés kártyával : ⟶



vagy szirénával

hangmagasság : az alaprezg. frekv.-tól függ : nagyobb rezg.szám → magasabb hang (Galilei)

két hang viszonylagos magassága = hangköz = f_1/f_2

2:1 arányú hangköz = **oktáv**

20-16000 Hz → 10 oktáv (beszéd ≈ 1 oktáv, zene ≈ 7 oktáv)

hangszín : alaphang + a felharmonikusok frekvenciája és erősségétől függ

hanglebegés : $x_1 = A_1 \cdot \sin\omega_1 t$

$x_2 = A_2 \cdot \sin(\omega_2 t + \varphi)$

és $\omega_1 \neq \omega_2$

$$x = A(t) \cdot \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \cdot t + \frac{\varphi}{2}\right)$$

az ampl. változik az időben !!! :

ez a **lebegés**

kísérlet : lebegés

lebegés frekv.-ja: $f = f_1 - f_2$

a hang terjedése :

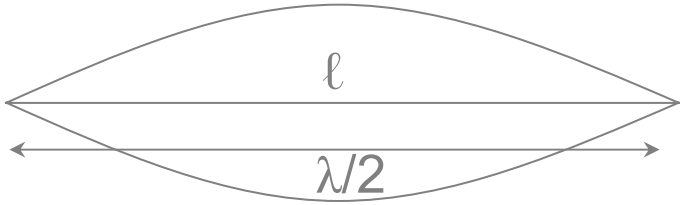
a terj. seb. függ a közegtől, hőm.-től, nyomástól,…

visszaverődés : visszhang, távolságmérés (pl. tengermélység, ultrahang denevér,…);
szócső, sztetoszkóp,…;

törés, elhajlás : a hang nagy táv.-ra is elhallatszik a földön : a kül. hőm.-ű levegőrétegekről visszaverődik;
pl. egy épületben mindenhol hallani a beszédet

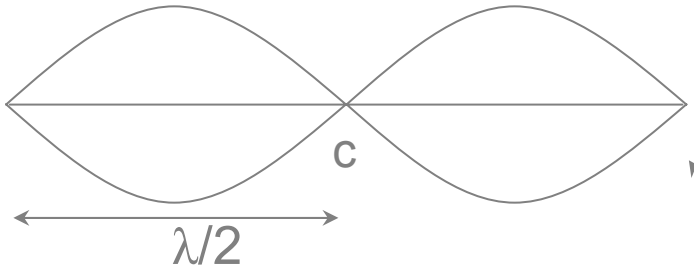
húrok rezgései :

alaphang :

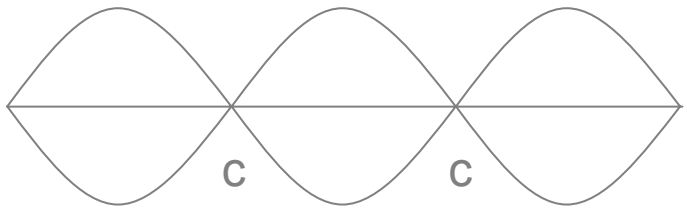


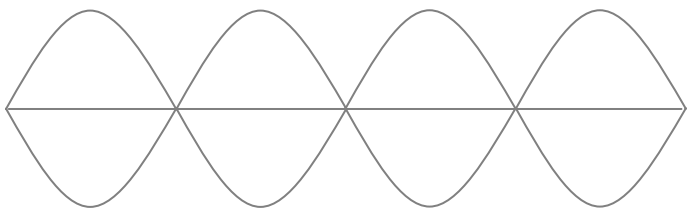
$$\ell = \frac{\lambda}{2}$$

felhangok :



$$\ell = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$$





$$\ell = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = n \cdot \frac{c}{2\ell}$$

pl. : hegedű, ld. korábban nagyobb ábrán

Kísérlet:

monokord :

ha a feszítőerőt 4x-re növeljük
ha a húr hosszát felére csökk. } → **az eredeti hang oktávját kapjuk**

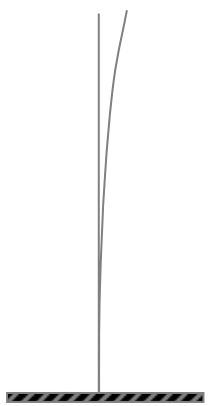
$$\nu_1 = \frac{1}{2\ell}\sqrt{\frac{F}{\rho \cdot q}}$$

a húr alaphangja

$$\nu_n = \frac{n}{2\ell}\sqrt{\frac{F}{\rho \cdot q}} = n \cdot \nu_1$$

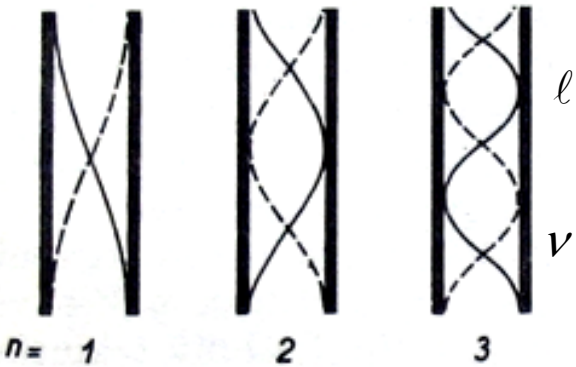
a felhangok (az alaphang harmonikusai)

pálcák rezgései :



→ **hangvilla**
doromb

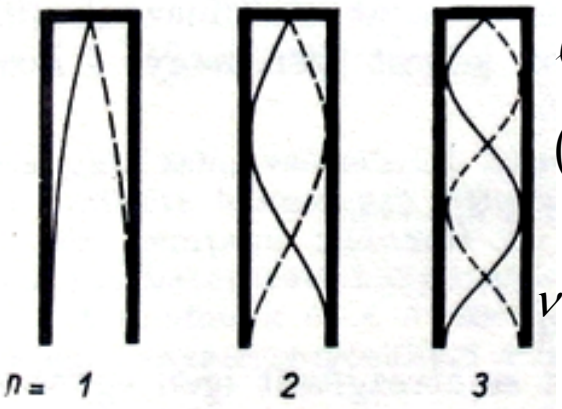
levegőoszlopok rezgései = sípok :



$$\ell = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\downarrow$$

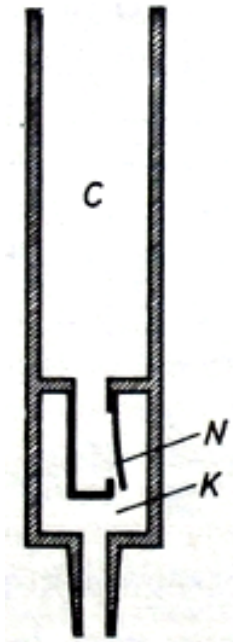
$$\nu = \frac{c}{\lambda} = n \cdot \frac{c}{2\ell}$$



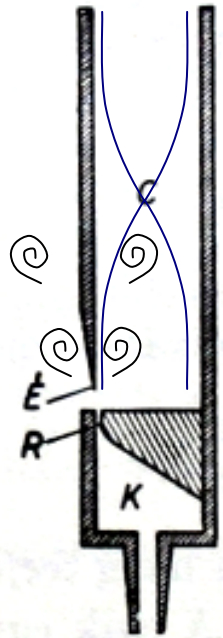
$$\ell = (2n-1) \cdot \frac{\lambda}{4}$$

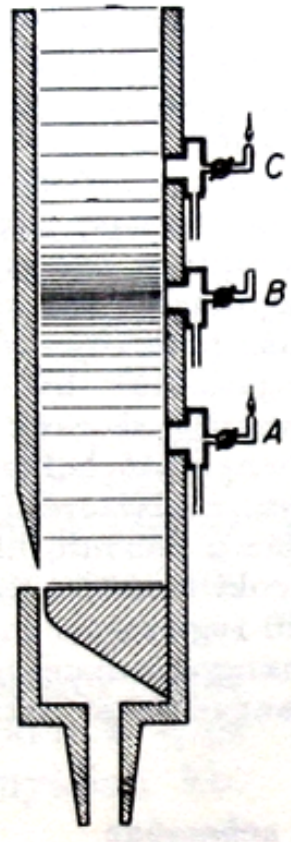
$$\downarrow$$

$$\nu = (2n-1) \cdot \frac{c}{4\ell}$$



nyelvsíp





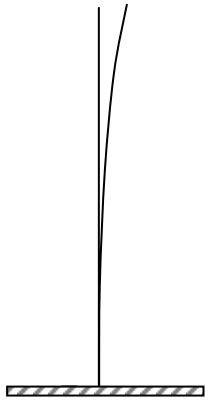
ajaksíp

Kísérlet: sípok, furulya, stb…; sörösüveg;
hártyák (pl. dob), lemezek rezgései (Chladni-féle ábrák – ld. korábban)

trombita :

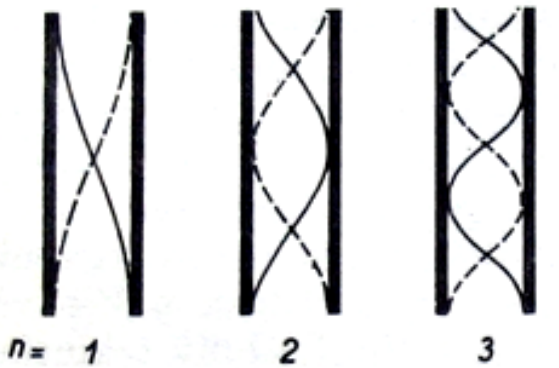
maestro music1.wmv

pálcák rezgései :

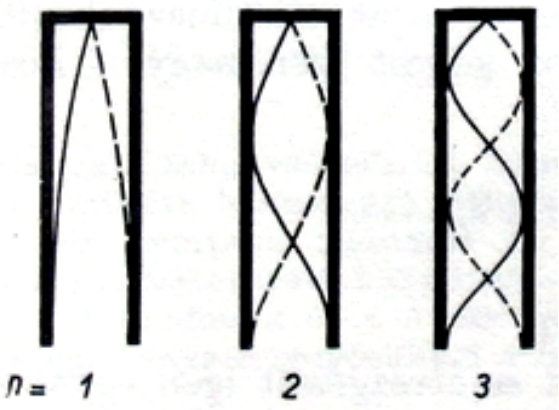


→ hangvilla

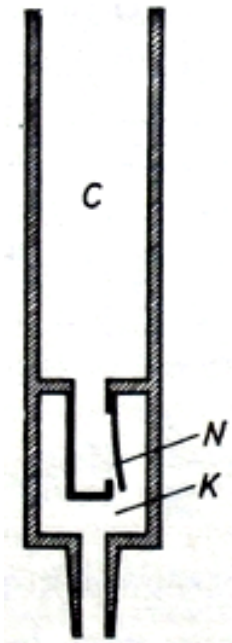
levegőoszlopok rezgései = sípok :



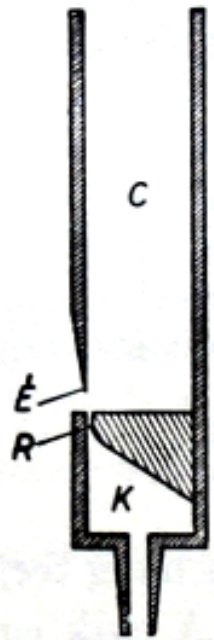
$$\ell = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$



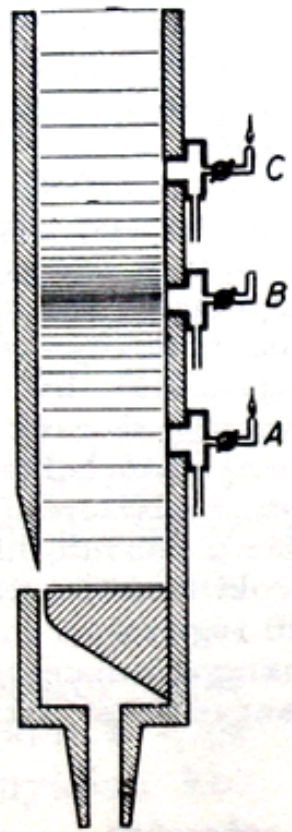
$$\ell = (2n-1) \cdot \frac{\lambda}{4}$$

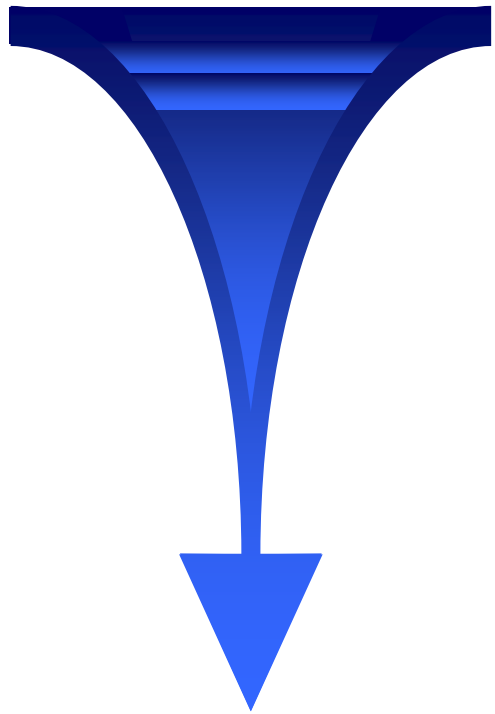


nyelvsíp



ajaksíp





FÉNYTAN (geometriai optika) :

fény → fényérzet (fiziológia, pszichológia)
fény → fénysugárzás, terjedés (fizika)

i.e. 300 (Euklidesz) : fénysugár
egyenes vonalú terjedés
visszaverődés törv.
tükrök, lencsék képalkotása

1500-1600- : mikroszkóp, távcső
Galilei, Kepler,… megfigyelései
Snellius, Descartes : fénytörés
(korpuszkuláris elképzelés)
Fermat : legrövidebb fényút elve

1650- : fényelhajlás, diszperzió, színkép
Grimaldi, Newton,…
kettőstörés, fény sebességének mérése csillagászati úton

1800-: fényinterferencia (Young, Fresnel), fény hullámhosszának meghatározása, visszaverődésnél létrejövő polarizáció

1849 : fény sebességének mérése földi körülmények között (Fizeau)

↓

fény természetének megismerése, optikai eszközök

a fény természete : Newton : részecske-természet
Huygens : hullám természet

ma : transzverzális hullám, vákuumban is terjed

Maxwell elektromágneses fényelmélete óta,
Hertz igazolta

fénytan → geometriai optika
fénytan → fizikai fénytan

a fény részecskeként is viselkedik : fotoeffektus

→ a fény kvantumelmélete (foton)

geometriai optika :

fényforrás, fénynyaláb, fénysugár, fotometriai mennyiségek, fény terjedése, visszaverődés, törés, stb…

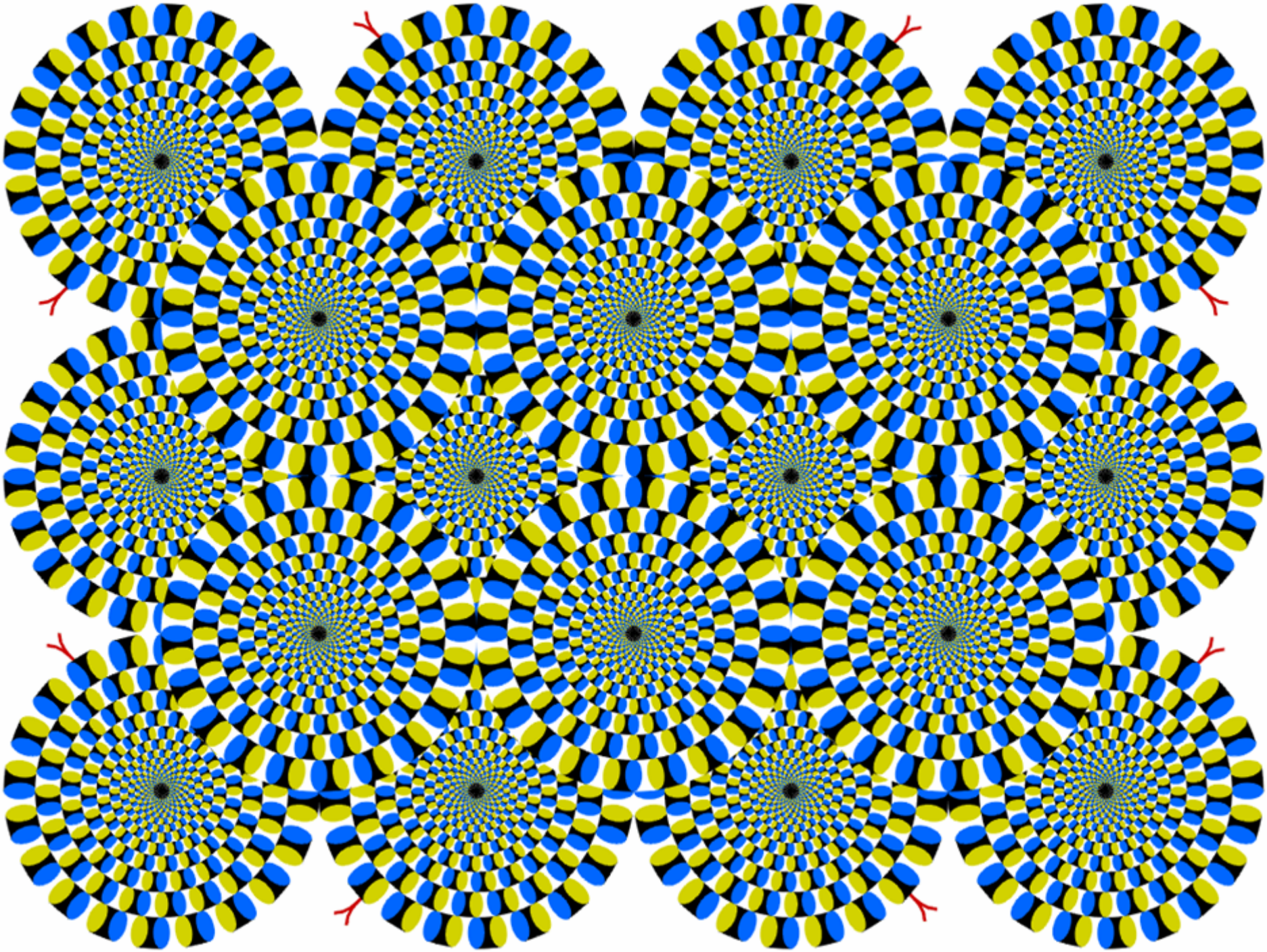
elsődleges fényforrások : Nap, lámpa, gyertya, stb…
másodlagos fényforrások : Hold, tükör, stb…

fénynyaláb, fénysugár : pl. résen át beszűrődő fény látszik a dohányfüstben, ködben,…
lehet párhuzamos, vagy kúp
fénysugár ≈ nagyon keskeny nyaláb (vonal)

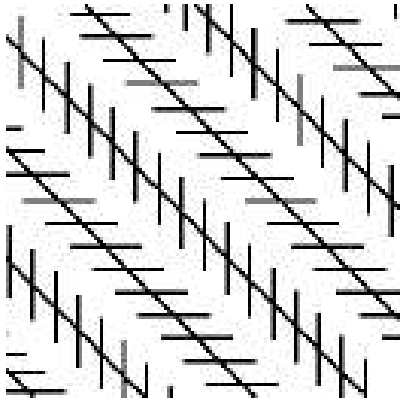
a fény sugárzása : energia terjed a fényforrástól, adott térszögben (szteradián)
fényerősség [cd], megvilágítás [cd/m^2]

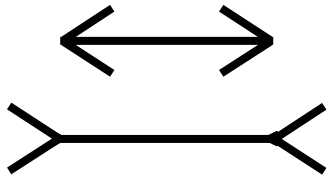
ideális fénysugár (párhuzamos, nulla vastagságú)
nincs

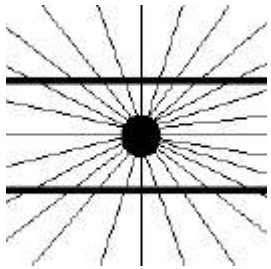
tapasztalat : a fény egyenes vonalban terjed
→ optikai csalódások…
pszichológia, fiziológia is számít

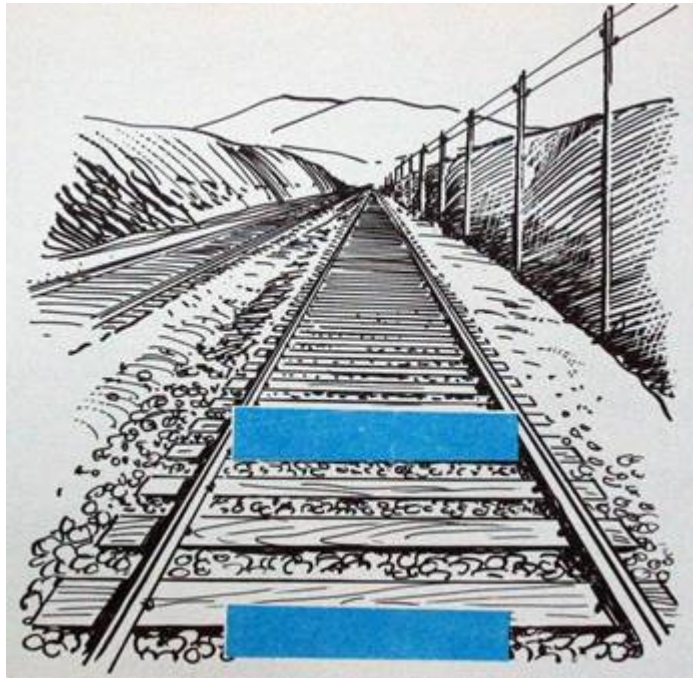


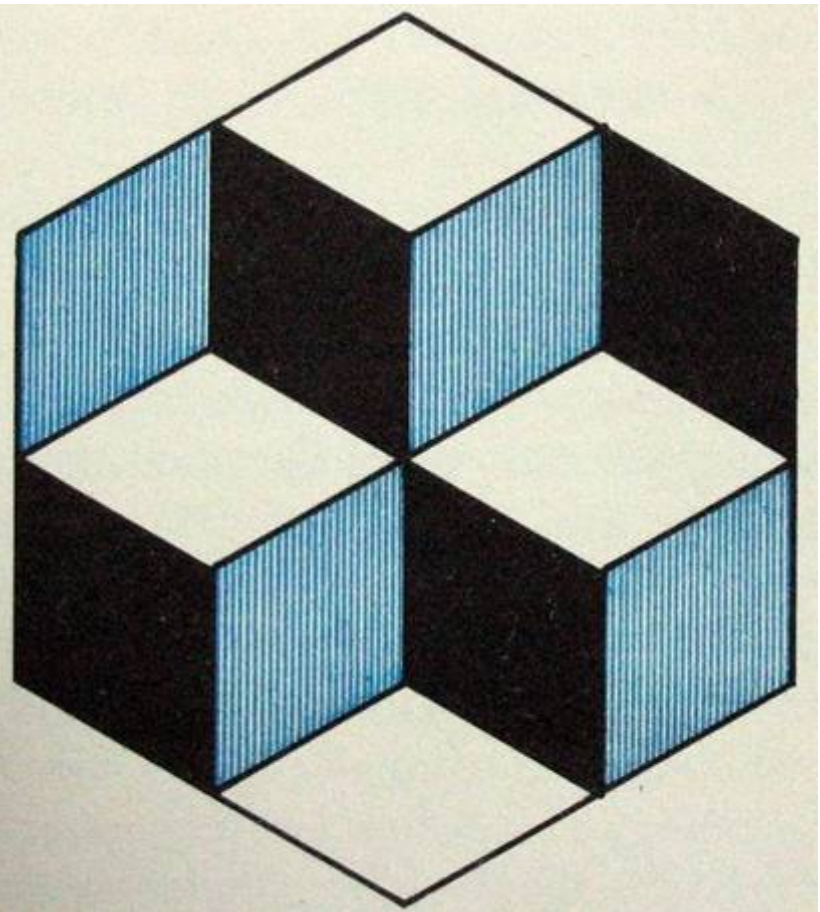
egy 2D képet nézve a szem a megszokásnak megfelelően próbálja értelmezni a képet, tehát pl a topográfiát is, de optikai csalódás:

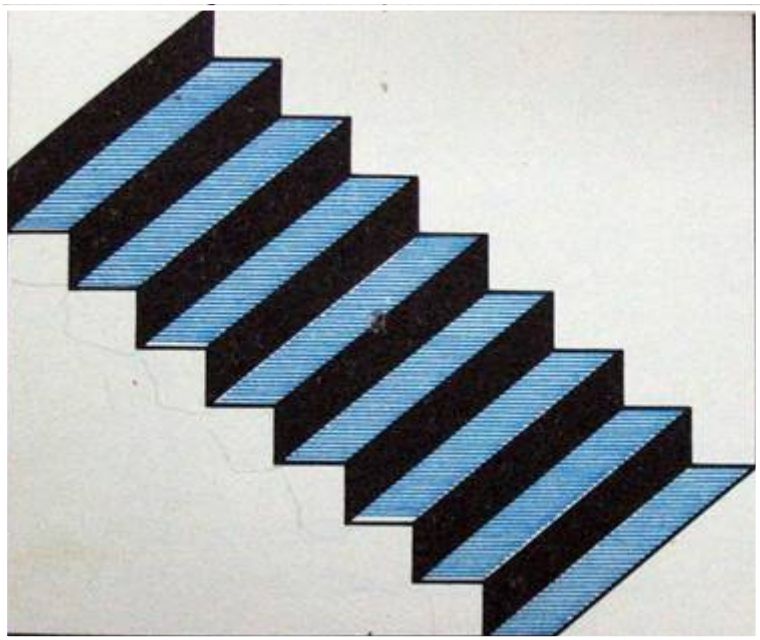


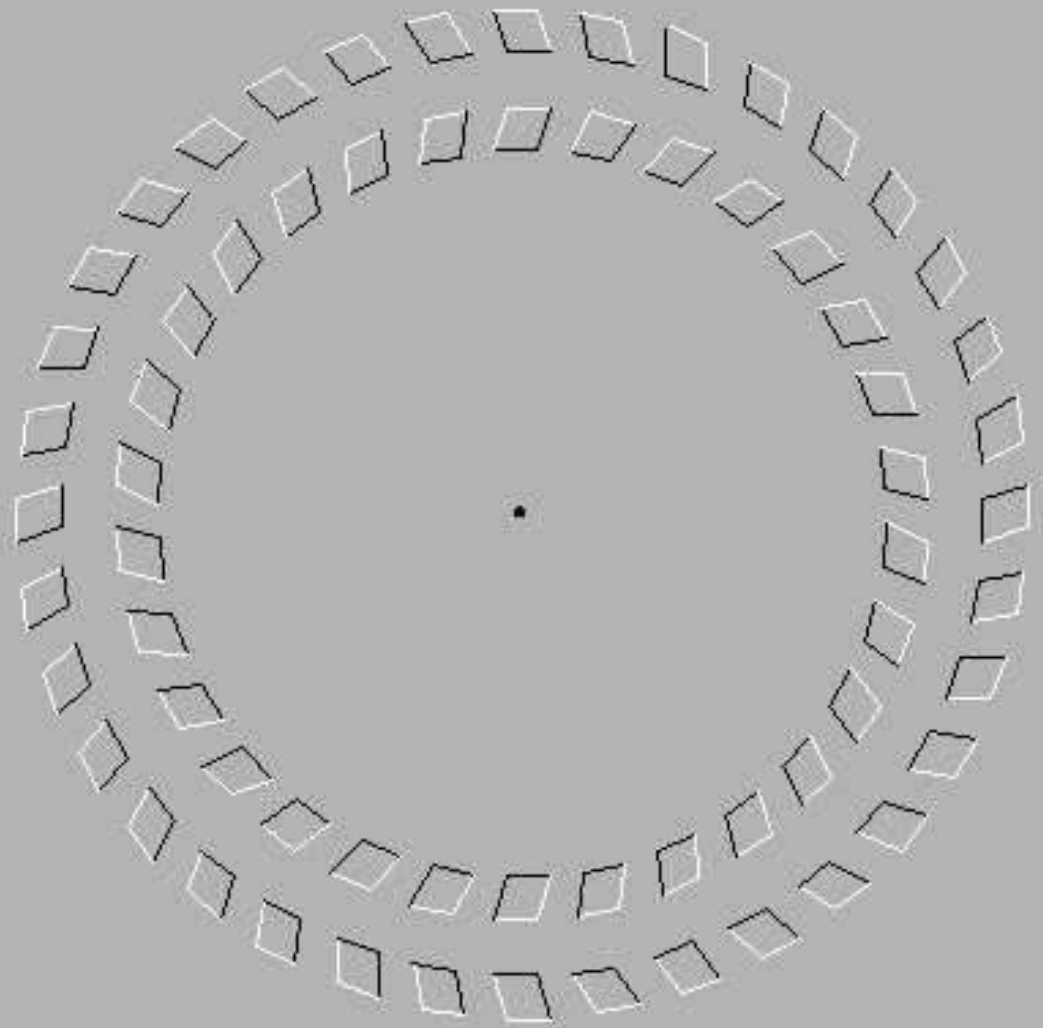




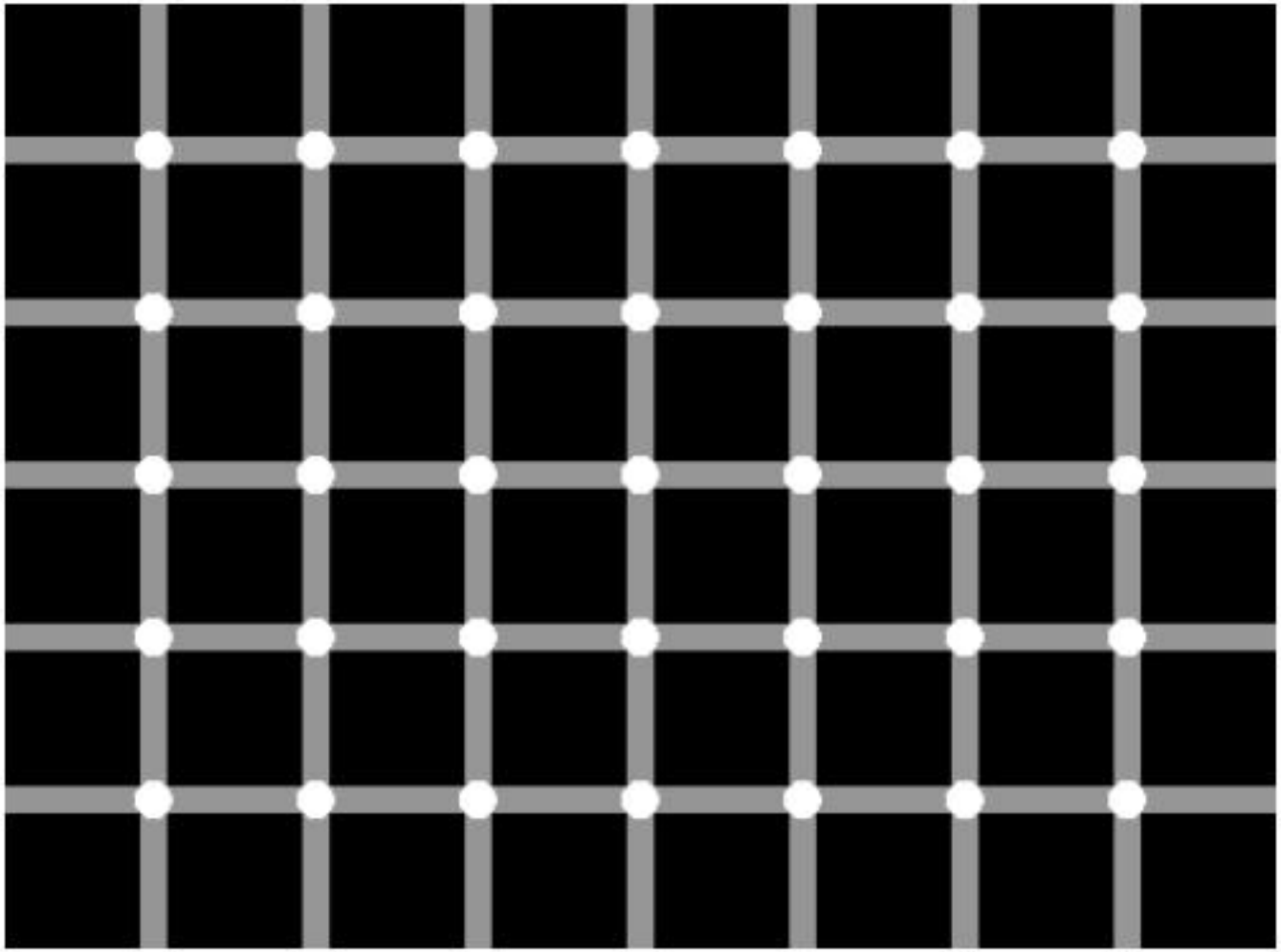






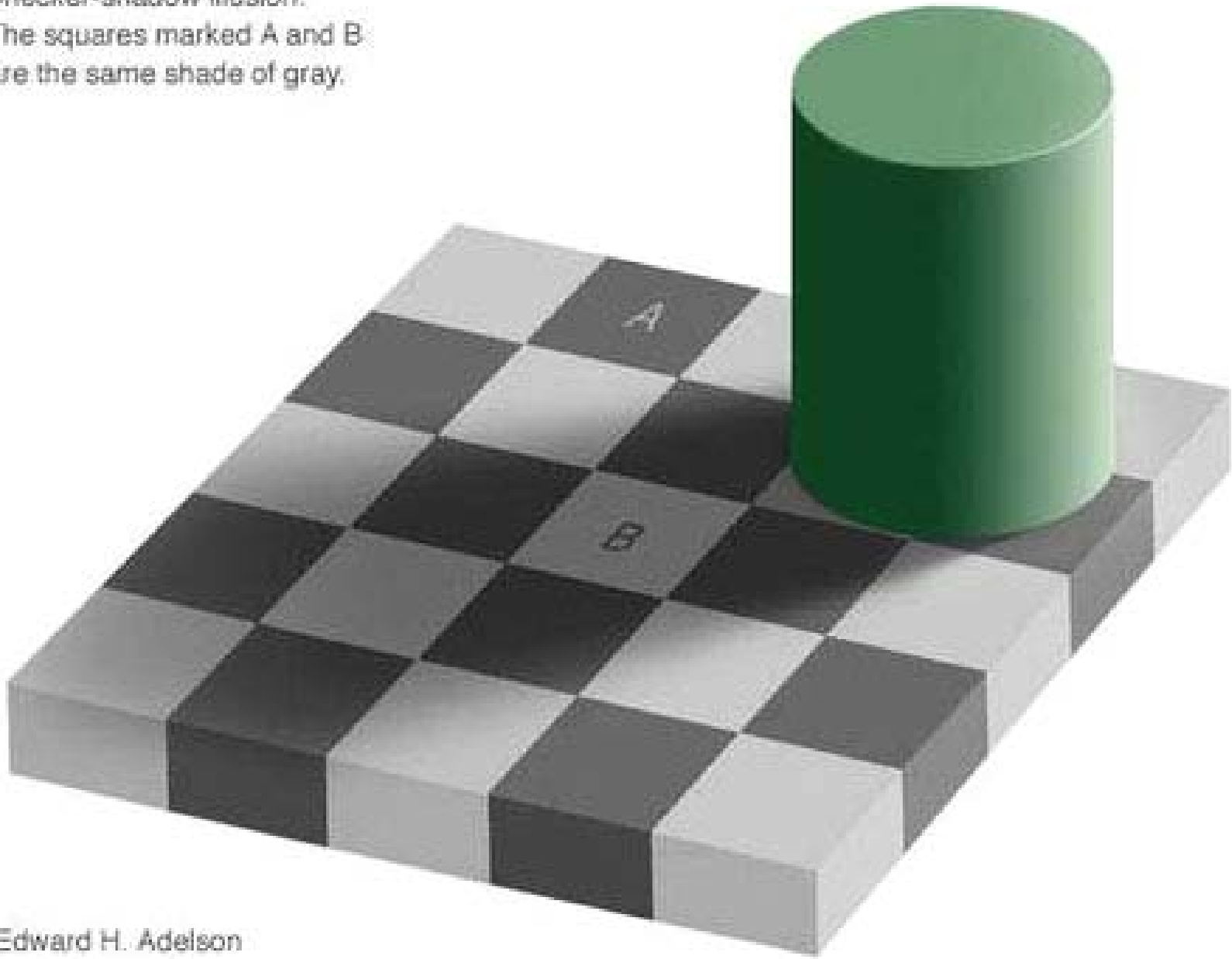


Kopf vor- und rückwärts bewegen und dabei auf den schwarzen Punkt sehen ... erstaunlich, gell ?!



Count the black dots! :o)

Checker-shadow illusion:
The squares marked A and B
are the same shade of gray.

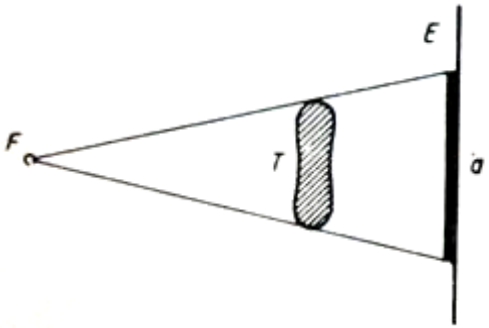


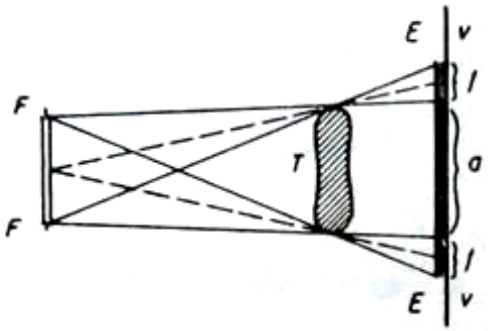
Edward H. Adelson

árnyék :

pontszerű fényforrás → az árnyék széle éles

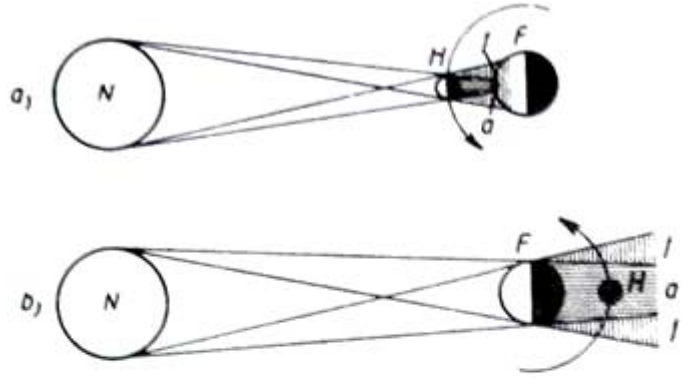
kiterjedt fényforrás → árnyék széle elmosódott





napfogyatkozás

holdfogyatkozás

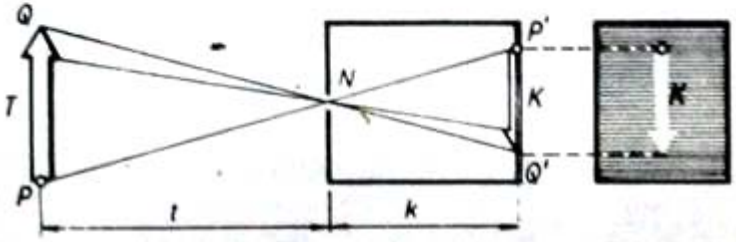


245,3. ábra

camera obscura

(kipróbálható

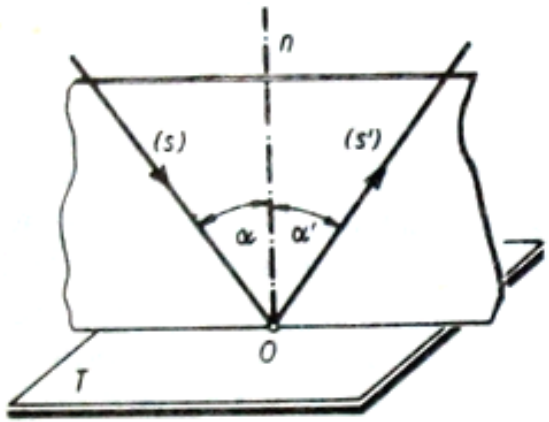
a Fizika Tsz. folyosón, 3. em.)



vákuumban c ≈ 300 000 km/s, állandó
más közegben < 300 000 km/s

visszaverődés (reflexió) :

részben visszaverődés
részben behatol a másik közegbe



tükrök (igen simára polírozott felületek) :

visszaverődés törv. : Euklidesz (i.e.300)

beeső és visszavert fénysugár egy síkban vannak
beesési merőleges
beesési- és visszaverődési szög egyenlő

diffúz felületek (fal, papír, stb…) :
kismértékben ∀ irányban visszaver → látható

reflexiós együttható :

⊥ beesésnél a visszavert és beeső intenzitások hányadosa < 1 !!!

pl. :	Ag tükör	95 %
	Al	90
	üveglap	4

diffúz visszaverődésnél :

fehér gipsz, friss hótakaró	80-90 %
vetítővászon	≈ 80
Hold	≈ 7

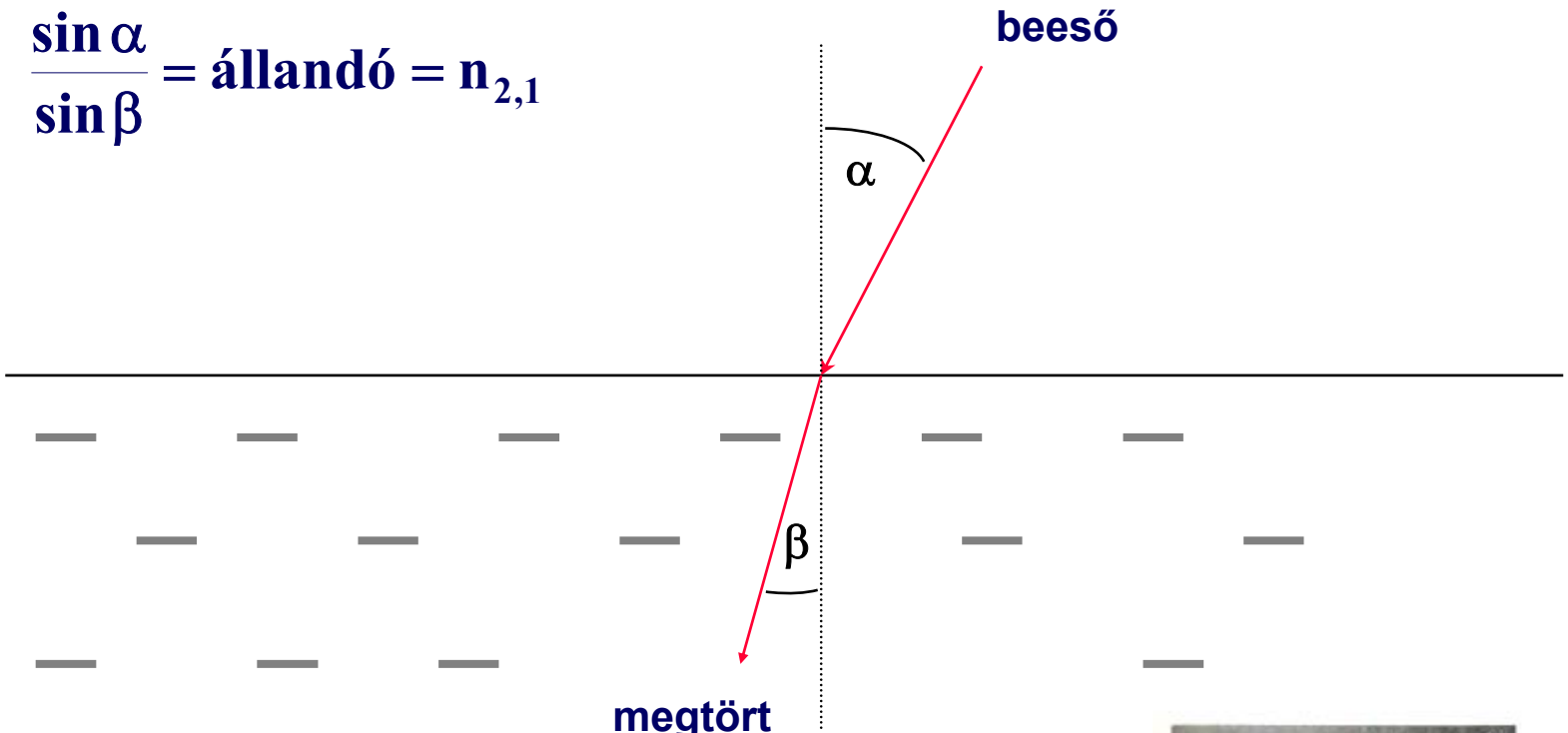
abszolút fekete test	0 %
abszolút fehér test	100 %

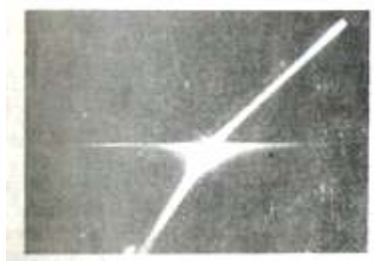
fénytörés (refrakció) :

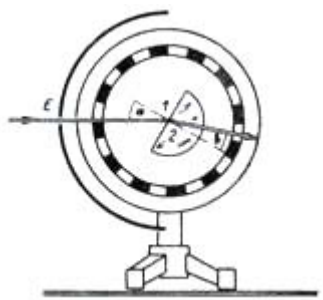
Snellius-Descartes (1600-as évek eleje)

beeső, megtört és visszavert fénysugár egy síkban van beesési merőleges

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \text{állandó} = n_{2,1}$$







optikailag sűrűbb, ritkább közeg…

sugármenet megfordítható → $n_{1,2} = \frac{1}{n_{2,1}}$

abszolút törésmutató : vákuumra vonatkoztatva :

törésmutató függ : közegtől n_1 és n_2

a fény színétől → diszperzió

pl. : levegő ≈ 1
alkohol = 1.36
víz = 1.33
üveg ≈ 1.5

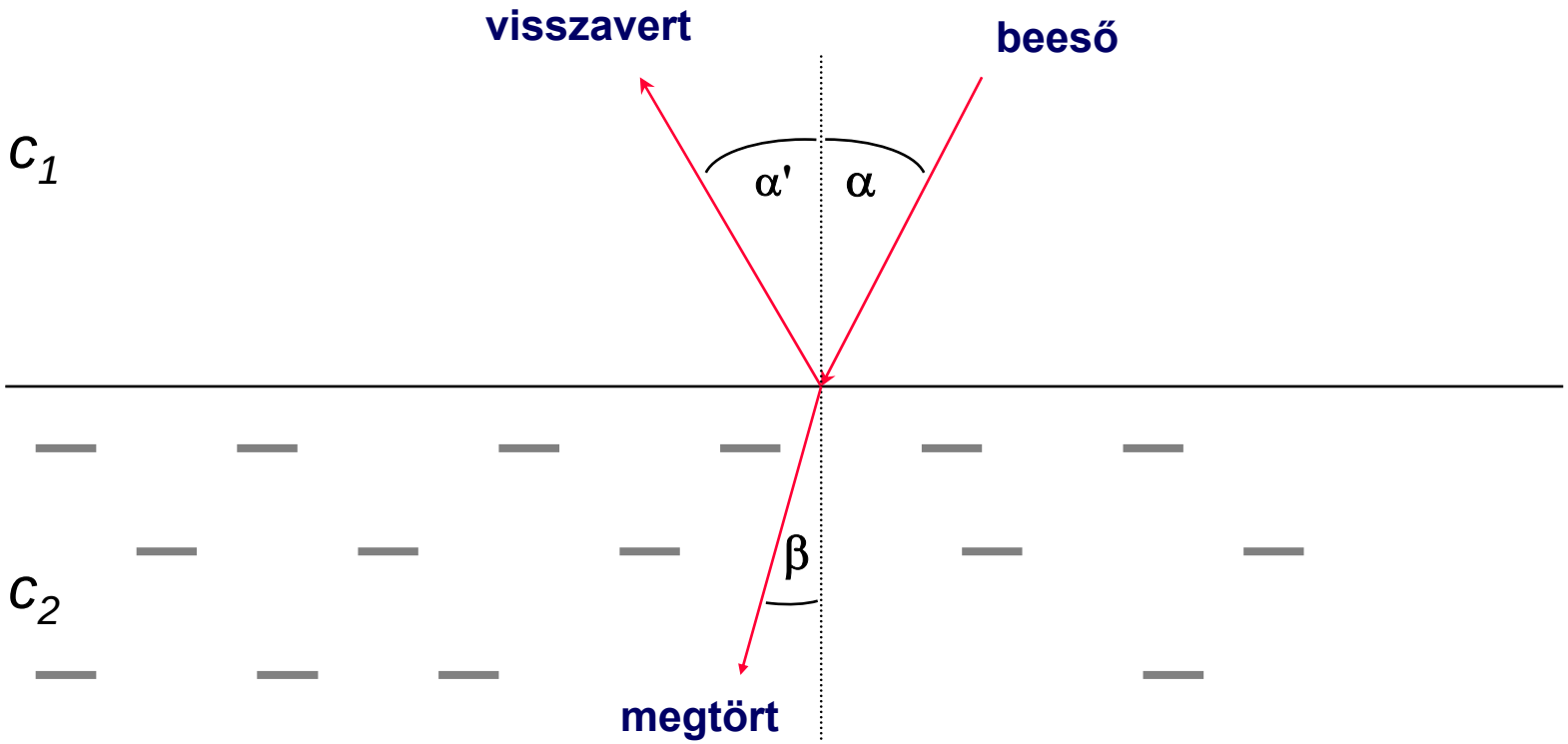
ha pl. $n_1 > n_2$ → az 1-es közeg optikailag sűrűbb

ha a közegekben a fény terj.seb. c_1 és c_2 : $n_{2,1} = \frac{c_1}{c_2}$

beeső fénysugár → megtört fénysugár
beeső fénysugár → visszavert fénysugár

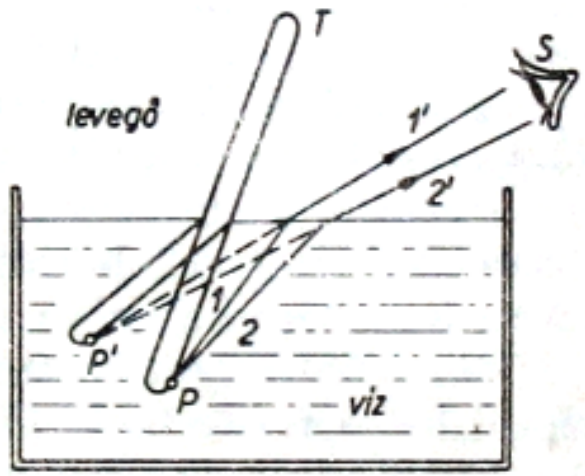
visszaverődésre :

$\alpha = \alpha'$



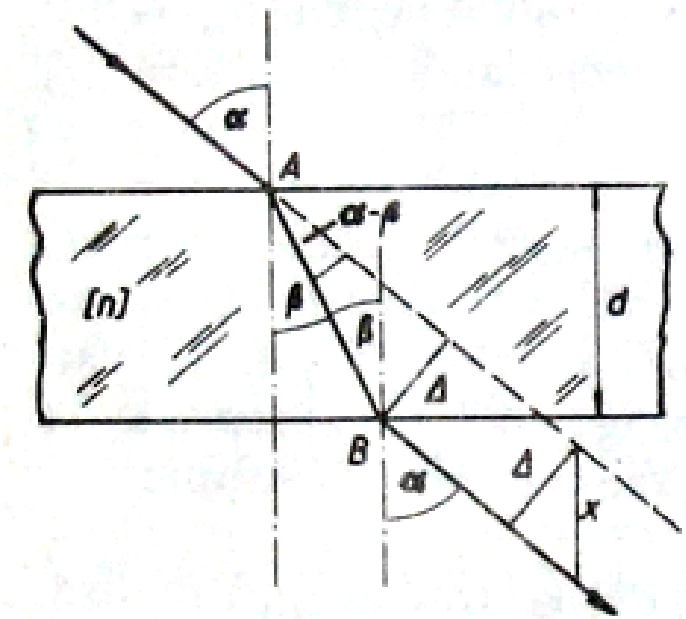
fénytörésen alapuló jelenségek :

1. vízbe dugott pálca

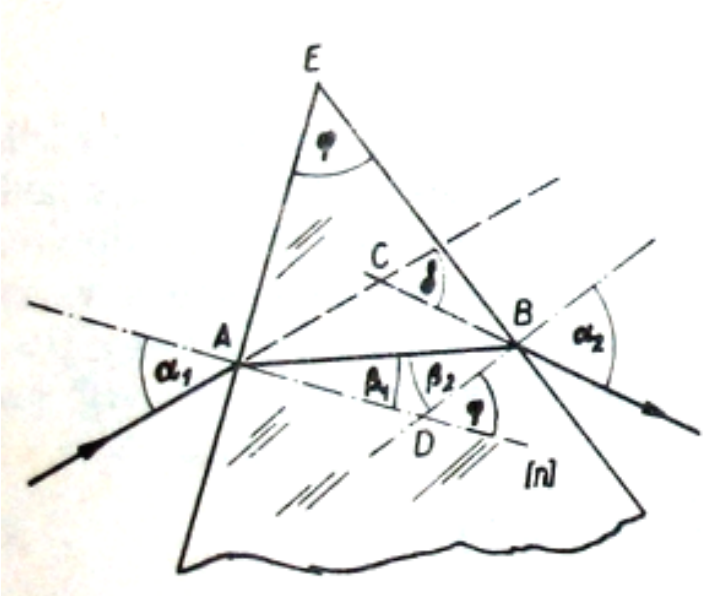


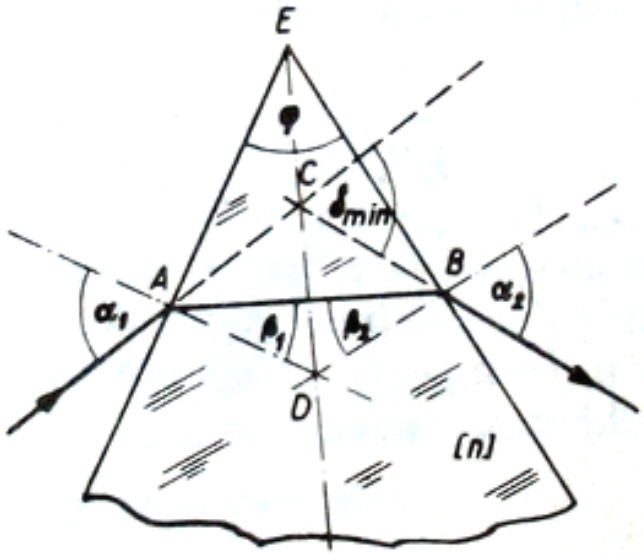
hasonlóan a tavak, folyók mélysége kisebbnek látszik

2. csillagok, távoli lámpák fénye „pislog”
3. forró tűzhely fölött a falon árnyékok vibrálnak, ha oldalról világítja pl. a Nap
4. átlátszó testet vele azonos törésmutatójú közegbe téve a test nem látszik (a fény törés nélkül megy át rajta), pl. glicerinbe tett üvegrúd, vagy lencsék összeragasztása kanadabalzsammal
5. plánparalel lemez (pl. ablaküveg)



6. prizma

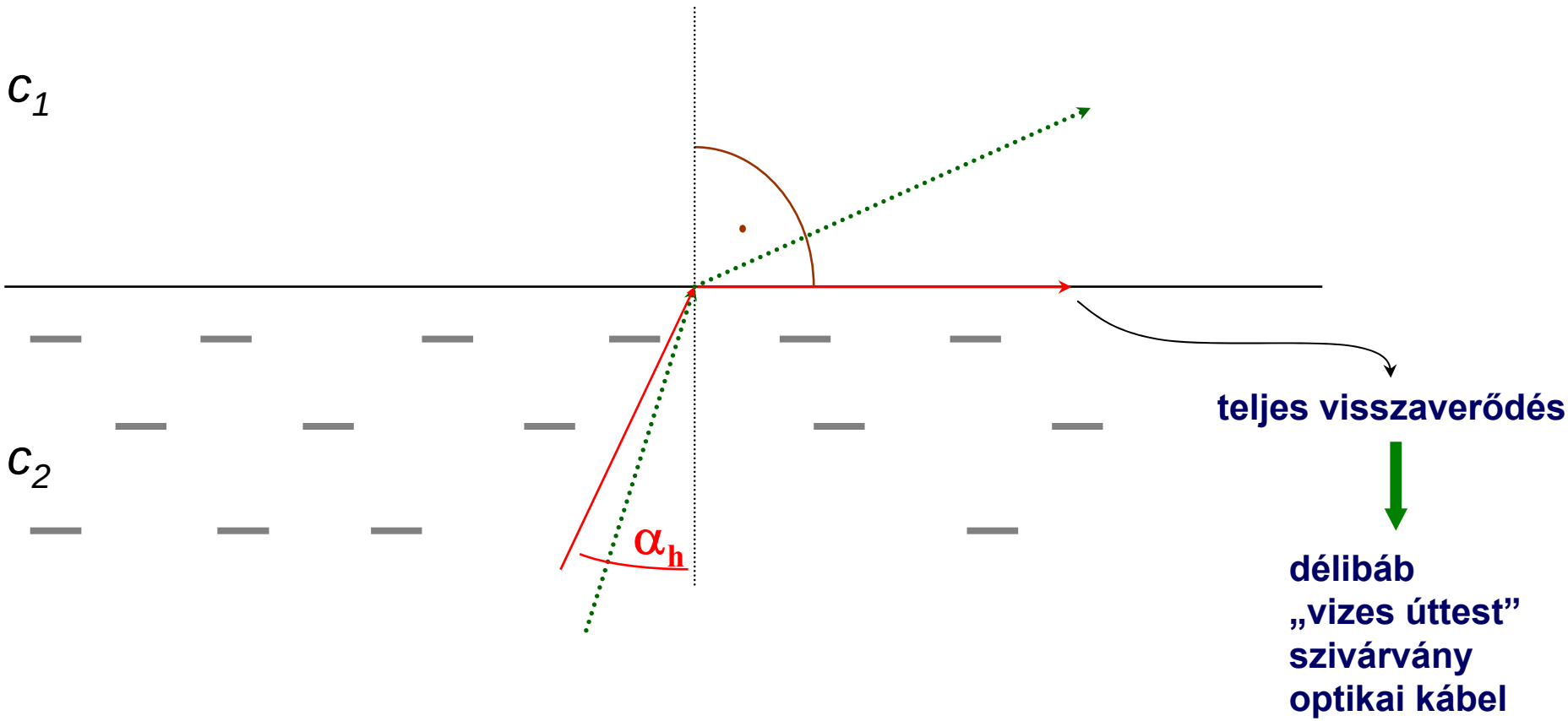




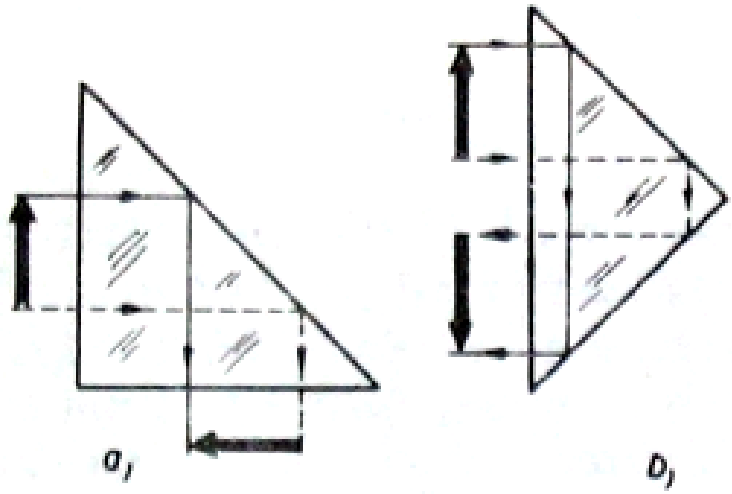
minimális eltérítés szöge → törésmutató mérése

folyadékok törésmutatójának mérése :
üvegfalú prizmába töltve

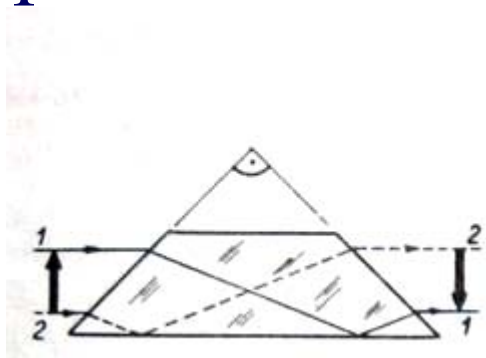
7. teljes visszaverődés : a fény opt. sűrűbb közegből megy ritkábba

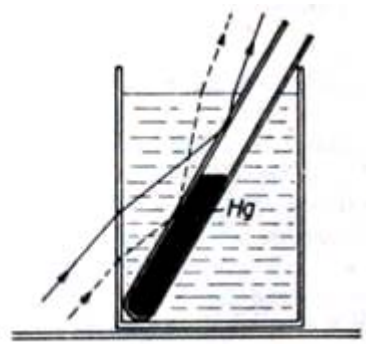


képfordítás távcsövekben :



Amici-féle képfordító prizma :



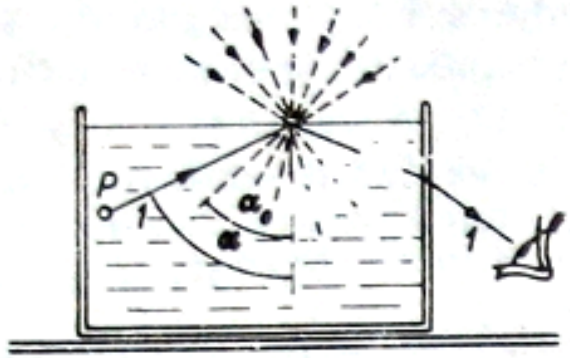


pl. : levegőbuborékokkal bevont tárgyak a vízben ezüstösen csillognak

pl. : akváriumba oldalról felfelé nézve nem látjuk, h. mi van a víz felszíne felett, de látjuk a felszínről visszatükröződve a víz alatti tárgyakat

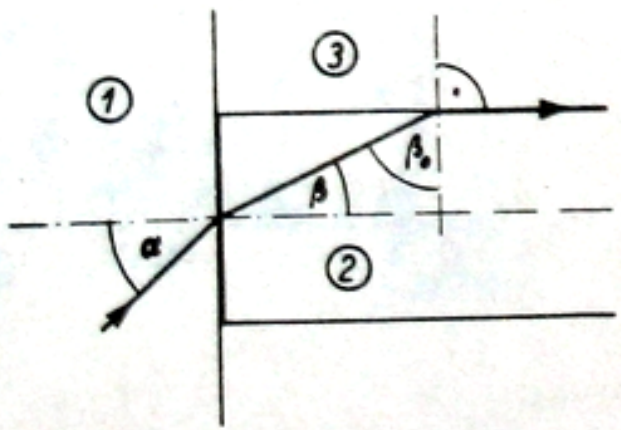
pl. : a hó és az üvegpor átlátszatlan

pl. : fényvezető szálak (száloptika), szökőkutak világító vízsugarai



249,5. ábra

249,6. ábra



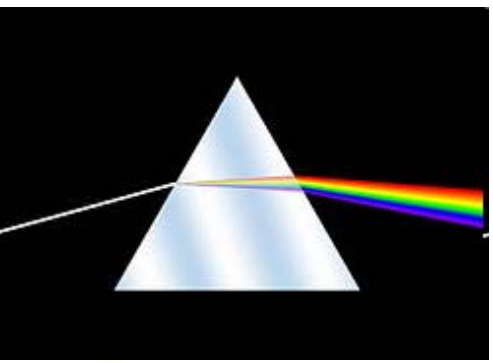
Fermat-elv : 2 adott pt. között a fény úgy terjed, hogy a fényút minimális legyen

8. színszórás (diszperzió) :

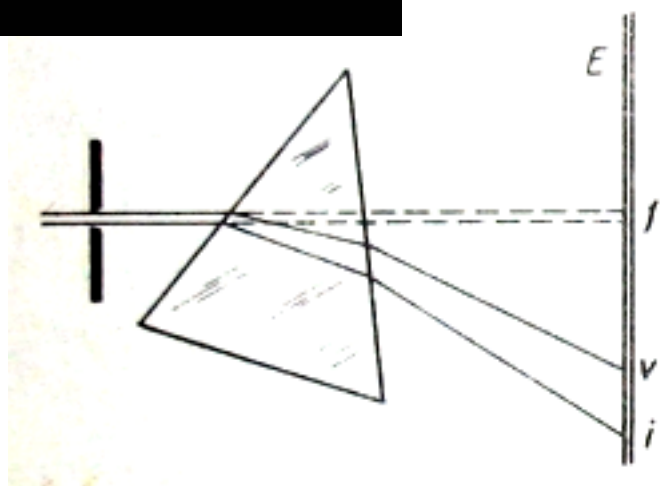
keskeny fénynyaláb ⟶ falon fehér sáv látszik

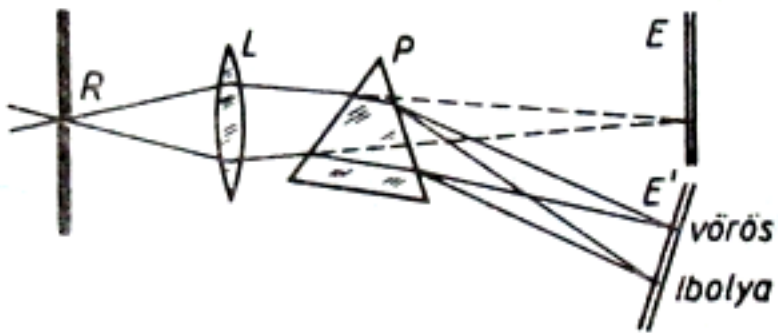
keskeny fénynyaláb ⟶ ⟶ falon színes sáv

(Newton, 1666)



vörös, narancs, sárga, zöld, kék, ibolya





a spektrumszínek újra egyesíthető fehérré

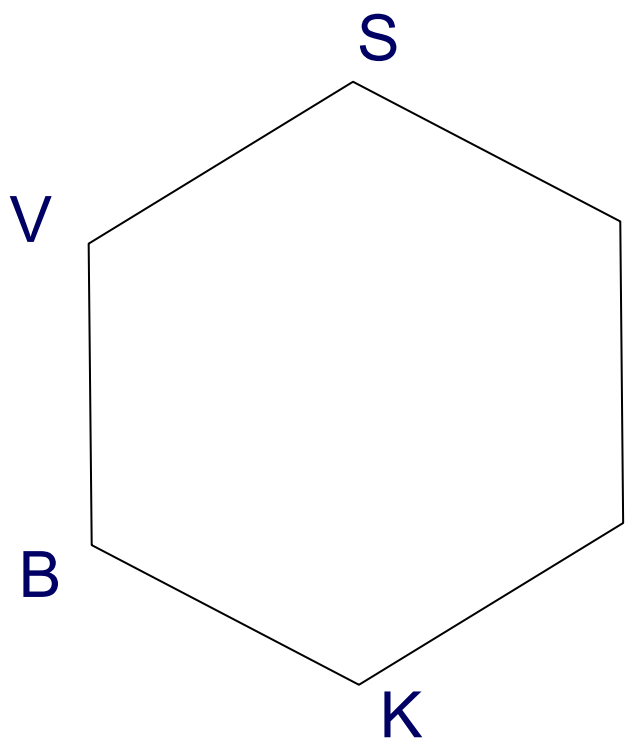
⟶ fehér fény = spektrumszínek keveréke

keverék színek = a spektrumszínekből néhányat keverünk

pl. : piros + kék = lila (≠ ibolya)

kiegészítő színek = (komplementer) olyan monokromatikus színek, melyek összekeverése fehéret eredményez

pl. : vörös – zöld, narancs – kék, sárga – ibolya



színkeverés :

bárm. szín megkapható 2 szomszédjának keverésével

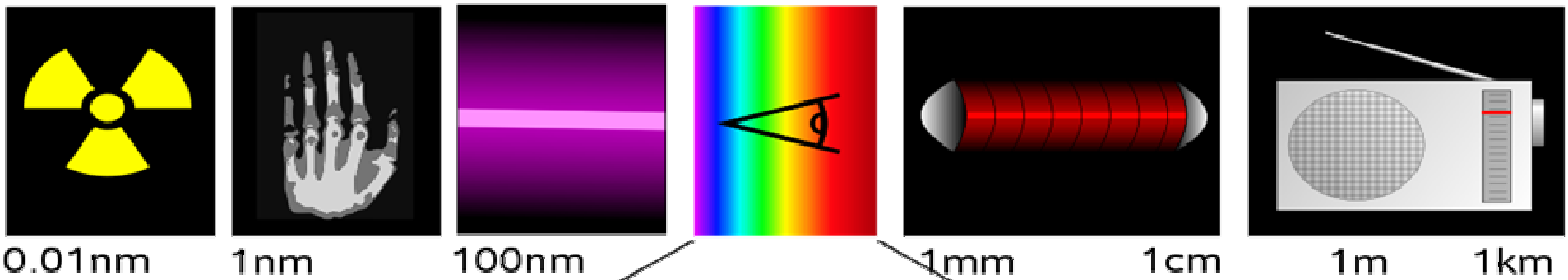
a szemözti csúcsokban kiegészítő színek vannak

bárm. egyenlő old. háromszög csúcsaiban levő 3 szín összeadása fehéret ad

látható fény ≈ 360 – 760 nm

ibolya vörös

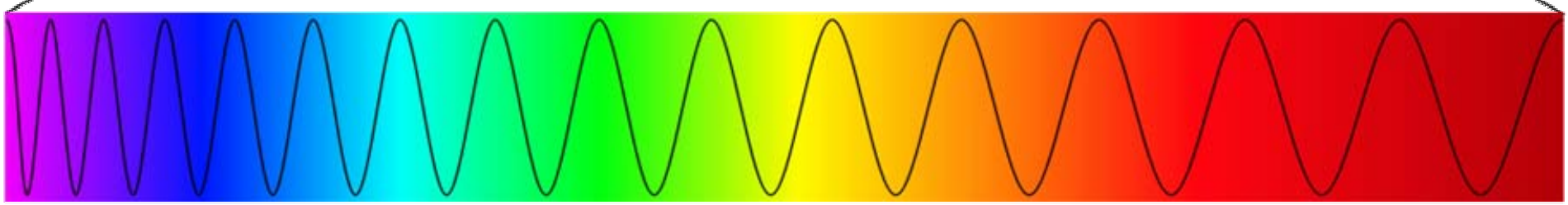
teljes. el.mágn. spektrum :



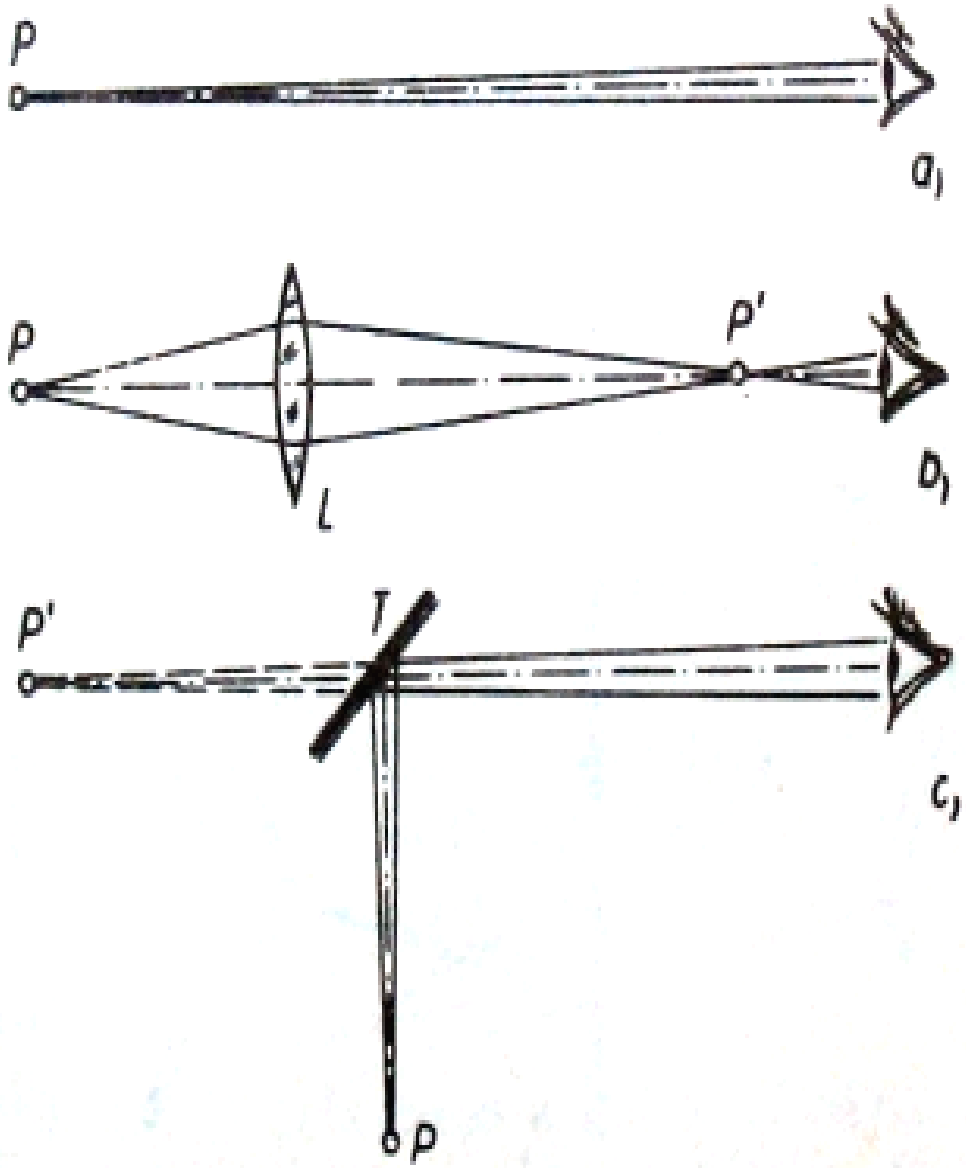
kozmikus γ X UV látható IR elektromos hullámok

sug. (pl. mikrohullámok)

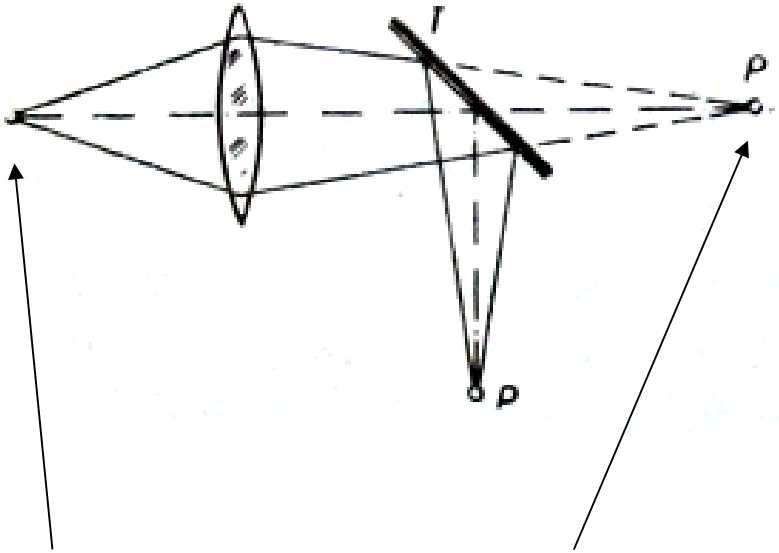
400nm 700nm



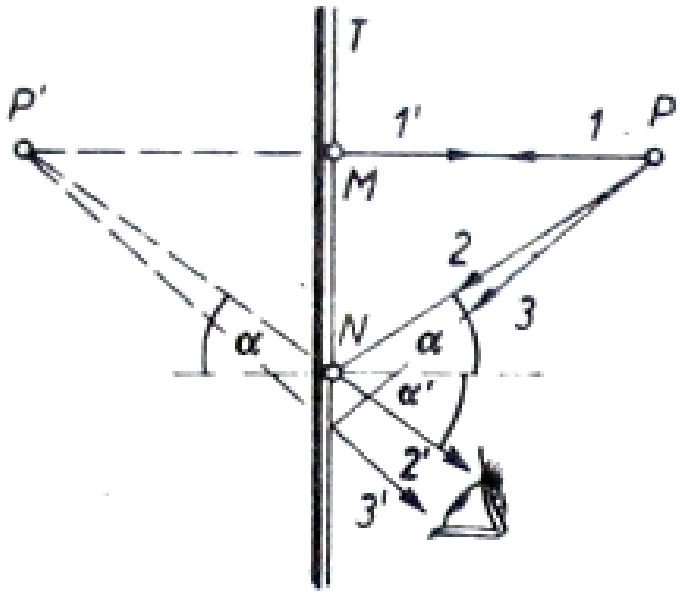
optikai képalkotás, tükrök, lencsék :



mikor látunk egy tárgyat



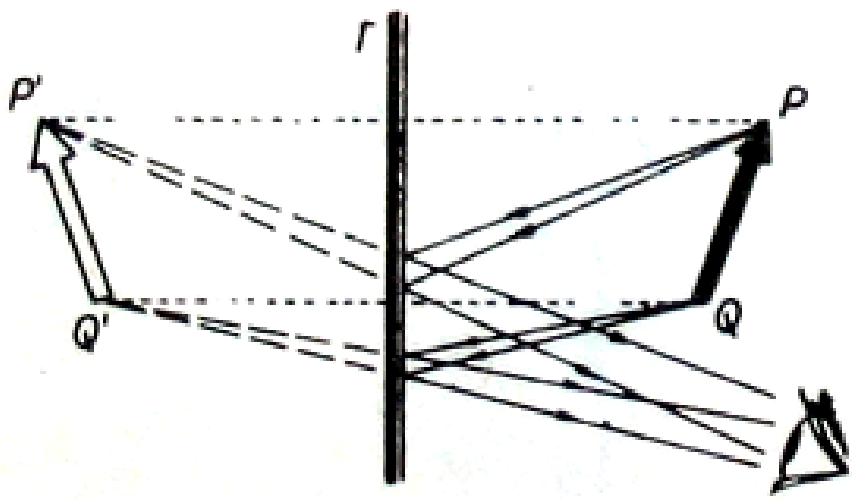
valódi tárgy – virtuális tárgy



253,1. ábra

síktükör :

virtuális, egyenes állású, a tárggyal = nagyságú kép, de jobb-bal felcserélve !

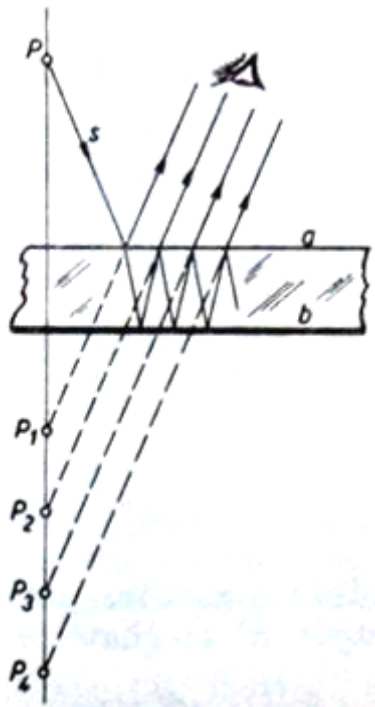


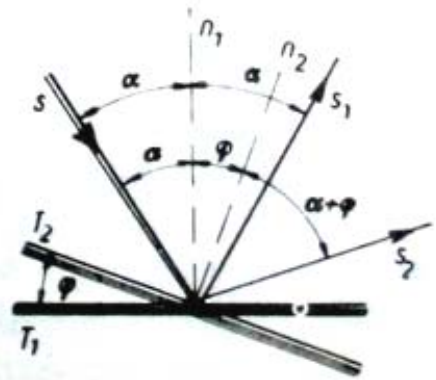
alkalmazások :

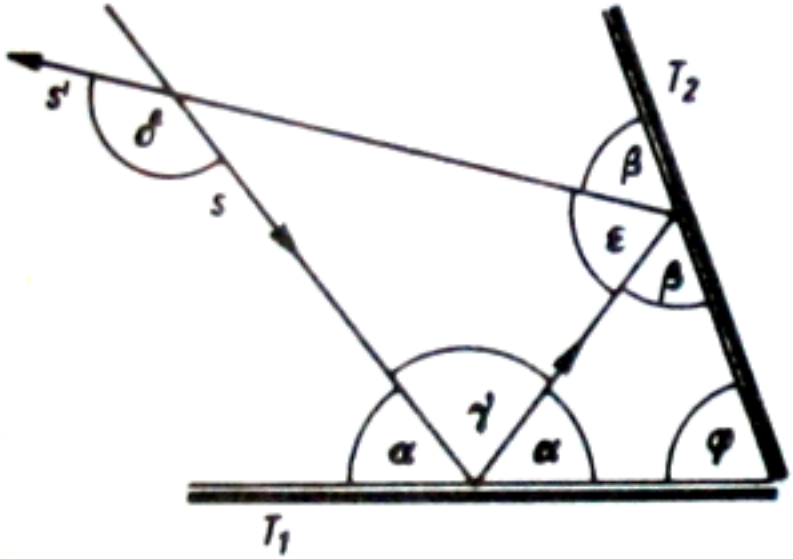
heliosztát
periszkóp
késélmutató tükörskála előtt
szögek mérése tükör elfordításával
síktükör
szögtükrök
derékszögelő (geodézia)
szextáns

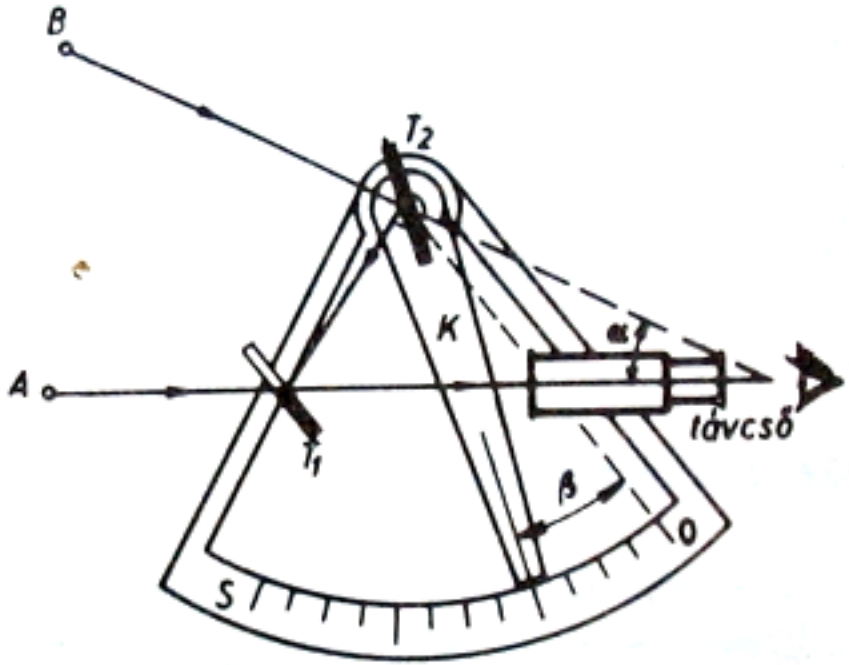
253,3. ábra

253,4. ábra



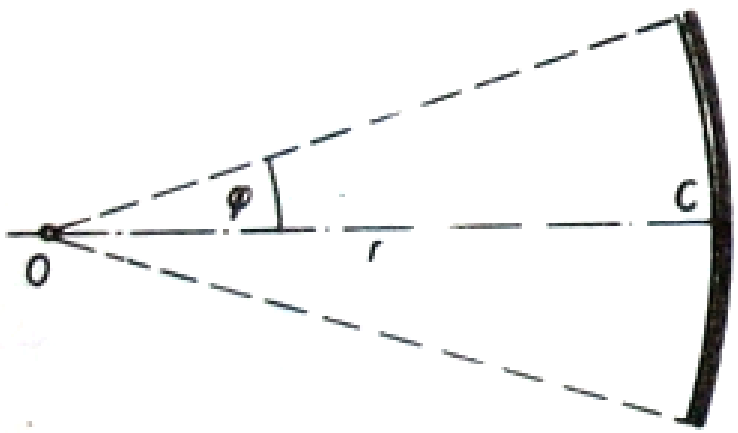


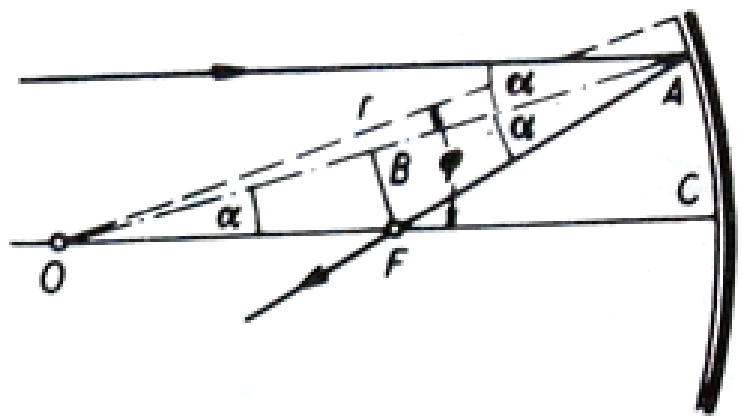




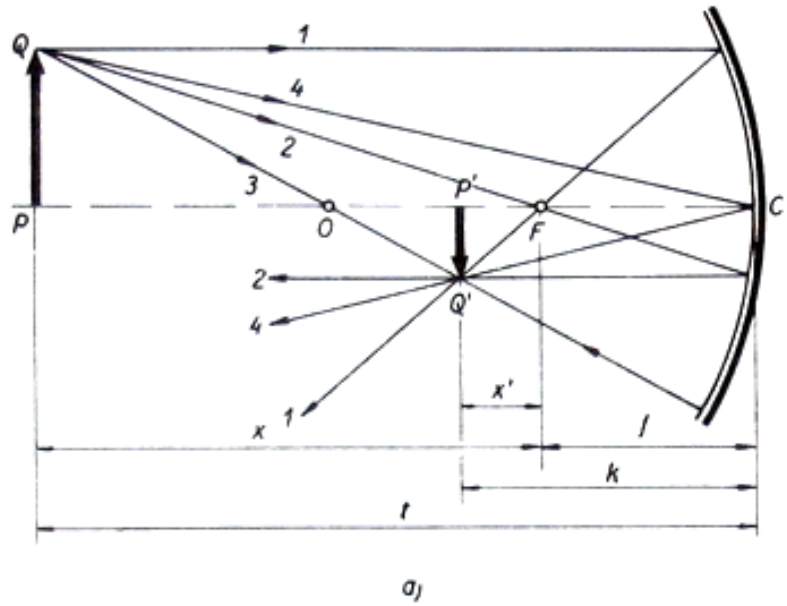
gömbtükrök :

domború, homorú



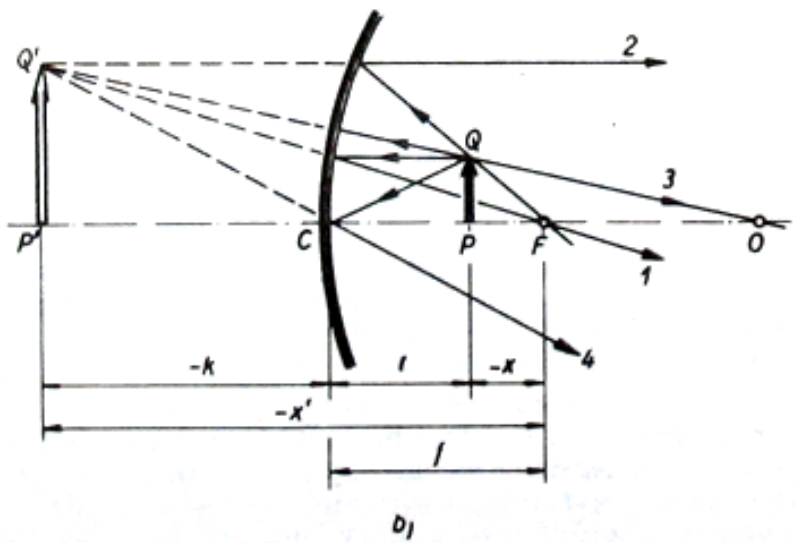


nem pontszerű tárgy képe :



a)

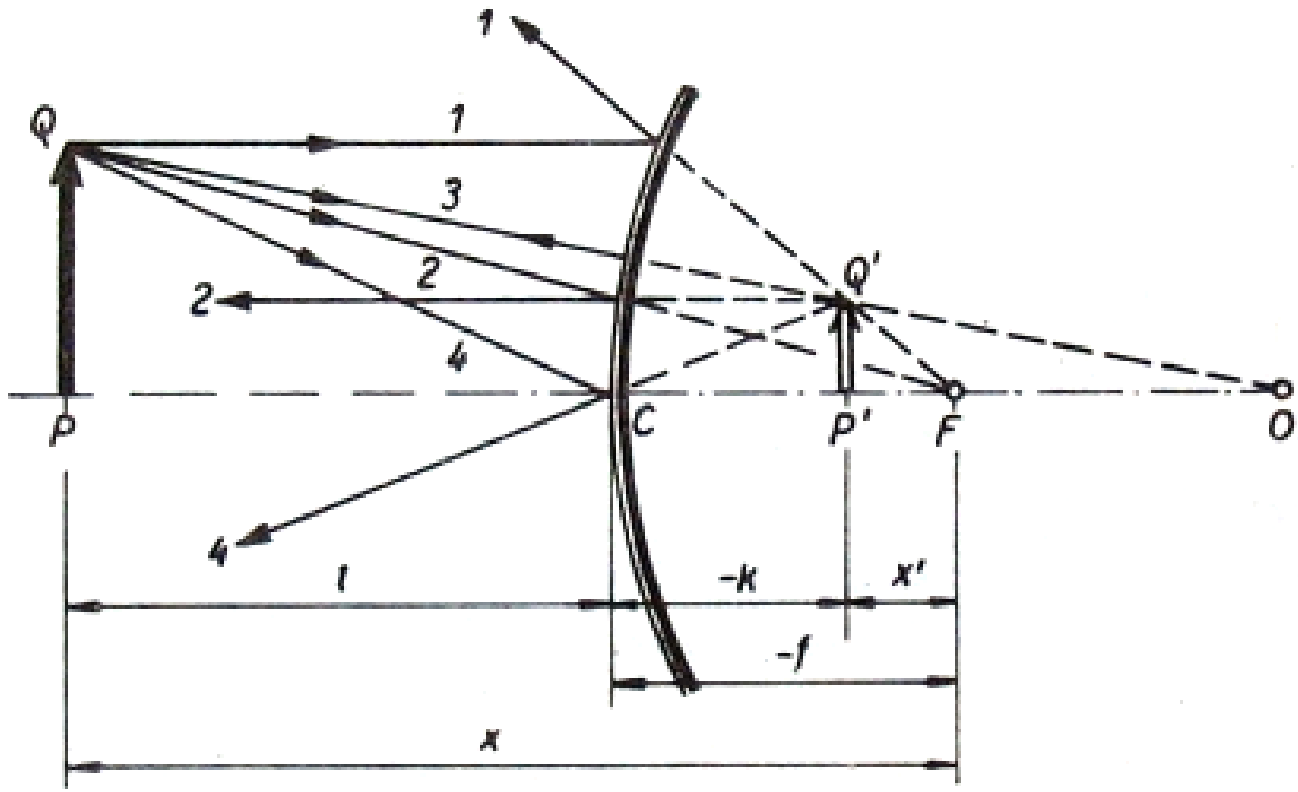
$$\frac{1}{t}+\frac{1}{k}=\frac{1}{f}$$



b)

alkalmazások : távcsövek, reflektorok,
elvarázsolt kastély

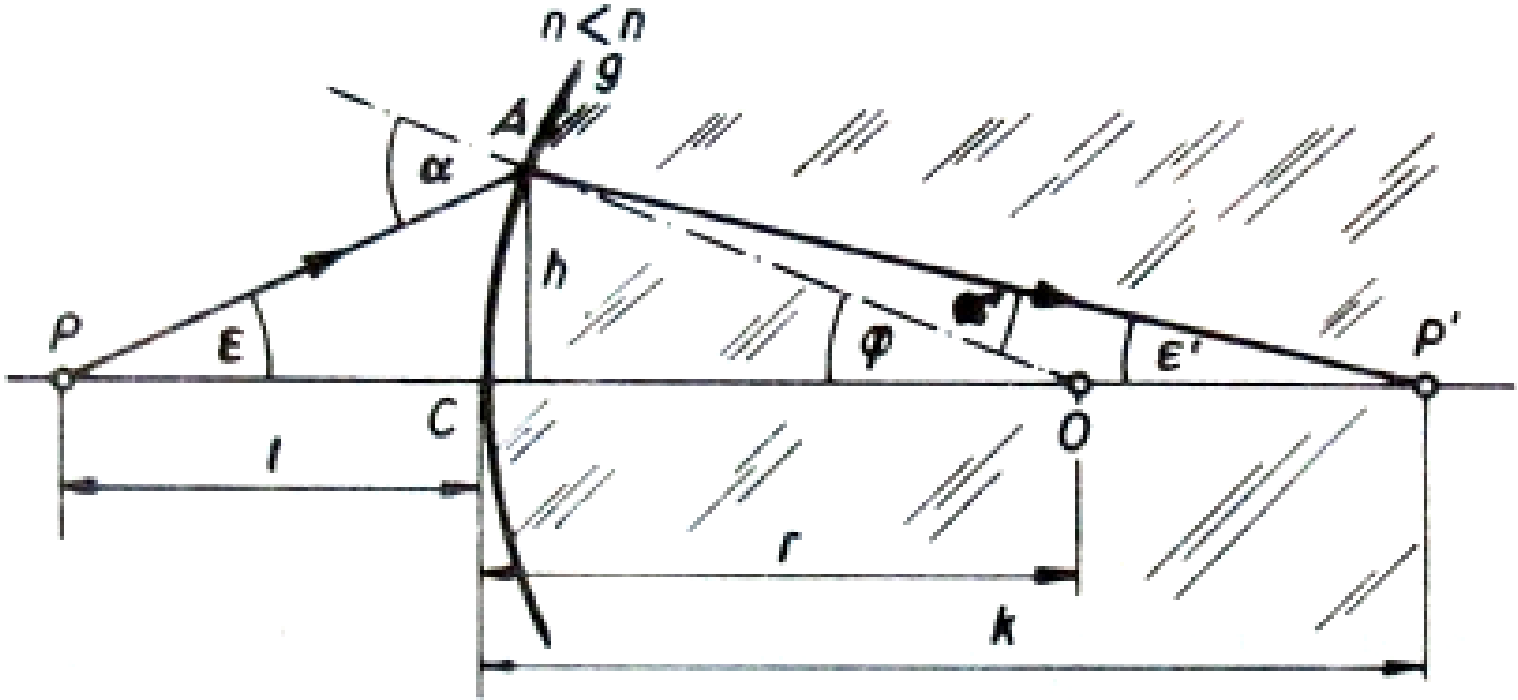
domború tükör :



gömbtükrök leképezési hibái :

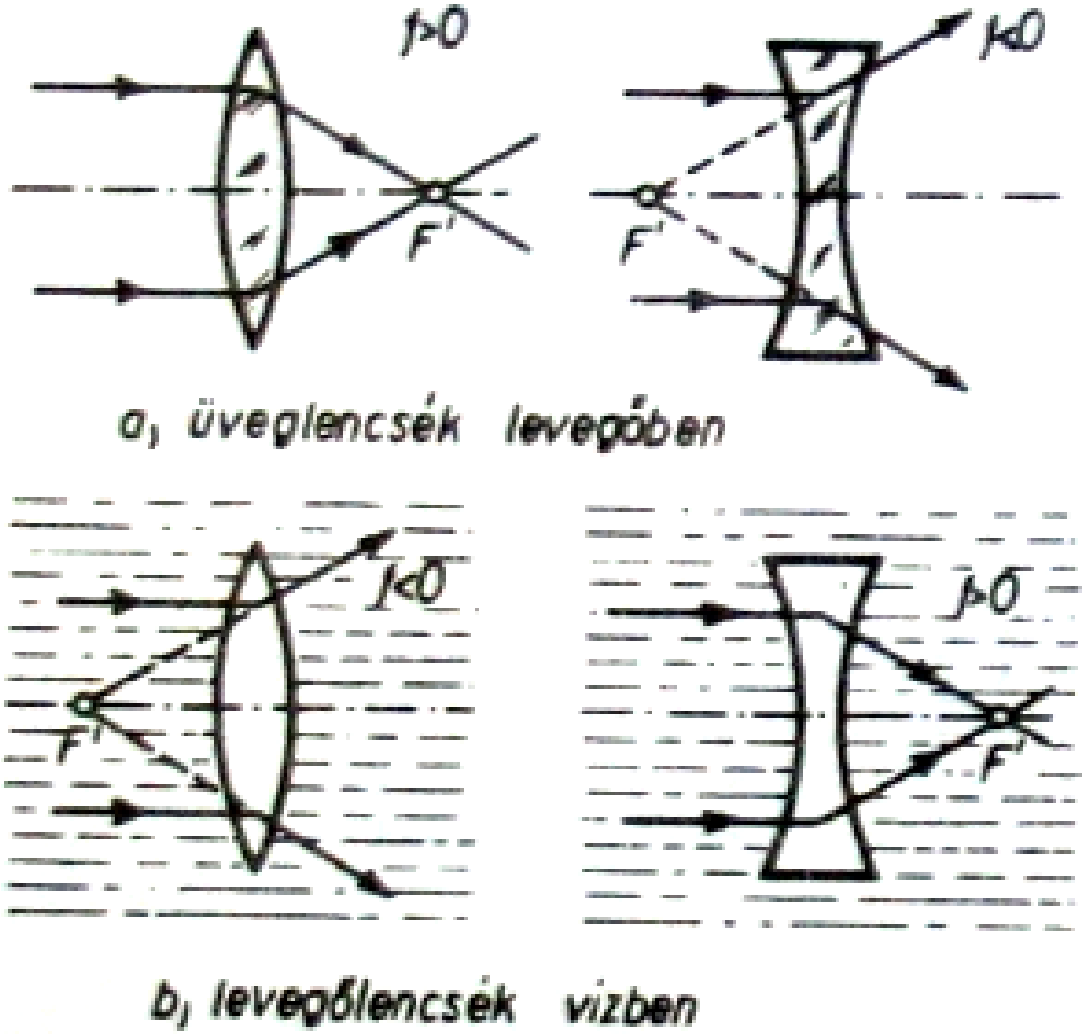
gömbi hiba, … mint a lencsehibák

leképezés görbe felületek által határolt közegeken áthaladó fénysugarakkal : lencsék :

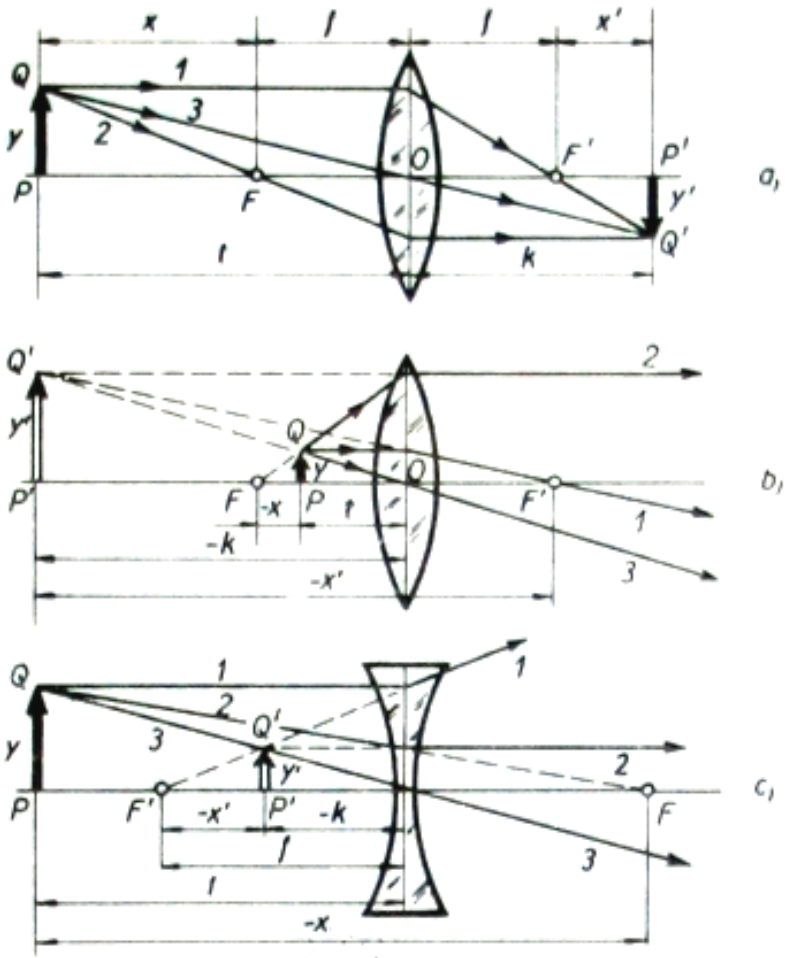


vékony lencsék :

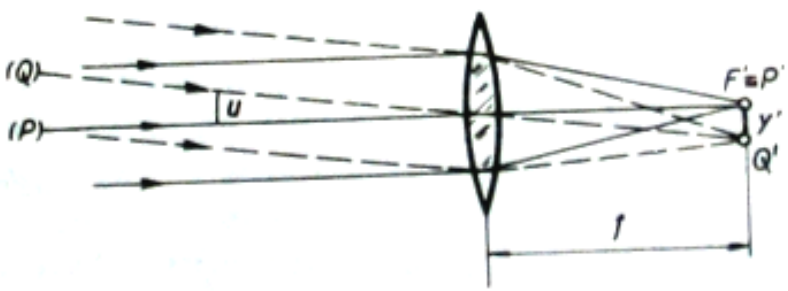
$$\frac{1}{t}+\frac{1}{k}=\frac{1}{f}$$

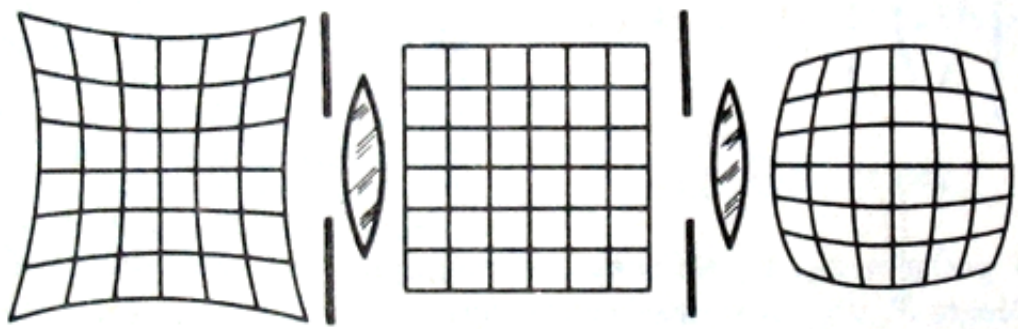


$$\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right) \qquad \text{és} \qquad D=\frac{1}{f} \qquad \left[\frac{1}{m}\right]$$


x
f
f
x'
Q
1
3
2
y
O
F'
P'
P
F
y'
Q'
t
k
a,
Q'
2
y'
Q
y
P'
F
-x
P
f
F'
1
-k
3
-x'
b,
Q
1
1
2
Q'
3
y
y'
2
P
F'
-x'
P'
-k
F
f
3
t
-x
c,

256,6. ábra


(Q)
(P)
u
F'≡P'
y'
Q'
f

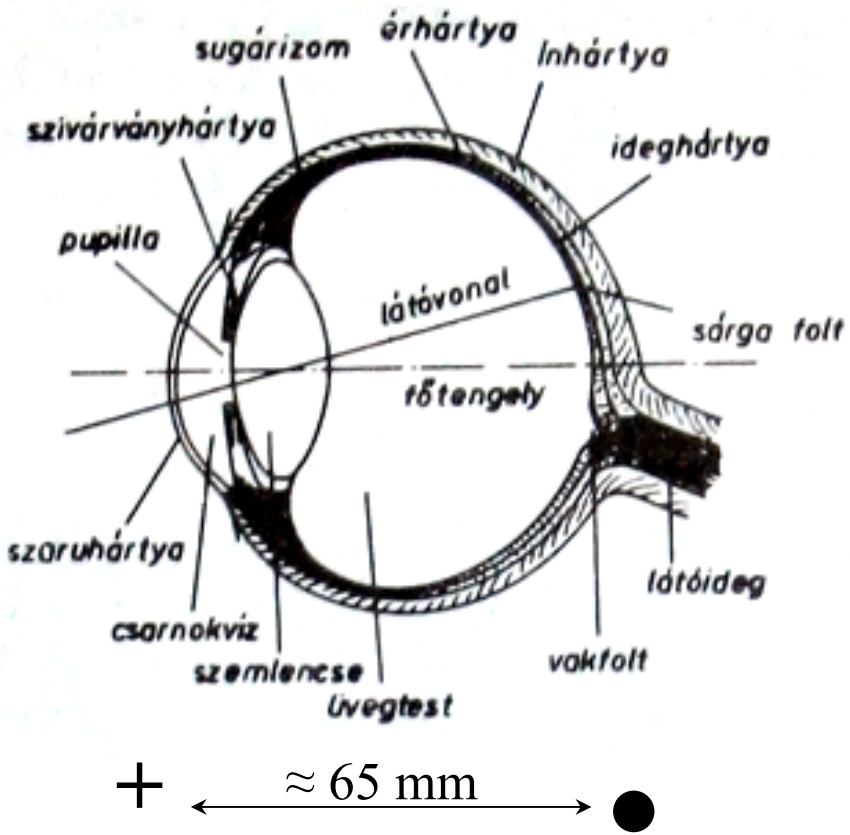


lencserendszerek :

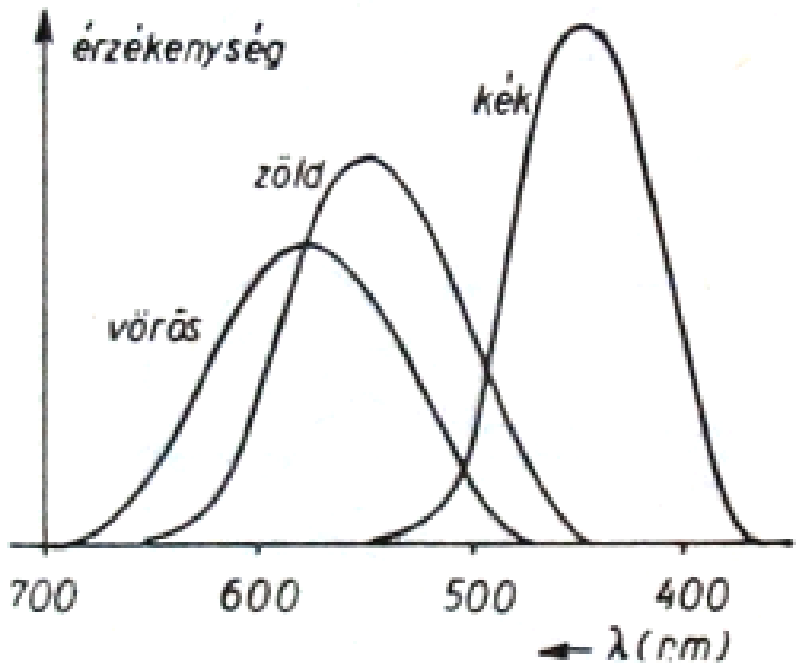
egymás mellé tett lencsék : szemüveg, kontaktlencse
fényképező objektív,…

az egyes lencsék dioptriái összeadódnak

a szem :



csapok → színek :



pálcikák → intenzitás, sötétben látás
sötéthez alkalmazkodás ≈ 30-40 perc

a retinán keletkező kép fordított állású, kicsinyített, de egyenes állásúnak látjuk !

térbeli látás ···→ térhatású fénykép

éleslátás (≈ 20-30 cm), felbontóképesség (≈ 0.1 mm)
(zsilettpenge, hajszál)

pl. utcai világítás ma Hg-gőz lámpa helyett Na-gőz

további optikai csalódások :

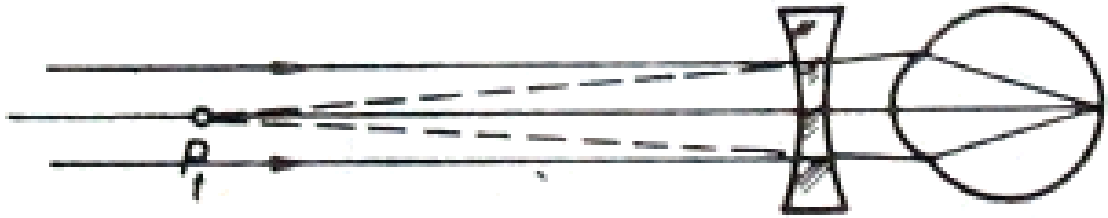
ugyanaz a szürke tárgy fekete háttérben világosabbnak látszik, mint fehér háttérben

színes árnyék, pl egy pálcának piros fénnyel fehér lapra vetett árnyéka zöldes

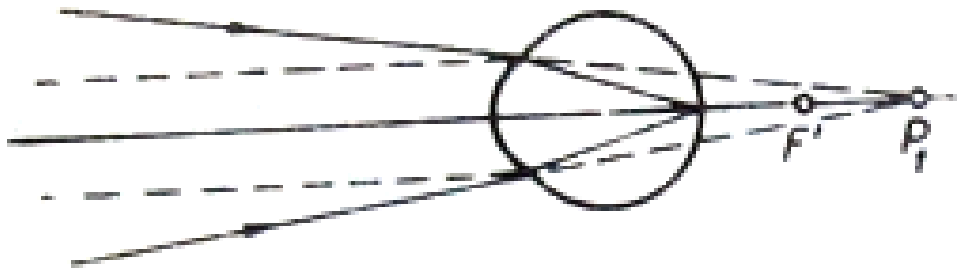
tárgyak nagyságára, távolságára vonatk. ld. fentebb is, izzólámpa fehéren izzó szála sokkal nagyobbnak látszik, párás levegőben egy tó túlsó partja távolabbinak látszik mint tiszta időben

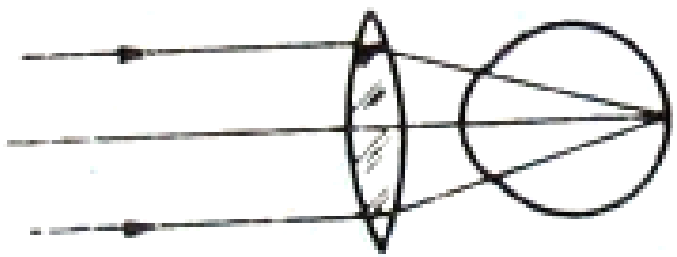
szem hibái :

közellátás



távollátás

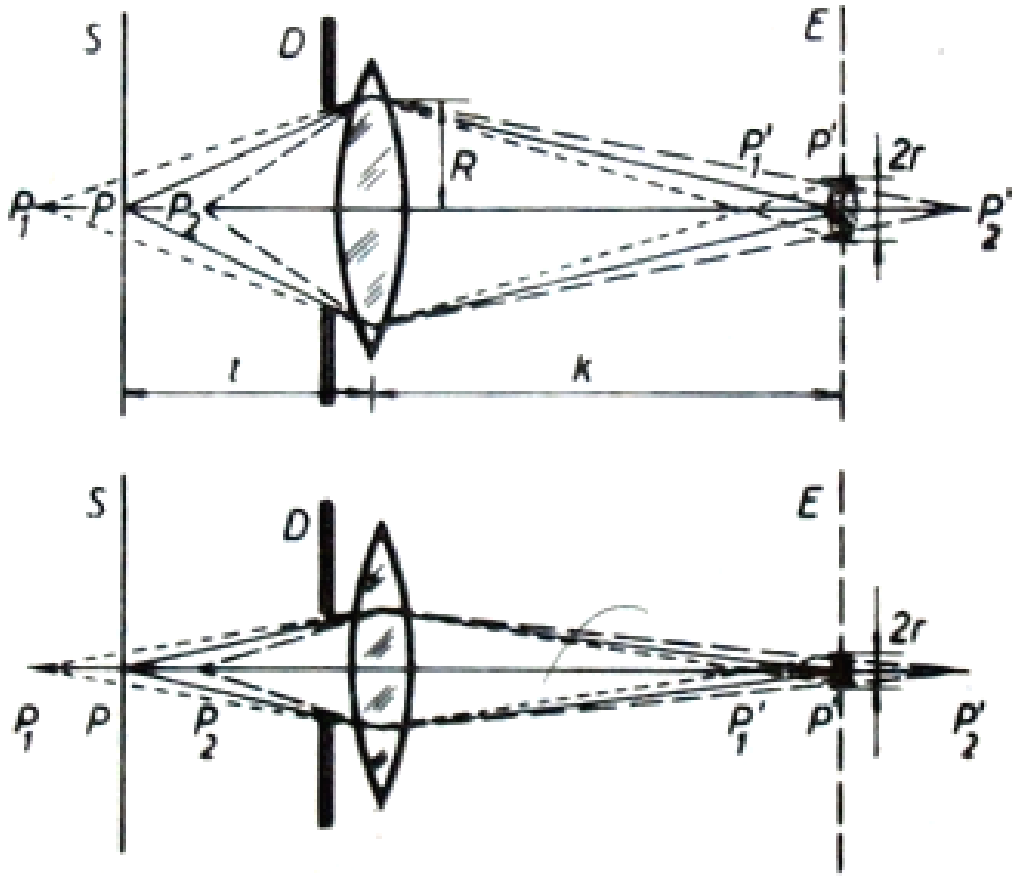




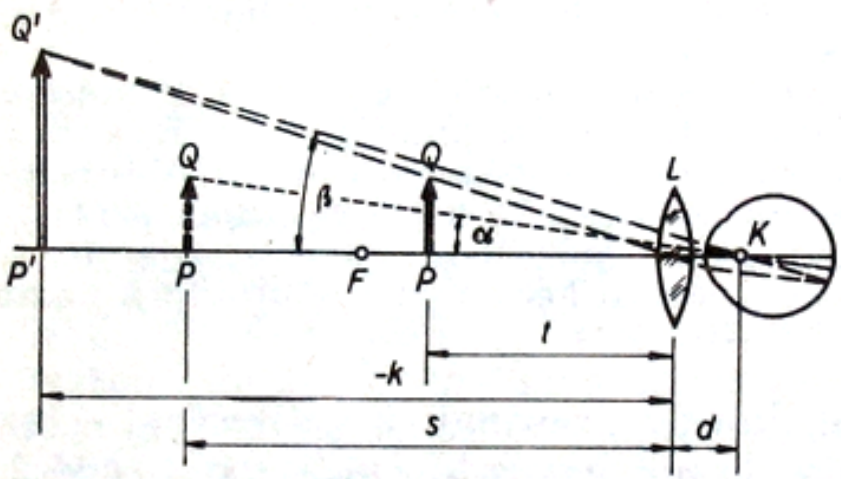
kontaktlencse jobb, mint a szemüveg

mélységélesség :

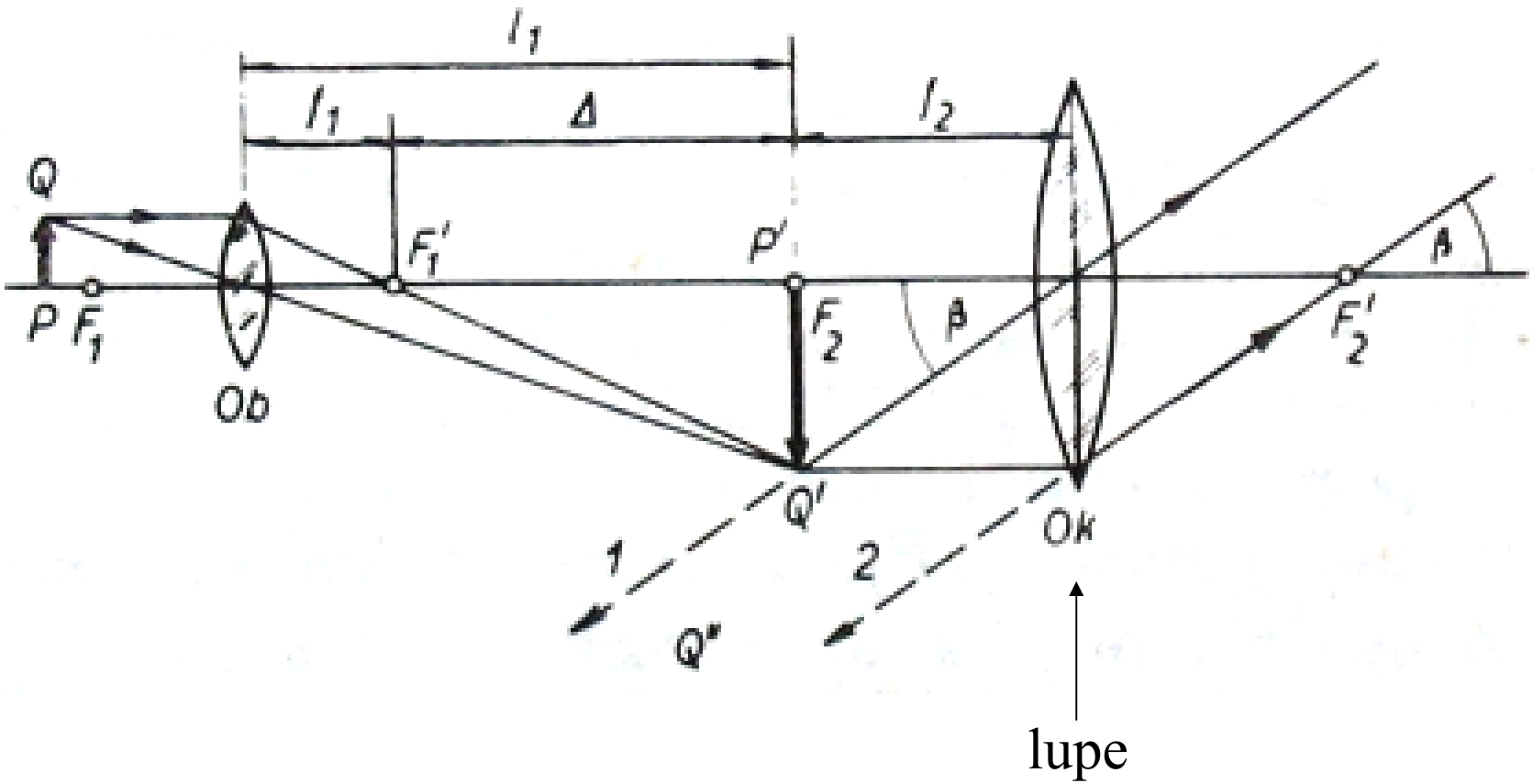
fényképezésnél is ⟶



lupe :



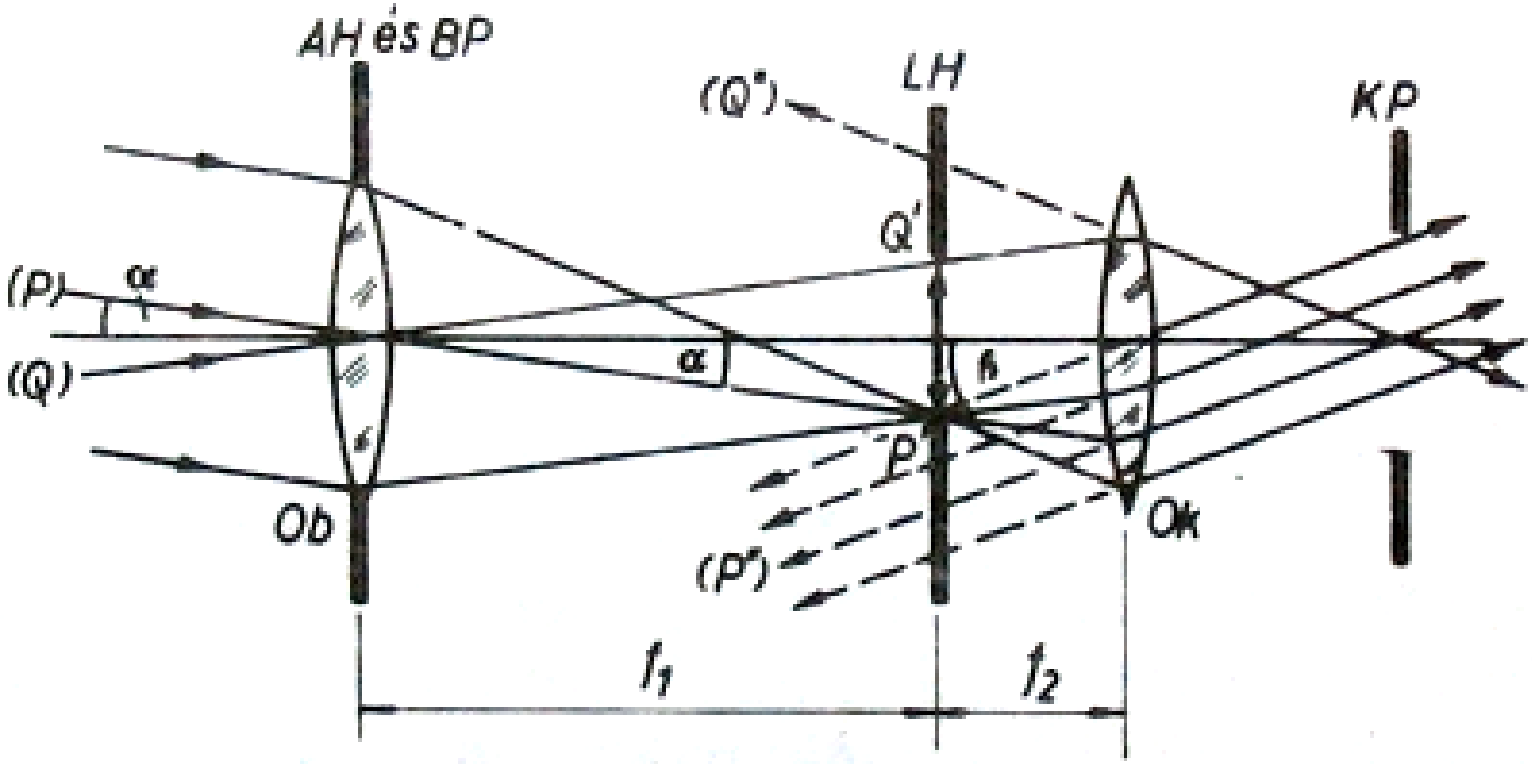
mikroszkóp :



összнagyítás = $N_1 \cdot N_2$

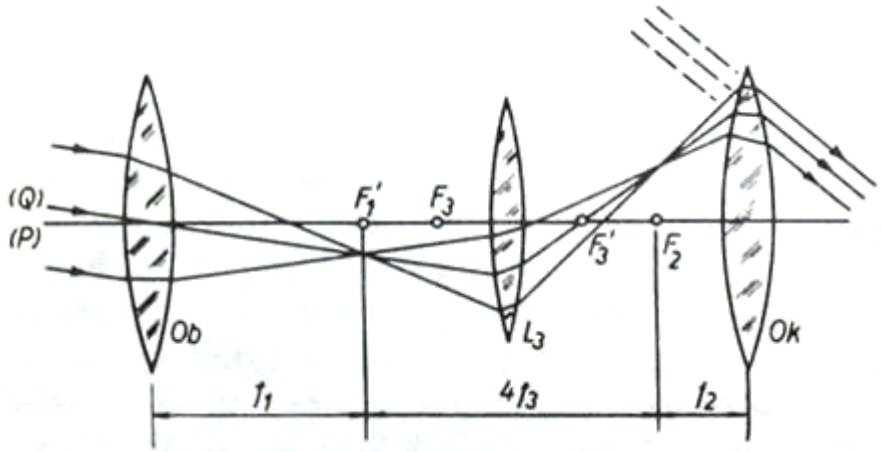
távcsövek :

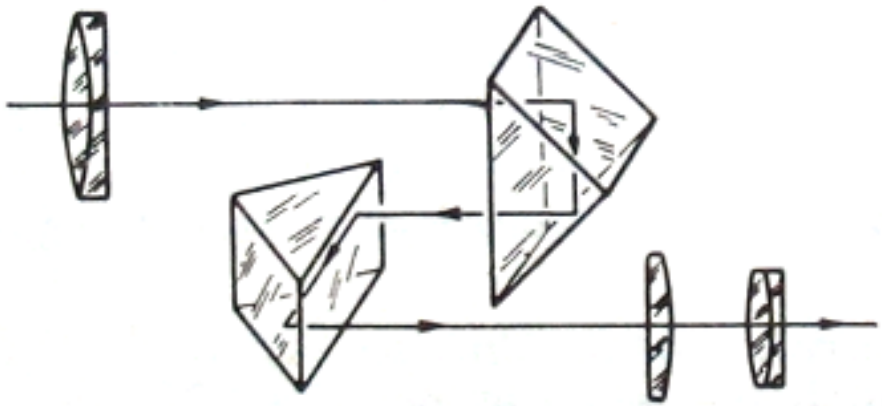
lencsés távcső :

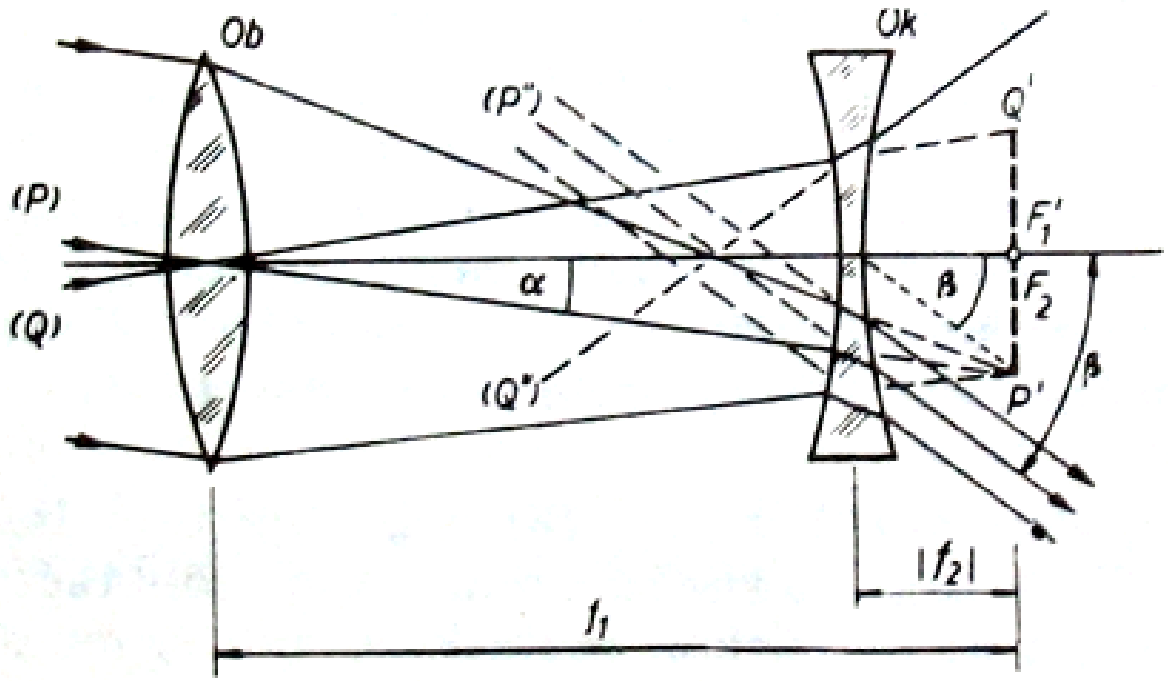


látószög nagyítása = $\frac{f_1}{f_2}$ (= szögnagyítás)

képfordítás :







továbbá : tükrös távcső, színházi látcső,…
írásvetítő
projektor
fényképezőgép
színes fényképezés, TV
refraktométerek (törésmutató mérése)
spektroszkópok (λ, anyagi összetétel)
stb…

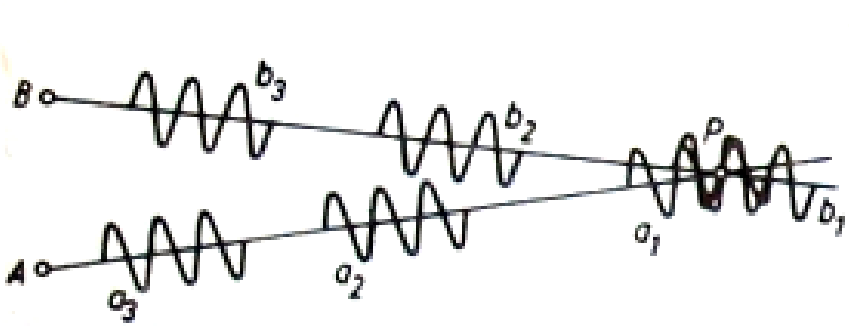
fizikai optika :

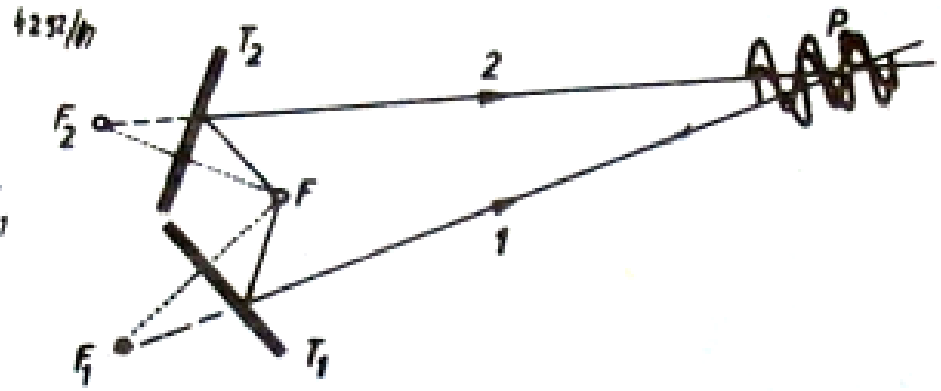
fény = elektromágneses hullám — vákuumban is terjed
c

↓

hullámjelenségek előállíthatók

fényinterferencia :





2 fényforrás

egyforma frekv.-k

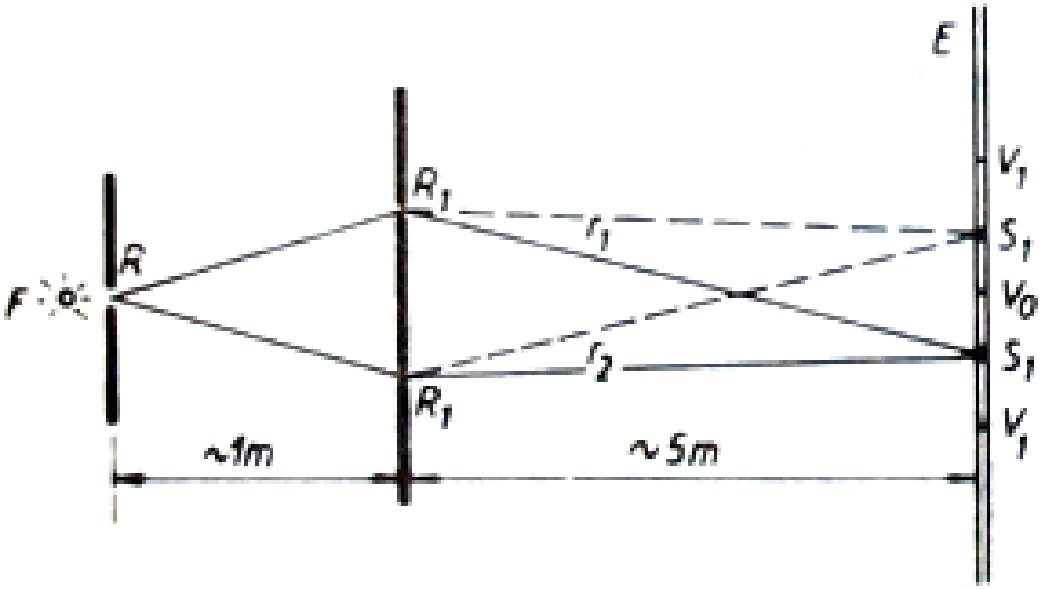
koherens hullámok ⟶ egy fényforrás ugyanazon pt.-jából induljanak

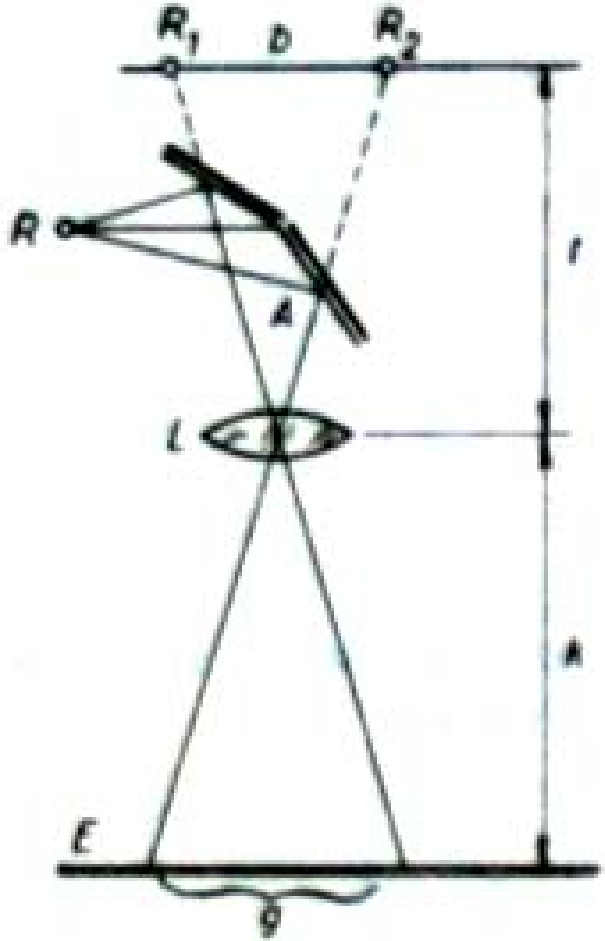
szobában 2 v. több fényforrás → nincs interferencia

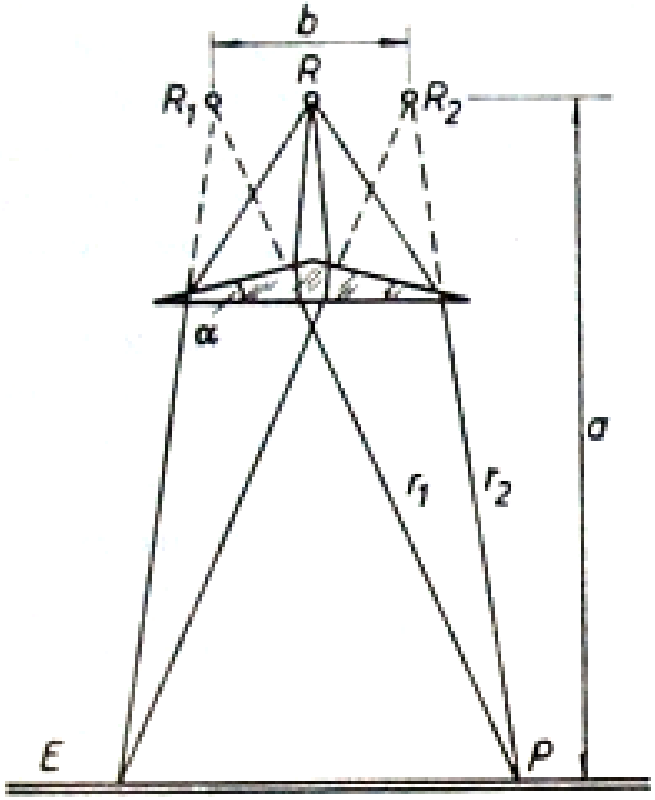
a fáziskülönbség állandó → állandó útkülönbség

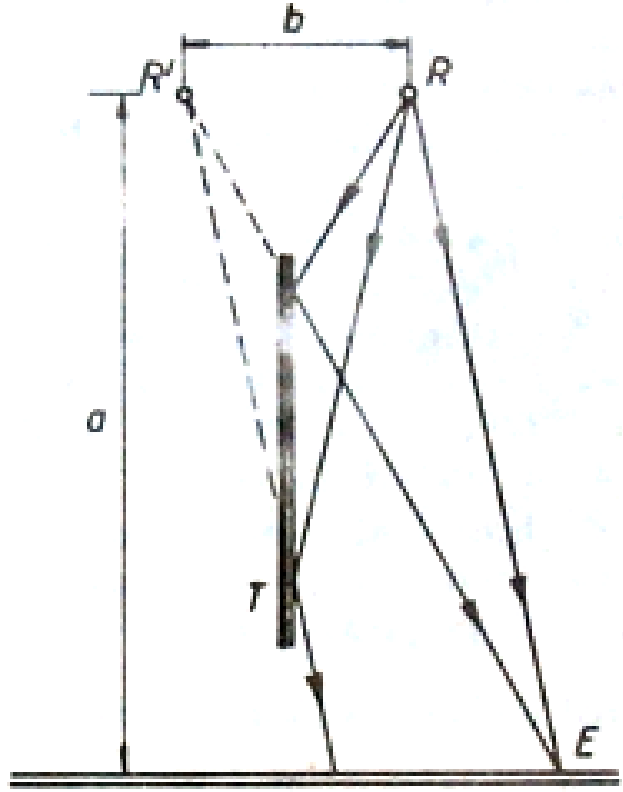
↓

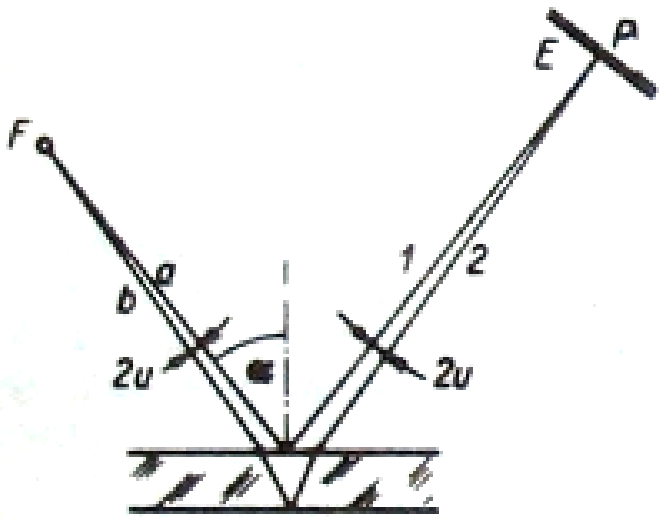
interferencia maximumok és minimumok

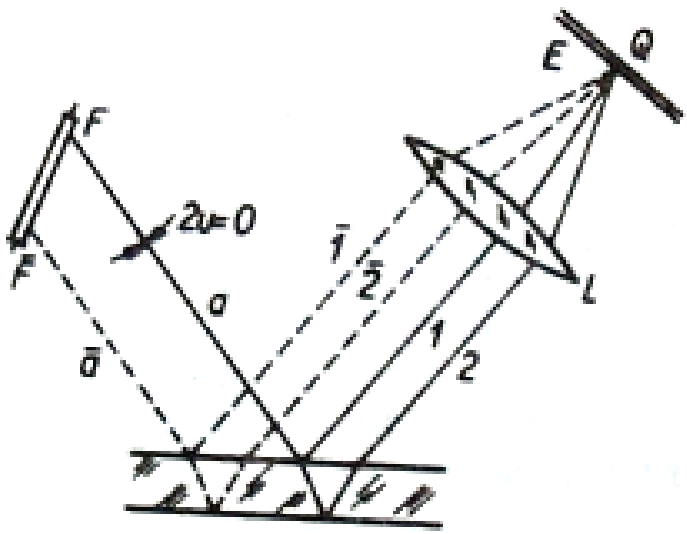

E
V1
R1
r1
S1
R
F
V0
r2
S1
R1
V1
~1m
~5m


R1
b
R2
R
l
A
L
h
E
g

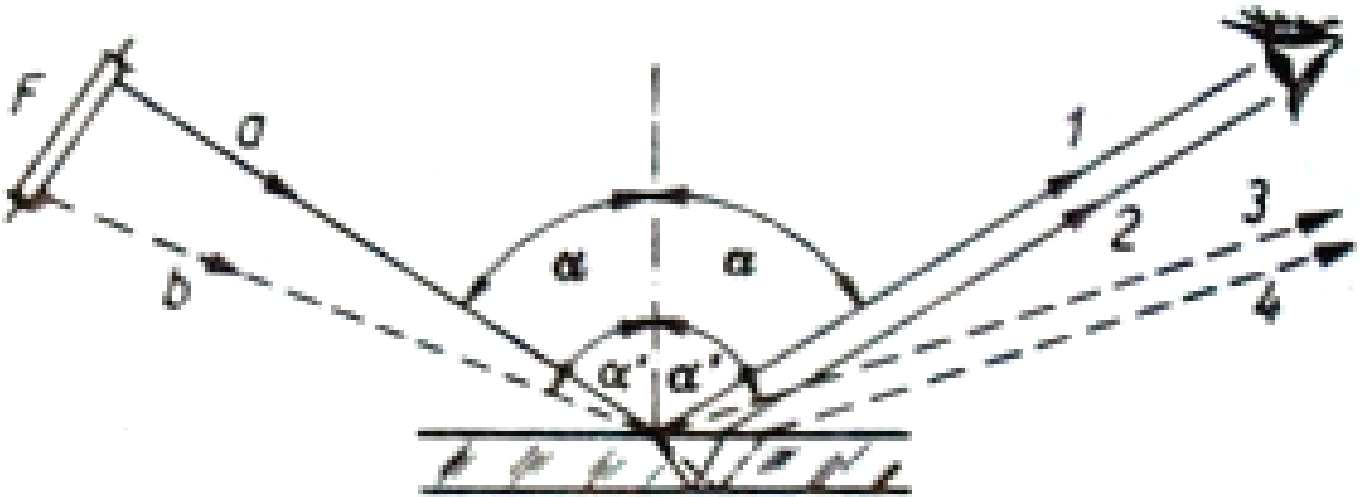

b
R
R1
R2
α
a
r1
r2
E
P


b
R'
R
a
T
E


E
Q
F
a
b
1
2
2u
2u
α

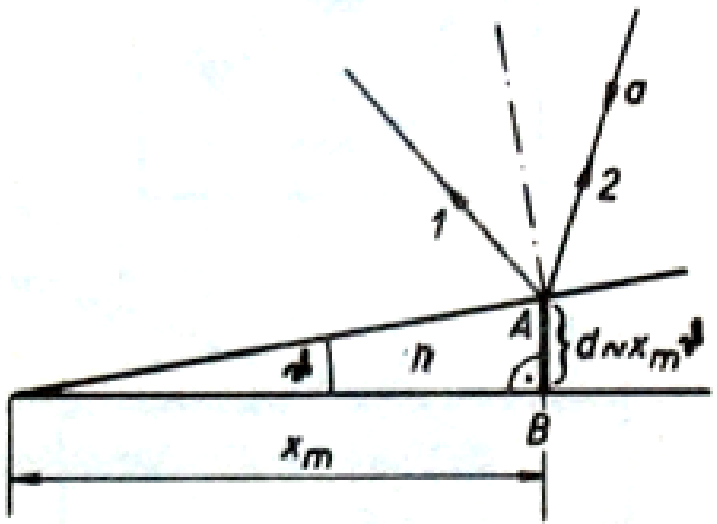

E
Q
F
2u=0
F'
a
a'
1'
2'
L
1
2

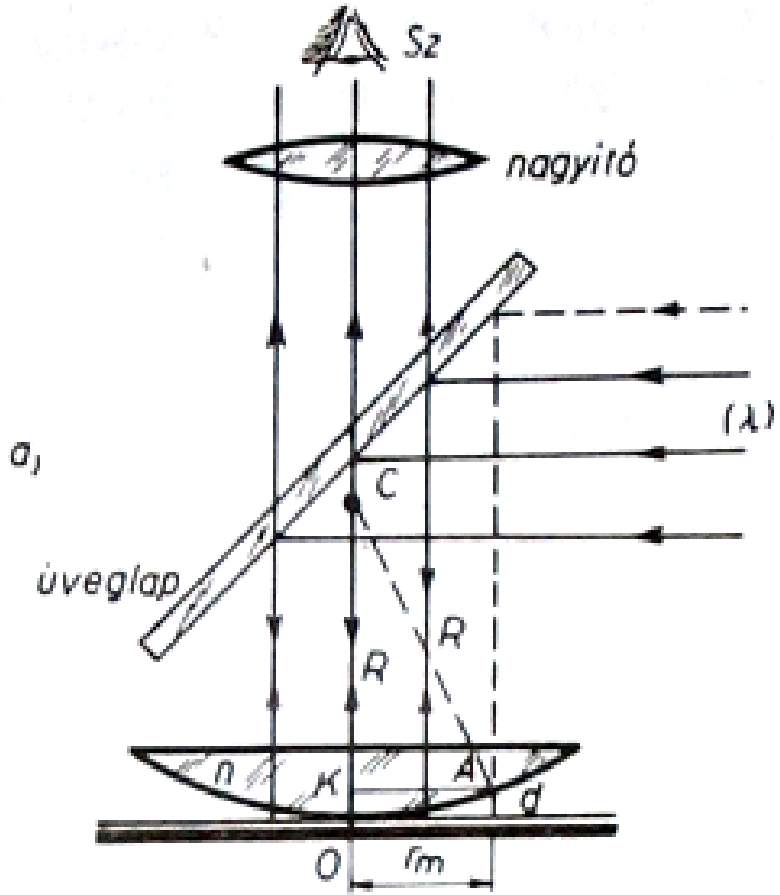
vékony rétegek egyenletes elszíneződése :

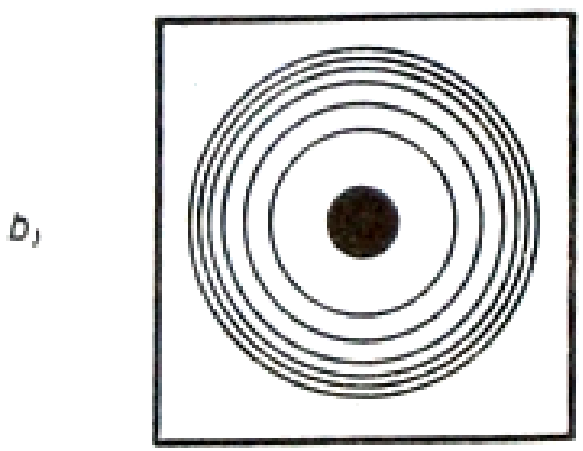


pl. szappanhártya, olajréteg adott irányból nézve adott színű, más irányból más színű

egyenlő vastagság görbéi :







Newton-gyűrűk

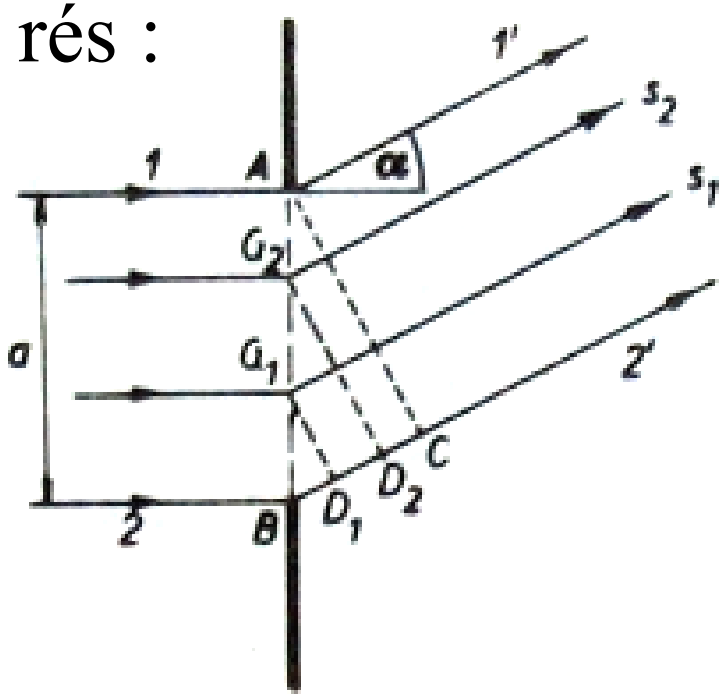
olajfolt a vízen (színes gyűrűk)

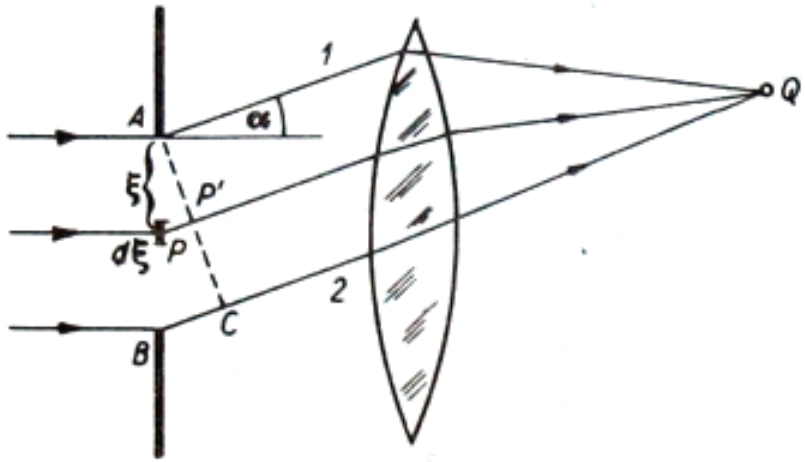
fényelhajlás, fényszóródás :

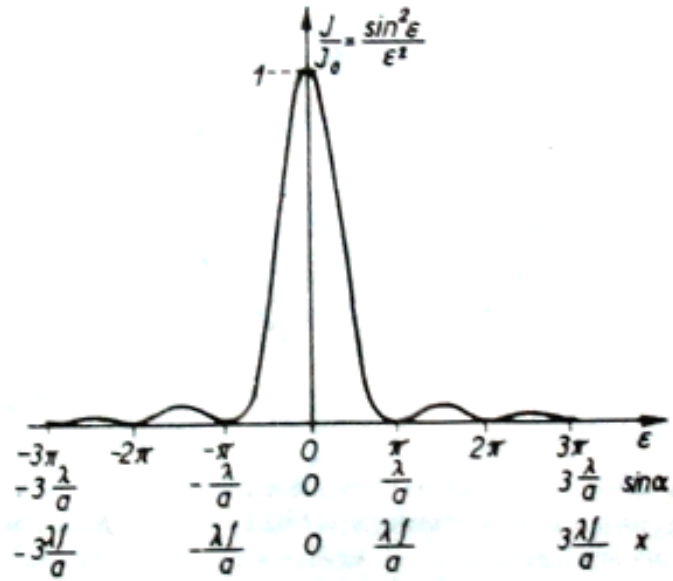
pl. fekete papír → tű → lyuk → távoli lámpát nézni lyukon át → lámpa körül színes gyűrűk

vagy : 2 ujj között átnézni

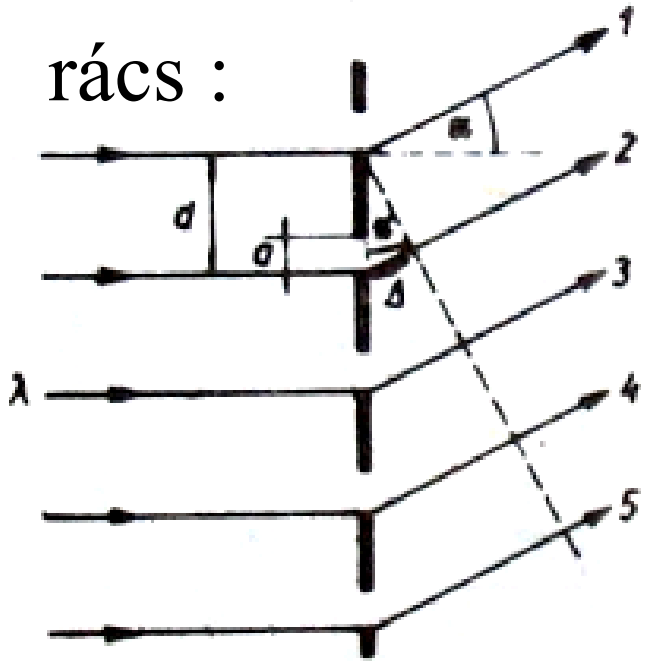
rés :

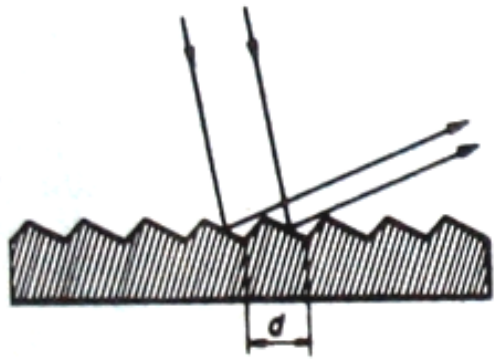


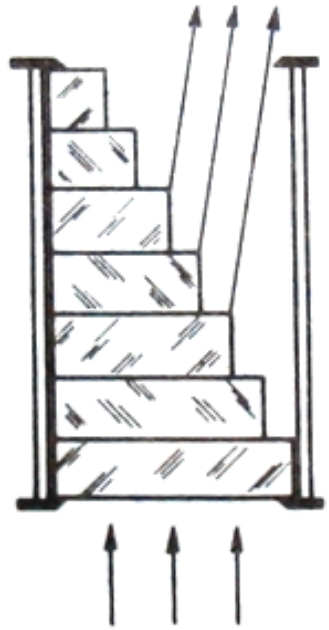




rács :







fényszóródás :

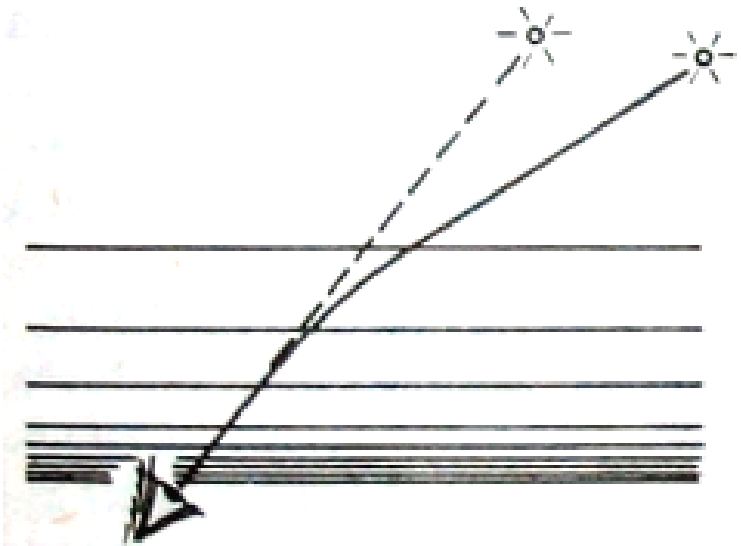
pl. porszemcséken, apró vízcseppeken, …

→ koncentrikus, sötét-világos gyűrűk

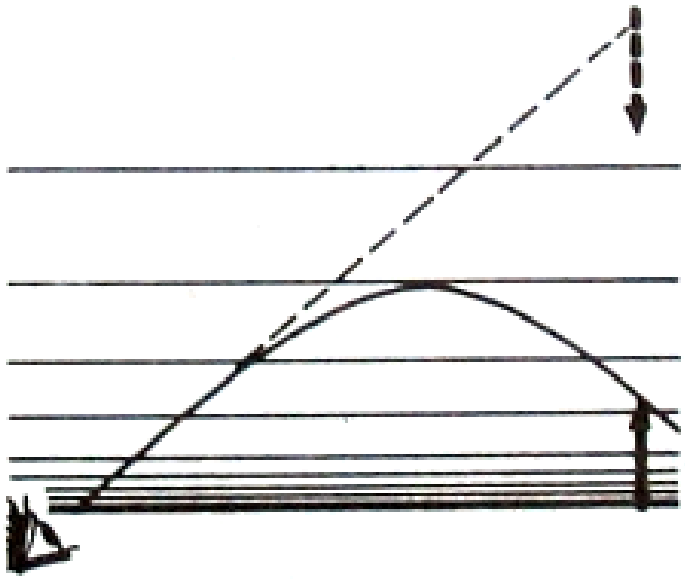
pl: a Holdnak párás időben udvara van,
ködben az utcai lámpák körül fényudvar

az ég kék; a felkelő, lenyugvó Nap vörös

légköri sugártörés :

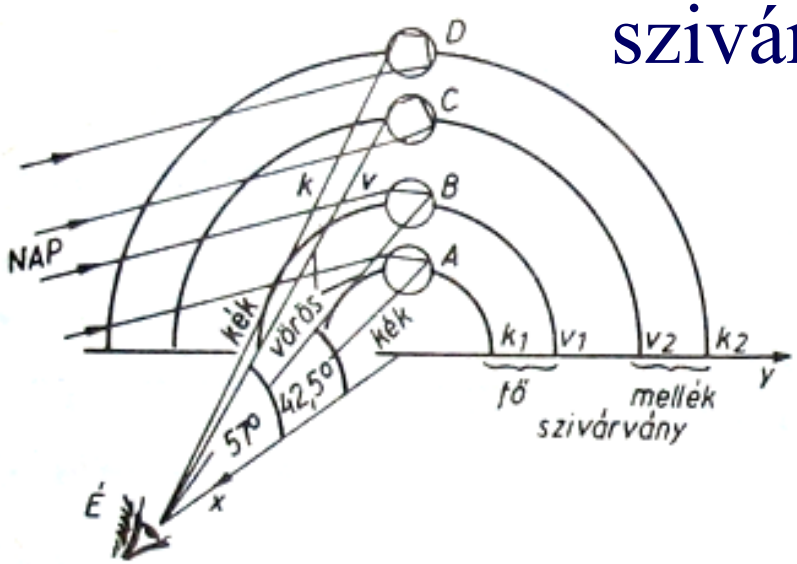


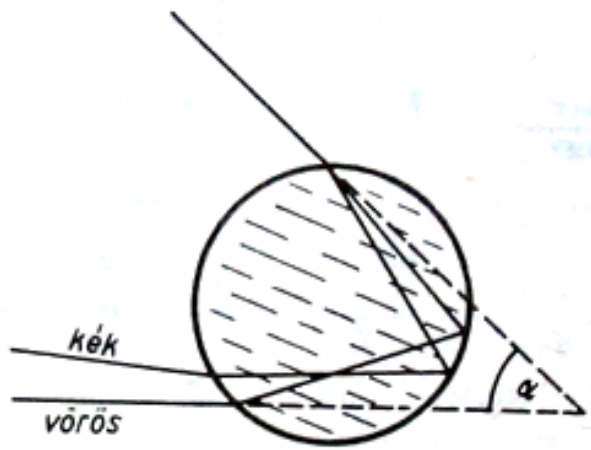
délibáb :



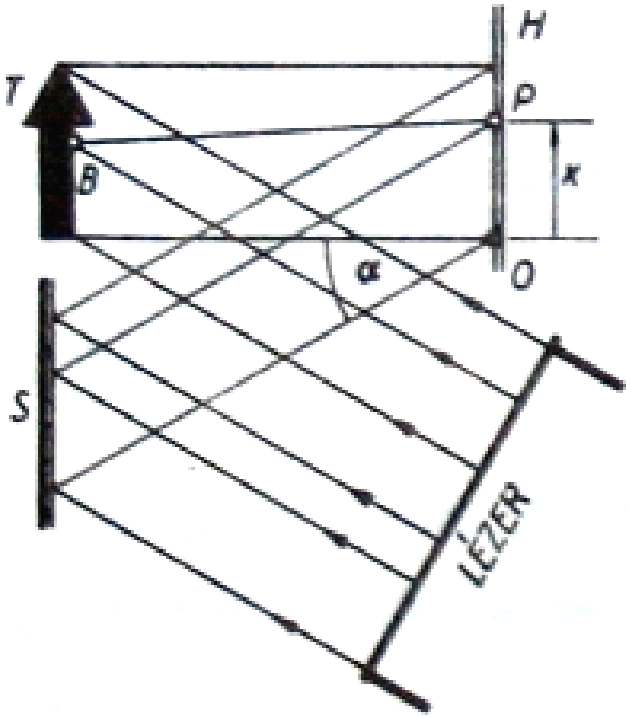
a lenyugvó Nap a horizonton látszik, de már alatta van !

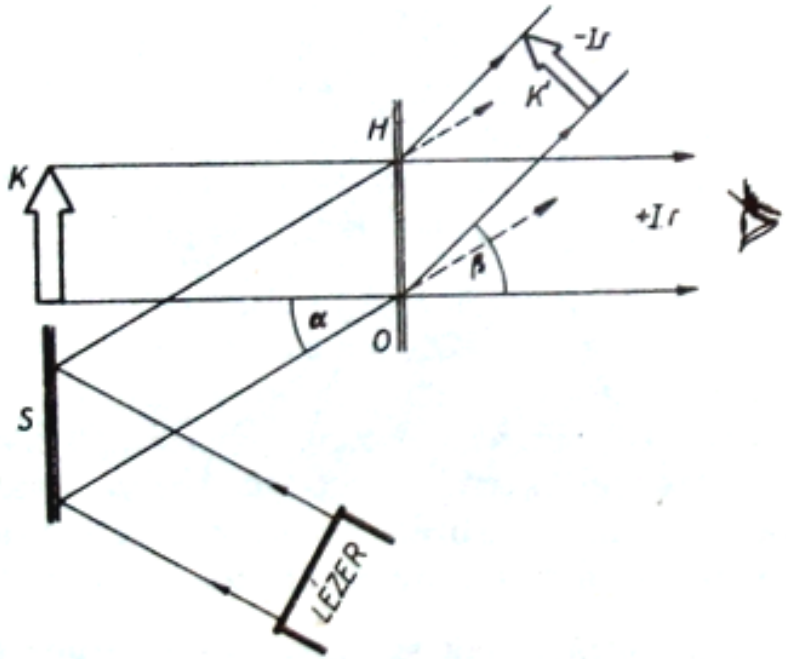
szivárvány :

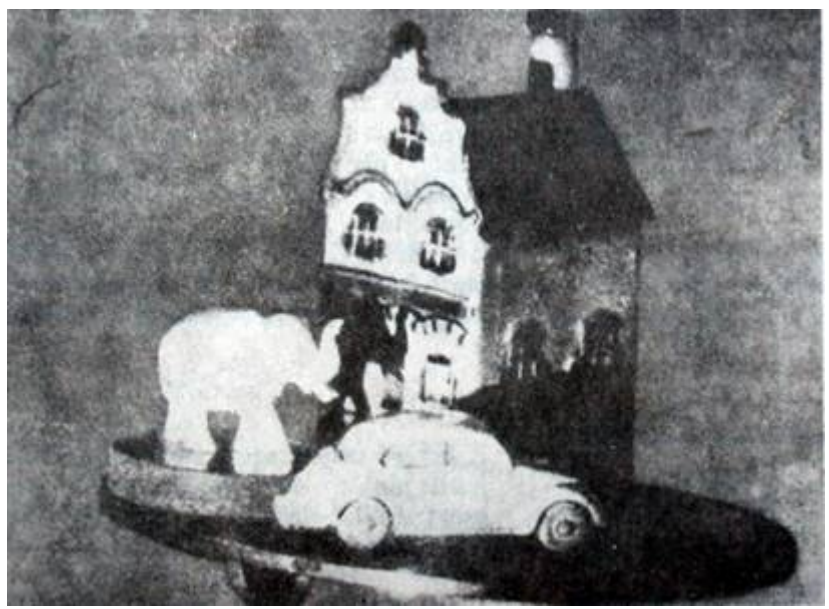




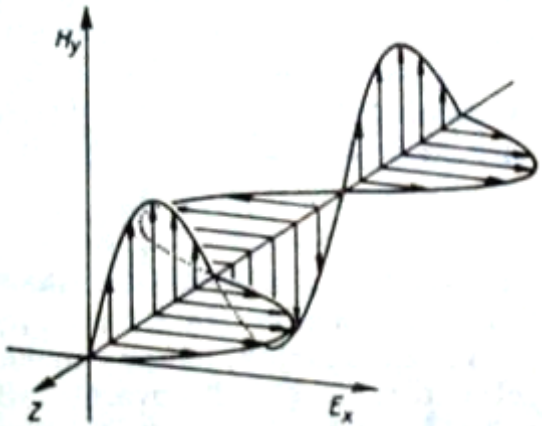
holográfia : Gábor Dénes, 1947

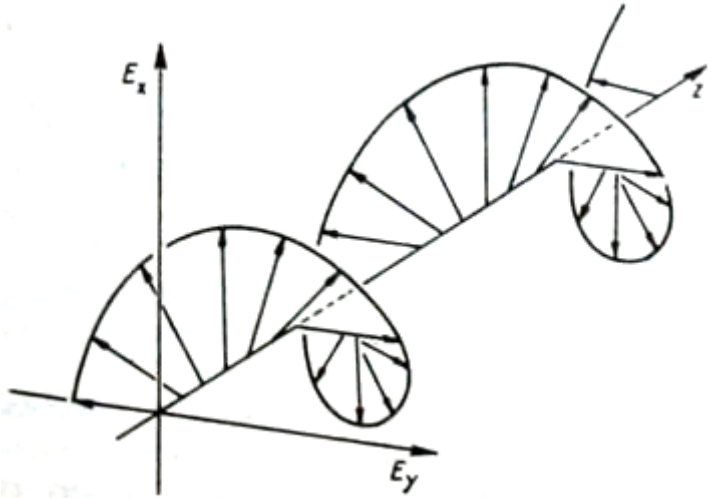


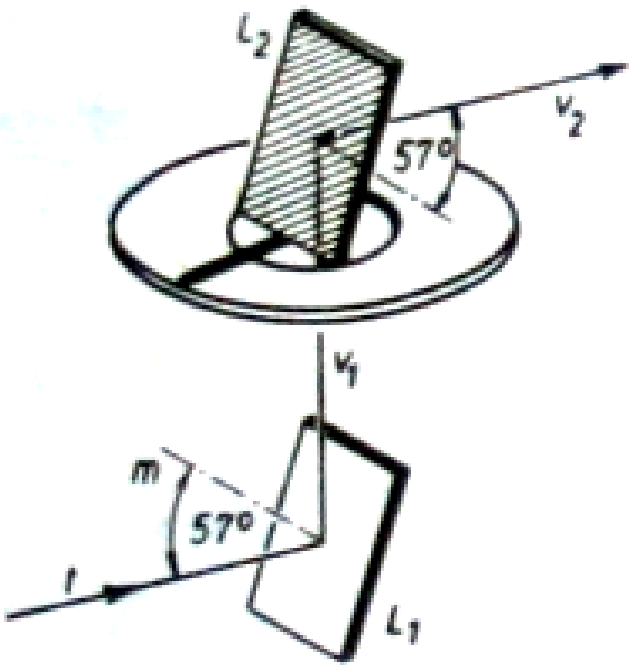


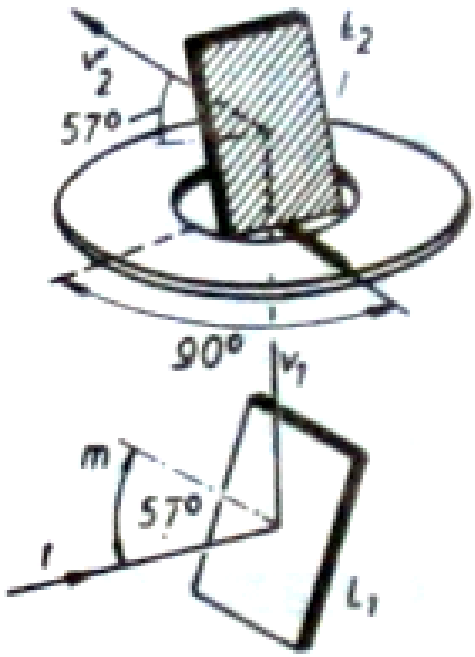


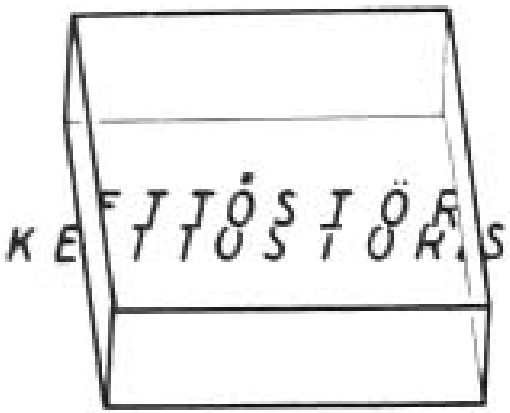
polarizáció, kettőstörés :

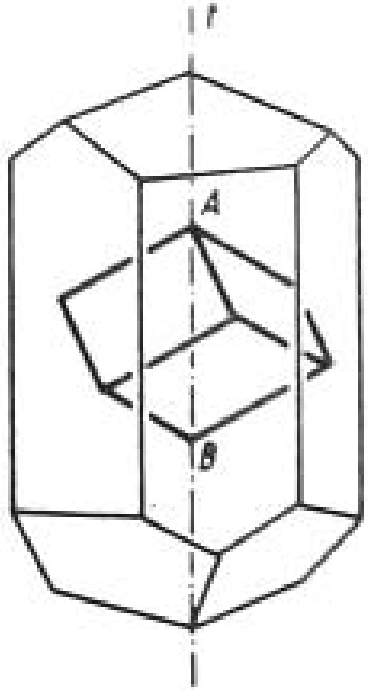


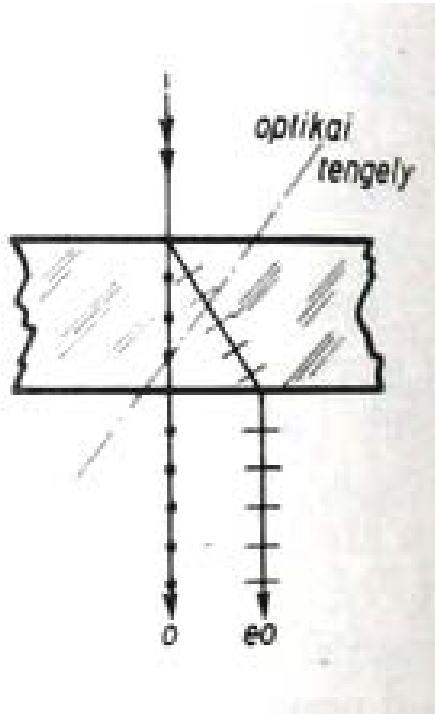




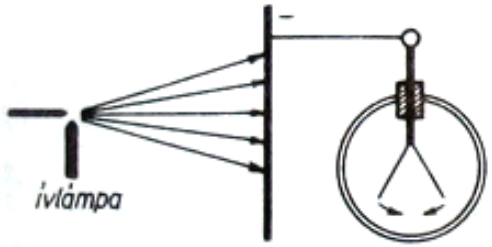


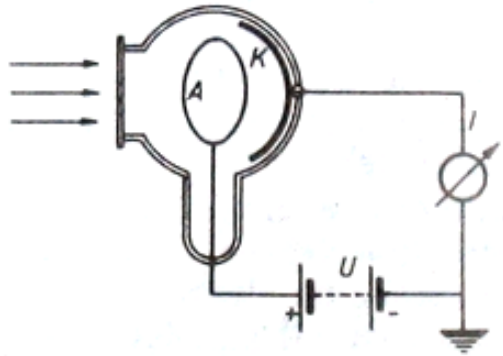

KETTŐSTÖRÉS


A
B


optikai
tengely
o
eo

fotoeffektus :





fény = foton (részecske)

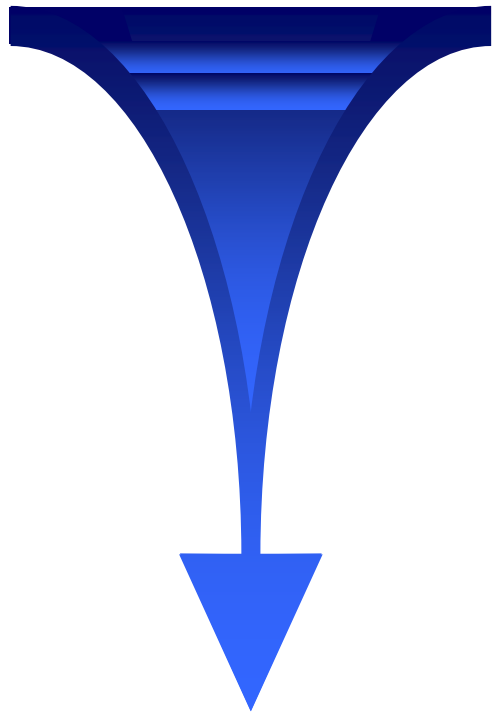
Einstein, 1905

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - A$$

„fényelektromos egyenlet”

↓

hullám-részecske dualitás



HŐTAN :

hő, hőmérséklet, hőmennyiség,…

testek állapotát jellemzi

tulajdonságok egy része függ a hőm.-től

a hőm. kiegyenlítődő mennyiség

előállíthatók jól reprodukálható hőm.-k : pl. adott nyomás mellett olvadó jég, forrásban levő víz

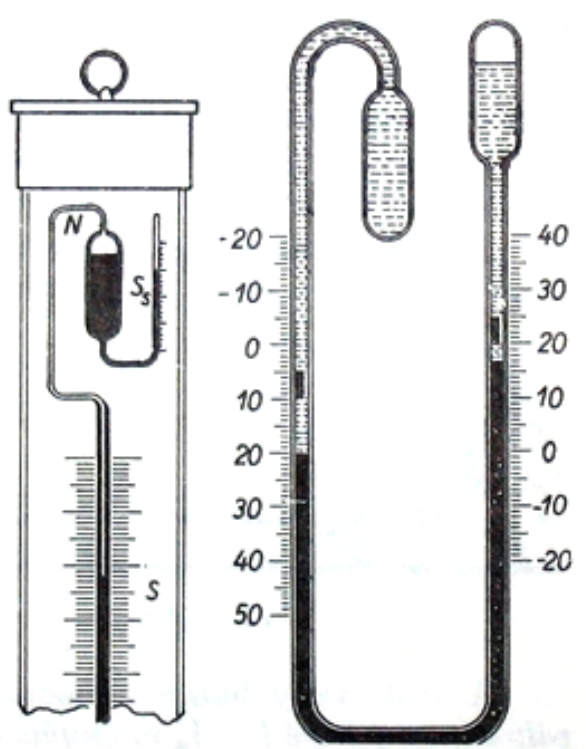
hőmérők : folyadékos, gáz, szilárd test

Celsius-skála, egyéb skálák

Kelvin-skála, abszolút hőmérséklet

°C
5 0
4 0
3 0
2 0
1 0
0 0
1 0

024
AUTO POWER OFF
COM
MV-64
MA TECH


N
S
S
-20
-10
0
10
20
30
40
50
40
30
20
10
0
-10
-20

36
38
40
42
37
39
41
°C
H

FLUKE
65 INFRARED THERMOMETER
36.3°C
SAVE TEMP MEM
Press 1 Second
MEMORY RECALL
MIN MAX
°C °F

hőtágulás :

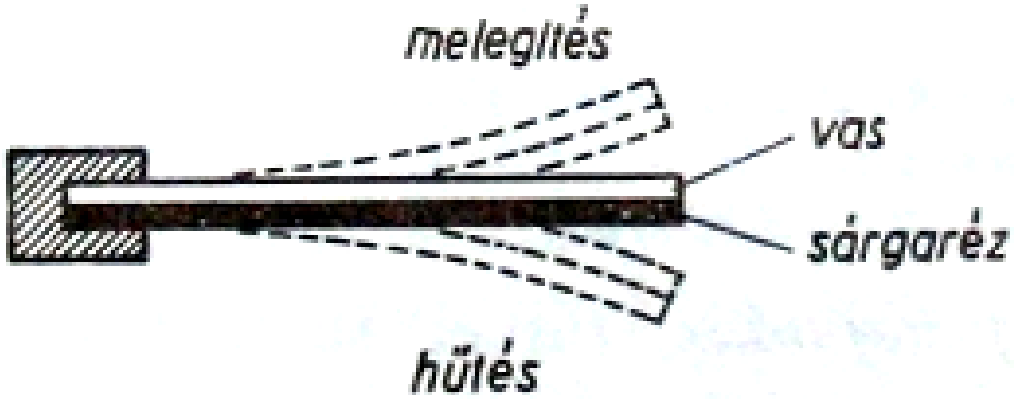
kísérlet :

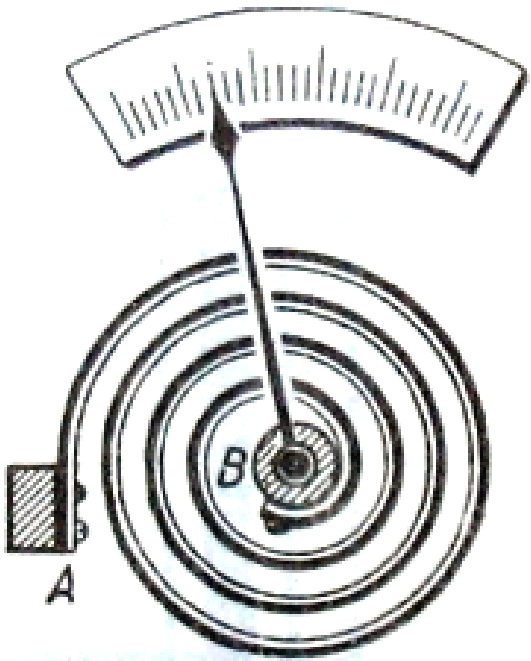
hőtágulás : $\Delta\ell = \alpha \ell_0 \Delta t$ $\xrightarrow{\text{pl.}}$

$\Delta V = \beta V_0 \Delta t$ és $\beta = 3\alpha$

alkalmazások:

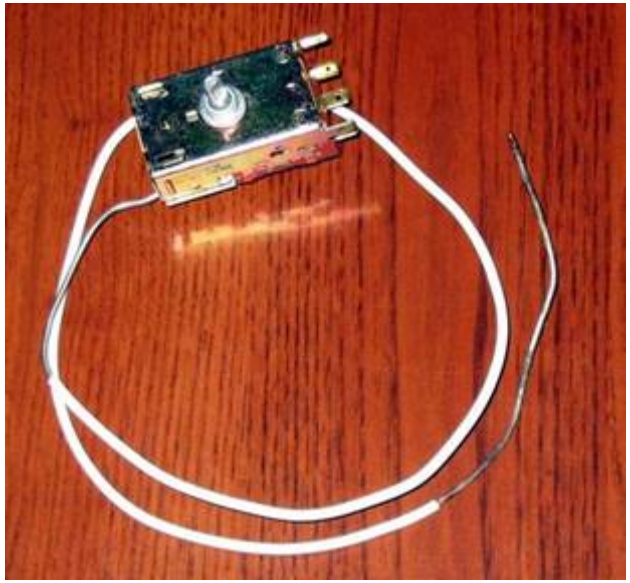
bimetál :

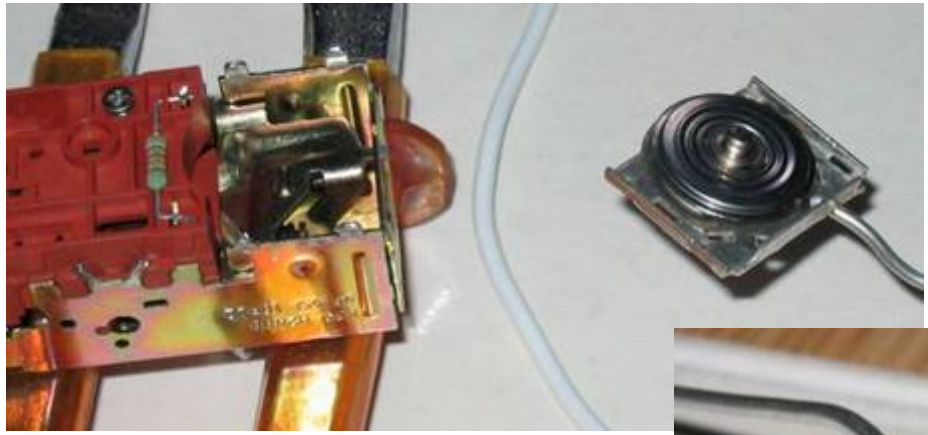




egyéb alkalmazások is (pl. kapcsolók,…)

Kísérlet : tűzjelző





10
15
20
25
30
cewal

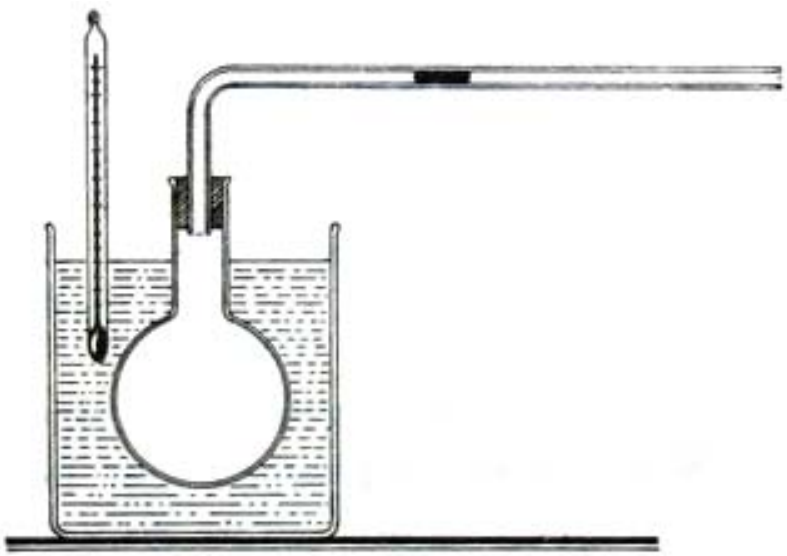
folyadékok hőtágulása : $\Delta V = \beta V_0 \Delta t$

víz speciális : 4 °C-on legnagyobb ρ → télen nem fagy be a tó alja

gázokra :

ha T = áll. Boyle-Mariotte : $p \cdot V =$ állandó

ha p = állandó :



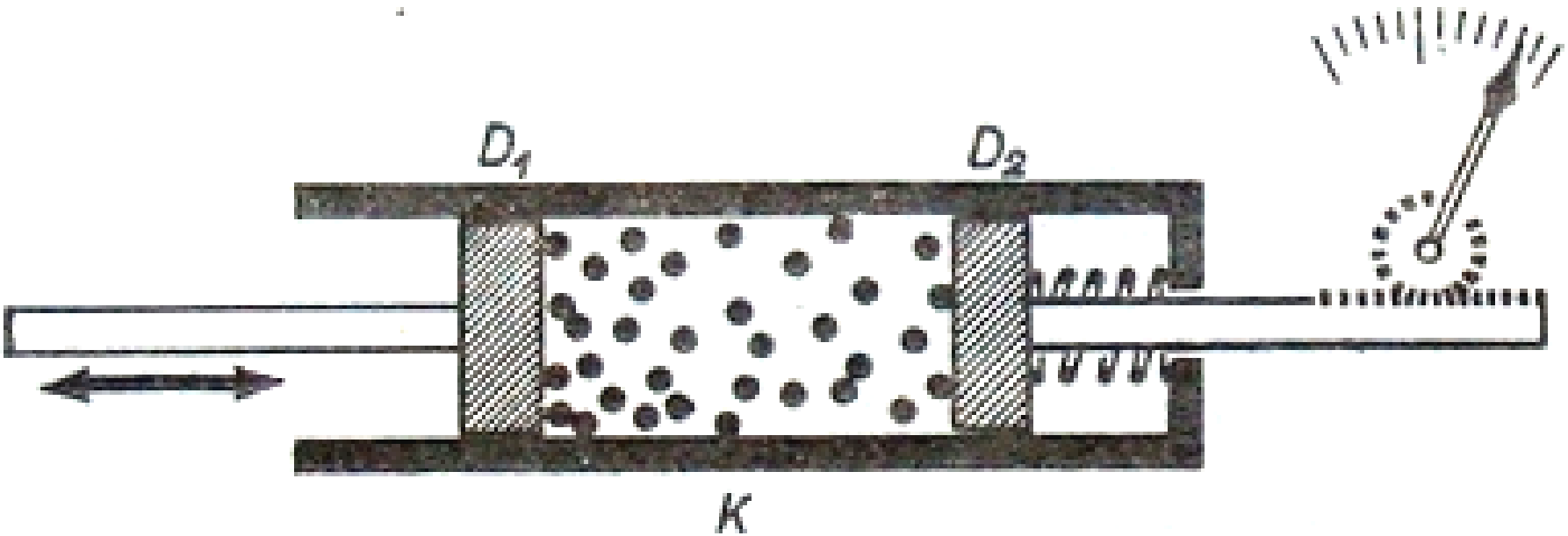
Gay-Lussac (1802) :

$$\Delta V = V_0 \beta \Delta t$$

$$\beta = \frac{1}{273.15} \quad \frac{1}{^{o}C}$$

minden gázra !

gázok nyomása :



Kísérlet : gázok nyomása

ha V = állandó : $\Delta p = p_0 \beta \Delta t$ ⟵ Gay-Lussac II.

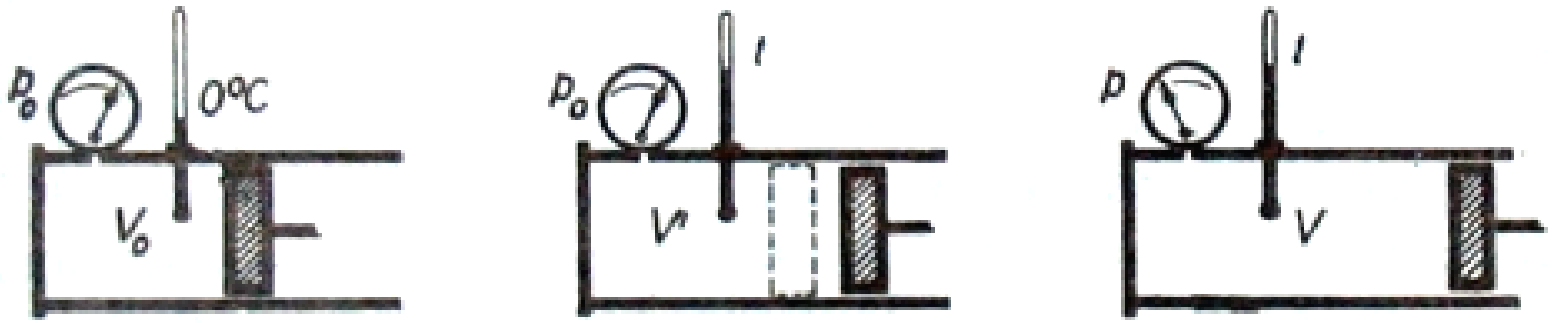
⬇

pl. gázpalackot, spréket, nem szabad tűző napra tenni!

A készülékben túlnyomás uralkodik. Felnyitni, ütögetni, felszúrni, sugárzó hő hatásának kitenni vagy tűzbe dobni még üres állapotban is tilos!
Kisgyerekektől elzárva kell tartani! A készítmény szembe jutását kerülje! Ha szembe kerül, azonnali bővizes öblítés szükséges! Élelmiszerektől távol tartandó!
Legfeljebb 35 °C hőmérsékletű helyen tárolható!
A KÉSZÜLÉK UTÁNTÖLTÉSE TILOS!

Felhasználható a gyártástól számított 24 hónapig.

egyesített gáztörvény, állapotegyenlet, ideális gáz :



$$\frac{pV}{T} = \text{áll.} \qquad \text{vagy} \qquad \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

$$T\,[\mathrm{K}] = 273.15\ ^{\circ}\mathrm{C} + t\,[^{\circ}\mathrm{C}]$$

valódi gázokra ez nem igaz

ha a gáz tömege *m* → $pV = \frac{m}{M} RT$

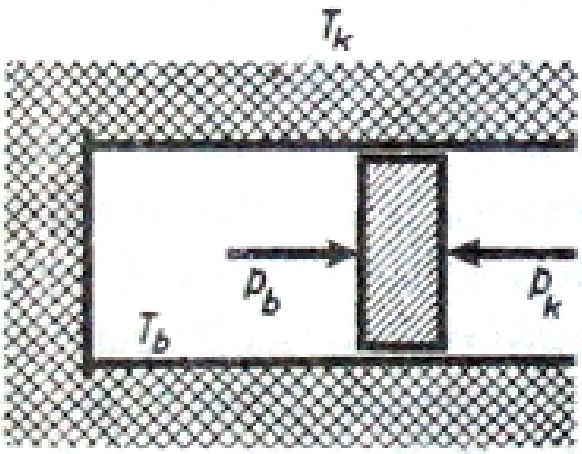
fajhő, hőkapacitás : $Q = \underbrace{cm}_{C}\Delta t$

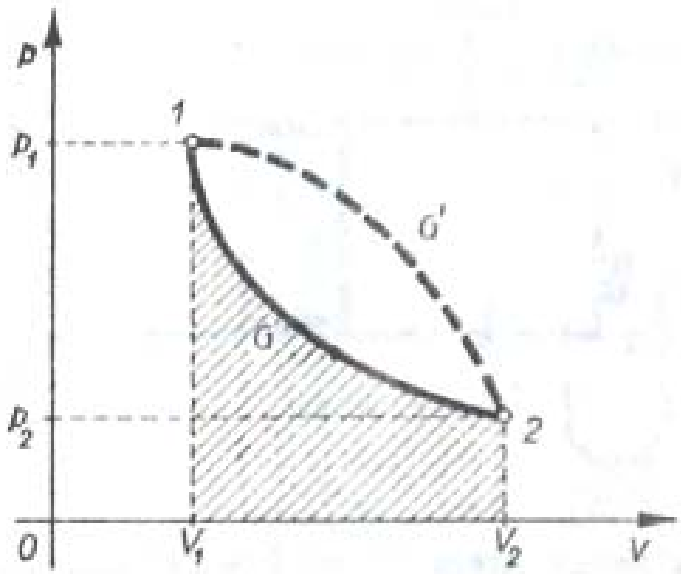
hő, hőmennyiség

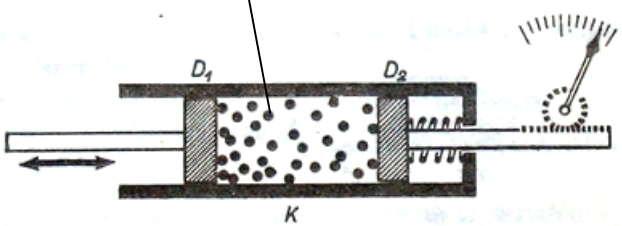
$\Delta U = Q + W$ ⟶ **1. főtétel** ⟶ energiamegm.

elsőfajú örökmozgó nem készíthető

munka (tágulási munka) :





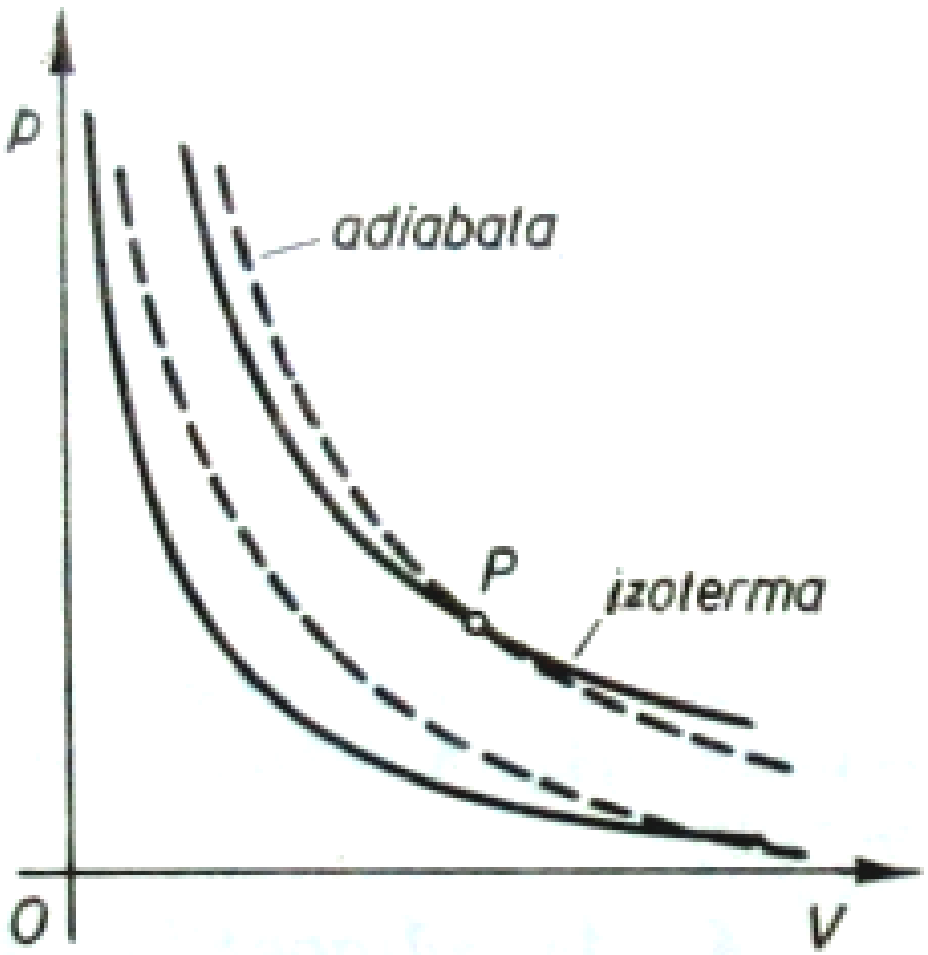


$W = p \cdot \Delta V$

(ha $p \neq$ áll. : $W = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$)

belsőenergia növelése mechanikai munkavégzéssel:

ideális gáz állapotváltozásai :



izotermikus állapotvált. :

(T = áll.)

↓

$p \cdot V$ = áll.

izochor állapotvált. :

V = áll.

izobár állapotvált. :

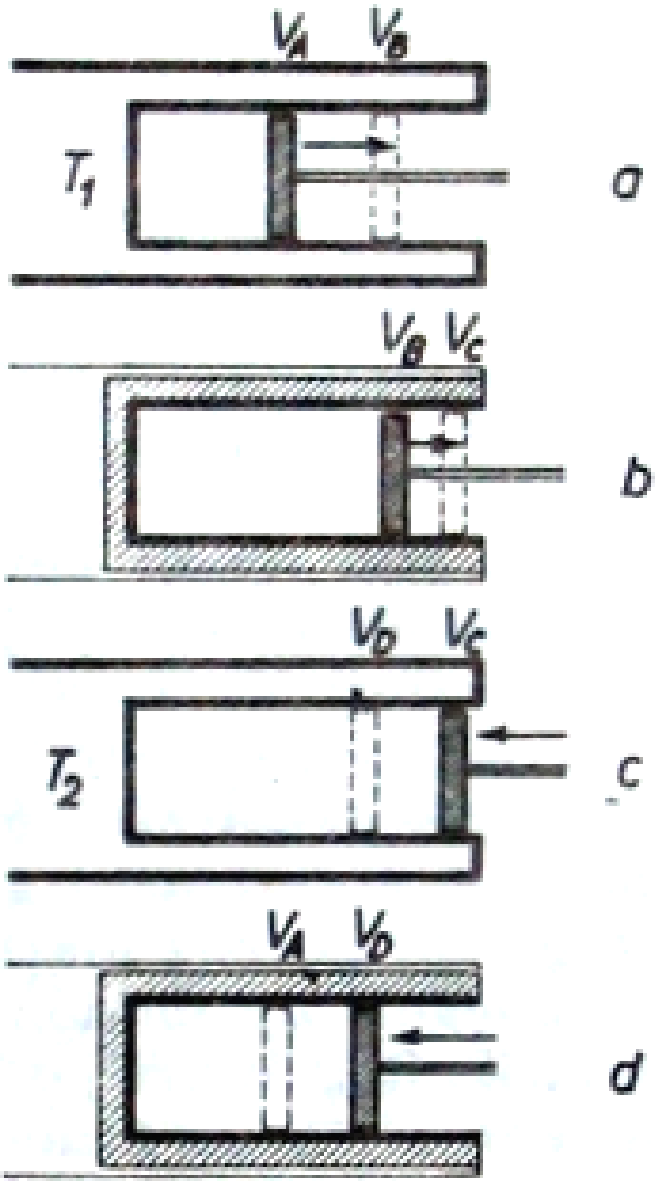
p = áll.

adiabatikus állapotvált. : Q = 0

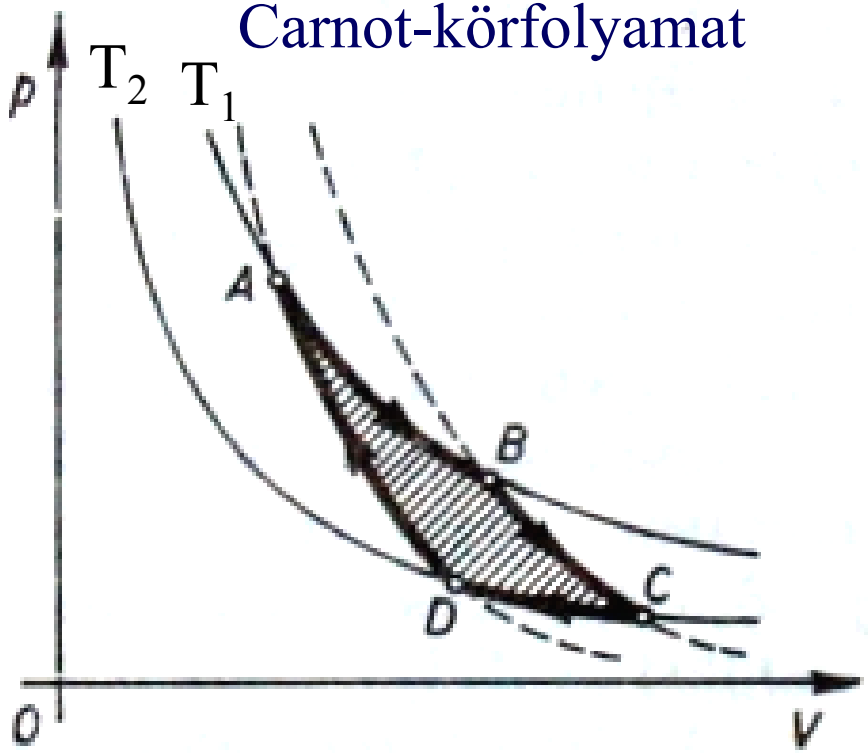
pl. pumpa összenyomása → felmelegszik

körfolyamatok :

Carnot, 1824 (gőzgépek tökéletesítése)



Carnot-körfolyamat



hatásfok :

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

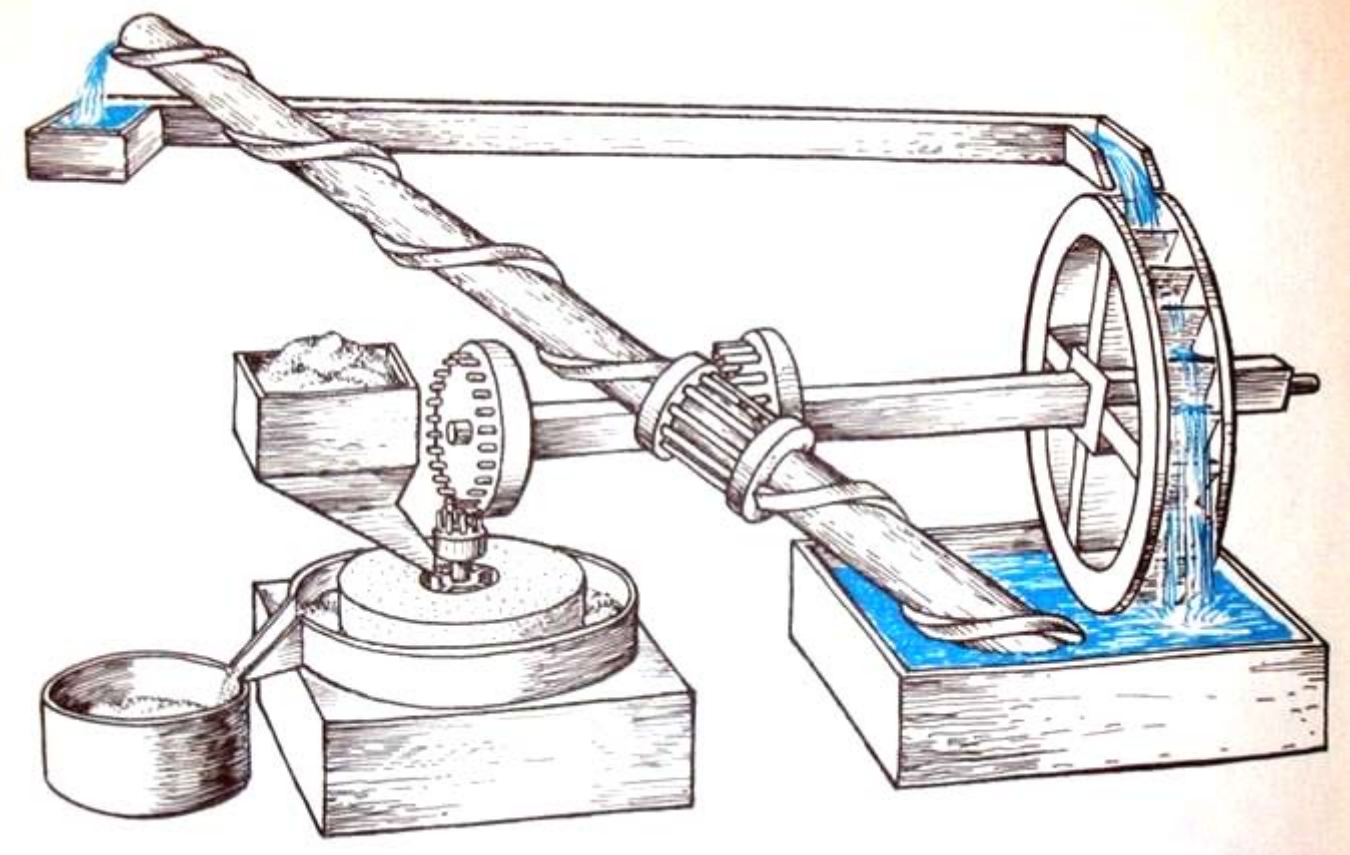
pl. : hűtőgép (légkondicionáló is)
egy tartályt a környezeténél (T_1) alacsonyabb T_2 hőm.-en tart : munkavégzéssel vonja el a hőt a tartályból

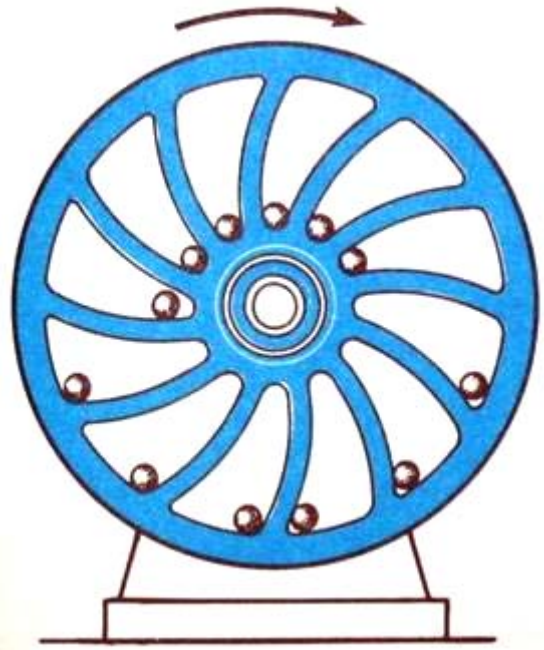
pl. : hőszivattyú
épület (T_1) fűtése a szomszédos tóból, talajból,… (T_2) elvont hővel, munkavégzés

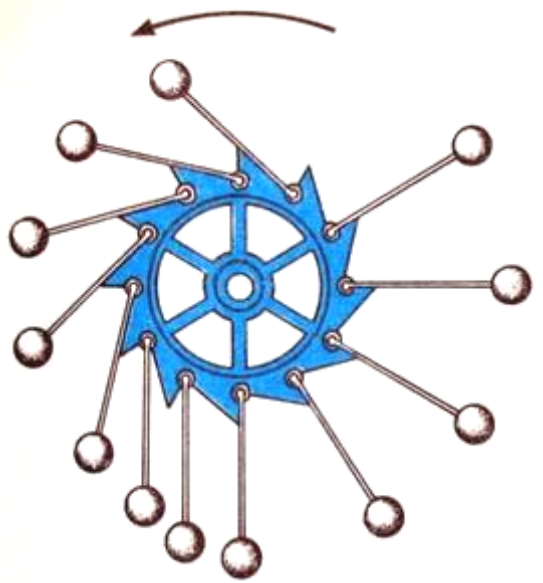
mindkettő megfordított Carnot-körfolyamat

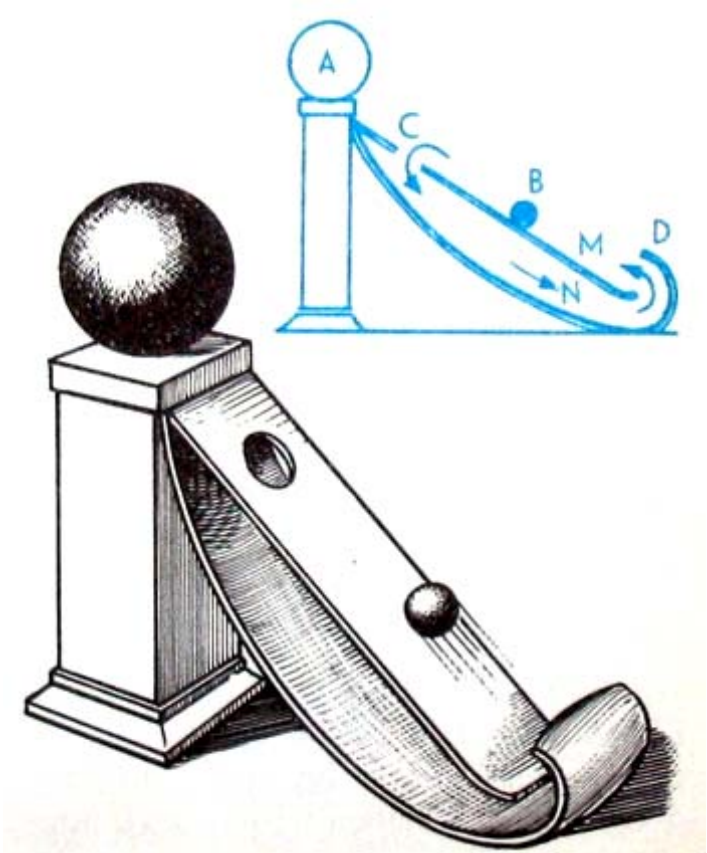
2. főtétel :

másodfajú örökmozgó nem készíthető (tapasztalat) =
nem lehet o. gépet készíteni, ami egy hőtartályból hőmennyiséget von el és azt egyéb változások bekövetkezése nélkül mechanikai munkává alakítaná







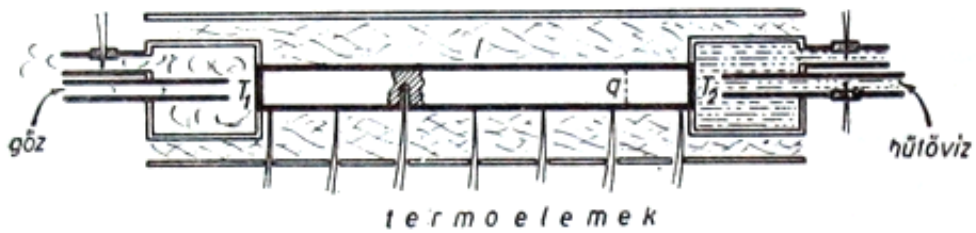


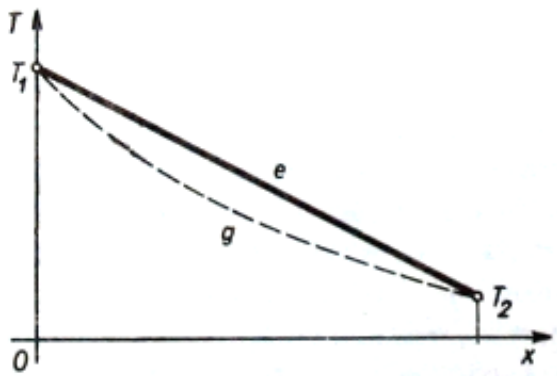
reverzibilis – irreverzibilis folyamatok

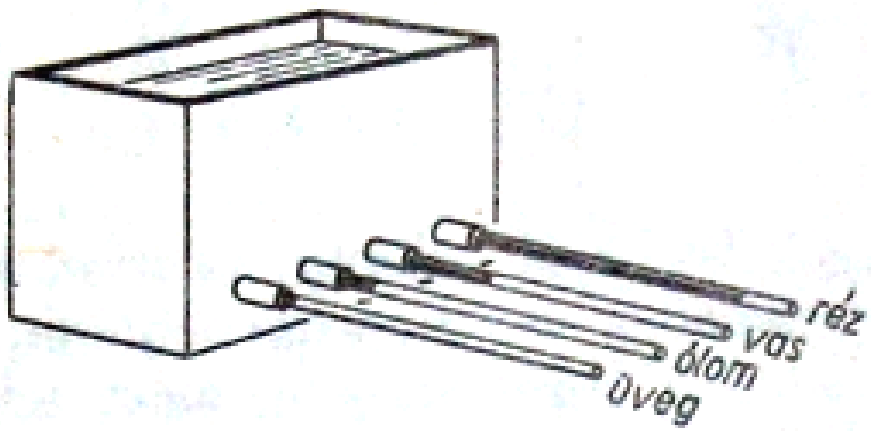
2. főtétel másképpen : zárt rdsz.-ben végbemenő irrev. folyamatoknál a rdsz. entrópiája növekszik

a hő terjedése : hővezetés
hőáramlás
hősugárzás

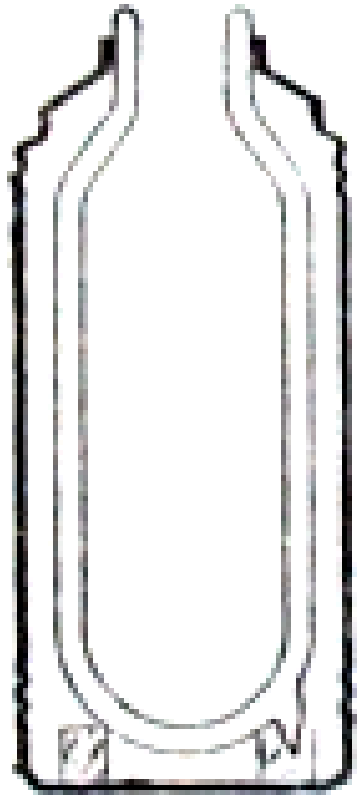
hővezetés :







termosz;
Dewar-edény

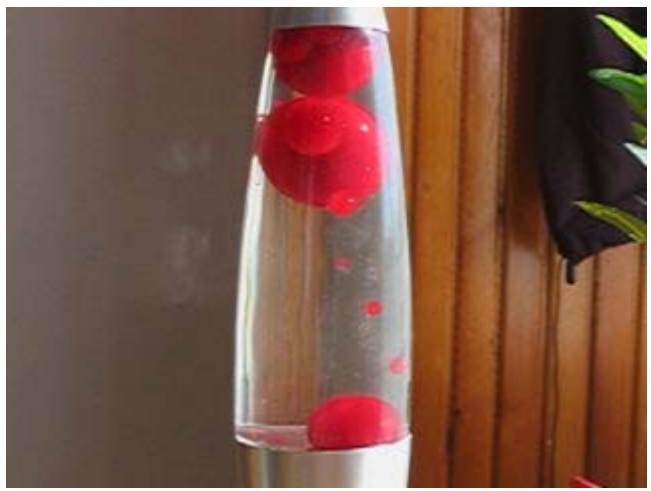


szobahőm.-ű vas- ill.
hungarocel lapra
tenyerelve a vasat
hidegnek érezzük :
miért ???

***hőáramlás* :** folyadékok, gázok
pl. gravitációs központi fűtés

kísérlet : papír-spirál tűz fölött forog → otthon kipróbálni

pl. : lávalámpa :



***hősugárzás* :** nem kell közvetítő közeg

pl. Nap → földfelszín

a levegő a földfelszíntől melegszik fel

a földfelszín is sugároz ki hőt → felhőkről, stb

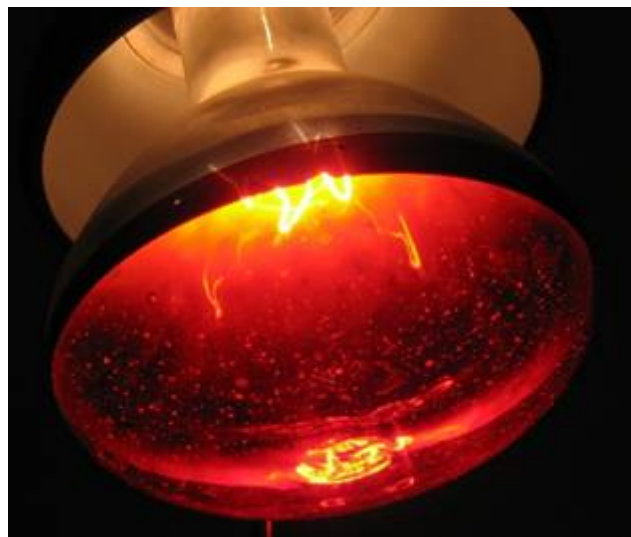
visszaverődik → üvegházhatás

hősugárzás = elektromágn. sug. (IR)

kísérlet : Nap → (éget

melegvíz készítése napenergiával :

vagy: fekete rézcső hullámlemez-tükör
fókuszpontjaiban, „üvegházban”



példák, alkalmazások : A SZOBÁK, LAKÁSOK KLÍMÁJA

1.***Hogyan védekezhetünk a lakásban a hőség, ill. a hideg ellen?***

A./ Fényvédőt helyezünk az ablakra
B./ Hűtjük, ill. melegítjük a szoba levegőjét
C./ Hőszigetelő réteget alkalmazunk ⇒ **építkezés**

A.

1. Melyik a jobb: reluxa, ***redőny***, spaletta, zsalugáter, függöny?
2. Miért jobb a redőny a reluxánál?
3. MIlyen színű legyen a fényvédő?

hőelnyelés, hősugárzás törvényszerűségei ⇒ **öltözködés, napelemek, kályhák, radiátorok**

4. Érdemes-e kitárni az ablakot, ha van fényvédőnk és kint hetedmagával süt a Nap?
Nem, mert ha nincs erőteljes légmozgás, csak azt érjük el vele, hogy bent is ugyanolyan meleg lesz, mint kint.

5. Hogyan juthatunk friss levegőhöz úgy, hogy mégis hűvösben maradjunk?

Kísérlet: állandó huzat kis réssel.

6. Hogyan szellőztessünk télen, hogy ne hűljön ki a szoba, de mégis friss levegő legyen a szobában?
Rövid ideig teljesen kitárt ablakokkal. Ekkor a szoba levegője kicserélődik, de kis fajhője miatt gyorsan felmelegszik újra. A tartósan résnyire nyitva tartott ablak miatt egyenetlen és kellemetlen a szobában a hőmérsékleti eloszlás és így tartósan az utcát is fűtjük.

B.

Hogyan hűthetjük, melegíthetjük a szoba levegőjét?
1. *Vízzel (nagy fajhő)* ⇒ **tengerpart, tópart hőmérsékleti viszonyai**
szobaszökőkút, engedjük tele a fürdőkádat hideg vízzel
2. *hideg levegő befúvásával* ⇒ **légkondicionáló** (= hűtőgép)
3. Hűti-e a szoba levegőjét a ventillátor? Miért hűsít?
⇒ hajszárítás, ruhaszárítás, leves hűtése,
⇒ Miért fázunk, ha kiszállunk a vízből a strandon?
4. Hogyan és mivel fűtjük a lakásokat?
vaskályha (fa, szén), cserépkályha (fa, szén), villanykályha (hősugárzó, ill. hőtárolós kályha), radiátor (víz, gőz, olaj), konvektor (gáz), padlófűtés (víz, villany)

(kazán kell)

5. Hol legyen a fűtőtest?

Lehetőleg az ablak alatt (hőfüggöny)

Kísérlet: Papírkígyót helyezünk a radiátorra → hőáramlás

⇒ Miért tudnak körözni a gólyák szárnycsapás nélkül a magasban napsütéses nyári délutánokon?

⇒Hogyan mozog a vitorlázó repülőgép?

→ „termik”

6. Hogyan kell tüzelni a cserépkályhában?

Kísérlet: *Az égés is kölcsönhatás (égő gyertyát főzőpohárral borítunk le előbb légmentesen, majd légrést hagyva. Ellenőrzés égő gyufával. ⇒ az alsó légtérben felgyülemlő széndioxid miatt életveszély (a borospincékben is CO_2)*

7. Miért kell a kályha alsó ajtaját nyitva tartani? A magas, vagy az alacsony kémény a jobb?
Kísérlet: Égő gyertyát hosszabb-rövidebb üvegcsövekbe teszünk, előbb alul rés nélkül, majd réssel. ⇒ huzat, kémény
⇒ Miért magas a gyárak kéménye?
8. Miért kell bezárni a kályha ajtaját a fűtés befejeztével? Miért nem szabad nyitogatni utána?

9. Áramlási viszonyok a fűtött lakásban
- Miért fázik a lábunk a cserépkályhával fűtött szobában?
- Hol van a legmelegebb a padlófűtésű lakásban?
- Miért jó, ha az ágynak lába van és nem közvetlenül a padlón van a matrac?
A lábas ágy alatt lehetőség van légáramlásra, de ha a matrac a padlón van, bennünket ér az áramló levegő.

C.

Házak, lakások szigetelése ⇒ építkezés

1. Hová tegyük a szigetelő réteget:
a fal külső vagy belső felületére?
A kívülről szigetelt ház nagy hőkapacitású fala a belső levegővel és a berendezési tárgyakkal azonos hőmérsékleten van.

2. Az üres vagy a zsúfolt szoba fűthető be hamarabb? Melyik hűl ki hamarabb? (hőkapacitás)

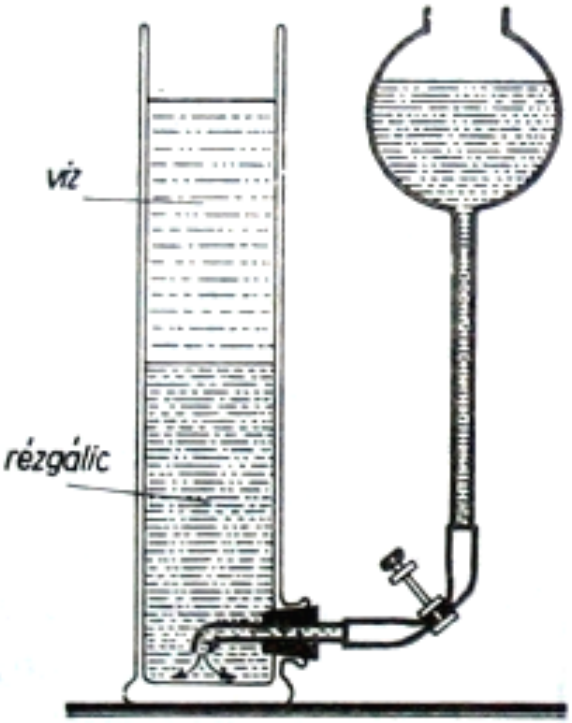
3. Melyik a jobb falazó anyag a lakás hőviszonyainak (hőszigetelés, hőtárolás, fajhő) szempontjából? fa, vert fal, vályog, tömör tégla, lyukas tégla, betontufa, szilikát, betonpanel? ⇒ **építkezés**

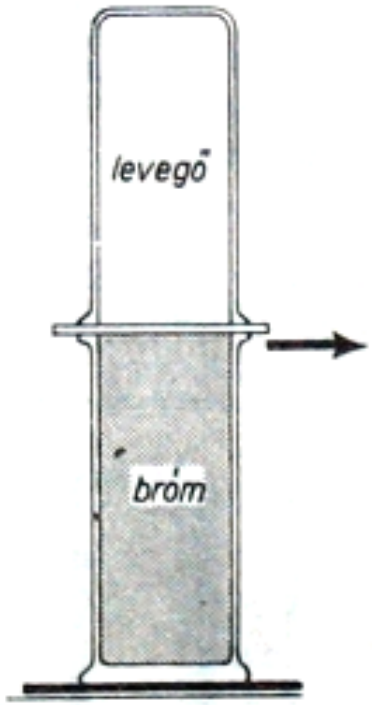
hőszigetelő ablak (de vigyázni, ha gáztüzelés van, + levegőbeeresztés kell)

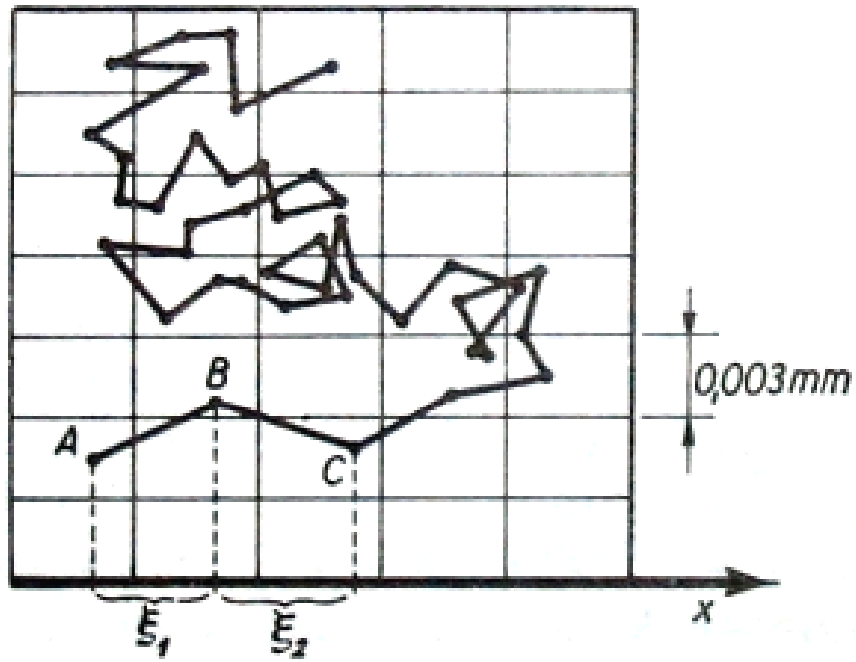
4. Milyen a jó tető?
lapos, sátortető ⇒ **építkezés ⇒ vízhatlan, víztaszító anyagok**, **lejtők, a levegő mint szigetelő**

5. Melyik a jobb tetőfedő anyag a lakás hőviszonyainak szempontjából?
szalma, nád (tűzveszélyes!), cserép, pala, hullámpala ⇒ **építkezés**

diffúzió, ozmózis :





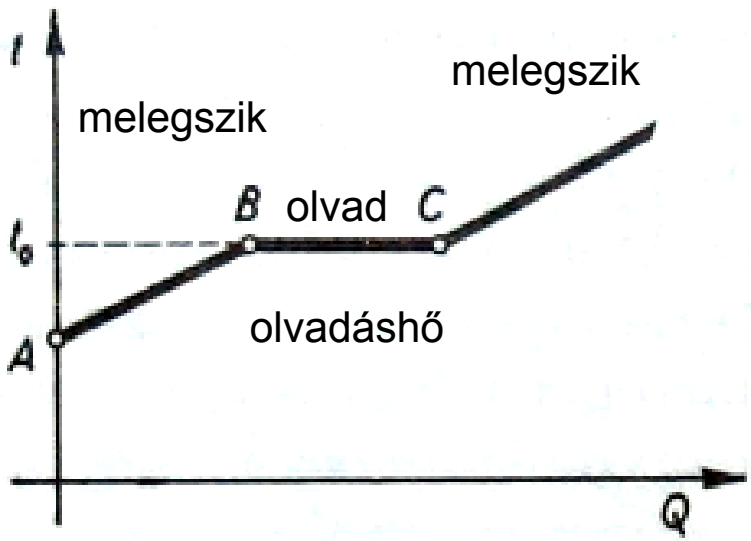


$$\Delta n = -Dq\frac{\Delta N}{\Delta z}\cdot\Delta t \rightarrow$$ Fick I. törv.

halmazállapotok :

halmazállapot-változások :

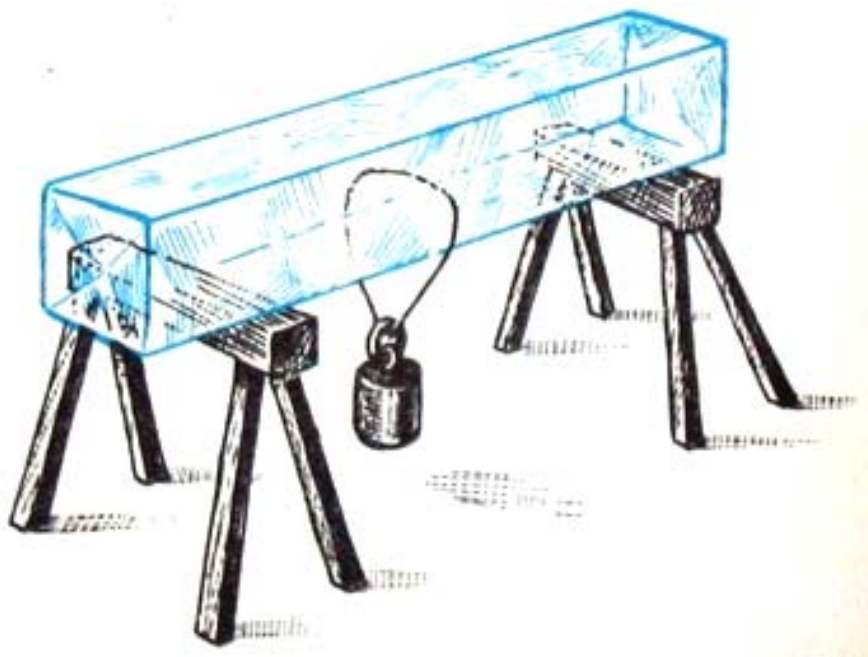
olvadás – fagyás
párolgás, forrás
szublimáció



túlhevítés – túlhűtés → forrkő, kristályosodási magok

olvadás-fagyás közben térfogatváltozás (pl. víz)

olv.pont függ a nyomástól :



párolgás ≈ forrás (folyadék teljes térf.-ban párolog)

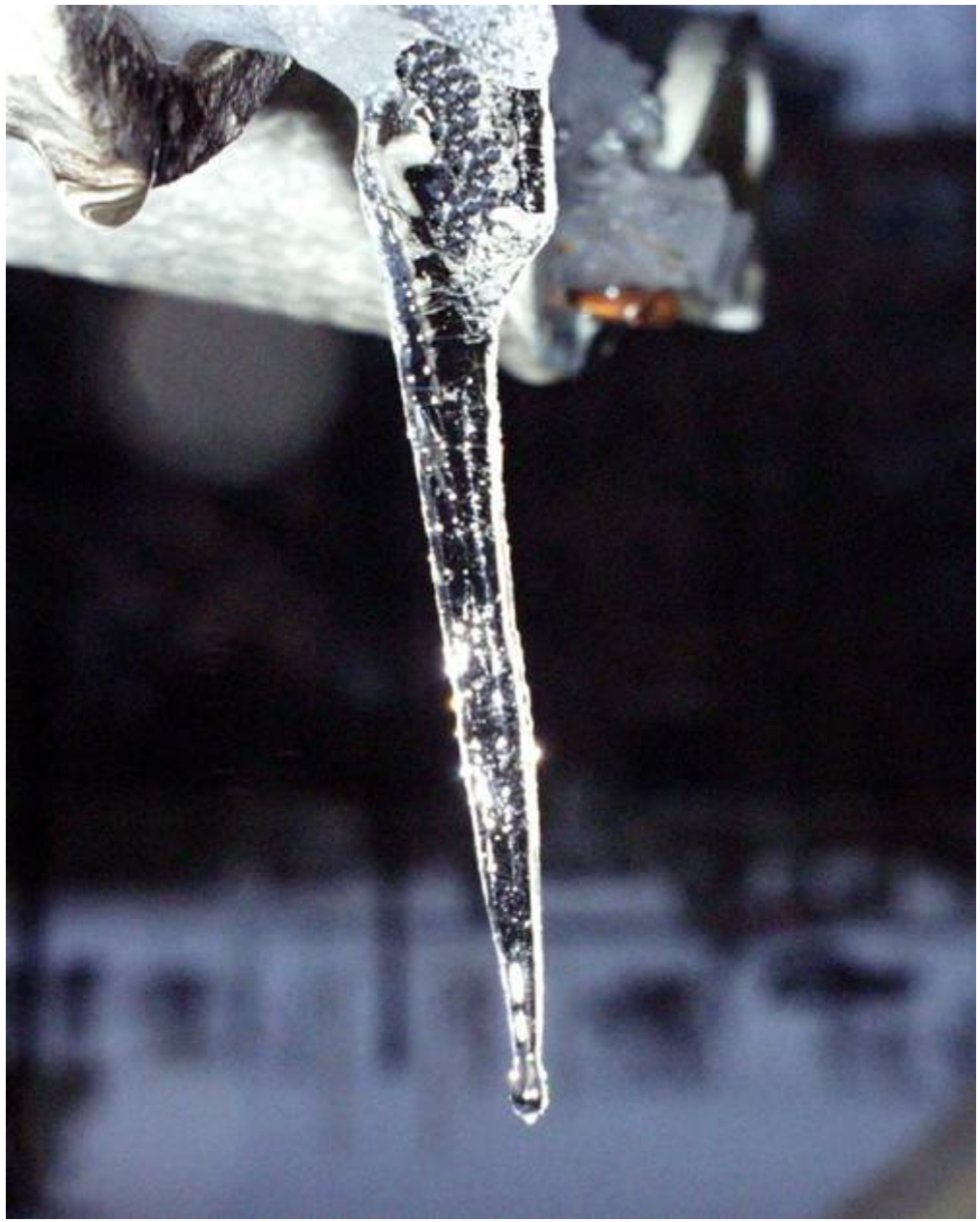
párolgáshő – forráshő

párolgásnál nagy tf.-növekedés

pl. : miért fázik az ember, ha vizes a teste (főleg szélben)

forrás:

a forráspont függ a nyomástól :



RESTAU

1599
GRASSMAYR
INNSBRUCK

pl. : miért párásodik be az üveg, ha rálehelünk ?
a hideg felületek (hűtőgép belseje, fazék fedője, stb…), ha párás levegő éri őket

pl. : desztillálás (forralás/párolgás + lecsapódás) :
pl. cefréből az alkohol és víz szétválasztása,
miért kell az első néhány %-t kiönteni ?

szublimáció:

zúzmara:

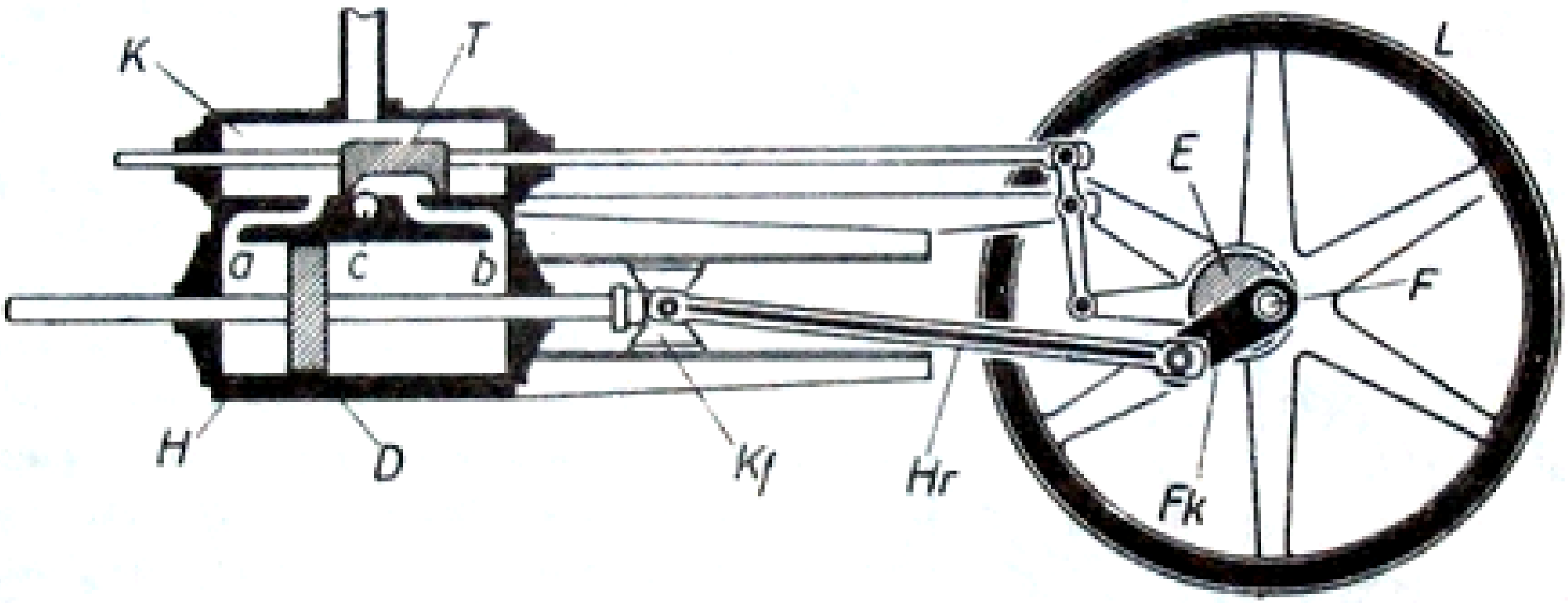
hőerőgépek :

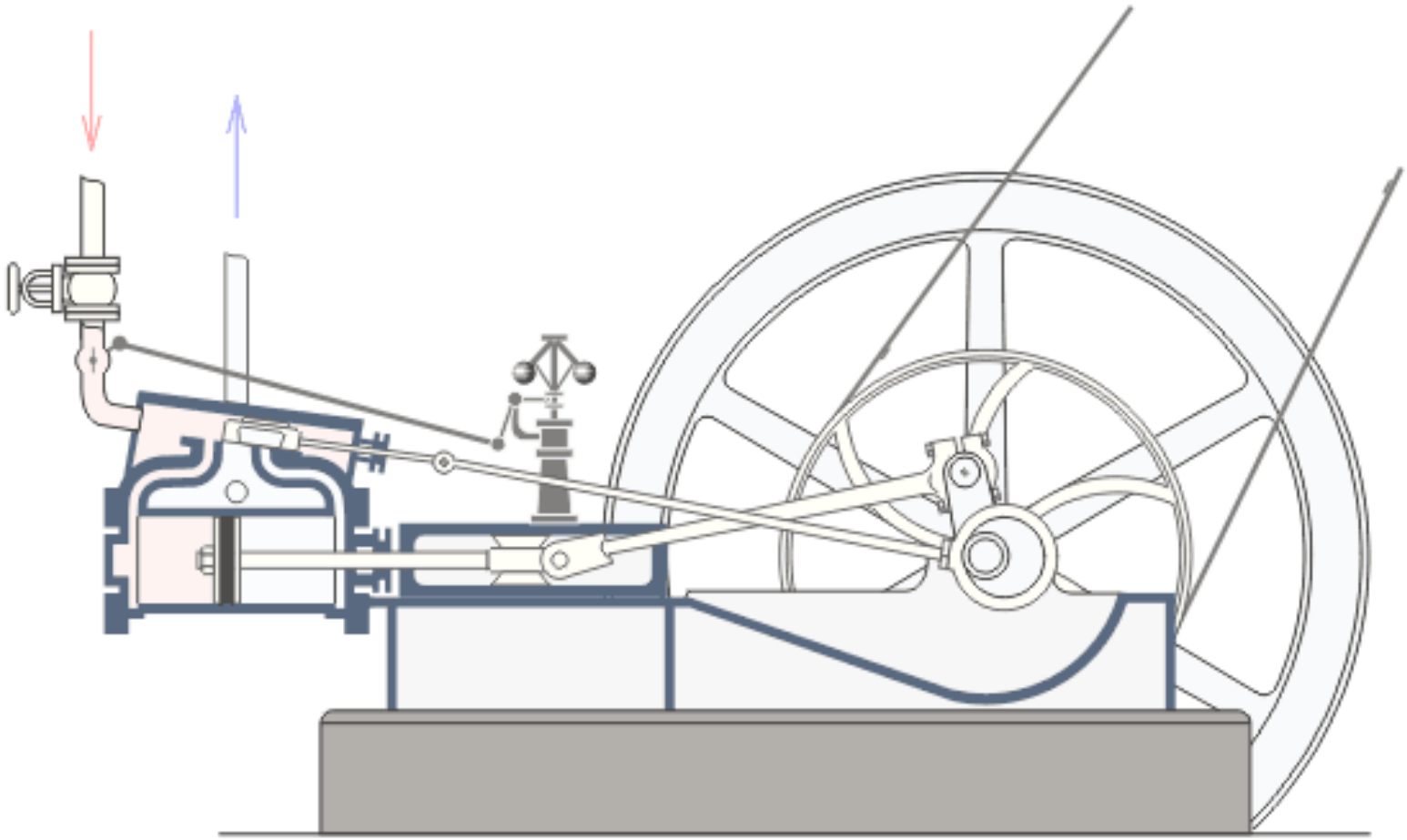
gőzgépek

belső égésű motoro

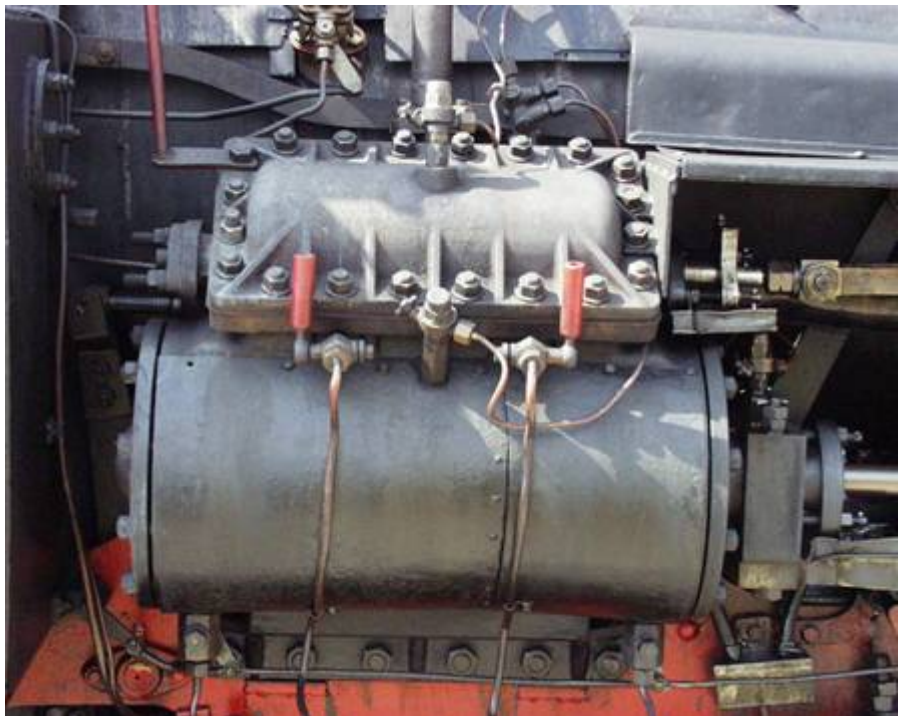
gázturbinák

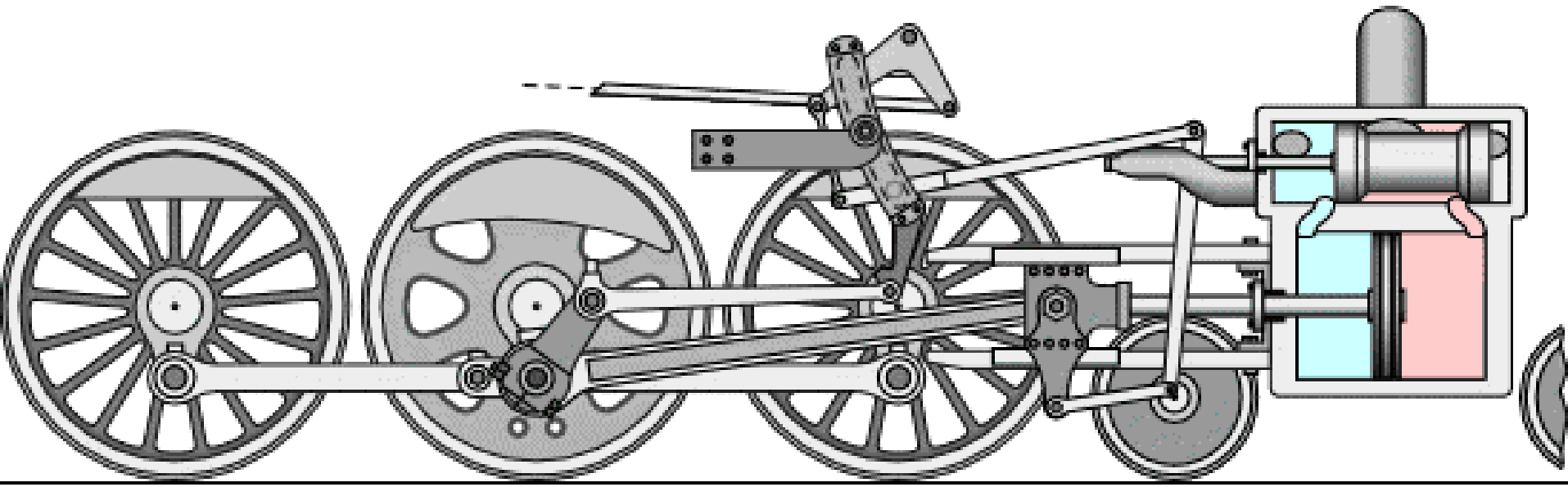
dugattyús gőzgép :



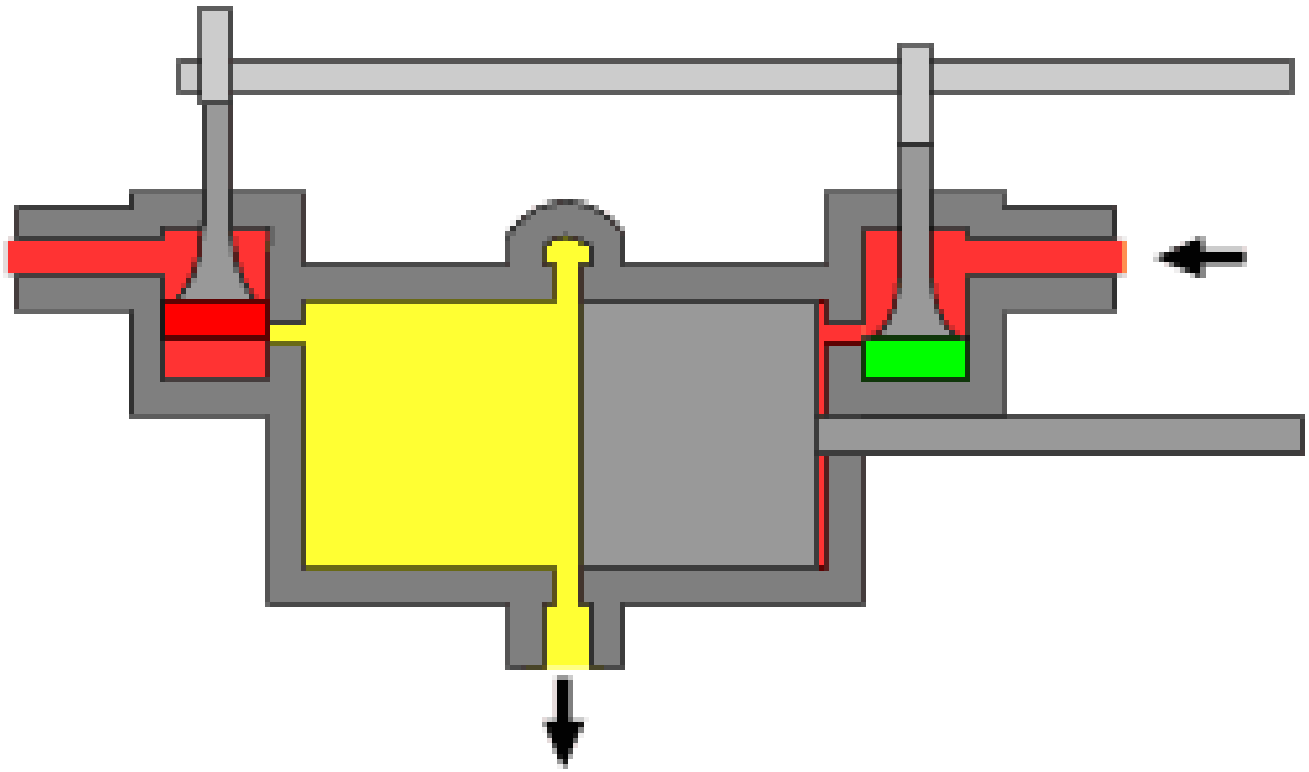


375.1025

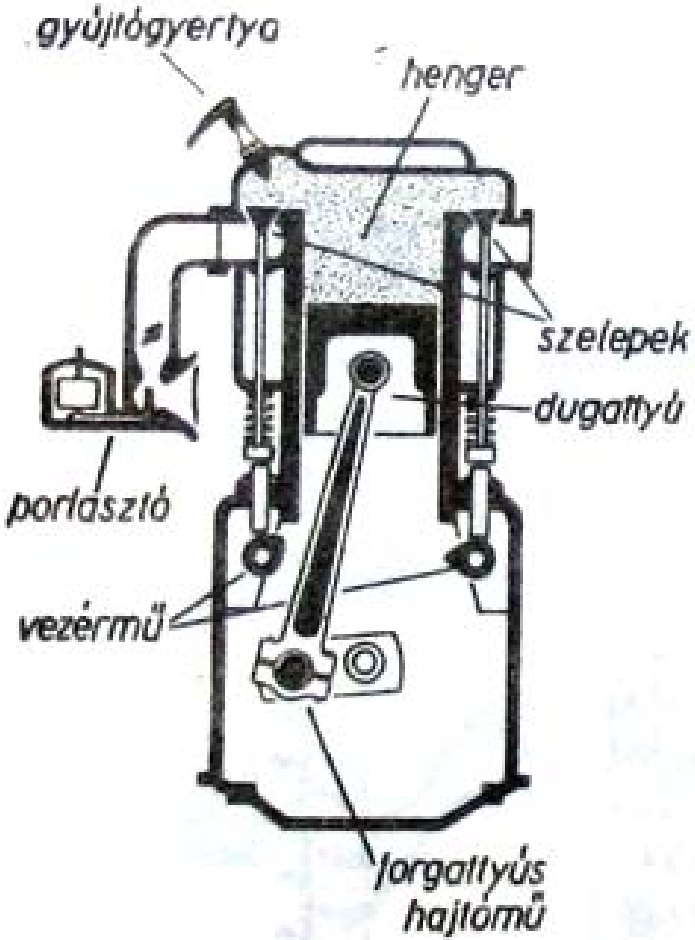


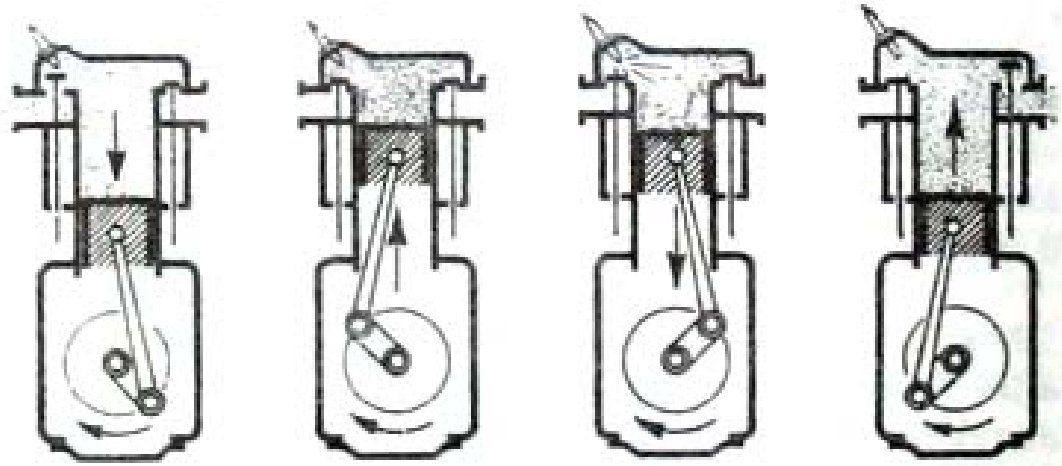


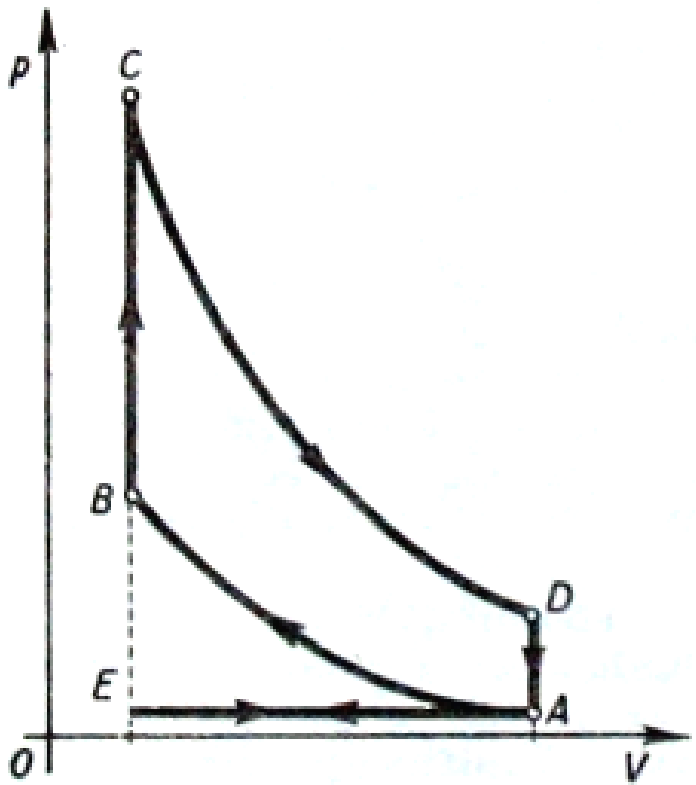
Claude Monet 77

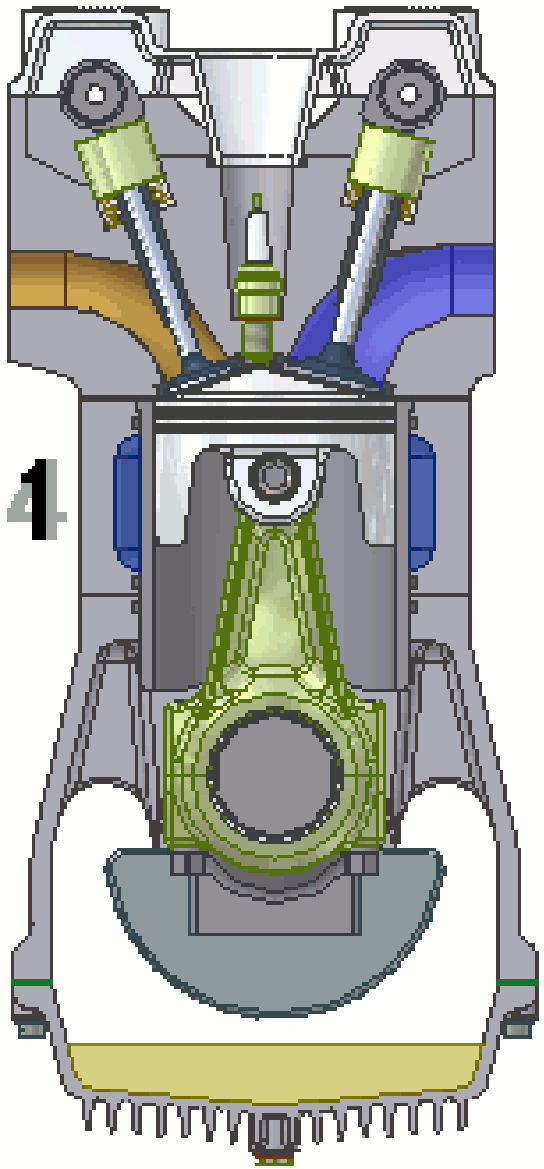


4 ütemű benzinmotor :







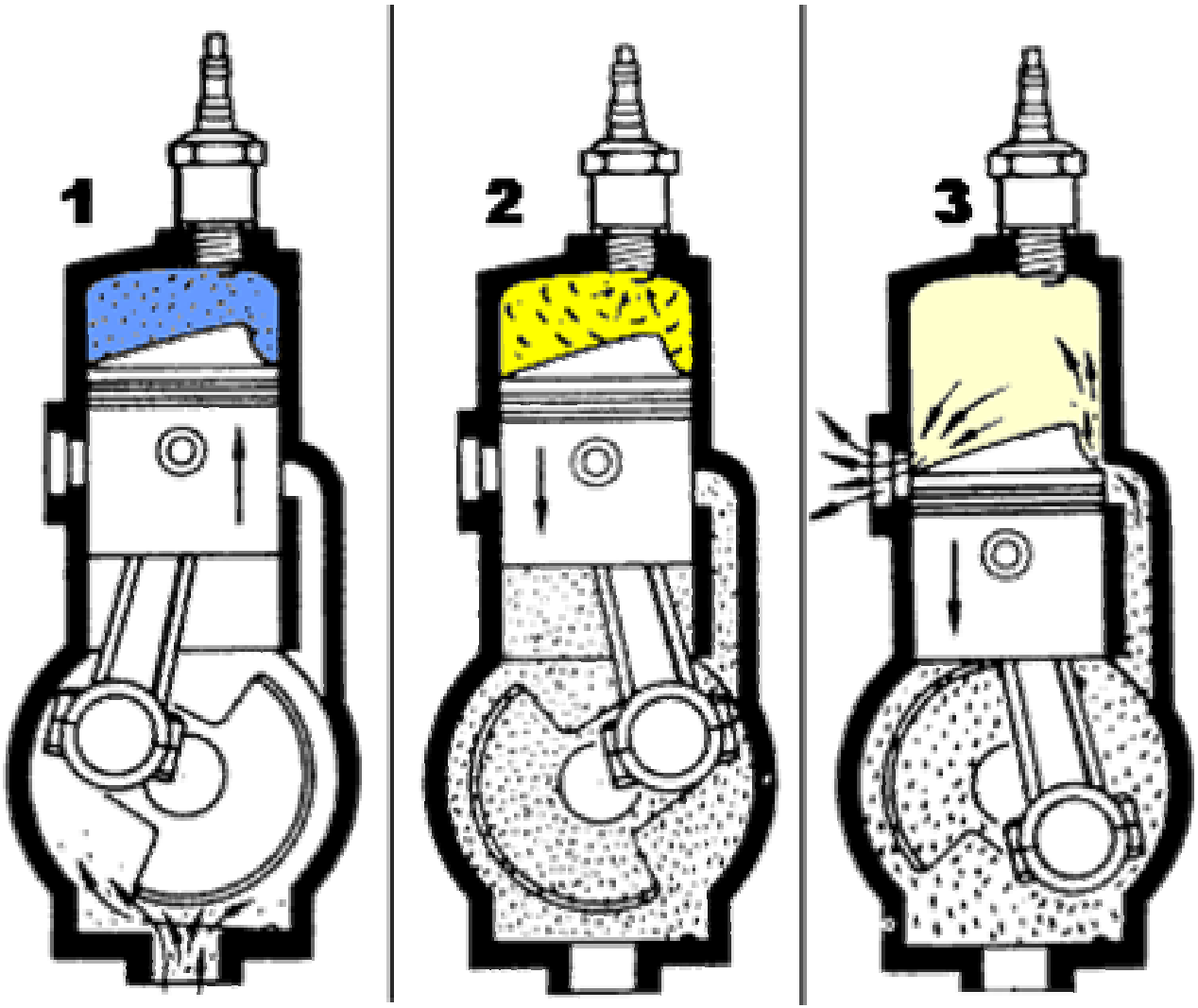

1

CADENCE
CADENCE
mobile audio

GAPTON
CAP'S
COAST ALUMINUM
MAXX KAKL

fizika

2 ütemű benzinmotor :

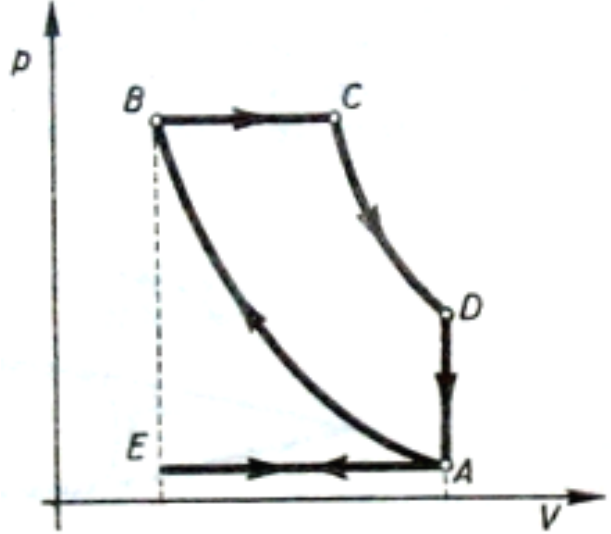


egyszerű, könnyű, motorbicikli, láncfűrész, …

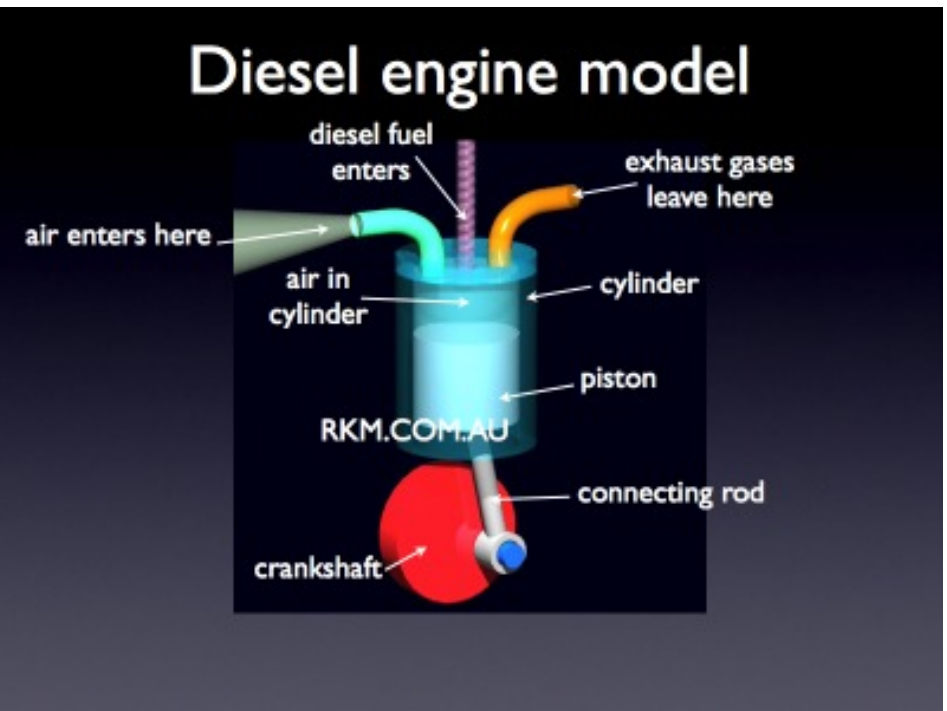
habár…

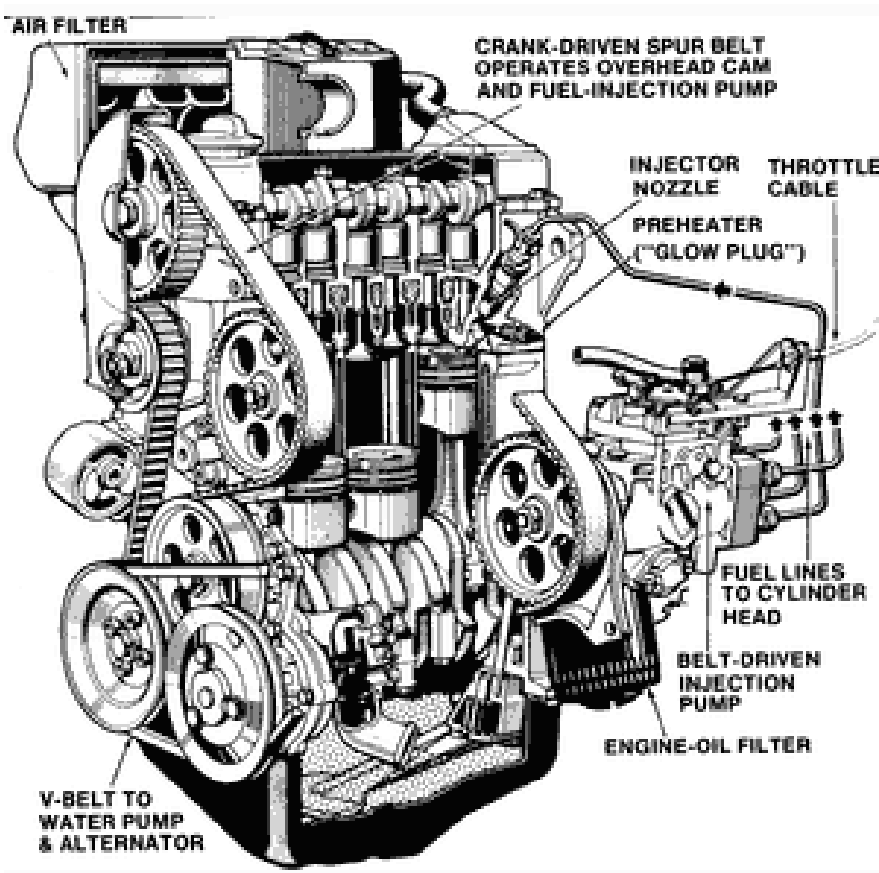
habár ...
PREDATOR
300 LE !!!
http://www.youtube.com/watch?v=oOGJLoVi-Bg&feature=related

Diesel-motor : öngyulladás



(lassabb fordulatszám, nagyobb forgatónyomaték, hajó, teherautó…)





hajómotor ~ 100 ezer LE

gőz- és gázturbina : helikopter, repülőgép,…

gőzturbina:

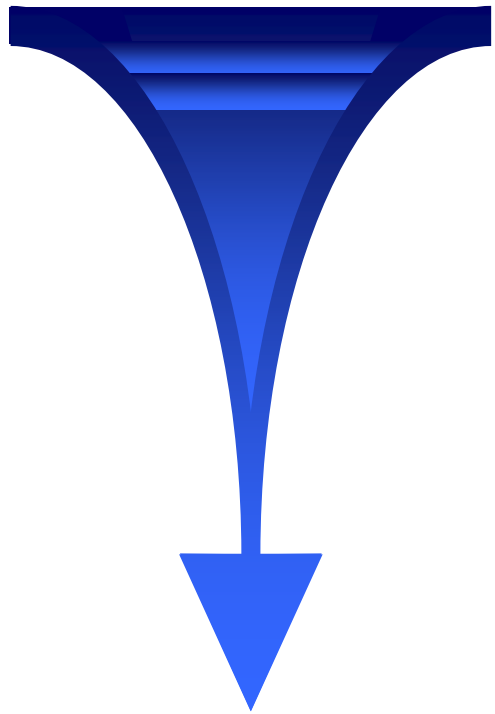
első gőzturbina hajtású hajó:

DragPics.com

Rock'n Roll
THUNDER
DragPics.com

GRAND BEND MOTORPLEX
Bob Motz
DragPics.com

pl. : részeges kacsa (ivó kacsa) :



ELEKTROMOSSÁGTAN :

ld. a Fizikai_alapismeretek_II.ppt – ben