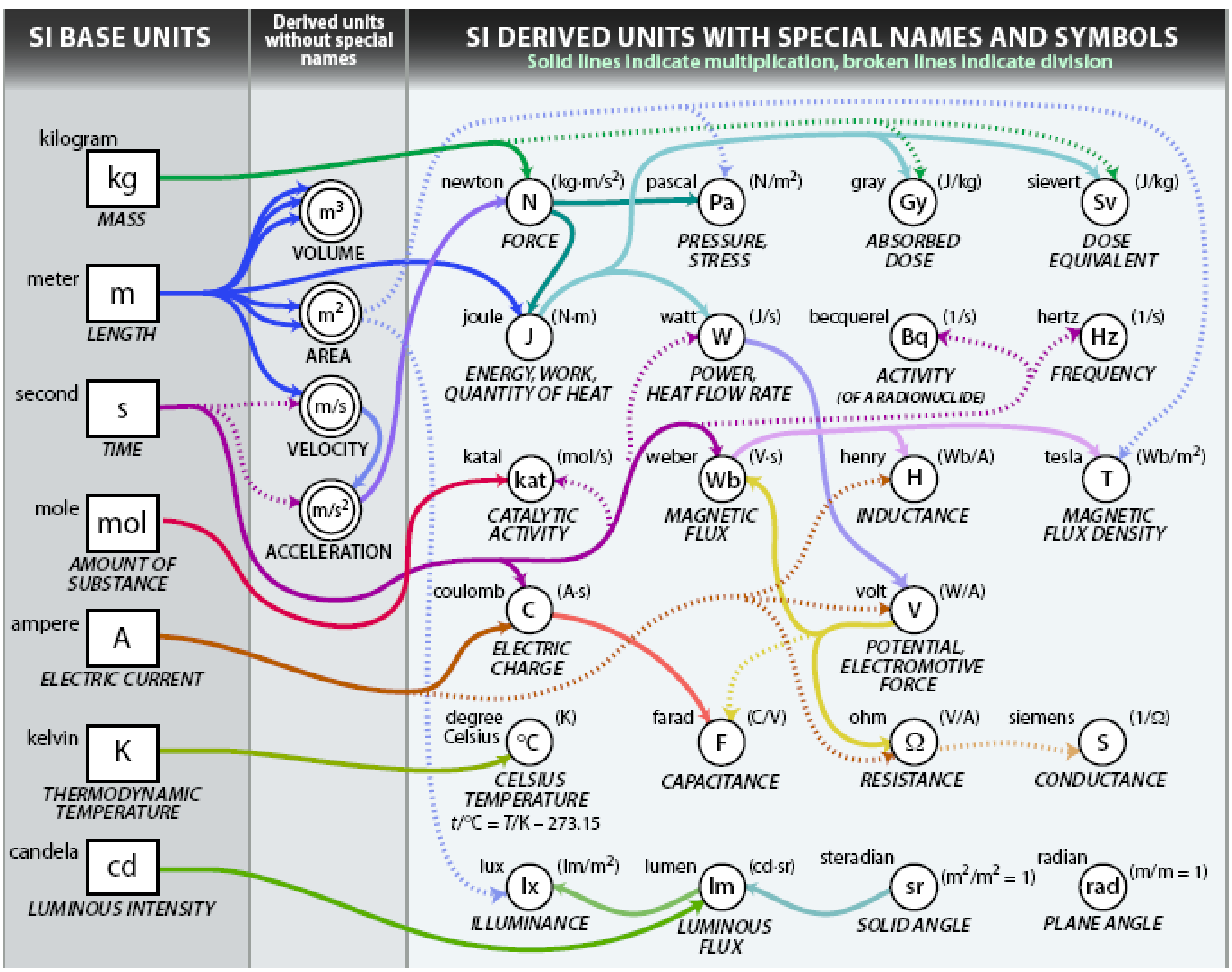
Nemzetközi mértékegység-rendszer

(SI: Système International d`unitès**)**

„A bűvös hetes” (alapegységek):

[**m**] „Minden dolognak mértéke az ember” (Prótagorasz)
[**s**] kronométer *kontra* GPS (Global Positioning System)
[**kg**] tömeg *kontra* súly [N = kg· m/s^2]
[**A**] forgó-morgó: háztartási (forgótárcsás) „áram”-mérő
(egyfázisú, indukciós fogyasztásmérő [kWh])
[**K** = ˚C + 273.16] hőmérséklet
~~[mol]~~ anyagmennyiség (az anyagban lévő részecskék számát jelzi, az elemi egység fajtáját meg kell adni: atom, molekula...) – különbözik a tömegtől!
~~[cd]~~ fényerősség (kis térszögben kibocsátott fényáram és a térszög hányadosa)

[1 rad = 360˚/2π ≈ 57.3˚] „a Föld kerületének mérése” (Eratoszthenész)



http://physics.nist.gov/cuu/Units/

Magyarországon 1980 óta kötelező az SI mértékrendszer használata.
Hét SI **alap**-mennyiség és **-egység** van (hosszúság: **m**, idő: **s**, tömeg: **kg**, elektromos áramerősség: **A**, abszolút hőmérséklet: **K**, anyagmennyiség: **mol**, fényerősség: **cd**).
Ezekből lehet a többi, származtatott egységet létrehozni (a köztük megfigyelt és egyenletben rögzített kapcsolat alapján), néhány külön nevet is kapott (mint frekvencia: *hertz* [Hz] = 1/s, vagy munka: *joule* [J] = N·m, ahol az erő egysége: *newton* [N] = kg·m/s^2).

Az egység többszörösét / törtrészét ún. **előtag** (prefixum) jelöli, ami a szorzószám (faktor) hatvány-kitevőjének rövidítése. Az egység neve előtt a prefixum (kötőjel nélkül, egybeírva: *mega*watt), a jele előtt pedig a szimbólum (*M*W).
„Ezresével lépegetnek": a velük jelölt hatvány-kitevő mindig hárommal osztható (kivéve a legkorábbi, speciálisan használt előtagokat, mint *deka, centi*).

Faktor: 10^n, n =	prefixum	szim-bólum	Faktor: 10^n, n =	prefixum	szim-bólum
18	exa	E	-1	deci	d
15	peta	P	-2	centi	c
12	tera	T	-3	milli	m
9	giga	G	-6	mikro	μ
6	mega	M	-9	nano	n
3	kilo	k	-12	piko	p
2	hekto	h	-15	femto	f
1	deka	da (dk)	-18	atto	a

Az előtag névképzés folytatódik (n=21: zetta [Z], n=24: yotta [Y], ill. n=-21: zepto [z], n=-24: jocto [y]).

Megjegyzés (*vigyázat*, utánozzák!): az informatikusok is átvették a megnevezéseket *kettő* hatványainak jelölésére (holott SI-ben ezek *tíz* hatványkitevői). Tehát 1 kByte ≠ 10^3 Byte (hanem 1024, az eltérés 2,4%), hasonló a helyzet a mega, giga, tera előtagoknál is (növekvő eltéréssel).

Engedélyezett néhány „törvényen kívüli", már megszokott és bevált egység használata is, mint *perc/óra/nap*, *liter* (= 1 dm^3), *tonna* (= 10^3 kg), *parszek* (1 *pc* ≈3 Pm, csillagászat), *kalória* (1 *cal* ≈ 4 J, hőtan).

A viszonyszámok (arányok) kifejezése, és nem egysége, szokásosan % = 0.01 = 10^{-2}, vagy *ppm* (parts per million, milliomod rész, 1 ppm = 10^{-6}) értékben történik. Igen nagy átfogáshoz az arány logaritmusa[1] célszerű (külön név a *decibel* [dB] = 20·log(arány)).

A **dimenzió** azt adja meg, hogy milyen kapcsolat – milyen formai összefüggés – van az adott (származtatott) mennyiség és az alapmennyiségek között: a dimenzió „szavakban elmondott képlet". Mértékegység úgy lesz a dimenzióból, hogy a (szavakban elmondott) képletbe a tényezők (a definiáló mennyiségek) egységét tesszük; az SI rendszer alapja ez a „mennyiségi kalkulus". Természetesen a hét alapmennyiség mindegyike dimenzió-független a többitől.
Egy mennyiségnek csak egyféle dimenziója van, míg mértékegysége többféle is lehet.
Például a „sebesség" dimenziója „hosszúság/idő",[2] mértékegysége lehet m/s, km/h...

Egy mennyiségi egyenlet mindkét oldalán *azonos* dimenzióknak kell állniuk, így a dimenzió-analízis ellenőrzésre vagy ismeretlen összefüggések felismerésére szolgálhat.

Koherens a mértékrendszer (és az SI ilyen), ha a mennyiség egységét úgy képzi az alapegységekből, ahogyan dimenziója képződik az alapmennyiségekből.

Vannak dimenzió nélküli mennyiségek (ezek dimenziója 1); két, azonos dimenziójú mennyiség hányadosaként állnak elő, ilyen pl. a síkszög (`egy`ségének külön neve: *rad*).

---

[1] A **log** művelet hatvány-kitevőt ad: $y = \log(x) \rightarrow x = 10^y$ (pl. log(10^2) = 2, vagy „10^{-3} arány" → -60 dB). Becslésszerű összevetéshez használatos a **nagyságrend**, ami tíz (egész-számú) hatványainak sorozatára utal, pl. „2 nagyságrend eltérés" → „az *arány* százszoros (100 = 10^2)"; durván: a **log** skálán elfoglalt hely.

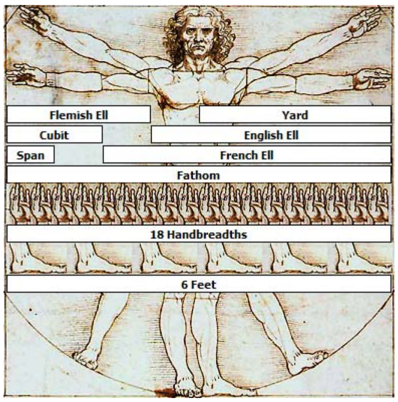
[2] Vagy egyszerűbben, a szavak (elfogadott) rövidítésével: V = L/T (V: velocitas, L: longitudo, T: tempus).

[**m**] „Minden dolognak mértéke az ember”[1] (Prótagorasz)

Ismeret és igény együtt alakít mértéket.

A hosszúság SI egysége a *méter* [m], ez **alap**egység. Ebből származtatható a terület (egysége: m^2) és a térfogat (egysége: m^3, speciálisan 1 dm^3 = 1 liter).

A térmérés kezdetei a régmúltba nyúlnak vissza: a nagyság és állandóság észlelete tette lehetővé és a társadalmi igény (termelés, építészet) hozta létre. A legősibb hossz-mértékek: a testrészek méretei, mint természetes (feltűnő módon adott) etalonok, mindig „kéznél” voltak,[2] csupán egyszerű használati módjukat kellett felfedezni. A legősibb talán a *könyök* (= 2 arasz ≈ 45 cm, de a hely és az idő /főként persze a személy!/ változásával a tényleges érték igen eltérően alakult).



- *tenyér* (handbreadth): hüvelykujj nélkül
- *arasz* (span): kiterjesztett hüvelyk- és kisujj között
- *láb* (foot): lábfej
- *könyök* (cubit): alkar
- *rőf* (ell): kinyújtott kar (flamand és még angol, francia... textilmérték)
- *öl* (fathom): két kiterjesztett kar (= 2 *yard* = 6 láb = 18 tenyér)

Az a célszerű, ha az egységgel a mindennapi élet tapasztalatai egyszerűen kifejezhetők (ezért használtak nagyobb távolság mérésére más mértéket[3]). De még fontosabb, hogy az egység széles körben, általánosan elfogadott és jól reprodukálható legyen. A forradalmi változás a XVIII. sz.-ban kezdődött, nálunk az 1874. évi 18. tc. indította útnak a méter-rendszert. A jelenleg érvényes méter-definíció megalkotásában, amely az állandó fénysebességhez köti és terjedési-idő mérésre[4] alapozza a métert, **Bay Zoltán**[5] szerzett elévülhetetlen érdemeket.

---

[1] ... a létezőknek, hogy léteznek, a nemlétezőknek, hogy nem léteznek – folytatódik a gondolat (ún. homo-mensura tétel, lat. homo: ember, mensura: mérték). A helyes és helytelen, jó és rossz csak az ember szükségleteihez mérten ítélhető meg, vagyis minden relatív. Ebből a feltevésből kiindulva arra a következtetésre is juthatnánk, hogy az ember maga dönthet arról: melyik dologról állítja, hogy létezik, és melyikről azt, hogy nem. A tétel az érzékelésre vonatkozik, az érzékelést pedig jól el kell különítenünk az igaz ismerettől...

[2] Ma is élő megnevezések: “arasznyi szoknya”, “rőf kolbász” (... nem is beszélve az angolokról).

[3] Pl. “ágyúlövésnyi” (távolságig terjedő sáv volt a “felségvíz”, Mária Terézia idején a tengerjogban).

[4] Az idő már korán „belekeveredett” a méter definiálásába: 1670-ben C. Wren építőmester a másodperc-inga hosszát javasolta erre a célra (de nem egyformán jár az inga a Föld különböző helyein).
Ma, a fénysebesség állandósága révén, a nagy pontosságú <u>idő</u>mérési módszerek a <u>távolság</u>mérésben is felhasználhatók (→ radar, GPS).

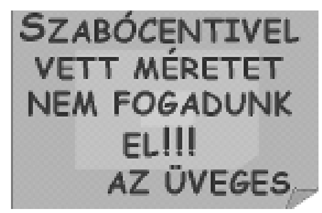
[5] Nevéhez fűződik a híres **Hold-radar kísérlet** (1946) is, ez volt az első alkalom, hogy az ember "elért" egy Földön kívüli objektumot.
A Holdról visszaverődő radarjel intenzitása túl kicsi volt a közvetlen méréshez. A radar fejlesztése mellett olyan **jelfeldolgozási technik**ára is szüksége volt, amely kiemeli a hasznos (a radarvisszhangból származó) jelet a háttérzajból. Ezt az ismételt kísérletek jeleinek összegzésével érte el. (A feladatot ún. hidrogén-coulombméterrel oldotta meg, ami egy vízbontó készülékhez hasonlít: a mérni kívánt átfolyó töltés-mennyiséggel arányos mennyiségű hidrogént fejleszt). Ezzel a technikával a mérés kb. egyórás időtartama alatt megbízhatóan lehetett a jeleket összegezni és tárolni. (A jel kibocsátása és megérkezése között 2,6 s telik el; 3 s-os ismétlésnél, 10^3 impulzus → 50 perc).
Az összegezés elvét a földi radar gyakorlatában is használják (→ az ernyő utánvilágítása).

Meglepő módon Euklidesz (Elemek c. munkájában) az aritmetikai definíciókban használja a „mérést” (ami sokkal inkább a metrikus tértan, a mértan /geometria ≈ földmérés/ sajátja, ez ui. közvetlenül a mérési tapasztalatok rendszerezéseként született):

> „Része valamely szám a másik számnak, a kisebb a nagyobbnak, ha *méri* a nagyobbat”
> (azaz: ha maradéktalanul megvan benne).

Az ok: a számokat vonalszakaszokkal ábrázolta, és nagy szerepet tulajdonított az arányoknak. (Ami görögül „logosz”, ez értelmet, gondolatot is jelent, latinra a „ratio” szóval fordították. A ma használt „irracionális” szám tehát nem valami „értelemmel felfoghatatlan”, csak arra utal, hogy a kérdéses mennyiség – mint pl. $\sqrt{2}$ – nem fejezhető ki mint két számnak az aránya, „rációja”.)
A vonalszakaszokkal való szám-jelképezés persze azonnal felvet egy problémát: kifejezhető-e egy-egy (egész)számmal bármely két vonalszakasz egyszerre? Másképp fogalmazva: mindig összemérhető-e, van-e *közös* mértéke két hosszúságnak?
Figyelemre méltó volt a felismerés, hogy a négyzet oldala (= 1) és átlója (=$\sqrt{2}$) **össze-mérhetetlen** (inkommenzurábilis) mennyiség.

A gyakorlatban két mennyiség mindig **összemérhető**, mert mindig találunk olyan „legkisebb” mennyiséget, amelyen túl a mérőérzékelő (vagy érzékszervünk) felmondja a szolgálatot: már nem tudjuk megkülönböztetni a „kisebbet” és a „nagyobbat”. És ehhez hozzátehetjük: a méréshatár kiterjesztésének pl. egy makroszkopikus rúdnál csak egy bizonyos pontig van értelme, hiszen már jóval a molekuláris méretek felett értelmetlenné válik az, hogy hol van „a rúd vége”.
Ezért elegendő lenne a gyakorlatban a fizikai mennyiségeknek – az összemérhetőséget maradéktalanul kifejező – *racionális számok*kal való modellezése. (Más szóval a tapasztalás számára a racionalitás feltételezése elegendő finomságú.) Tehát nem az esetleges nagyobb pontosság érdekében használjuk a teljes *valós számkör*t, hanem a matematikai modellek teljessége és így valójában egyszerűsége érdekében.



*****

A nyomdaipar különleges egységet használ a betűméret[6] (hossz) megadására (pl. 1 *cicero* = 12 *pont* ≈ 4,5 mm), és sajátos a papírméret (terület) is (pl. A0 – nyomdászati alapív: 1 m^2 = 841·1189 mm^2, ebből felezésekkel a kisebb méretek: A4-es lap: 210·297 mm^2, A5-ös lap: 148·210 mm^2).

> A papírméret számainak eredete az, hogy „kellemes a szemnek”, ha a két oldal aránya ugyanaz, mint a négyzetnél az oldal/átfogó arány ($1/\sqrt{2}$).

A csillagászatban használatos a távolság egységeként a *fényév* (az a távolság, amelyet a fény egy év alatt megtesz: $300 \cdot 10^3$ [km/s] • (365·24·60·60) [s] ≈ $9{,}46 \cdot 10^{12}$ km = 9,46 Pm).

> Kérdés: hány *fénymásodperc* a Föld-Hold távolság?

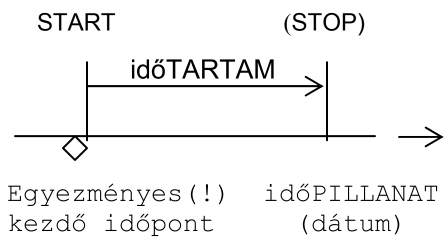
[6] Alapja a tipográfiai *pont*, ami a méter 2660-ad része (1 pont = 0,376 mm), ez a legkisebb betűméret (nyolcad *petit*). A folyamatos szöveg (újság, könyv) általában 9-11 *pont* közötti nagyságú.
A kézirat-terjedelem számításánál az alapegység: 1 n = 1 betűhely. Egy kéziratoldal 2000 n a kiadói gyakorlatban. 1 flekk = 1500 leütés (karakter, szóközökkel) = 1500 n, vagy régebben: 1 flekk = 30 sor, 1 sorban 60 leütés (1 írógépoldal).
Wordben, 12 pontos betűvel teleírt A4-es lap szövege kb. 3 flekk.
Nyomdai ív: 16 nyomtatott oldal, a könyv formátumától függetlenül.

[**s**] kronométer *kontra* GPS (Global Positioning System)

„Az idő a mozgás száma a korábbi és későbbi értelmében”[1] *(Arisztotelész)*

Az idő minden mértékrendszerben **alap**mennyiség, SI egysége a *szekundum* [s].

Az idő a mozgás (változás) egyik tulajdonsága. Periodikus változás (konkrét, szabályosan ismétlődő mozgás) alapján alakítjuk ki az egységet. Az időegység megadása mellett az idő múlását is regisztrálni kell. Ehhez meg kell adni egy kezdő időpontot, ami lehet tetszőleges (START), vagy egyezményesen rögzített (napi időadathoz: `éjfél`, éves adatokhoz: `jan.1`, az évek számlálásához: `az időszámítás kezdete`). Mindkét esetben (idő)tartam mérése vezet a végeredményhez, ami maga az intervallum vagy az időpillanat: a dátum adat. (Ahogyan hosszúság mérésnél: a távolság vagy a hely.)



→ idő-**intervallum** mérés (stopper óra)

→ idő**pont** megadás (óra,**naptár**)
(„időszámítás”)

Az idő mérésére nincs külön érzékszervünk (→ ritmusérzék?, biológiai óra?; néha „repül az idő”, máskor „szinte megáll”), mindenesetre a szívdobbanások üteme az SI egységhez közeli érték.
A régi kultúrnépek csillagászainak alapfeladata volt a <u>naptár</u>készítés (ünnepek), az év hosszának megállapítása. A nehézséget az okozza, hogy a napév (amíg a Föld egyszer körüljárja a Napot) nem egész számú napból áll. (Ma: Gergely-naptár, szökőnapok; de pl. Húsvét a régi holdév szerinti: a tavaszi holdtölte utáni első vasárnap, ezért változik időpontja évről évre.) Napi életünkben az óra igazít el (ami nemcsak időtartam, hanem a mérőeszköz neve is), ez talán a legfontosabb (?) emberi találmány.
A középkorban a tengeri <u>navigáció</u> volt a technikai fejlesztések motorja („navigare necesse est” = hajózni kell).

Az Egyenlítőtől északra és délre elhelyezkedő szélességi fokokat a Nap delelési magasságának (szögének) mérésével elég pontosan meg tudták határozni (→ szextáns). A keleti vagy nyugati hosszúsági fok (a délkör) megadásához viszont egy ismert földrajzi hely (referencia-helyzet, a hosszúság 0 foka) és egy **pontos óra** (hajó-kronométer) kellett: a Nap 1 óra alatt 15 (= 360/24) fokot halad, így idő<u>különbség</u>ből lehet délkör-helyet megadni. A greenwichi délkör lett a referencia, kronométerrel[2] a „helyi délidő” időpontját a „greenwichi idővel” összevetve adódott az aktuális hosszúsági fok.

---

[1] És hozzáteszi: ehhez kapcsolódóan létezik egy, a tudatban rejlő – a lezajlott folyamatot megőrző és a folytatást váró – „számláló lélek” is. Vagyis az ember az, aki megérti az időt.
Aztán a mechanikus órák a XV. sz.-ban elindítják az idő tervezését az **iskolai órarendek** formájában, ami kiteljesedik a XIX. sz.-ban a vasút, majd a gyáripar megjelenésével. (Ekkor gyakran hasonlítják az államot a pontosan működő óraszerkezethez.) Ma már „az idő pénz”. A mindennap használható idő rendszeresen hallható a rádióban (a „pontos időjelzés” az etalon), a törvényes idő (az időzóna /1 óra = 15° széles zóna/ és a téli-nyári időszámítás miatt) egész számú órával van eltolva az egyes országokban.

[2] Az angol parlament kezdeményezte az órafejlesztést (1736: J. Harrison kronométere kb. 1 percet tévedett 156 nap alatt); talán ez az óra tette Angliát a tengerek urává.

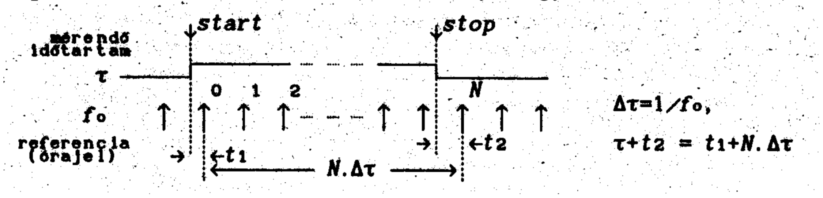
A légi navigáció új megoldásokat igényelt, ilyen volt pl. a rádiós iránymérés, amely már átvezet az űrtechnika termékéhez: a mai korszerű, általánosan használt műholdas GPS (globális helymeghatározó rendszer) technikához.

A GPS csúcstechnológia, de az alapelv egyszerű: időmérésre alapozott távolság-meghatározás (konstans [fénysebességű] a rádiójel terjedése), majd ebből geodéziai módszerekkel (→ három gömb metszése) földfelszíni pozíció-megadás.

Kulcskérdés az óra: az időmérés pontossága (→ atomóra a műholdon). És egy trükk az olcsó vevőkészülék előállításához: ugyan három „pontos” mérés jelöl ki egy pontot a térben, de ezt négy „nem teljesen tökéletes” is megteszi (→ min. négy műholdat kell látnia a GPS vevőnek).

A <u>technikai időmérés</u>ek többsége tartam (intervallum) meghatározás: egy kezdő (START) eseménytől kezdve egyszerűen megszámláljuk[3] az egyenletes időközönként fellépő, ún. referencia(óra)-jel beütéseket (eseményeket), egészen a lezáró (STOP) eseményig.

Más szóval: az ismeretlen, mérendő τ **idő**tartammal megegyező <u>kapujel</u>lel engedélyezzük egy elektronikus <u>számláló</u>nak az – intervallum alatt $\Delta\tau$ egység-időközönként, azaz f_0 (= $1/\Delta\tau$) referencia-gyakorisággal fellépő – <u>órajel</u>ek leszámlálását. Az órajel-generátor (oszcillátor) f_0 frekvenciája akkor nagy stabilitású és pontosságú, ha „szabadon fut”, azaz nincs szinkron kapcsolatban az indító (START) eseménnyel, így $0 < t_i < \Delta\tau$ ($i = 1,2$) időhibák lépnek fel:

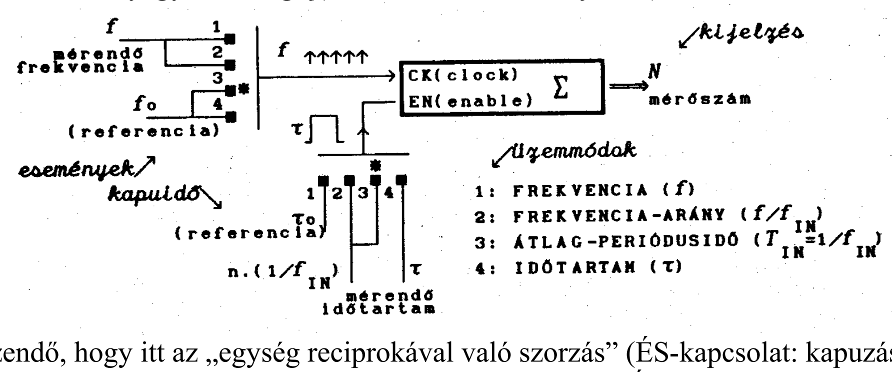


<u>Megjegyzés</u>: τ értékén belül N esemény van (!), de *az ábrán vázolt* számlálási procedúrával t_1 és t_2 akár külön-külön meg is mérhető, és értékükkel korrigálható, pontosítható az eredmény.

A <u>metrikai</u> <u>egyenlet</u>: $\tau + (t_2 - t_1) = N\cdot\Delta\tau$, ahol N a mérőszám, $\Delta\tau$ a mértékegység. A hiba értéke: $(t_2 - t_1)$, nagysága tehát a ±1 tartományban lehet ($\Delta\tau$ egységben mérve), eloszlása pedig két független, egyenletes eloszlás összege – ami háromszög (Simpson) eloszlás.

Az eljárás közvetlenül alkalmas **periódusidő** ($\tau = T_{IN} = 1/f$) mérésére. És nem nehéz belátni, hogy **frekvencia** (= f értékű esemény-gyakoriság) is mérhető esemény-kapuzással, hiszen – definíció szerint – a frekvencia időegységre eső periódus-szám (azaz ismert, $\tau = \tau_0$ kapuidő alatt fellépő ismeretlen f gyakoriságú eseményeket kell számlálni).

Az **elektronikus számláló (Σ)** a „joker”: üzemmódtól függően választandó a kapuidő (τ) és a számlált esemény-gyakoriság (f). A mérőszám: $N \approx f \bullet \tau$ (eltekintve az időhibáktól).



Megjegyzendő, hogy itt az „egység reciprokával való szorzás” (ÉS-kapcsolat: kapuzás) révén realizálódik a „mérőszám előállításához szükséges osztás” (ARÁNYképzés).

<u>Kérdés</u>: az egyes üzemmódokban mennyi az egység értéke?

Nem meglepő ezek után, hogy igen sok **szenzor** (mérő-átalakító) a mérendővel arányos időtartamot (τ) vagy frekvenciát (f) állít elő!

[3] A gyakorlatilag megvalósított számlálás a legegyszerűbb mérés. (A számlálás a mérés paradigmája.)

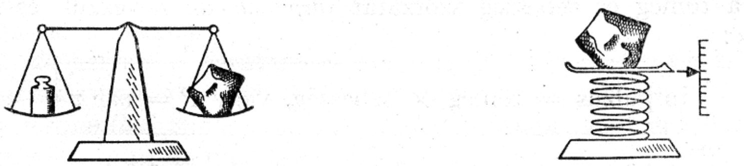
[**kg**] tömeg *kontra* súly[1] [N = kg· m/s²]

Tömeg mindig van, súly néha nincs.

A (nyugalmi) tömeg SI egysége a *kilogramm* [kg], ami **alap**egység.[2] A tömeg (jele: *m*) a gyorsulás (jele: *a*, egysége: m/s²) segítségével határozza meg az erőt (definiáló egyenlet:[3] $F = m{\cdot}a$, egysége: *newton* [N] = kg·m/s²).

A súly erő jellegű mennyiséget jelent (a Föld „vonzóereje", vagy „ami gátolja a szabadesést", azaz a képletben $a = g \approx 10$ m/s², a nehézségi gyorsulás).

Vajon mit határozunk meg, ha egy testet mérlegre teszünk: a tömegét vagy a súlyát? Attól függ!



--. Mérlegelés kétkarú és rugós mérlegen

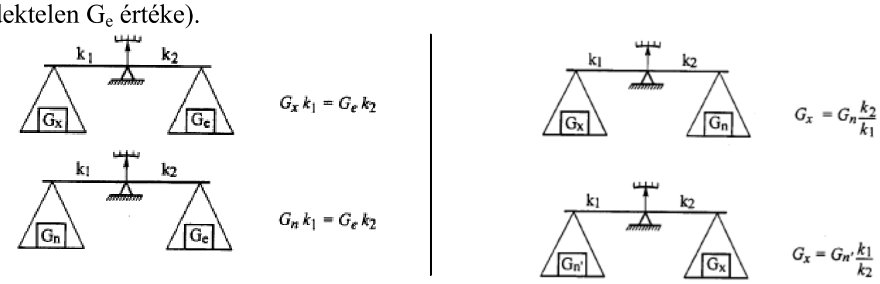
Ha a Föld vonzóereje félakkora volna, a mérleg egyensúlya azért megmaradna. Kétkarú mérleggel *tömeget* mérünk

Ha a Föld vonzóereje félakkora volna, a rugó csak félannyira nyomódna össze. Rugós mérleggel *súlyt* mérünk

Kétkarú mérlegen a tömegét (mert a „súly"-sorozattal vagy etalonnal létrehozott „erő" egyensúly, azaz a kiegyenlített állapot, a tömegek egyenlőségét jelenti). *Rugós* mérlegen a súlyát (a rugó hosszváltozása, és így a skálán mutatott érték, a Föld vonzóerejével arányos, az aktuális *g* értéktől függ; az összehasonlítás tehát közvetett[4]).

A kétkarú mérleg, azaz a közvetlen összehasonlítás kapcsán néhány mérési trükk is bemutatható (a mérlegkarok bizonytalanságának kiküszöbölésére):

(a) Helyettesítés: először a G_x mérendő kiegyenlítése G_e ellensúllyal, majd a mérendőt kicseréljük G_n etalonra úgy, hogy ismét egyensúlyi állapot legyen. A mérlegkarok arányától függetlenül $G_x = G_n$ (és érdektelen G_e értéke).



(b) Felcserélés (Gauss-módszer): a karokat felcserélve kétszer végzünk etalonnal kiegyenlítést. A két mérés (G_n és $G_{n'}$) alapján a mértani közép a végeredmény.

$$G_x^2 = G_n \frac{k_2}{k_1} \cdot G_n' \frac{k_1}{k_2} \Rightarrow G_x = \sqrt{G_n G_n'}$$

---

[1] **SI-ben:** aki súlyra gondol, ne használja a tömegegységet (mint a hétköznapi beszédben: „a súlyom 65 kg"), a megszokás persze nagy úr! De egyszerű az „átszámítás": **1 N az 10 dkg savanyúcukor.** („Fizikus az édességboltban: Kérek 2 *newton* drazsét. Mire az eladó: Csak *magyar* drazsét tartunk.")

[2] Egyedi különlegesség az alapegységek között, hogy az elnevezés a *kilo* prefixumot is tartalmazza. (Valószínű ok: a gramm kicsi a napi gyakorlatban, másrészt az SI rendszer az ún. MKSA – magyarán szólva: Miksa – rendszerből fejlődött ki. Az ún. CGS rendszerben a *centi*méter volt a „fekete bárány".)

[3] Fizikai értelemben az „erő" más, mint szubjektív érzete. A köznapi életben a helyzettől függ a jelentése: *erősen* meglökünk egy testet (→ impulzus), *nyugalomban* tartunk egy testet (→ erő), *erőlködve* emelünk egy tárgyat (→ munka), *erős* ember (→ nagy teljesítményre képes). És egészen más pl. a „lelkierő".

[4] Az etalonsúlyra való visszavezetés a skála elkészítésekor (a kalibrálás során) valósul meg, amikor ismert (etalon) súlyt helyezünk a mérlegre, és így határozzuk meg a mutató állásához rendelendő számértéket.

A *tömeg* és a súly fogalompár jelentkezik a *sűrűség* (= egységnyi térfogatú anyag tömege) és a fajsúly meghatározásánál (amelyeket sokszor, helytelenül, nem különböztetnek meg). Ismerve pl. a sűrűséget, a térfogat mérésével számítható a tömeg.

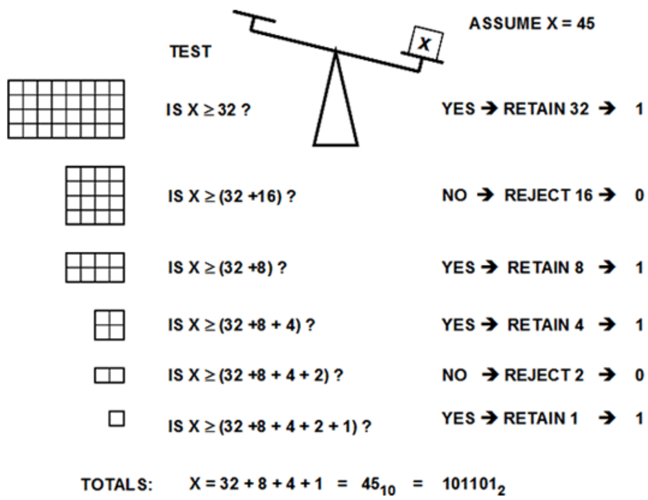
****

Matematikai fejtörőkben gyakori *feladvány* a következő (ún. Bachet probléma):

„Mérleg kiegyenlítés *minimális számú* etalon(`súly`)-készlettel. Az *x* mérendő egész-szám értékű (pl. 1 - 50 közötti), és csak az egyik serpenyőbe tehető kiegyenlítő `súly`”.

Megoldás (N. Tartaglia, 1556): kettő hatványai szerint növekvő (az adott tartományhoz 1, 2, 4, 8, 16, 32 értékű) etalon-sorozat kell, és a *legnagyobb* etalon taggal (32-vel) kezdődő lépésenkénti közelítés (szukcesszív approximáció) algoritmust kell alkalmazni.

Ha a próba (TEST) azt mutatja, hogy kell (YES) az adott etalon-érték (ahhoz, hogy a lépés-sorozat végén létrejöjjön majd a kiegyenlítés), akkor megtartjuk (RETAIN), ha viszont nem (NO), akkor a próba után azt kivesszük (REJECT) a serpenyőből ... és í. t. A döntést a „mérleg nyelve” adja (merre billen).



Az etalon(`súly`)-készlet tehát 2 hatványai szerint halad (ha n tagból áll, akkor 2^n-1 a max. mérhető érték; n = 6 esetén 2^6-1 = 63 > 50), az eredmény pedig közvetlenül **bináris számrendszerben** `kódolva` adja meg *x* értékét. (Egy próba és döntés, egy bit érték.)

Mint tudjuk, a mérőszám előállításához osztási algoritmust kell realizálni. A legegyszerűbb osztás pedig a kétfelé osztás, a **felezés**. Az első lépésben azt találjuk meg, hogy a lehetséges (az etalonokkal kiegyenlíthető) tartomány *melyik felében* van az ismeretlen érték, majd ezt finomítjuk tovább a felezések szisztematikus alkalmazásával. (Összesen n lépésben.)

Azért kell a *legnagyobb* helyértékű (szám)jegy meghatározásával kezdeni, mert az algoritmus „osztás”. (Emlékezzünk a „papíron-ceruzával” végzett osztási műveletre!)

Ezt az elvet használja a mai korszerű **A/D átalakítók** (a mérőszámot automatikusan előállító eszközök) egyik típusa:[5] a közepes sebességű (minta-gyakoriságú) és felbontású (bit-számú) A/D konverterek favoritja ez a módszer. Nyilvánvaló, hogy a mérendő „menet közben” (a konverzió, azaz a mérőszám előállítása alatt) *nem* változhat, ezért változó jelnél „határozottan rögzített” (mintavett) mérendő érték kell (ún. mintavevő /sampling/ ADC).

[5] “SAR ADC” a rövid angol megnevezés (SAR: successive approximation register, ADC: analog-to-digital converter); a **bit-keresés** algoritmusát digitális áramkör (→ regiszter /tároló lánc/) ütemezi.

[**A**] forgó-morgó: háztartási (forgótárcsás) „áram”-mérő
(egyfázisú, indukciós fogyasztásmérő [kWh])

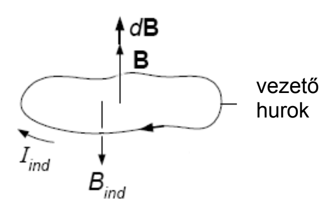
„Ampère az elektrodinamika Newtonja” (Maxwell)

Az elektromos áram SI egysége az *amper* [A], ez **alap**egység, amely a munkából (egysége: *joule* [J]) származtatott teljesítmény (egysége: *watt* [W] = J/s) alapján definiálja az elektromos potenciált (egysége: *volt* [V] = W/A). A gyakorlatban éppen „fordítva” gondolkodunk: a „(villamos) teljesítmény = feszültség • áram” [W] = V•A, a „(villamos) munka = teljesítmény • idő” [J] = W•s és utóbbit, nem pedig a *joule* egységet használja a mérő, pontosabban a kW•h egységet (k $=10^3$, h =3600 s).

Bláthy Ottó találmánya 1889-ből az indukciós (Ferraris[1]-tárcsás) fogyasztásmérő (villanyóra). Az elektromos hálózatból felvett, elfogyasztott villamos energiát méri. Nem a pillanatnyi fogyasztást adja meg, hanem összegzi azt, és a számlálóról havonta (vagy más időközönként) leolvasott érték-változást számlázzák.


A Bláthy-féle indukciós fogyasztásmérő első típusa

Az üvegablakon át látható alumínium (Al) tárcsa áramfogyasztás közben forog, nagyobb fogyasztásnál gyorsabb a forgás. A tárcsa fordulatszáma a villamos teljesítménnyel arányos, a megtett fordulatok számát (ami az elfogyasztott energia) mechanikus számláló összegzi és közvetlenül kWh mértékegységben mutatja. A fogyasztásmérőn feltüntetik: hány tárcsafordulat (revolution) ad 1 kWh fogyasztást (műszerállandó: pl. 375 rev/kWh).
Hogyan működik?
Elsőként a főszereplő jelenség, az ún. örvényáram keletkezési mechanizmusát érdemes felidézni. Az elektromos áram és a mágneses tér között szoros kapcsolat[2] van. A mágneses tér változása ($d\boldsymbol{B}$) a jelen lévő vezető hurokban áramot indukál ($\boldsymbol{I}_{ind}$), ez az áram pedig olyan mágneses erőteret ($\boldsymbol{B}_{ind}$) hoz létre, amely *ellentétes* a $d\boldsymbol{B}$ változással, vagyis csökkenteni igyekszik az őt létrehozó okot. (Lenz törvénye, egyetértésben az energiamegmaradás törvényével: mert ha segítené, csak el kellene indítani a változást, és megállás nélkül menne minden magától → perpetum mobile). Az indukált áram *nincs* vezetékhez kötve, ezzel a törvénnyel magyarázható a változó mágneses erőtérbe helyezett vagy állandó mágnes terében mozgó tömör, vezető (fém)testekben az ún. örvény(lő) áramok[3]

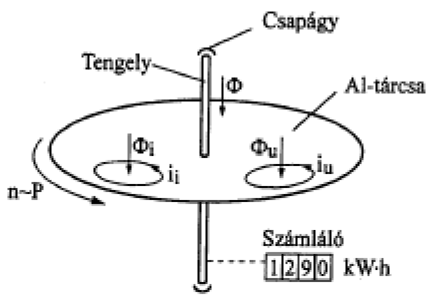


---

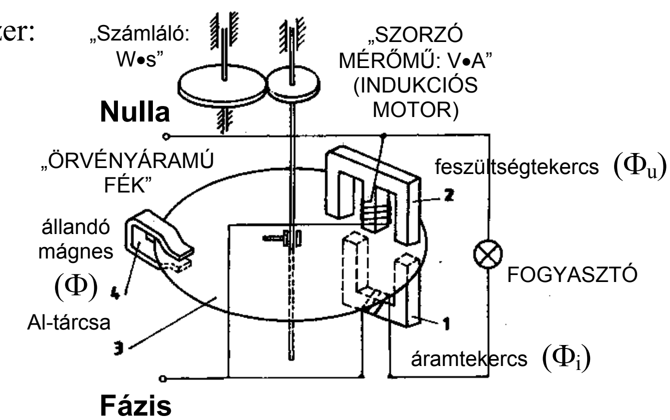
[1] A magyarok Ferraris révén ismerkedtek meg a többfázisú rendszerrel (1885). A többfázisú rendszer feltalálói, egymástól függetlenül, Ferraris és Tesla.
[2] Érdekes megfigyelés: villámcsapás közelében az acéltárgyak (pl. a kések, olyan házban, ahová villám csapott) mágnesessé válnak. Mérési alkalmazás: a fellépő igen nagy (100 kA nagyságrendű) áram értékére éppen ebből lehet következtetni: mennyi a villámhárítóra fűzött, mágneses anyagból készült (mérő)gyűrű felmágneseződése.
[3] Szemléletes kísérlet: (a) nem mágneses ill. (b) mágneses fémhengert ejtünk le rézcsőben és figyeljük az esési időt; (b) esetben látványosan megnő az esési idő (mert a csőben fellépő örvényáramok akadályozzák az őket létrehozó okot, a mágnes mozgását). Kérdés: miért nem áll meg az eső mágnes?
A jelenség lehet hasznos: indukciós fűtés (→ az áram hővé alakul), örvényáramú fék (→ forgó mozgás lefékezése), fogyasztásmérő (→ szabadon elforduló fémtárcsa váltakozó mágneses térrel forgásba hozható), vagy káros: transzformátorok örvényáramú vesztesége (ezt korlátozni kell, mert melegedést okoz).

kialakulása (a jelenséget Foucault[4] fedezte fel).
Az effektív[5] feszültség és áram „szorzata” a teljesítmény; a villanyóra integráló (a pillanatnyi *P* teljesítmények és elemi *dt* időtartamok szorzatát „összegző”) mérőmű.
A szabadon elforduló (fém)tárcsára két *váltó*áramú tekercs és egy *állandó*mágnes mágneses tere (fluxusa) hat. A feszültség- és áram-tekercs mágneses tere (Φ_u és Φ_i fluxusok) és az általuk indukált örvényáramok (i_u és i_i) kölcsönhatásaként[6] a fogyasztó hatásos[7] teljesítményével arányos kitérítő nyomaték: $M_k \approx c_k.P$ jön létre, és a tárcsa forogni kezd. (Ez tehát a „szorzó”: mindkét tekercs fluxusa hat.) Az állandó mágnes (Φ, Lenz törvénye) olyan fékező nyomatékot ad, amely a tárcsa *n* fordulatszámával arányos: $M_f \approx c_f.n$. Egyensúlyi állapotban ($M_k = M_f$) a tárcsa fordulatszáma $n = (c_k/c_f).P = c.P$ értékű, a *teljesítménnyel* arányos.
A villamos *munkát* a *dt* idő alatt megtett fordulatok száma (= fordulatszám • idő = n.*dt* = c.*P*.*dt* = c.*munka*) adja, ezt számlálja és „összegzi” a számláló, és így az elfogyasztott energiát mutatja.

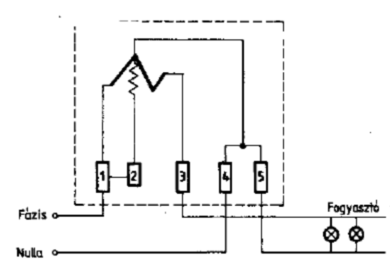
Mérési elv:



Műszer:



Bekötés. A feszültségtekercs 2 pontja össze van kötve az áramtekercs 1 pontjával, másik vége a 4-5 ún. áthidalás. A hálózatot az 1. és 4., míg a fogyasztót a 3. és 5. kivezetésekhez kapcsolják, és az "áramlopást" úgy akadályozzák meg, hogy az áramtekercs (1, 3) sarkaira a fázis (nem-földelt) vezetéket kötik. Ebben az esetben a fogyasztásmérő akkor is működik, ha a fogyasztót (illetéktelenül) a fázis és a anya-föld (pl. vízvezeték) közé kapcsolják.



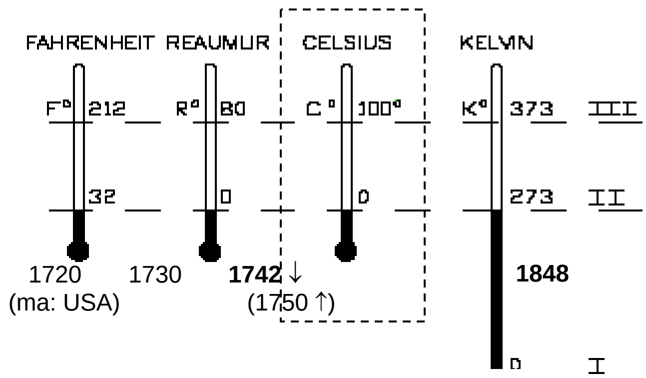
[4]Aki azt is meggyőzően bemutatta, hogy a Föld forog (→ Foucault-inga).
[5] Váltakozó feszültség (vagy áram) effektív értéke azzal az egyenfeszültséggel (vagy árammal) egyenlő, amely azonos ellenálláson ugyanakkora hőenergiát termel. (Ha egy szinuszos jel csúcsértéke X_p, akkor effektív értéke $X_{eff} = X_p/\sqrt{2}$.)
[6] Az áramtekercs kis menetszámú és nagy keresztmetszetű, a fogyasztóval sorba kapcsolódik. A feszültségtekercs a fogyasztóval párhuzamosan kapcsolódik, nagy menetszámú (közel „tiszta” induktivitás, így a feszültségágban folyó áram – a feszültséghez viszonyítva – 90°-kal késik). Az ilymódon kialakuló forgó mágneses tér és az általa indukált örvényáramok kölcsönhatásaként keletkező kitérítő nyomaték a tér irányába igyekszik elmozdítani a forgórészt.
[7] A pillanatnyi teljesítmény átlaga a hatásos teljesítmény.

[**K** = °C + 273.16] hőmérséklet

„A hőmérséklet csak egy érzés, egy érzéki percepció” (Kürti Miklós)

A hőmérséklet SI egysége a *kelvin* [K], ami **alap**egység. Az *abszolút* hőmérsékleti Kelvin[1]-skála és a köznapi Celsius-skála között csak nullpont-eltolás van. (A hőmérséklet különbség vagy intervallum tehát akár K, akár °C egységben kifejezhető.)

A szubjektív hőérzet az ember állandóan működő „műszere”, amellyel a „melegség” – valójában egy differenciálatlan képzet – változatos, becslésszerű[2] „mérését” végzi (fagyos, hideg, hűvös, langyos, meleg, forró, süt); és az élet csak egy szűk hőmérsékleti tartományra[3] korlátozódik.
A hőmérő (pontosabban szólva a hőmérséklet-mérő, a termométer) nem természeti tárgy, előbb el kell készíteni,[4] csak ezután használható. Elterjedt típus a <u>folyadék</u>(töltésű)-hőmérő, amely a térfogatváltozást hasznosítja.



(1,8·x+32) °F = (0,8·x) °R = x °C

A skála önkényes. Az alaptávolság a víz fagyási (II) és forrási (III) hőmérsékletét jelenti, ez *relatív* (egy alapponthoz viszonyított) hőmérséklet mérés. Az *abszolút* Kelvin hőfok-skála az ún. hármaspontból indul (itt a jég, a víz és a gőz egyidejűleg fordul elő egyen-súlyi állapotban), innen lehűtve egy ideális gázt 273,16 °C -szal, a gáz nyomása nullává válna, ez az abszolút nullapont (I, ami véges lépésben elérhetetlen).

A hőtan akkor kezdett tudománnyá válni, amikor feltalálták a hőmérőt. Hosszú volt az út, amíg a megfigyelésből (fagyott tócsa → 0 °C alatt) és a hőérzetből (meleg ruha → hő*szigetelés*, meleg víz → *hőmérséklet*, kevés meleget ad /kályha/ → *hőmennyiség*, nehezen melegszik → hő*kapacitás*, felmelegszik → hő*átadás*/áramlás/) kialakultak a mai – hőérzettől független – fogalmak, és bizonyossá vált az energiamegmaradás tétele.

A hőmérséklet a testek állapotára jellemző mérték, olyan sajátság, ami meghatározza, hogy a test termikus egyensúlyban van-e más testekkel. Ezen alapszik a hőmérséklet mérés technikai kivitele. Az ún. **kontakt** hőmérők érintkezésbe kerülnek a mérendő testtel; a másik csoport az ún. **érintkezés nélküli** hőmérők (pl. az infrasugaras mérők: hőtérkép, optikai pirométerek). A hőmérséklet mérés feltétele, hogy legyen

- a hőmérséklettel arányos, folytonosan változó mérhető tulajdonság (mint pl. térfogat, nyomás; szín: festék, folyadék-kristály; elektromos tulajdonság: ellenállás, termoelem, stb.)
- a lokális térrészben termikus egyensúly (→ a /kontakt/hőmérő a saját hőmérsékletét méri)
- fix pont (reprodukálható hő-állapot → a hőmérő hitelesítéséhez)

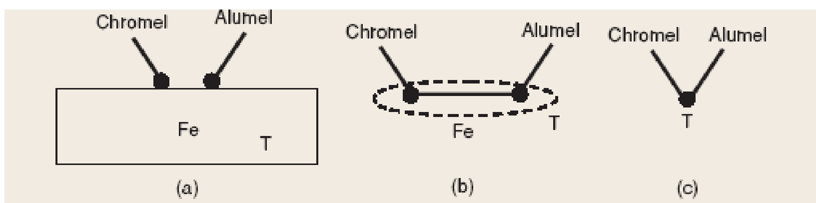
[1] (W. Thomson) Találóbb lett volna a „lord Kábel“ név, hiszen a transzatlanti, tengeralatti távírókábel lefektetéséért kapta méltóságát (1892). Kelvin bájos folyócska a glasgow-i egyetem mellett.
[2] A meleg víz után a langyosat is hidegnek érezzük, de átfagyott kézzel a hideg víz is meleg!
[3] Pl. a testhőmérséklet egy-két °C változása már betegséget jelent(het).
[4] A gondolat: Leonardo da Vinci. Az első: Galilei, 1592. Az első orvosi: Santori, 1612. (A higany mérgező tulajdonsága miatt ma már nem gyártanak higanyos lázmérőt, ami ún. maximum hőmérő.)
Mindig lesznek olyan hőmérsékleti tartományok és körülmények, amelyekre még nem készült hőmérő.

Az első hőmérők a gázok, folyadékok, szilárd anyagok hőtágulásán[5] alapultak. Később – különösen a szélsőséges értékek mérésére – más fizikai törvényeket is alkalmaztak.

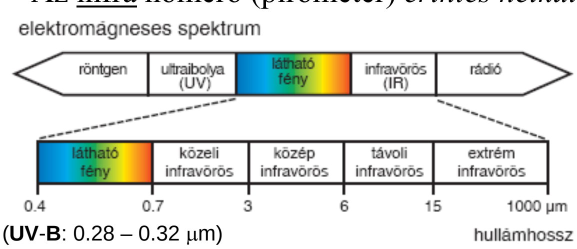
Magas hőmérsékletek mérésére (kb. 1700 °C-ig) a termoelemek a legalkalmasabb mérőeszközök. A termoelem (hőelem-szenzor) két különböző anyagú, egyik végükön összeforrasztott fémhuzalból áll, ez a pont az ún. „érzékelő pont”. (A kereskedelmi termoelemek vékony vezetékeit egymástól elszigetelik, fém /kvarc, kerámia/ tokba zárják, a tokot nem szabad megbontani). Ha a forrasztási hely, valamint a vezetők másik vége *eltérő* hőmérsékleten van (az érzékelő pontot melegítjük), a szabadon maradt két huzalvégen feszültség mérővel a hőmérséklet **különbség**gel arányos termo-feszültséget (kontaktpotenciált)[6] mérhetünk: néhány 10 µV/°C. Ami nem túl nagy érték, erősítés szükséges (viszont a tehetetlenség kicsi: a szenzor gyorsan reagál a változásokra).

TIPUS	TERMOELEM	ALKALMAZÁSI TARTOMÁNY **°C**	TERMOFESZÜLTSÉG **ΔT = 100 °C-ra [mV]**
T	Cu-Ko*	-200...600	**4,25**
J	Fe-Ko*	-200...900	**5,37**
K	NiCr-Ni	-200...1200	**4,04**
S	PtRh-Pt	0...1700	**0,64**

Fémfelület hőmérsékletének mérésére pl. *közvetlenül a felületre*, egymás mellé forraszthatók az érzékelő vezetékek (pl. **K**-típus, Chromel: NiCr – Alumel: Ni /95%/). Ha azonos a két egymás melletti pont T hőmérséklete, akkor (három helyett) egyetlen termoelemre redukálódik a mérő-érzékelő (**K**-típus).



Az infra hőmérő (pirométer) *érintés nélkül,* az anyag elektromágneses (infravörös, az emberi szem által *nem* látható) sugárzását méri optikai módszerrel (infra detektor segítségével). Az eszköz kiválasztásánál a mérendő anyagát, méretét, a hőmérséklet-tartományt (kb. 3000 °C -ig) és a környezeti hatásokat is figyelembe kell venni.



Megjegyzés: a spektrum adatok átszámításához a frekvencia-érték: $f = c/\lambda$, ahol λ a hullámhossz, és $c = 300 \cdot 10^3$ km/s $= 3 \cdot 10^{14}$ µm/s.

---

[5] Ezért tilos a benzines kannát teletölteni!
Csővezetéknél U szakasz, vasúti síneknél hézag, hidaknál az egyik végen görgők, az úttesten pedig dilatációs hézag (egymásba csúszó fésűs szerkezet) „vezeti le” a hőtágulást.
Egy köznapi hasznosítás: bimetall-hőkapcsoló.

[6] Seebeck-effektus: a jelenséget 1821-ben Seebeck fedezte fel.
Termoelemet alkalmaznak pl. a gáztűzhelyek égésbiztosítójaként. (Lángőr: a lángba helyezett termoelem feszültsége egy kis elektromágnest tart behúzva, és ha a láng kialszik, akkor az elektromágnes elenged, egy rúgó pedig elzárja a gázcsapot.) Pl. űrhajó hőpajzsában termoelemek ellenőrzik az aktuális állapotot.
Ko* = Konstantán (60% Cu + 40% Ni), a név: a hőmérséklettől kevéssé függ (konstans) az ellenállása
A jelenség fordítva is működik: ha áramot bocsátunk át ilyen rendszeren, a vezetők két vége között hőmérséklet különbség keletkezik (Peltier-effektus, 1834). Ezt hasznosítják hűtésre az ún. Peltier-elemekkel, amelyeket ma már speciális félvezetőkből készítenek.

[1 rad = $360^\circ/2\pi \approx 57{,}3^\circ$] „a Föld kerületének mérése” (Eratoszthenész)

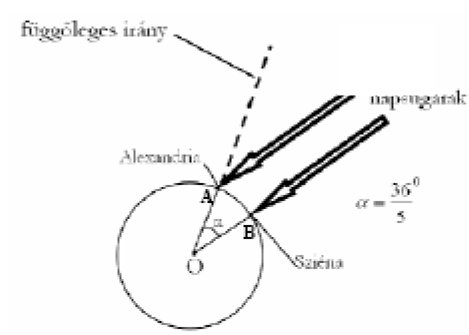
(Fizikusok szerint) ez minden idők hetedik legelegánsabb[1] *kísérlete.*

A síkszög SI `egy`ségének külön neve: *radián* [rad], az 1 rad nagyságú szög szárai között az egységsugarú körnek éppen egységnyi íve helyezkedik el (ezért a szög dimenziója: m/m = 1).

A megszokott *fok* is használható, az átszámítás egyszerű: $360^\circ \rightarrow 2\pi$ rad (a kör kerülete: $2r\pi$ és r = 1), így $1^\circ = (2\pi/360)$ rad $\approx 0{,}0175$ rad $= 17{,}5\cdot10^{-3}$ rad = 17,5 mrad. (Az „igazi szöglet”, a derékszög: $\pi/2$ rad.)

Több mint kétezer éve Eratoszthenész (az alexandriai könyvtár vezetője, Arkhimédész kortársa, az i.e. III. században) lokális szög- és távolság-méréssel meghatározta a Föld kerületét.[2] Megfigyelte, hogy nyári napforduló idején Sziénában (Assuan), délben, a Nap sugarai merőlegesen esnek a Föld felületére (a Nílus vízállását jelző mély kút vizében a napkorong képe teljes egészében tükröződik: „évente egyszer csillan meg a napfény”), és ugyanezen a napon délidőben, Alexandriában a teljes kör *ötvened részének* megfelelő szög alatt[3] érik a Föld felületét a napsugarak.

Mivel a napsugarak párhuzamosak (a Nap nagyon távol van a Földtől), s Alexandria és Sziéna kb. ugyanazon a délkörön fekszik (mindkét helyen azonos időpontban éri el a Nap a delelőpontját), ha a két város távolsága ismert, akkor ezt szorozva *ötven*nel megkapjuk a Föld kerületét (mert egy körív hossza arányos a hozzá tartozó középponti szöggel).[4]



Az AB távolságot becsléssel állapította meg: a naponta 100 *stadion*nyi utat megtevő tevekaraván 50 nap alatt ért Alexandriából Sziénába.
Így Föld kerülete $250\cdot10^3$ stadion. (Az átváltását SI-re megnehezíti, hogy eltérő méretűek voltak a stadionok, ezek kerülete [a *stadion*], különböző források szerint, 154 és 215 méter közé esett.)

---

[1] Elegáns a kísérlet, ha zseniális ötlet, egyszerű eszköz, szellemes és látványos megoldás alapvető kérdésre ad választ. A tíz legszebb fizikai kísérlet:
http://www.origo.hu/tudomany/technika/20060124atiz.html
(Galilei két helyet is kapott, a tizedik a Foucault-inga. Sajnos pl. Faraday vagy Röntgen „nem fért be”.)

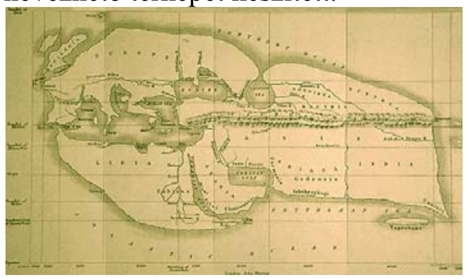
[2] Már mozgalom is szerveződött az „Eratoszthenész-mérés” megismétlésére:
http://wyp.csillagaszat.hu/files/eratosthenes/index.html

[3] Egy oszlop magasságát és az árnyék hosszát kellett megmérni, épp délben (időmérő nélkül: elegendő a napközben változó hosszúságú árnyék minimális hosszát megállapítani). Mivel számításra nincs mód (hiszen a szögfüggvényeket jóval később fogják kitalálni), egyszerűen a kapott szöget többször lemásolva adódik, hogy az a teljes kör 1/50 része. **„Csupán egy árnyék és egy gondolat!”** (Pólya György).
A fokokban való szögmérés előtt körívekkel mérték a szöget (a rad tehát **ív**mérték), erre utal a „peripheria” szó az ilyen összefüggésekben.

[4] Mai jelölésekkel: a délkör kerülete $K = 2\pi R$ (ahol R a Föld sugara) és $AB = \alpha R$, ahol $\alpha = (2\pi/50)$ rad, AB = 5000 stadion $\approx$ 800 km (**?**, 1 stadion $\approx$ 160 méter), ebből $K \approx 40\cdot10^3$ km (ez a mai adat).

$$\frac{\text{Sziéna és Alexandria távolsága}}{\text{a Föld kerülete}} = \frac{\text{mért szög}}{360^\circ}$$

Eratoszthenészt "Pentatlosz"-nak (öttusázónak) is nevezték sokrétű tudományos tevékenysége miatt. Tőle ered a "geográfia" megnevezés, ezalatt ő elsősorban a térképalkotást értette, és a mai értelemben is világtérképnek nevezhető térképet készített.



Kivonat **Eötvös Loránd**[5] elnöki beszédéből, mellyel a Magyar Tud. Akadémia ünnepi közülését 1901. május 12-én megnyitotta.

„A régiek, a Homeros korabeliek, korongalakúnak képzelték a Földet s ezen a korongon helyezték el gondolatukban Görögország körül mindazokat a középtengerparti vidékeket, melyekig hajósaik eljutottak.

Aristoteles korában azonban már általánosan elfogadott volt az a nézet, hogy a Föld gömbalakú, s e nézettel együtt megszületett a fokmérés feladata. Ha t.i a Földet gömbnek tekintjük, úgy valamely felületén húzott legnagyobb kör meghatározott részének, például $^{1}/_{360}$ részének, azaz egy fokának hossza az egész Földnek kerületét, más szóval a Föld nagyságát állapítja meg.

A történet bizonysága szerint úgy látszik, hogy az alexandriai Eratosthenes volt az első a Kr. születése előtti harmadik században, a ki a feladatot mai értelmében megoldotta. Szerinte a Nap Felső-Egyiptom Syene nevű városában a nyári solstitium idején pontosan a zenitben áll, holott Alexandriában ugyanakkor $7\,^{1}/_{5}$ fokkal tér el tőle. Ebből helyesen következtette, hogy a vizek szintjei, vagy, a mi egyre megy, a függélyek irányai Syenében és Alexandriában $7\,^{1}/_{5}$ fokkal, azaz a kör kerületének körülbelül $^{1}/_{50}$ részével hajlanak egymáshoz, s e szerint ama helyek távolsága a Föld kerületének közel $^{1}/_{50}$ részével egyenlő. E mérések alapján az egész földkerület hossza 250000 stadionnal egyenlő."

---

[5]A magyar kísérleti fizika csúcsteljesítménye (és az Einstein-féle általános relativitáselmélet kísérleti alapköve) az **Eötvös-kísérlet** (1908): a „gravitációs (súlyos)" és a „tehetetlen" tömeg ekvivalenciájának igazolása. (Fogalmilag különböznek, mindegyiket a maga helyén használjuk.)

Egy test tömege kettős szerepű: (1) ható (vonzó) jellegű: más testre gravitációs (tömeg)vonzást gyakorol (→ **súlyos** tömeg, a gravitációs képességet leíró mennyiség: „gravitációs erőtörvény"), (2) ellenálló jellegű: sebessége változtatásához, a gyorsításhoz szükséges erő a test tömegével arányos (→ **tehetetlen** tömeg: a mozgásállapot-változásnak ellenálló mennyiség: „a dinamika erőtörvénye").

Ha kézbe veszünk egy golyót, amit az izmainkban érzünk, az a test gravitáló (súlyos) tömegétől függ. Rátéve a golyót egy asztallapra kiküszöböljük a súlyos tömeget, ekkor a vízszintes gyorsító erő a tehetetlen tömeggel kapcsolatos.

A meghökkentő az, hogy a nehezebb test nem esik gyorsabban: minden test, tömegétől függetlenül (!), azonos gyorsulással esik szabadeséssel. Ezt igazolta Galilei klasszikus, a pisai ferde toronyból végzett ejtési kísérlete 1590-ben. (A „legszebb tíz fizikai kísérlet" között a második helyezett.) Ez csak úgy lehetséges, hogy a kétféle – eltérő tulajdonságot jellemző – tömeg azonos (a testek gravitációs kölcsönhatást kifejtő képessége és tehetetlensége arányos egymással). Eötvös az általa szerkesztett torziós ingával ezt az ekvivalenciát igen nagy ($5\cdot10^{-9} = 5\cdot10^{-3}$ ppm) pontossággal kimutatta.

Szemléletesen: egy rugós mérlegre helyezett test esetén ugyanakkora erőt mérünk, mintha a testet súrlódásmentesen **g** gyorsulással gyorsítanánk.

A „gravitációs erőtörvény" állandóját H. Cavendish mérte meg egy torziós ingával (1797; ez a kísérlet a hatodik helyezett a „legszebb tíz fizikai kísérlet" között). A fémszál szögelfordulását a rá erősített tükörrel mérte (nagy érzékenységű fénysugaras leolvasás). Eötvös az eszközt tökéletesítve, az érzékenységet lényegesen megnövelve érte el kimagasló eredményét. A pontosságot annak köszönhette, hogy az ingához szükséges fémszálat évekre berakta ruhásszekrényébe, hogy „kirúgja" magát (azaz belső feszültsége lecsökkenjen).