

Horváth, Dezső. 2026. *Mit, miért, Mivel mérünk? Zűrzavaros mértékeink a róftól a fényévig.*

Budapest, Hungary: HUN-REN Wigner Research Centre for Physics

Series: Volume 3. All Colors of Physics: Sokszínű Fizika

<https://pubs.wigner.hu/wigner/catalog/book/mit-miert-mivel-merunk>

HORVÁTH DEZSŐ

MIT, MIÉRT, MIVEL MÉRÜNK?

ZŰRZAVAROS MÉRTÉKEINK A RŐFTŐL A FÉNYÉVIG



**HUN
REN**



Horváth Dezső

MIT, MIÉRT, MIVEL MÉRÜNK?

Zűrzavaros mértékeink a rőftől a fényévig

All Colors of Physics – Sokszínű fizika

Horváth D. Mit, miért, mivel mérünk? (2026).

Donkó Z. – Vass M. Alacsony hőmérsékletű plazmafizika (2025). <https://doi.org/10.70487/978-615-6809-03-2>

Biró TS. Gintropy (2024). <https://doi.org/10.70487/978-615-6809-01-8>

Horváth Dezső

MIT, MIÉRT, MIVEL MÉRÜNK?

Zűrzavaros mértékeink a róftól a
fényévig

HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont
Budapest, 2026



© HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont, 2026
© Horváth Dezső, 2026
HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest
Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár

All Colors of Physics – Sokszínű fizika
ISSN 3057-8477 (print)
ISSN 3057-9570 (electronic)

Sorozatszerkesztő:
Ván Péter

ISBN 978-615-6809-04-9 (print)
ISBN 978-615-6809-05-6 (eBook)

Szakmai szempontból átnézte:
Trócsányi Zoltán

Technikai szerkesztők:
Fülöp Tamás, Kutnyánszky Anikó, Verle Ilona

Fedélterv:
Gulyás-Szabó Luca

Nyomdai munkák:
Premier Nyomda Kft.
Nyomdavezető:
Király Attila

Felelős szerkesztő és igazgató
Lévai Péter József

HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont
1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

A szerzőről

Kísérleti részecskefizikus, kutatásait a dubnai Egyesített Atommagkutató Intézetben, a Leningrádi Magfizikai Intézetben, a vancouveri (Kanada) TRIUMF-ban, a Brookhaven Nemzeti Laboratóriumban (USA), a pisai (Olaszország) INFN-ben, a svájci Paul-Scherrer Intézetben és a CERN-ben végezte, nemzetközi együttműködésekben. Közös Budapest-Debreceni kutatócsoportokat szervezett kis- és nagyenergiás CERN-kísérletekhez. Fő témái az antianyag spektroszkópiája és a részecskefizika elmélete, a standard modell kísérleti ellenőrzése, különös tekintettel a Higgs-bozonra. Jelenleg a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont emeritus professzora, magántanárként részecskefizikát oktat a Debreceni Egyetemen és a kolozsvári Babeş-Bolyai Tudományegyetemen. Gyakran tart előadásokat és ír cikkeket ismeretterjesztő céllal. 2006 óta részt vesz magyar fizikatanárok CERN-i továbbképzésének szervezésében. Tudományos tevékenységéért többször kitüntették, 2012-ben elnyerte a Magyar Köztársaság Széchenyi Díját.



[Az oldal szándékosan üres.]

Tartalomjegyzék

Előszó	1
1. A metrikus rendszer kialakulása	5
1.1. Darabszám, értékelés, azonosítás	5
1.1.1. Számrendszerek	6
1.1.2. Számlálás ujjon	7
1.1.3. Különleges számok	7
1.1.4. Római számok	8
1.1.5. Nagy számok nevei	9
1.1.6. Iskolai osztályzatok	10
1.1.7. Ugrószám, prefixum	11
1.1.8. Forgalmi rendszámok	12
1.1.9. Kalkulátor, számítógép	14
1.2. Hosszúság, távolság	16
1.2.1. Ókor	16
1.2.2. Újkor	17
1.2.3. Metrikus hosszmérték	19
1.3. Felület, terület	21
1.3.1. Nyomtatás	21
1.3.2. Földterület	21
1.3.3. Területmérés	22
1.3.4. Szögmérés	23
1.4. Térfogat	24
1.5. Hőmérséklet	26
1.6. Tömeg, súly	29
1.7. Nyomás	31
1.8. Időmérés, naptárak	32
1.8.1. Óra, perc, másodperc	33
1.8.2. Nyári időszámítás	34
1.8.3. Republikánus időszámítás	35
1.8.4. Naptárak	35
1.9. Elektromosság	39

2. Túlélő régi mértékegységek	41
2.1. Angolszász mértékegységek	41
2.2. Hosszúság	42
2.3. Terület, térfogat	46
2.4. Tömeg, súly	49
2.5. A birodalmi egységek előnyei	51
3. Egyéb közhasznú egységek	53
3.1. Pénzegységek	53
3.2. Földrajz	61
3.2.1. Földrajzi helymeghatározás	61
3.2.2. GPS és társai	63
3.2.3. Várostérkép	64
4. Tudományos mértékrendszer	67
4.1. A CGS rendszer	67
4.2. Az SI rendszer	68
4.2.1. Idő	70
4.2.2. Távolság	75
4.2.3. Tömeg	77
4.2.4. Elektromos jelenségek	79
4.2.5. Anyagmennyiség	81
4.3. Tudományterületek sajátos mértékegységei	81
4.3.1. Atom- és molekulafizika	83
4.3.2. Atommag- és részecskefizika	86
4.3.3. Az energia szerepe a fizikában	87
4.3.4. Anyagtudományok	89
4.3.5. Mérték és szimmetria	89
4.3.6. Csillagászat	91
4.3.7. Termodinamika, hőtán	92
4.3.8. Energiatartalom	93
4.3.9. Egészségügy, orvostudomány	94
4.3.10. Ipari energiaegységek	96
4.3.11. Hang- és jelerősség, zajterhelés	99
4.3.12. Keménység és érdesség	100
4.3.13. Ízérezékelés	102
4.3.14. Szcientometria	103
4.4. Elektrotechnika	105
4.5. Fénytan, optika	108
4.5.1. Látható fény	108
4.5.2. Lézerek	109
4.5.3. Fényerősség	110

5. Furcsa mértékegységek	113
5.1. Átfogó rendszerek	113
5.1.1. Az FFFF rendszer	113
5.1.2. Potrzebie	113
5.2. Hosszúság	114
5.2.1. Smoot	114
5.2.2. Egyéb hosszegységek	115
5.3. Terület	115
5.3.1. Barn	115
5.3.2. Nanoacre	115
5.3.3. Egyéb egységek	115
5.4. Idő	116
5.5. Sugárterhelés: banánegység	116
5.6. Tréfás mennyiségek	117
6. Összegzés	119
Irodalomjegyzék	121
Tárgymutató	125
Ábrajegyzék	131

[Az oldal szándékosan üres.]

Előszó: Mit és miért mérünk?

MOTTÓ:

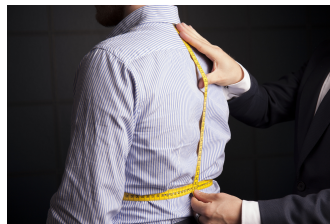
Kapitány: – Mennyi? Gépház: – Harminc!

Kapitány: – Mi harminc? Gépház: – Mi mennyi?

Régi hajósvicc

Az emberiség mindent igyekszik számszerűsíteni, hiszen bármennyire is utáljuk, a számtan (és magasabb szinten a matematika) agyunk működését tükrözi. A fizikus számára a matematikai apparátus használata elvben magától értetődő, felvet viszont súlyos filozófiai problémákat. *Richard Feynman* amerikai fizikus (Nobel-díj, 1965), sok híres mondás alkotója, így fogalmazta meg „Ha meg akarod ismerni a természetet, értened kell a nyelvet, amelyen szól”, és itt természetesen a matematikára célzott. Ugyanakkor persze a természet egyáltalán nem szól hozzánk, mondhatjuk, tojik ránk, mi próbáljuk a matematika segítségével megérteni. *Wigner Jenő* (Nobel-díj, 1963) hosszabb tanulmányt szentelt a kérdésnek, címe „A matematika meghökkentő hatékonysága a természettudományokban” [1]. Miután alaposan körbejárja a kérdést, Wigner konklúziója a következő: „A csoda, a matematika nyelvének alkalmas volta a fizika törvényeinek megfogalmazására, varázslatos adomány, amelyet nem értünk és nem is érdemlünk meg. Hálásaknak kell lennünk érte...”.

A *mérés* tehát az az eljárás, ahogyan mennyiségileg próbáljuk értelmezni a körülöttünk zajló folyamatokat, beleértve mind a természetes, mind pedig a mesterséges dolgokat. A mérés eszköze a *mérték*, például egy ismert hosszúság vagy súly, amellyel összehasonlítjuk a vizsgált tulajdonságot, az eredménye pedig egy szám lesz, amelynek csak akkor van értelme, ha megmondjuk, miből van annyi: az lesz a mérés egysége, a *mértékegység*. Igen tanulságos, ahogyan Marx György a fizikus szemszögéből sorra veszi a mértékegységek fogalmát és kialakulását [2] cikkében, bár az SI azt mára messze meghaladta. A mérések tudományát méréstannak, mérésügynek vagy *metrológiának* hívják, nem tévesztendő össze a *meteorológiával*. Remek, vadonatúj cikkgyűjtemény jelent meg erről magyar nyelven az Óbudai Egyetem kiadásában [3], közülük különösen a méter története érdekes [4].



1. ábra. Balra: Négy alma mérlegen: darabszám és súly. Jobbra: Szabó méretet vesz: hosszúság

A lehető legegyszerűbb mérés a számolás: például hány darab van valamiből. Utána mérünk: hosszúságot, időt, súlyt, térfogatot, áramerősséget vagy teljesítményt, és azzal értékelünk árut vagy módszereket. Mindeközben mértékegységek között kell váltanunk: méter és hüvelyk hosszúságban, év és másodperc időben, tonna és karát súlyban, akó és liter térfogatban, kilowatt és emberóra teljesítményben, forint és euró pénzben. Könyvemben megpróbálom áttekinteni ennek fejlődését és buktatóit az ókortól napjainkig.

Az almát megszámloljuk, amikor a piacon fajta szerint különböző zacskóba szedjük, utána az eladó rárakja a zacskókat a mérlegre, és hozzárendel egy súlyt (szabatosan persze tömeget), a hazai köznyelvben kiló(gramm)ban kifejezve (de könnyebb áru lehet grammban vagy dekában, egy nehezebb meg esetleg mázsában vagy tonnában), majd közöl velünk egy árat forintban. Az alma tehát négyféle módon is számszerűsödött: zacskóban, darabban, kilóban és forintban. A kenyert kilónként, a sajtot és felvágottat dekánként, a fűszert grammonként, a tejfölt viszont decinként, a tejet pedig literenként vesszük. A szabó egy ember méretét sokféle számban mérheti, de az mind hosszúság, elvben méterben vagy centiben (1. ábra).

A labdajátékok eredményét a gólok, a személyi hibák és az esetleges kiállítások száma jellemzi. Az úszók távolságban és időben mérik teljesítményüket, amihez a futó atlétáknál hozzáadódhat még a pálya meredeksége és a megtett lépésszám, valamint az esetleges ellen- vagy hátszél sebessége. A dobóatlétáknál a dobott súly és a távolság számít. A küzdősportok a legbonyolultabbak, mert ott a legkülönbözőbb eredményjelző mérőszámon kívül, amelyeket részben pontozóbírók adnak, még a versenyzők saját súlya is döntő jelentőségű. A víz- és gázszámlánkon köbméterenként, az áramfogyasztásért kilowattóránként fizetünk. Az otthoni elektromosság feszültsége 230 volt. A villanyóránk terhelhetősége áramerősségben mérődik, például 16 amper, a lámpánk fogyasztása valahány watt, a vasalóé és a hőszigetelő viszont inkább kilowatt. Egy közepesen jó kocsi 10 másodperc alatt gyorsul fel 100 km/óra-ra és 6 liter benzint fogyaszt 100 km-enként.

A pénznek is van mértékegysége: a hazai boltban forintban fizetünk, század része, a fillér már rég kimúlt, de ha valaha áttérünk az euróra, akkor lesznek centjeink is, bár az egycentes hamarosan eltűnik, mert az előállítása állítólag 4,5 centbe kerül, Finnországban be sem vezették (2. ábra). Az euró bejövetele előtt, valahányszor a CERN-be (a világ legnagyobb kutatóintézete Genf mellett,



2. ábra. Euró bankjegyek és érmék

félíg francia területen) mentünk kocsival, ötféle pénzt, magyar forintot, osztrák schillinget, német márkát, valamint francia és svájci frankot kellett magunkkal vinnünk, ez mostanra háromféltre egyszerűsödött. Mindennapi életünket tehát átszövik a különféle mértékegységek, hiszen bármilyen mennyiséget csak mérőszám és mértékegység együttesével érdemes megadni.

Könyvünkben példákat idézünk különféle régi és újabb mértékegységekre, helyenként személyes tapasztalatokkal fűszerezve. Nagyon szép gyűjteményeket kínál az angol nyelvű Wikipédia, ez a szinte kimeríthetetlen tudástár, egyebek között idejét múlt [5], furcsa [6] és tréfás [7] mértékegységekre.

A múlt mértékegységeinél elsősorban a magyarokat fogjuk felsorolni, de példaként mást is: néhány ókorit és a regényekből ismert orosz. Az angolszász egységek jórészt ma is élnek, azokat külön tárgyaljuk. A gyűjteményt a tudományos mértékegységekkel, ezzel a folyamatosan fejlődő területtel zárjuk. A mértékek ugyanis egymással messzemenően összefüggnek, egymástól függetlenül nem is igazán tárgyalhatók. Ami tudományosan a legfontosabb: a pontosság, és annak eléréséhez többször is újra kellett definiálni különböző mértékegységeket. 200 éve a hosszúság mértékegységének, a méternek a meghatározásához megfelelő volt két karcolás egy etalonrúdon, ez ma már egyáltalán nem elegendő. Ugyanez igaz a grammra, amely eredetileg 1 cm^3 víz súlya (szakszerűen tömege) volt, de azóta többször újragondolták és pontosították.

Mindezeket túl a tudomány világában egyáltalán nem biztos, hogy mindent egyforma pontosan meg lehet mérni, hiszen közismert *Werner Heisenberg* bizonytalansági összefüggése, amelynek egyik tétele szerint egy test mozgási lendülete és helyzete nem határozható meg egyidejűleg tetszőleges pontossággal.

Könyvemet feleségem emlékének ajánlom. Köszönettel tartozom barátomnak, Trócsányi Zoltán akadémikusnak kéziratom gondos átolvasásáért és rengeteg jobbító javaslatáért.

[Az oldal szándékosan üres.]

1. fejezet

A metrikus rendszer kialakulása

1.1. Darabszám, értékelés, azonosítás

MOTTÓ:

Három tudós néz egy kis házat: ketten bemennek és hárman jönnek ki. Biológus: Természetes szaporulat. Fizikus: Mérési hiba. Matematikus: Ha még valaki bemegy, akkor lesz üres.

Ki gondolná, hogy a megszámlált dolgok mennyiségének is volt mértékrendszere, azaz mértékegységei? Pedig a *tucat* (12 darab) és a *pár* és *dupla* két darabra ma is használatos, sőt egészen nemzetközi. Például angolul *dozen*, *pair* és *double*, bár az utóbbiak különböző jelentésűek. Ezek a szavak nem véletlenül hasonlítanak egymásra a különböző európai nyelvekben, hiszen a nyelvészet szerint a latin *duodecim* (12), *par* és *duplus* szóból származnak. Igaz, az ókori keleti nyelvekben is fellelhetők a tucathoz hasonlóan hangzó és jelentésű szavak, sőt arabul a tucat *durzin* és törökül *düzine*. Magyar megfelelőjük a latinra általában jobban hasonlít, mint a külföldi változatok; ennek oka az, hogy Magyarországon 1844-ig latin volt a hivatalos nyelv, amíg például az angol nyelvbe ezek a szavak francia közvetítéssel kerültek.

𐎶 1	𐎵𐎶 11	𐎶𐎶 21	𐎶𐎶𐎶 31	𐎶𐎶𐎶𐎶 41	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 51
𐎶𐎶 2	𐎵𐎶𐎶 12	𐎶𐎶𐎶 22	𐎶𐎶𐎶𐎶 32	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 42	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 52
𐎶𐎶𐎶 3	𐎵𐎶𐎶𐎶 13	𐎶𐎶𐎶𐎶 23	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 33	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 43	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 53
𐎶𐎶𐎶𐎶 4	𐎵𐎶𐎶𐎶𐎶 14	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 24	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 34	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 44	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 54
𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 5	𐎵𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 15	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 25	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 35	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 45	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 55
𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 6	𐎵𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 16	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 26	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 36	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 46	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 56
𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 7	𐎵𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 17	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 27	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 37	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 47	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 57
𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 8	𐎵𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 18	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 28	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 38	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 48	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 58
𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 9	𐎵𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 19	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 29	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 39	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 49	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 59
𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 10	𐎵𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 20	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 30	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 40	𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶𐎶 50	



1.1. ábra. Balra: A babilóniai 60-as számrendszer alapszámai. Vegyük észre a rendszer tizedes logikáját. Jobbra: Klasszikus falióra római számokkal, amelyen a 4 jele IIII

1.1.1. Számrendszerek

MOTTÓ:

Miért tévesztheti össze egy informatikus a Minden-szenteket a Karácsonnyal? Mert Oct 31 = Dec 25 (az oktális 31 tizes számrendszerben $3 \cdot 8 + 1$).

Rejtvény

A tucat volt a 12 – 60-as számrendszer alapja, amelyet babilóniai matematikusok fejlesztettek ki Mezopotámiában az időszámításunk előtti második évezredben. Időmérésünk máig azon alapszik: 12 hónap van egy évben, kétszer 12 óra egy napban. Az angol nyelv nem is vette át a 24 órás napot, 12 órában méri az időt délelőtt és délután, latinus rövidítéssel *am* és *pm* (*ante* és *post meridiem*). Egy óra 60 perc és egy perc 60 másodperc: a fizika az utóbbit választotta az idő alapegységének. A mezopotámiai agyagtáblákon 60-as számrendszerben szerepelnek a mennyiségek: mai ésszel ez hihetetlenül bonyolultnak látszik, pedig a $\sqrt{2}$ -t három hatvanas jegyre ismerték, ami 6 tizedesnek felel meg. A szorzást és osztást négyzetes táblázatok segítségével végezték az $a \cdot b = [(a + b)^2 - (a - b)^2]/4$ képlet alapján: fenn is maradt ezekből a táblázatokból. Ismerték a Pitagorasz-tételt és maga Pitagorasz is náluk ismerkedhetett meg vele. Valószínűleg onnan ered a kör 360 ($6 \cdot 60$) fokra való felosztása is. A babilóniai számrendszer alapszámai láthatók a 1.1. ábra baloldalán: a logikája messze fejlettebb, mint az évszázadokkal későbbi római számoké, és azt sugallja, mintha a mi tizedes számrendszerünk is onnan származna.

1.1.2. Számlálás ujjon

Máig léteznek vidékek (például Nigériában és Nepálban), ahol az emberek 12-es számrendszerben gondolkodnak. Azt hihetnénk, hogy nincs is szükségük a 10 ujjukra a számláláshoz, de ez tévedés. Vidékenként változik ugyanis, hogyan számolnak az emberek az ujjukon. Háborús filmekben visszatérő motívum egy kém lebukása azon, hogy rosszul használja a számlálást az ujjain. Mi a hüvelyk-ujjunktól kezdve nyitogatjuk az ujjainkat, úgy növeljük egytől ötig a mutatott számot és a másik kezünkön folytatjuk 10-ig. Amerikában hasonló a rendszer, de ott a mutatóujj az 1 és a hüvelyket nyitják a végén az 5-höz. Ezt átvették a sportban: a kézilabda-játékvezető behajtott hüvelykujjú tenyérrel jelzi, amikor már csak négy passzt enged passzív játék miatt. A közel-keleti országokban is hasonló a kézen számlálás, de a kisujjal kezdik. Tőlünk keletre, például orosz és japán földön csukják az ujjait, tehát a csukott ököl jelenti az ötöt. Ez fejlettebb a mi rendszerünkénél, így ugyanis egy kézen 10-ig elszámálunk: az egyedül kinyújtott kisujj 6-ot jelent, kisujj és gyűrűsujj 7-et, stb., a másik kézen a 10-eket számolhatjuk, összesen 50-ig.

Más számrendszerben is remekül lehet az ujjainkat használni, ha a különböző ujjak különböző számokat jelentenek. Visszatérve a 12-es rendszerhez: ott egy kézen számolunk 12-ig úgy, hogy a hüvelykujjunkt a többi ujjunk 3 különböző ujjpercéhez érintjük. A kisujj hegyét érintjük az 1-hez és a mutatóujj alsó percét a 12-höz, bár ahhoz már kissé kicsavarodik a hüvelykujjunk. A másik kézen hasonló módon az betöltött 12-ket számoljuk, így két kézen 144-ig el tudunk számolni, a 12-esek tehát tényleg fejlettebbek matematikailag. A kettes számrendszerhez magától értetődő az ujjak használata: mindegyik ujj egy-egy következő számjegyet, bitet jelöl, tehát ha a kisujjamat emelem, az 1, a gyűrűsujj egyedül 2, a kettő együtt 3, így a két kézen 1023-ig számlálhatunk. Húszas számrendszerhez a lábujjainkat is használhatjuk. Engem erre emlékeztetnek a francia nyelv számai, ahol például a 99 *quatre-vingt dix-neuf*, azaz négyszer húsz (plusz) tizenkilenc.

1.1.3. Különleges számok

Külön osztályt jelentenek a csoportokra vonatkozó, nevesített számok. A határozatlanokon kívül, mint a *sok*, *számtalan* vagy *kevés*, van *jó néhány* határozott is, amelyek közül már tárgyaltuk a *párt* és a *tucatot*. Magyarországon használatos volt a *péktucat* vagy *hosszú tucat* is, amely 13-at jelentett. Eredetire többféle legenda ismeretes, az egyik szerint a pékek a tucatnyi zsemléhez vagy más darabáruhoz hozzátettek egyet, hogy biztosan meglegyen az előírt súlymennyiség. Más értelmezés szerint a hozzáadott egy a kereskedő haszna, de olyan is van, hogy a tucat frisshez a pék hozzáad egy tegnapi. Ez is nemzetközi, az angol *baker's dozen* tükörfordításának hangzik. Tizenkét tucat alkot egy *nagy tucatot*, azaz $12^2 = 144$ -et. A nagy tucat a magyar nyelvben a németesen hangzó *grossz* formában is használatos volt, habár angolul is *gross*. Tizenkét nagy tucat ($12^3 = 1728$) egy *nagy grossz*, a hajózásban és a kereskedelemben használták. Amerikában még helyenként használják a *texasi tucat*, *Texas dozen* kifejezést

is, amely furcsamód 15-öt jelent, és nemcsak pékárura alkalmazzák.

Külön érdekesség a *nulla*, az ugyanis a darabszám absztrakciója és mintegy 5000 éve találták ki Indiában. Magyar neve a latin *semmi*ből ered, amely *nulla*. A másik magyar elnevezése, *zérus* arab eredetű, csak a magyar nyelv latino-sította a nemzetközi *zeró*ról. A neve nem véletlen: kezdetben üres betűközzel jelölték, jelenlegi jelölése is Indiából származik, a tízes számrendszerrel együtt. A tizedes rendszerben van ugyanis tényleg szükség rá. Az eredeti indiai jelölés vastag pont volt, az kilyukasztva „0” lett, és nem is olyan régen választották szét az „o” betűtől, a régi mechanikus írógépeken még nem is volt külön nulla. Gyakran ma is diagonálisan áthúzzuk ($\emptyset$), hogy biztosan különbözzék az O-tól.

A sorszámnevek általában különböznek a számnevektől, mert többnyire a főnévvel egyeztetett melléknevek, habár a latinban és a legtöbb európai nyelvben az *egy* és *kettő* számnévként is felveszi a hozzátartozó főnév nemét. A legtöbb nyelvben az *első* és a *második* egészen más, az egytől, kettőtől eltérő szótóval rendelkezik, a nagyobb sorszámneveket viszont már magukból a számnevekből származtatjuk. Latinul az egy *unus*, a kettő pedig *duo*, az első és második viszont *primus* és *secundus*. Mindegyik szót átvették a (nyugat)európai nyelvek, csak esetenként más jelentéssel. A *három* és a *harmadik* hangzása már általában minden nyelvben emlékeztet egymásra.

1.1.4. Római számok

MOTTÓ:

Rendező: - Az ókori Rómában nem volt karóra, vegye le!

Színész: - De kérem, az órámon római számok vannak!

A tizedes számrendszer bevezetése előtt a latin, római számrendszert használták Európában, és bizonyos helyeken, például évszámokban és faliórák számlapján, ma is előfordulnak. A latin nyelv betűkkel jelölte a számokat, de érdekes módon az ötös-tízes alapon működött, nem 12-esen (1.1. táblázat). Római számokkal nehéz volt műveleteket végezni: látható, hogy ha kisebb számjegy állt a nagyobb után, az hozzáadást jelölt, ha előtte, akkor kivonást. Évszámok esetén ez már némileg zavaró, 1999 például MDCCCXCIX, de ma már inkább MCMXCIX. A nulla számjegy nem létezett, 2024 tehát MMXXIV. Régi sírköveken néha ragaszkodtak az additív jelöléshez, amely egyértelműbb, olyankor 999 például DCCCCLXXXVIII. Látjuk tehát, hogy a római számrendszerben nem egyértelmű a számok felírása. Egy favicc szerint például 490 római nagyon vicces, mert felírható XD alakban, amely az egyik nevető emotikon alfanumerikus jele, de CDXC alakban ez már nem működik.

A jelenlegi tizedes számrendszerünk már az Indiából származó számjegyeket használja; azokat a spanyolországi muszlimok hozták Európába, és emiatt arab számoknak hívjuk őket. Adalék az európai kultúra történelmi fejlődéséhez.

Érdekesség, hogy a német és angol nyelvben a 11 és 12 számokat speciális szavak jelzik (angolban *eleven* és *twelve*), de ezek valószínűleg inkább a tízes, mint a 12-es számrendszerhez kapcsolódnak, hiszen azokat a régi germán nyelv

1	5	10	50	100	500	1000
I	V	X	L	C	D	M

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII

1.1. táblázat. A római számrendszer ma használatos alapszámai (fent) és a első 12 római szám (lent). Van falióra, amelyen a 4 IIII

egy balra és kettő balra kifejezéseiből származtatják. A jelenkori német kifejezés is *fünf-und-zwanzig* (öt és húsz) a 25-re, tehát a baloldali kisebb számot adjuk a jobboldali nagyobbhoz, és ez teljesen ellentmond a római számok rendszerének, ahol a baloldalt álló kisebb számjegyet ki kellett vonni a mögötte álló nagyból. Az ősi germán számolás tehát a rómainál függetlenül fejlődött ki és tízes rendszerű volt [8]. A modern angol nyelv számmegnevezései is jórészt a protogermánból erednek.

1.1.5. Nagy számok nevei

A *köteg* ma is használatos, de az minden árunál (papír, zöldség, rözse) egészen más darabszámot jelent. Nagyon érdekes a papírárura használt, németből átvett darabos mérőrendszerünk. 1 *ív* valamikor egyetlen, jó nagy papírlapot jelentett, ma is használjuk, de inkább a lapok számára, eltérő méreteken. A nyomdában a papír mindkét oldalára több lapot nyomtatnak és összehajtják, gyermekkoromban volt a kezemben *felvágatlan könyv*, amelyben az ivatek összehajtogatták és összefűzték: olvasáshoz késsel szét kellett vágni a végükön a lapokat. Egy nyomdai *ív* ma általában 16 *lap*, a lap aktuális terjedelmétől függetlenül. Más a *szerzői ív*: az 40000 *leütés*, azaz betű helyközökkel. A szerzőket általában flekkenként fizetik, egy *flekk* 1500 leütés.

Meglehetős a zavar a nagyon nagy számok neve körül. Ez a gyakorlatban a billiónál fordul elő leggyakrabban. Európa nagy részén ezer millió = 1 milliárd, és 1 billió = 1 millió millió, Amerikában viszont nincs milliárd, ahelyett mondanak billiót. Feljebb még súlyosabb a helyzet, mert az egyik számolás ezresével ugrik, tehát a trillió = 1000 billió, a kvadrillió = 1000 trillió, a másik meg milliókkal. Mindkettő logikus, csak nem egyforma. Tehát amikor a Világegyetem koráról beszélünk magyarul, az 13,8 milliárd év, de angolul óvatosságból 13,8 giga-évet (Gyear) írunk és billiót mondunk.

Külön érdekesség a különbség az európai és ázsiai számolás között. Európában mi kisebb léptékben tízesekben, nagyobbban ezres lépésekben gondolkodunk, erre a fenti zavar a billiónál jó példa: az európai és amerikai billió is éppen ezerrel különbözik. Azzal, hogy Ázsiában kicsit másképpen gondolkodnak japán kollégáimnál szembesültem: amikor árákról beszélgettünk, akkor jenre átszámolva man-jeneket emlegettek, ami 10.000 jent jelent. Kiderült, hogy náluk (és Kínában is), a nagy számok nevei között tízezer a megszokott ugrószám. Japánban az ezer (szen) mellett külön neve van a tízezernek (10^4 , man), a százmilliónak (10^8 , oku), a trilliónak (10^{12} , csó), még a tízezer trilliónak is saját neve van (10^{16} , kei) és ez megy tízezerrel tovább, bár nehéz elképzelni, kinek van azok-

Érdemjegy	Magaviselet	Szorgalom	Előmenetel	Írásbeli dolgozatok külső alakja
1	példás	nagy	kitűnő	csinos
2	dicséretes	kitartó	jeles	tiszta
3	jó	változó	jó	rendes
4	tűrhető	hanyatló	elégséges	kevésbé rendes
5	szabálytalan	csekély	elégtelen	rendetlen

1.2. táblázat. Osztályozási rendszer a magyar iskolákban 1948 előtt

ra szüksége. Ahogyan mi a hosszabb számokat három számjegyenként, ezresével tagoljuk, ők négyenként, tízezresével.

1.1.6. Iskolai osztályzatok

MOTTÓ:

- Pistike, mekkora a hálózati feszültség?
- 220 volt, tanár bácsi.
- Azt kérdeztem, most mennyi, nem azt, hogy mennyi volt!

Iskolás vicc 2003 után

Az iskolában osztályoznak, érdemjegyeket adnak. Ez országonként erősen változó. Van, ahol szöveges, van, ahol betűzik, és van, ahol számozzák. Magyarországon 1950 óta az 1 – 5 skálát használjuk, szöveggel kombinálva: 1 (elégtelen), 2 (elégséges), 3 (közepes), 4 (jó) és 5 a legjobb (jeles). A viselkedést és a szorgalmat is értékelik a bizonyítványban. A magatartás-jegyek 2-től indulnak: 2 (rossz), 3 (változó), 4 (jó) és 5 (példás). A szorgalmat hasonlóan osztályozzuk, csak a 2 (hanyag) benne. A bizonyítványban a számszerű érdemjegy mellett ki kell írni a hozzá tartozó, a fenti listán zárójeles értékelő szót is.

Egyetemi matematikadolgozatoknál tréfás kedvű tanársegédek adtak jegyként –273-at is, mint abszolút nullát.

Ez persze nem volt mindig így. 1948 előtt Magyarországon négyféle kategóriában értékelték és a kisebb jegy jobb volt: 1.2. táblázat.

A monarchia maradéka (Ausztria, Csehország és Szlovákia) megtartotta a régi osztályzást, ahol az 1 volt a legjobb jegy. Hasonló a rendszer Németországban is, de ott hat alapjegy van, mindegyikhez lehet plusz vagy mínusz, 1+ a legjobb és 4-mínusztól lefelé elégtelen.

Nagyon érdekes, hogy 1948 és 1950 között Magyarország egészen másféle, hét fokozatú skálával kísérletezett, ahol az 1 (elégtelen) és 2 (gyenge) még bukásnak számított, és a 6 (jeles) felett volt a 7 (kitűnő), a jelenlegi rendszerre csak 1950-ben tértünk át.

Az észt, szlovén és török rendszer egyezik a miénkkel. Oroszországban és a legtöbb szovjet utódállamban is hasonló (nem éppen véletlenül) az osztályozási

rendszer, mint nálunk, de ott még a 2-es is bukás. A lengyeleknél 1–6 az adható jegy, a 6-os a legjobb.

Az USA betűvel osztályoz, az F (failure, bukás) a leggyengébb, E nincs, utána jön a D, C, B, és az A a legjobb. Átlagszámításhoz az A 4-et ér, a többi csökkenő, az F értéke 0. Finomabb skálához használnak + és - jeleket, és akkor az a nominális értéknél nagyobb vagy kisebb súlyt kap az összesítésnél. A dolgozatoknál, például kérdésekre válaszolásnál 50 % a minimálisan elfogadható, az alatt F lesz a jegy. A japán rendszer is hasonló. A kínai is, csak négy fokozatú, nincs D és E.

Romániában, Olaszországban, Hollandiában, Izraelben és Brazíliában a jegyadás 10 fokozatú, de 1-4 még bukás, elégtelen, a számérték csak az átlagszámítást segíti. Romániában és Brazíliában az 5-ös a leggyengébb, még átengedő jegy, Olaszországban a 6-os. Franciaországban 20 fokos a lépcső, de mostanában a kormány azon gondolkodik, hogy áttérjen egy 0–4 vagy 0–5 rendszerre.

1.1.7. Ugrószám, prefixum

MOTTÓ:

Egymillió millió mikrofon = 1 megafon

Falfirka

A metrikus rendszer legfontosabb eleme, hogy minden mennyiségnek egyetlen nevesített mértékegysége van, és annak lefelé ezredrészeivel, felfelé ezerszereseivel számolunk, bár az egység közelében a 10-es ugrások is megengedettek (1.3. táblázat). Ez óriási egyszerűsítést jelentett a hagyományos sokféle mértékegységhez képest, azok véletlenszerű váltószámaival. Ésszerű, a mindennapi méretekhez közel álló egységeket kellett választani, ezért a méter mellé a gramm helyett a kilogrammot, az óra helyett pedig a másodpercet választották. A másodpercet nem osztjuk tovább 60-nal más nevű egységekre, mint harmad- vagy negyedperc, azért lett praktikus alapegység. Az SI, az (angolszász országok kivételével) általánosan elfogadott nemzetközi mértékrendszer, bevezetett még jó néhány mértékegységet az elektromosságra, hőre, fény- és hangerősségre, valamint a sugárzásdózisra, azokkal az SI-nek szentelt tudományos részben foglalkozunk.

A dekagramm rövidítése itthon dkg, de az SI szerint dag (már csak azért is, mert az angolban a kilo kivételével a legtöbb ilyen előtagot latinosan c-vel írják: pico, micro, deca, hecto. A kisebb ugrások nevét többnyire csak bizonyos egységekhez kötjük: a hangerősség mindenütt decibel (dB), de Magyarországon ma már a centit inkább csak a cm-ben és cL-ben, decit a dL-ben, dekát a dkg-ban és hektot a hL-ben használjuk. A litert újabban nagy L-lel jelölik, mivel az l jel összetéveszthető az egyessel. A francia vagy orosz boltban felváltottból 200 grammot kérünk, itthon 20 dekát, Olaszországban viszont *due etti*-t. Ott ugyanis a mi dekagrammunk helyett hg a köznapi súlyegység és a h betűt egyáltalán nem ejtik, általában nem is írják, viszont szeretik a kettős mással-

Jel	Név	Váltószám	Jel	Név	Váltószám
Y	yotta	10^{24}	y	yokto	10^{-24}
Z	zetta	10^{21}	z	zepto	10^{-21}
E	exa	10^{18}	a	atto	10^{-18}
P	peta	10^{15}	f	femto	10^{-15}
T	tera	10^{12}	p	piko	10^{-12}
G	giga	10^9	n	nano	10^{-9}
M	mega	10^6	μ , mc	mikro	10^{-6}
k	kilo	10^3	m	milli	10^{-3}
h	hekto	10^2	c	centi	10^{-2}
da	deka	10^1	d	deci	10^{-1}

1.3. táblázat. A metrikus rendszer prefixumai, ugrószámai. Alapvetően 1000-es ugrások vannak az egységek között, de az egység közelében kisebb, tízes ugrást is használunk. A váltószámok jelét az alapegység elé írjuk, így lesz 100 liter 1 hL és 10^{-6} g 1 μ g.



1.2. ábra. Európai uniós forgalmi rendszámaink 2022 előtt és után, egy- és kétsoros kivitelben

hangzót, így lesz a latin hectoból olaszul etto. A múlt század közepén a liter definíciója 1 köbdeciméter (1 dm^3) volt, ma már azt mondjuk, hogy $1000 \text{ L} = 1 \text{ m}^3$.

Az ugrószámok megnevezését nem minden lehetséges esetben használjuk. Az 1000 kg-ot tonnának hívjuk, nem megagrammnak, viszont használjuk a milli- és mikrogrammot, amelyek természetesen nem a kg alapegységet, hanem a grammot csökkentik. A másodpercet is csak csökkentjük, a természettudományokban ms, μ s, ns, ps és as használatos. Felfelé órát, napot, évet mondunk, vagy kiírjuk másodpercben. A Világegyetem megfigyelt tágulási sebességéből például az következik, hogy a kora mintegy 13,8 milliárd év, azaz $4,36 \cdot 10^{17}$ s.

1.1.8. Forgalmi rendszámok

Tágabb értelemben ez is mértékegység: folyamatosan nő, és minden országban különböző rendszerű, még az Európai Unión belül is. Kis országokban többnyire nem helyhez kötött, ma már nálunk sem, nagyobbakban viszont a regisztráció helye is szerepel valamilyen formában a rendszámon. A világ összes forgalmi rendszámát összegyűjti a [19] lap, mi itt elsősorban a magyarokról fogunk írni.

Magyarországon a múlt század elején a forgalmi rendszám még helyfüggő volt [18]: 1910-ben az ország területét 12 járműkerületre osztották. Mindegyik egy-egy betűt kapott, a Budapest környéki kerületé B volt, debrecenié D, a kassaié K, de a kolozsvárié O, a pozsonyié P, de a pécsié E. A gépkocsisűrűséget



1.3. ábra. Régebbi forgalmi rendszámok az USA Hawaii és Texas államában

jellemzi, hogy magát Budapestet kerületekre osztották, és a budapesti autókat kerületenként római számmal jelölték I-től X-ig. Trianon után ez persze megváltozott: megmaradtak a kezdőbetűk, csak sokkal kevesebb és Budapesten az I–X-ből egységesen Bp lett. A harmincas évektől már két, helyre jellemző betű és három számjegy alkotta a magyar rendszámot. Ez 1958-ban gyökeresen megváltozott: bevezették a két betű és négy számjegy kombinációt, de a betűket nem helyhez, hanem felhasználóhoz kötötték. A-val és B-vel az állami kocsik rendszáma kezdődött, C-vel, majd ahogy fogytak, további betűkkel a magánautóké. Ez alól kivétel volt a honvédségi H, a rendőrségi R és a teherautók S kezdőbetűje. A veterán autóké OT (*old timer*) volt.

Amikor elfogytak a két betű + négy számjegyes lehetőségek, 1990-ben bevezették a három betű + három számjegy rendszert, de már lényegében ABC-sorrendben osztva. Ez alól kivételben maradtak a honvédségi és rendőrségi kocsik, valamint az MA rendszámú mentőautók, amelyeknél megmaradt a régi rendszer. A hárombetűseknél felhasználóbarát lett az E kezdetű és sárga színű taxiké, az ugyancsak sárga, de F kezdetű teherautóké, az U betűs motorkerékpároké, a W és X betűs utánfutóké és az Y-os lassú járművéké. Természetesen volt, aki egyedi rendszámot vásárolt, arra lazább szabályok vonatkoztak. A hárombetűseknél az ABC egyes betűi általában két év alatt keltek el. Bizonyos kombinációkat cégek márkakereskedői foglaltak le, mint a BMW vagy a FORD, másokat szolgáltatók, mint a MAK (Magyar Autóklub) vagy a PANDA (környezetvédők).

2021 óta négy betű és három számjegy a magyar forgalmi rendszám, az első az AA sorozat volt. A taxik rendszáma TX kezdetű. A rendszámon kék alapon feltüntetik az EU csillagkörét és a H országjelzést. A korábbiakhoz hasonlóan ez a rendszám is elrendezhető a táblán egy, kettő vagy három sorban, attól függően, milyen a kocsin a rendszám helye (1.2. ábra).

Természetesen bárki vásárolhat speciális forgalmi rendszámot az autójára, amelyre az új rendszerben is többféle lehetőség rendelkezésre áll, de csak a 26 betűből és 10 számjegyből lehet választani. Megkötések: a kért rendszám még szabad, az elején legalább három betű van, utánuk szám, legalább egy számjeggyel. A JAKAB5 és az ILI234 tehát elfogadható, de a TIVADAR vagy a MARI19U már nem. Bizonyos szavakat kizártak a választhatók közül, főleg persze az obszcénokat, de olyanok is tiltólistára kerültek, mint például FOS, KGB vagy ZSARU.

Külföldön a betűjelzés leggyakrabban adott körzetre, például megyére utal. A román rendszám Kolozsvár környékén a CJ (Cluj) betűkkel kezdődik, utána

számok jönnek, Bukarestben pedig egyszerűen B a betű. A német rendszámokban két betűcsoportot követnek számok. Az első betűk a helyre vonatkoznak, és mennél kisebb egy körzet, annál több betű jelzi, maximum három; Berliné B, Münchené M és Kölné K, de Hamburgé HH (Hansa Hamburg). A svájci rendszám a kantont jelző két betűvel kezdődik, de utána csak számok jönnek. Vicces, hogy Baselnek két betűjele is van, mert két különböző kantonhoz tartozik, BS és BL (Basel-Stadt és Basel-Landschaft). Olaszország felszámolta a helyre mutató rendszámokat, és most AA000ZZ alakú maga a rendszám ABC-ben fejlesztve, de mögötte külön ott van a megye kódja, amely általában két betűs, például Firenzében FI, kivéve Rómát, ahol Roma. A francia rendszámok az olaszhoz hasonlóak, csak ott a megyéket kétjegyű számok jelzik, amelyeket a megyenevek szerinti ABC-sorrendben osztottak ki.

Az európai unió rendszámain országjelzés is van piciben. Elvben kötelező külföldön nagyobb matricán is felragasztani a kocsí hátuljára az országjelzést, de ezt nem veszik komolyan és a hiányát általában nem is szankcionálják. Régebben meg tudtam mondani külön országjelzés nélkül is a rendszám kinézetéből, melyik országból jött az angolok kivételével. Utána néztem, és kiderült, hogy teljesen kötött az angol rendszám összetétele: az első két betű a körzetet és alkörzetet jelöli, utána kétjegyű szám az üzembe helyezés félévét, majd az azonosító karakterek (leggyakrabban csak három betű) jönnek.

Amerikában és Kanadában a rendszám táblára egyszerűen ráírják az amerikai állam vagy kanadai tartomány nevét, néha jelzővel ellátva, a rendszám konkrét alakja az adott államra van bízva. New York állam korábbi rendszám tábláján a rendszám felett mindig *NEW YORK* állt, alatta pedig *EXCELSIOR* vagy *EMPIRE STATE* volt (1.3. ábra). Széles körű közvélemény-kutatás eredményeképpen most az államot 10 kerületre osztották, és mindegyik maga tervezte meg a rendszám tábláját valamilyen nevezetesség képével és alul a körzet nevével. New York City-én például a háttérben az újjáépített ONE World State Center, mellette-mögötte egy kicsi Szabadság-szobor. Kanadában a vancouveri rendszámokon például az áll fenn, hogy *Beautiful British Columbia*, a torontói tetején *ONTARIO*, az alján pedig *YOURS TO DISCOVER* (fedezd fel).

1.1.9. Kalkulátor, számítógép

A számítógépek megjelenése előtt is végeztek igen bonyolult számításokat, gyakorlatilag kézzel, papíron, jobb esetben mechanikus számológépek segítségével. Ezeknek a személyeknek (túlnyomórészt hölgyeknek) a hivatalos neve *calculator* vagy *computer* volt (1.4. ábra). Aki még ma is úgy gondolja, hogy a nőknek a férfiaknál kevésbé fejlett a matematikai érzéke, nézze meg például a *Számolás joga* című életrajzi filmet. Az angol eredeti címe, *Hidden figures*, lefordíthatatlan szójáték, mert rejtett számjegyeket és szereplőket is jelent.

A legrégebbi mechanikus számítógép a golyós abakusz volt. Az orosz bolti pénztárosok még 40–50 éve is a 1.5. ábrán látható golyós számológépen adták össze a vásárlásokat egészen elképesztő sebességgel. Amikor megjelentek a pénztárgépek, a pénztárosok még hónapokig abakuszon ellenőrizték a gép eredményét, miközben dühöngtek, hogy be kell gépelniük minden egyes árat, ami



1.4. ábra. Az amerikai űrprogram korai *computerei*, matematikus hölgyek asztali számológépekkel.



1.5. ábra. A számítástechnika fejlődése. Balra: Orosz abakusz a 20. századból. Középen: Texas Instruments tudományos kalkulátor nyomtatóval. Jobbra: A CERN adattárának folyosója a mágnesszalagokkal és az olvasó robottal

jelentősen lassította a vásárlást.

A múlt század első felében a mechanikus számológépeken lehetett hosszabb számokat osztani és szorozni. A század második felében jelentek meg az elektronikus asztali, majd zseb-számológépek, amelyeket kalkulátoroknak hívtunk. A négy alapműveleten kívül kezdetben legfeljebb négyzetgyököt tudtak vonni, de később már trigonometriát is számolhattunk velük (1.5. ábra középen). Ötven éve komoly presztizst jelentett, hogy a táskámban egy ilyen kalkulátort hurcoltam és rengeteget használtam is munka közben. Ezek egyre finomodtak, a végén még arra is lehetőség volt, hogy többlépéses programot írjunk rájuk. A számítógép, amelyet csúnya szóval komputérnek is hívnak, persze teljesen feleslegessé tette, főleg amióta a telefonokba is beépítették.

Régebben maga a számítógép foglalt el teremnyi helyet; a miniatürizálással az egyre zsugorodik. A hetvenes években Dubnában működött a béketábor (ez volt a szovjet érdekszférába tartozó kelet-európai országok beceneve) legnagyobb számítóközpontja, óriási terem volt tele zihálva pislogó monstrumokkal. Egy ámulatba esett látogató megkérdezte: „Vajon hova fog mindez fejlődni?” mire az idegenvezető szakember a hüvelykujja körmére mutatott „Ekkora lesz!”. És valóban. A tárolt adatmennyiség viszont folyamatosan nő. A CERN-nek valamikor óriási könyvtára volt, hatalmas termék tele könyvekkel és főleg folyóiratokkal. Mára az egészet digitalizálták, a folyóiratokat és a könyvek legnagyobb részét raktárba vitték. A tartalmuk elérhető a világhálón, a helyükön dolgozó-

szobák lettek. A 1.5. ábra jobb oldalán a CERN adatközpontjának egyik hűtött folyosója látszik a mágnesszalagokkal és az azokat olvasó, ide-oda rohangáló robottal. Évtizedek alatt kiderült, hogy a mágnesszalag a legmegbízhatóbb tartós adattároló eszköz, pedig sokáig az optikai, DVD-típusú tárolásra esküdtünk.

1.2. Hosszúság, távolság

MOTTÓ:

Miért nyugodt a méterrúd? Mert tud távolságot tartani.

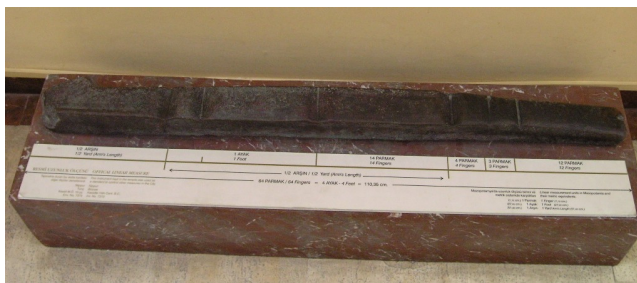
Falfirka

1.2.1. Ókor

A továbbiakban meg kell különböztetnünk a nem metrikus mértékegységek számított és rögzített metrikus értékeit: az utóbbiakra az egyenlőségjelet (=) használjuk, a számítottakra a közel egyenlőt ($\approx$); ha csak körülbelüli értékre gondolunk, ott nem írunk relációs jelet.

A hosszúság vagy távolság a mai napig egyik legfontosabb mérhető mennyiségünk, és minden régi kultúránk másféle egységben mérte. A legrégebbi feljegyzett emberi mértékű hosszegység a *könyök* (angolul *cubit* a hasonló latin szóból), amely elvben a középső ujj hegye és a könyök vége közötti távolság (1.6. ábra). Ezt uralkodók karjához mérték, ennek megfelelően országonként és korszakonként változott. Az *egyiptomi (királyi) könyök* i.e. 2700-tól ismeretes, tucatnyi ilyen mérőléc (*könyökrúd*) maradt fenn, tartósra készítették őket. Hosszuk 52 és 53 cm között volt, felosztották 7 *tenyérre* (igazából kézfejre), a tenyeret pedig 4 *ujjra*, de az ujjat is tovább osztották (1.6. ábra). A Közel-Keleten több ilyen könyökhosszat is használtak, ismeretes például a mezopotámiai *sumer könyök* (52 cm) és a *rabbínatusi könyök* (54 cm), amelyek 6 *kézfejre* osztódnak, az utóbbi meg a szokásos 4 *ujjnyira*. A rabbi tenyere nagyobb lehetett, mint a fáraóé. A zsidó közösség később többféle könyökegységet is használt, a hosszuk 48 és 54 cm között változott, még *bibliai könyök* is létezett. Az ókori *görög könyök* csak 34 cm volt, ezzel szemben a rómaiaknál használatban volt egy 44 és egy 120 cm-es könyökegység is, az utóbbi a kinyújtott kar és a váll együttes hossza.

Rendkívül logikus felépítésű volt a régi görögök hosszúságmérése. Alapegysége a *daktülosz*, *ujj*, és sokféle egész többszöröse mind különböző nevet viselt, a *tenyéren* (= 4 ujj) és a *lábon* (= 16 ujj) át fel a *könyökig*, amely 24 ujjnak, és a másutt használt könyökmérethez közeli, 46,2 cm hosszúságnak felelt meg. Hasonló logikával az ujjnak tört egységei is voltak, mégpedig annak valódi törtjei, 1 *doron* például 1/4 ujj volt, egy *pygme* pedig 1/18 ujj (innen ered a kis termetű pigmeusok neve, habár ennyire nyilván nem voltak kicsik). A hosszabb egységeket a *lábból* ($\approx 30,8$ cm) származtatták: a *stadion* 600 láb volt, a *mér földjük* pedig 8 stadion (1617 m).



1.6. ábra. Mezopotámiai könyökrúd az időszámításunk előtti 3. évezredből

A római mértékrendszer a görögön alapult, azt fejlesztette tovább, még logikusabbra. Hosszegysége, a *római láb* is 30 cm körül volt, és annak többszörösei és törtrészei voltak használatban, a görög rendszerhez hasonlóan saját nevet viselve: 1 *ujj* = $1/16$ láb, 1 *hüvelyk* = $1/12$ láb, 1 *tenyér* = $1/4$ láb volt, viszont 1 *könyök* = 1,5 láb, 1 *római mérföld* = 5000 láb, 1 *liga* viszont már 7500 láb. A római rendszerben a lábból származtatták a terület- és térfogategységeket, hasonló logikával: törtrésszel és többszörőssel. A mai angol és amerikai *hüvelyk* (*inch*), *láb* (*foot*) és *mérföld* (*mile*) a rómaihoz hasonló méretű, nem véletlenül.

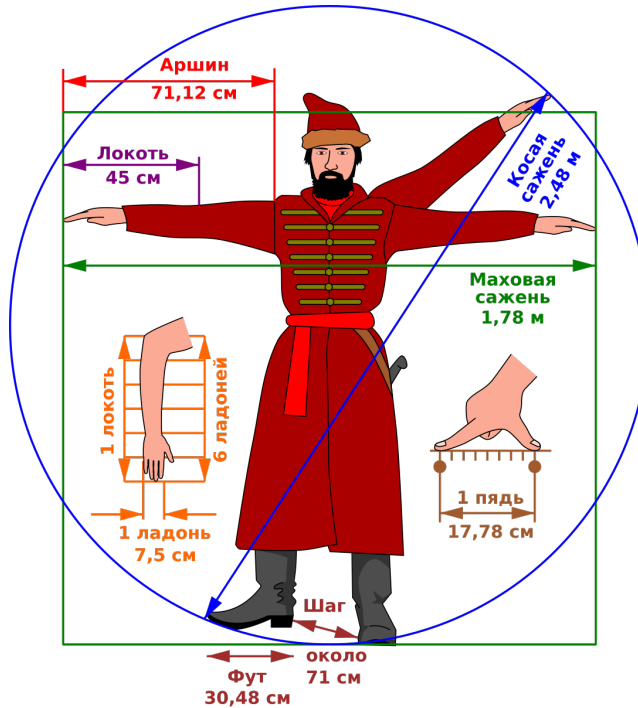
1.2.2. Újkor

MOTTO:

Három fizikus áll egy zászlórúd körül mérőszalaggal, napsütést várva, hogy az árnyékkal megmérjék a magasságát. Arra jön egy mérnök, kihúzza és lefekteti a rudat, megméri és visszaállítja. Egymásra néz a három tudós: –Buta mérnök, a magasságát kérték, nem a hosszát.

Orosz regényekben gyakran találkozunk Nagy Péter angol mintára bevezetett mértékrendszerével, amelynek az *arsin* (rőf, 71,12 cm) volt az alapegysége, de volt benne *arasz*, *tenyér*, *könyök*, *láb*, *lépés* és *öl* is (1.7. ábra). A *verszta* (ekeforduló) 1500 *arsin* volt, közel 1 km. Az orosz *láb* = $3/7$ *arsin*, de mérete egyenlő az angoléval, nem véletlenül volt *fut* a neve. Vegyük észre a régi egyiptomi hossz mértékekre emlékeztető logikát (1.6. ábra). A régi orosz mértékrendszert 1925-ben cserélték le metrikusra a Szovjetunióban.

Nézzük meg, milyenek voltak hazánk hosszegységei a metrikus előtt. Ezek egyébként majdnem mind használatban vannak, de csak szólásokban, mint öles termet, araszos váll, hüvelyknyi vastagság, ujjnyi pálinka, tenyérnyi folt és valahány órajárás távolság. Az egységek méretei, mint másutt is, időben és tájanként változtak, de aztán - ahogyan más országokban is - királyi parancsra (Mária Terézia számtalan kitűnő reformjának egyikeként) kialakult egy általánosan el-



1.7. ábra. Régi orosz hossz mértékek. Látunk rajta könyököt, tenyeret, araszt, lábat, rőföt, lépést, ölt és ferde ölt

fogadott rendszer. Az *öl* ($1 \text{ öl} \approx 1,90 \text{ m}$), németül *klafter*, a hosszúság akkori alapegysége, még él a telekméretekből, mint a *négyszögöl*, és szólásokban, mint *öles termet*, de kihalóban van. Régi hivatalos hosszúságegységünk *bécsi öl* volt, amelynek hossza 1,89648384 méter (rögzített érték!).

Leghosszabb távolságegységünk a *mérföld* volt, amely $2 \text{ órajárás} = 4000 \text{ öl}$ (azaz 7600 m), de a *lánc* már csak 10 öl volt. $1 \text{ öl} = 6 \text{ láb} = 100 \text{ ujj}$, $1 \text{ rőf} = 2,5 \text{ láb} = 3 \text{ arasz}$ ($\approx 78,3 \text{ cm}$), $1 \text{ láb} = 10,05 \text{ hüvelyk}$, $1 \text{ arasz} = 3 \text{ tenyér}$ ($\approx 26,6 \text{ cm}$), $1 \text{ tenyér} = 3 \text{ hüvelyk}$. Ez a hüvelyk (németül *zoll*) $\approx 3,18 \text{ cm}$ volt, sokkal nagyobb, mint a ma is használatos angolszász megfelelője, az *inch*, $1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$. Amerikai jelöléssel a 173 cm-es magasság 5'8" (5 láb 8 inch). Vegyük észre, hogy az emberi méretekhez közeli hosszegységek többnyire testrészekhez kötődtek.

Látható, hogy a *rőf* - *arasz* - *tenyér* - *hüvelyk* sorozat egészen logikus, a régi görög rendszerre emlékeztető, általános 3-as váltószámmal, de a többi megizaszthatta a kereskedőket. Voltak (és korunkban is vannak) áruajtákhoz kapcsolódó hosszegységek is, mint szövetekre a *vég*: $1 \text{ vég vászon} = 45 \text{ sing}$, de $1 \text{ vég posztó} = 32 \text{ sing}$; 1 sing pedig vászonra $\approx 60 \text{ cm}$, posztóra pedig csak $\approx 6 \text{ cm}$. A singet szokták *rőfként* értelmezni, de különböző hosszúságúak. A magyar *hüvelyk* régi *col* neve (a német *zoll*-ból) megmaradt a széthajtható fa mérőléc nevében: azt ma is colstoknak hívják, bár természetesen cm-ben mér. Faanya-

gokat még ma is mérnek colban. A szerszámaink a háború előtt főként német neveket viseltek, a tolmérőt is sublernek hívták 60 éve.

Komoly nehézséget jelentett és a kereskedelmet rettenetesen bonyolította, hogy hasonló névvel különböző egységek léteztek, a mi *mér földünk* és *hüvelyünk* egyáltalán nem egyezett például az angolokéval, a magyar *láb* viszont, ahogyan az orosz is, közel volt az angolhoz (és az eredeti latinhoz). A Wikipédia például 15-féle *mér földet* sorol fel, a legrövidebb az angol ($\approx 1,6$ km) és leghosszabb a svéd (10 km), de a magyar *mér föld* helyezése is előkelő a listán, a hossza idővel és tájanként 8 km körül változott.

1.2.3. Metrikus hossz mérték

MOTTÓ:

A barátnőm időt és távolságot kért tőlem. Nem értem, miért akar sebességet számolni.

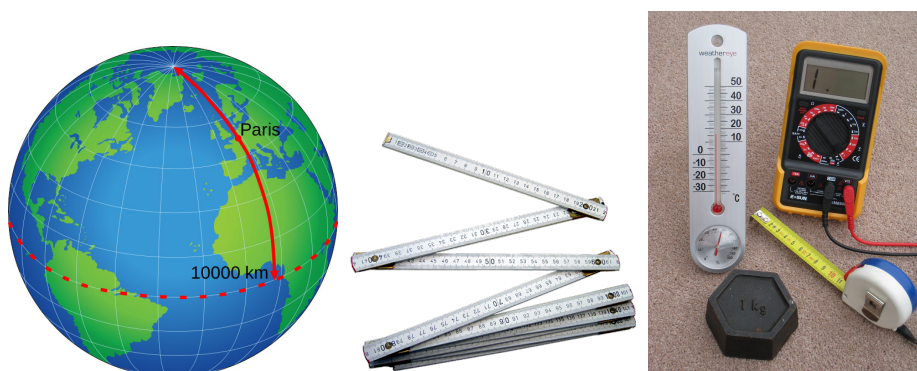
Falfirka

A hosszúságmérték fontosságát ékesen igazolja, hogy a világ rendre törekvő részén (azaz nálunk is) használt metrikus rendszer a méterről kapta a nevét. A francia forradalom után született, a Föld hosszanti kerületének negyedrésze (az Északi sarkot és az Egyenlítőt összekötő, a Párizsi Observatóriumon keresztül haladó vonal) hossza lett 10 millió méter. Azt persze meg kellett mérni, és az hét év alatt viszonylag pontosan sikerült is. A méter rögzítése után az összes többi alapvető mértékegységet azzal definiálták. Így lett történelmileg a térfogat literje 1 köbdeciméter, a tömeg alapegysége pedig a gramm, 1 köbcéntiméter 0°C fokos (később ez a maximális vízsűrűség 4°C foka lett) víz súlya (pontosabban tömege).

Magában Franciaországban 250000 (egynegyed milliónyi!) féle mértékegységet használtak a 18. század végéig, a francia forradalom idején tehát a kormány felkérte a Tudományos Akadémiát, dolgozzon ki egy egységes mértékrendszert. Mint tudjuk, ez megtörtént (1.8. ábra), de a metrikus egységek bevezetését 1799-től akkora országos ellenállás fogadta Franciaországban, hogy Napóleon kénytelen volt 1812-ben feladni. Végül csak 1840-ben vezették be, amikor már Genf kanton, Hollandia és Belgium is elfogadta. Érdekes, hogy Közép- és Dél-Amerikában előbb terjedt el a metrikus rendszer, mint a kontinentális Európában. Magyarország 1876-ban vezette be kötelezően.

Az alapegységekre etalonokat készítettek, és azok másolatait küldték szét a világban. Az 1 méteres hosszat platinarúdba karcolták, a súlyetalon platina-irídium ötvözetből készült (1.9. ábra). Ahogyan azonban nőtt a pontosság iránti igény, a karcolt méterrúd már messze nem volt elég pontos, pedig előírták a rúd anyagát, hőmérsékletét és a légnyomást is a mérés idején.

1960-ban megszületett a méter fizikai meghatározása már az SI Nemzetközi Egységrendszer szerint: a kripton-86 atom spektrumában a vákuumban mért narancs-vörös emissziós vonal hullámhosszának $1650763,73$ -szorosa. *Bay*



1.8. ábra. A kilométer definíciója, hagyományos colstok (bár cm-ben mér) és négyféle metrikus mérőműszer: hőmérő Celsius-fokban, árammérő amperben, mérőszalag méterben és tömegkilogrammban



1.9. ábra. Balra: A méter jele a párizsi Vendôme téren. Jobbra: A kilogramm etalonja a párizsi BIPM Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatalban

Zoltán hatására 1983-ban született meg a ma is érvényes SI-meghatározás [9]: egy méter az a távolság, amelyet a fény vákuumban $1/299\,792\,458$ másodperc alatt megtesz. Gyakorlatban például a hélium-neon lézer hullámhosszának $1579800,762042(33)$ -szorosa lesz 1 méter, ahol a zárójeles 33 az utolsó két számjegy mérési bizonytalanságát jelzi. Visszavezettük a hosszúság mérését idő mérésére, az ugyanis sokkal pontosabban mérhető, mint a hosszúság. Ez a meghatározás felhasználja a fénysebesség Einstein-féle állandóságát, és feltárja az összefüggést a tér és idő összekapcsolt fizikai természete és az idő korábbi, távolságtól független mértékegysége között. Arról, hogy mit értünk a fénysebesség állandósága alatt, a [11, 12] munkák nyújtanak tanulságos értekezést. Sebességet ugyanis mindig valamilyen rögzített vonatkoztatási rendszerben mérünk és közvetítő közegben értelmezzük, az elektromágneses hullám viszont nem igényel közvetítő közeget és a sebessége vonatkoztatási rendszertől független.

1.3. Felület, terület

1.3.1. Nyomtatás

MOTTÓ:

A4-es félfamentes rajzlapomat hasonló Audira cserélném!

(Falfirka)

A terület mérése a földhivatalban és a nyomdászatban alapvető. A nyomdászat betűméretre máig a Didot-féle pontrendszert alkalmazza. Alapja a *tipográfiai pont*, amely a méter 2660-ad része (1 pont $\approx 0,376$ mm), érdekes módon éppen kétszer akkora, mint a valamikori *mérnöki pont*. Nagyobb egysége a *1 ciceró = 12 pont*. Amerika természetesen ebben is a saját rendszerét követi, de a méretek más definícióval hasonlóak: a *DTP pont* az egység, $1 \text{ pt} = 1/72 \text{ inch} \approx 0,353$ mm, $1 \text{ pica} = 12 \text{ pont} \approx 4,2164$ mm.

A nyomtatott lap metrikus mérete több sorozatban ismeretes. Leggyakrabban az A és B sorozatot használjuk (1.10. ábra), az utána álló szám a felezések száma, előtte, ha áll szám, az a többszörözést jelenti (például óriásplakátokhoz). Az A0 területe 1 m^2 , a leggyakoribb A4 méretünk annak négyszeri felezése. Jobb másológépeinkben és nyomtatóinkban A4-es és A3-as papírfiók található. A nagyobb B sorozatot könyvnyomtatásban használják, leggyakoribb a B5 méret, az előző kettő közötti C sorozatot pedig inkább borítékokra, $C0 = 917 \times 1297 \text{ mm}^2$.

A sorozatokat úgy alakították ki, hogy hajtogathatók legyenek, tehát a rövid (R) és hosszú (H) oldal aránya ne változzék hajtogatáskor, akárhány összehajtás után is pontosan egymásra lehessen fektetni őket. Az A sorozat kiinduló lapja, az A0 felülete éppen $H \cdot R = 1 \text{ m}^2$, a hajtogatási feltétel szerint pedig $H/R = R/(H/2)$, a rövidebbik oldal hosszára így $R \approx 0,841 \text{ m}$ adódik. A B sorozat rövidebbik oldala $R = 1 \text{ m}$, tehát a hajtogatási feltétel miatt a hosszabbik $H = \sqrt{2} \approx 1,41 \text{ m}$ lesz (1.10. ábra).

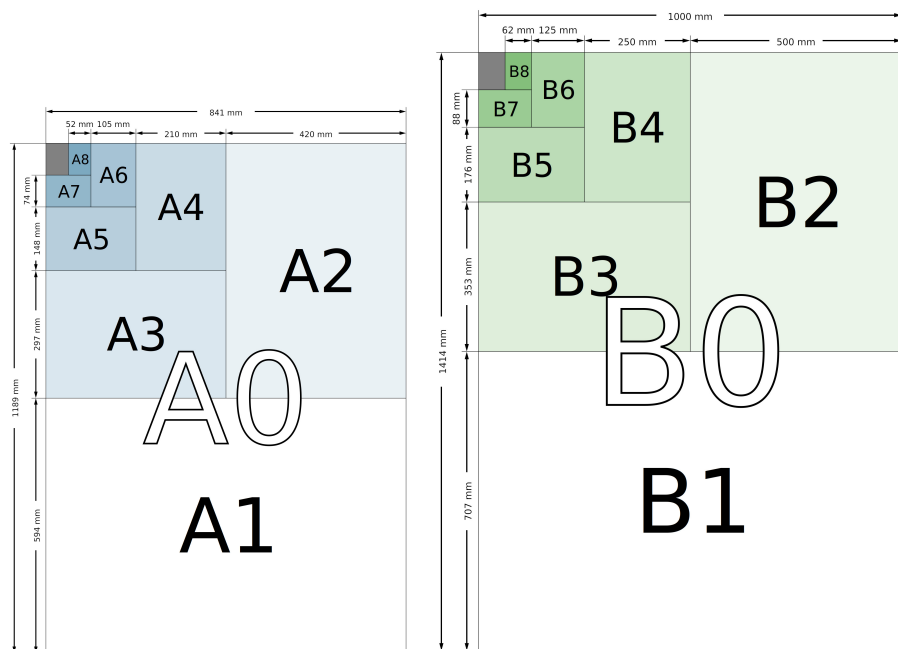
1.3.2. Földterület

MOTTÓ:

- Mi a különbség a teológus és a geológus között?
- ???
- Ég és föld.

Teológus alapvicc

A térképészet területegysége az SI szerint m^2 és km^2 . A földhivatal a telkek területét ma már négyzetméterben (m^2 , de azt szokták nm-mel rövidíteni, mert úgy könnyebb leírni) méri, a mezőgazdaság viszont *hektárban*, $1 \text{ ha} = 100 \times 100 \text{ m}^2$. Neve a ma már nem használatos *árból* ered, amely $10 \times 10 \text{ m}^2$ volt. Vicces



1.10. ábra. Metrikus papírméreték. A szabványos magyar géppapír A4-es, a könyvek gyakran B5-ös méretűek

módon még centi-ár is létezett, (*car*, de nem az orosz uralkodó), az ár századrésze, amely persze éppen 1 m^2 . A múlt század közepéig a magyarországi telkeket *négyszögölben* ($1 \text{ n öl} = 6 \times 6$ négyzetláb $\approx 3,60 \text{ m}^2$), a szántóföldet pedig *holdban* mérték. Többféle *hold* volt használatban, a földhivatal a *kataszteri holdat* használta, amely $1600 \text{ n öl} \approx 0,58 \text{ ha}$, de a szántóföld mérésére a *magyar hold* szolgált, amely 1200 n öl volt. Kertvárosokban a tipikus építési telek 200 n öl körüli volt, ezekből lettek mára 720 nm körüliek.

A metrikus mértékrendszer bevezetése előtt az orosz földterület mérésére rengeteg más egység mellett főként a kétféle *gyeszjatyina* szolgált, az orosz regényekben a földbirtokok méreteit általában abban adták meg. A neve az orosz *egytyizedből* származik: eredetileg négyzet alakú terület volt, amelynek mindegyik oldala egy tized *verszta*, habár később többféle méretet is jelentett. A térképészei vagy hivatalos gyeszjatyina kicsivel több volt, mint egy hektár, a *tulajdonosi gyeszjatyina* viszont annak $4/3$ -szorosa, a kétféle magyar holddal szemben tehát a hivatalos orosz egység volt a kisebb.

1.3.3. Területmérés

Az előző részben láttuk, hogy hosszúságot könnyű mérni, kicsit és nagyot egyaránt, de ez már egyáltalán nem igaz a területre. Az egyszerűbb alakú területeket négyzetekkel, háromszögekkel és trapézokkal fedték le, és összeadták. A kisebb,

bonyolult alakú területeket papírral fedtek le, kivágták és mérlegen lemérték a súlyát, abból lehetett levezetni a területet. Ennél pontosabb a csíkozás: azonos szélességű csíkokkal fedni le a területet, és abból számolni a területet, a csíkok szélessége fogja a mérés pontosságát meghatározni. Ma már erre léteznek telefonos applikációk, csak le kell fényképezni a kiválasztott alakzatot. A térképészet sajátos tudomány, nem véletlenül tartott évekig a Föld kerületének mérése. Gondoljunk arra, hogy a Föld meglehetősen hepehupás, ami elbonyolítja a földterület mérését. A műholdas technika, a GPS ebben is sokat segít.

1.3.4. Szögmérés

MOTTÓ:

Mi marad forró akármekkora hidegben?

A derékszög. 90 fokos.

Falfirka

Két egymást metsző egyenes találkozását szöggel jellemezzük. A sumeroktól örökölt 60-as számrendszer a teljes kört 360 fokra bontja, máig ez a köznapi szögmértékünk. Néhány nevezetes szög sajátos nevet visel. 360 fokos a *teljes szög*. Ha a két egyenes merőleges egymásra, azaz a kör negyedét vágja, az a 90 fokos *derékszög*, ha viszont a két egyenes egy egyenesbe esik, az a 180 fokos *egyenes szög*. A derékszögnél kisebb szög *hegyesszög*, a derékszögnél nagyobb, de a 180 fokos *egyenes szögnél* kisebb a *tompaszög*, a 180 foknál nagyobb, *konkáv* vagy *homorú szög*. Sokkal ritkábban használt a 45 fokos *gérszög*, az asztalosoknál használt *gérvágó* eszközben maradt fenn. Szögpároknak is van nevük. Két *pótszög* derékszöggé, két *váltószög* egyenes szöggé egészíti ki egymást. A fok kisebb egysége, az időhöz hasonlóan, a szögperc és szögmásodperc, 60-as osztókkal. Forgatásnál az óramutató járásával egyező szög pozitív, az ellenkező irány negatív, és a szög elvben lehet ± 360 foknál kisebb vagy nagyobb.

Az SI a szöget *radián*ban méri, amely a körív hossza és a hozzátartozó sugár hányadosa; tehát nincs külön mértékegysége és semmihez nem kellett külön rögzíteni, a teljes szög (azaz 360 fok) értéke 2π . A *gradián*, más néven *újfok* (a jele *gon* vagy *grad*) a kört 400 részre osztja, tehát ebben mérve a derékszög 100 gon. Századrésze az *újperc*, tízezred része az *újmásodperc*. Elvben földméréshez praktikus, mert a Föld egyenlítője és a sarkok közötti 10000 km távolság derékszögnek felel meg, tehát a Föld középpontjából nézve a felszín egy kilométernyi távolságához tartozó szög éppen egy centigon.

Szöget görbék és bizonyos felületek között is tudunk mérni. Két görbe szögét a metszéspontjukba helyezett érintők szögével, síkokét pedig a metszéspontjukba állított merőleges egyenesek szögével definiáljuk.

A szögmérés az egységsugarú kört osztja, a *térszög* az egységsugarú gömböt. Definíciója a lefedett gömbfelület osztva a gömbsugar négyzetével, jele Ω . Az R sugarú gömb felülete $4\pi R^2$, a teljes térszög tehát 4π , a szöghöz hasonlóan dimenziómentes mértékegység, de az SI *szeradiánnak* nevezi (*sztereó radián*),

jele sr . Gömbi koordinátákban hasznos a kifejezése, a gömbsugár mellett két szöggel. Ezt a koordinátarendszert felépíthetjük akárhány dimenziós térben.

A nagyobb részecskefizikai kísérletek a hengerkoordináta-rendszert kedvelik, mert a mérőrendszerek általában henger alakúak. A mérőberendezésben van egy fő tengely és a középpontjában az origó, akkor az egyik szög az origóból induló, tengelyhez képesti Θ *polárszög*, a másik a főtengetyre merőleges síkban felvett Φ *azimutuszög*. Részecskefizikai szórás kísérletekben a polárszög helyett szeretik a *pszeudorapiditást* használni, amelynek definíciója $\eta = -\ln \operatorname{tg}(\Theta/2)$. Ez a skála a középvonaltól távolabb nagyjából arányos a polárszöggel, de egészen közel már sűrűsödik, és nagyon jó szögfelbontást tesz lehetővé a nyalábvezeték (azaz $\Theta = 0$ közelében).

1.4. Térfogat

MOTTÓ:

Térfogat: háromdimenziós székér.

Falfirka

A kereskedelemben a térfogat ugyanolyan fontos, mint a tömeg (azaz súly) vagy a hossz. A metrikus rendszer ezt egyszerűen megoldotta: a térfogat egysége a köbméter, de az SI megengedi a *litert* és származékait (hL, dL, cL, mL) is a köbhosszak mellett. A liter jelölésére javasolt a nagy L, hogy ne keverjük az egyessel, de szabad kicsivel is jelölni.

A metrikus rendszer előtt a térfogatomérés is örült kavalkádot jelentett. Külön mértékegységeket használtak a folyadékok (*bormérték*) és a száraz anyagok (*gabonamérték*) térfogatának mérésére, és azok minden városban más mennyiségeket jelentettek, időben is változva. A már országszerte elfogadott magyar bormérték alapja az *icce* ($\approx 0,84$ L) volt, $1 \text{ icce} = 2 \text{ meszely} = 4 \text{ verdony}$ vagy *römpöly*, az utóbbi egy kisebb bögrének felel meg. Sok nagyobb egység volt, $1 \text{ pint} = 2 \text{ icce}$, $1 \text{ kanta} = 10 \text{ icce}$, a *köböl* (vagy *vödör*) helytől függően 15 és 50 *icce* között mozgott, $1 \text{ puttony} = 45 \text{ icce}$ volt. Ezek közül még időnként előfordul az *akó*, amellyel a hordók méretét mérték: $1 \text{ akó} = 64 \text{ icce} \approx 54 \text{ L}$. A nagyobb egységek között ma is használatos a *vödör* (10-15 liter), de a sokkal nagyobb *csöbör* (33 ... 60 *icce*) kimúlt. Érdekesség, hogy a mi *pintünk* csaknem négyszerese volt a jelenleg is használt angol-szász *pint*-nek. Régen használatban volt még ezeken kívül az üveget jelentő *butélia* ($\approx 0,6$ L), a *kupa* ($\approx 1,4$ L) és *fertály* = 10 kupa . A <http://miskolcipince.hu/> lap felsorol még két tucatnyi fröccs-ürmértéket is. Egészen kis mennyiséget, gondolom, 1 cm^3 körülit jelentett a *gyűszű(nyi)*. Vegyük észre, hogy a legtöbb egység neve valamilyen edényt is jelentett.

A magyar gabonamértékek alapegysége, a *gabonaköböl* is változó méretű volt, a *mérő* a végén a *kassai gabonaköböl* (217,2 L) negyedrésze lett, a *véka* pedig a *mérő* fele. A *fertály* gabonában az utána álló egység negyedét jelentette,



1.11. ábra. Thummerer borospince Noszvajban

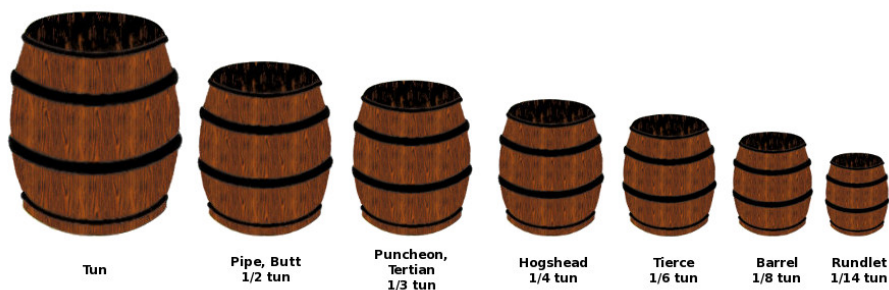
hasonlóan a dédapáink fertályórájához, de szöges ellentétben a bormértékkel. A magyar borosüvegek köbtartalma 1979 óta 0,75 L.

A magyarnál kevésbé anarchikusak és határozottan szórakoztatók a régi orosz egységek, mert jól lefordítható a nevük, és remekül kifejezik a mennyiséget. Az alapegység a *vedro* (vödör $\approx 12,3$ L), nagyobb a *bocska* (hordó = 40 *vedro*), kisebbek a *csetverty* (magyarul negyed, de mégis $1/8$ *vedro*), a *kruzská* (bögre = $1/10$ *vedro*), *butülka* (palack = $1/16$ *vedro* borból és $1/20$ *vedro* vodkából), a *csárka* (kupa = $1/100$ *vedro*) és a *koszuska* (kis vodkás üveg = $1/200$ *vedro*). Vegyük észre, hogy a kétféle orosz palack térfogata nem volt messze a jelenleg Európában használt boros (0,75 L) és pálinkás (0,5 L) üvegek úrtartalmától. Most jön a csavar: az előbbi egységek természetesen csak a folyadékokra vonatkoztak, a száraz anyagok térfogatára az oroszok is gabonaegységeket használtak, helyenként azonos névvel. A száraz *vedro* például csaknem egy literrel nagyobb volt a nedvesnél, talán a gabona súlyát akarták a vízéhez közelíteni, a száraz *csetverty* azonban a folyadékra használnak csaknem 140-szerese.

A ma is használatban levő angolszász térfogategységekkel külön foglalkozunk (2.1. fejezet), de a 1.12. ábrán bemutatjuk az 1824. évi reform előtti angol hordóméreteket.

Ma már minden száraz anyagot súlyra mérünk, legalábbis az angolszász világon kívül, ott ui. bizonyos porok, mint például a Nescafé mennyiségét *fluid ounce* (folyadék-uncia) mértékkel mérik, 1 *fl. oz.* Angliában 28,4 mL, Amerikában pedig 29,57 mL.

A térfogatok mérése folyadéknál egyszerű: kalibrált üvegedényt használnak. Szilárd tárgy térfogatának mérésére vonatkozik a következő példabeszéd. Három tudósnak meg kell határozni a kicsi piros labda térfogatát. A vegyész vízbe nyomja és a vízszint emelkedésével méri meg, a fizikus több oldalról megméri az átmérőjét és kiszámolja a térfogatot, a mérnök pedig kikeresi a térfogatot a kicsi piros labda specifikációjából.



1.12. ábra. 1824 előtti angol hordóméretek: tun = 252 gallon; pipe = 126 gallon; tertian=84 gallon; hogshead=63 gallon; tierce=42 gallon; barrel=31.5 gallon; rundlet=18 gallon, ahol az angol gallon 4,546 L

1.5. Hőmérséklet

MOTTÓ:

Megkérdeztem egy tudóst, mi lesz velem, ha a hőmérsékletem -273,15 °C-ra süllyed. Azt válaszolta, ne aggódj, OK lesz.

Falfirka

A korai hőmérők az anyagok, gázok vagy folyadékok hőtágulásán alapultak. A feljegyzések szerint az első zárt hőmérsékletmérő szerkezetet II. Ferdinánd toszkán nagyherceg készítette 1754-ben, de a Galilei-hőmérő nevet kapta. Zárt üvegedény átlátszó szerves folyadékjában (alkohol vagy benzin) különböző méretű, félig töltött üvegbuborékok úsznak. Emelkedő hőmérsékletnél a fő folyadék sűrűsége csökken és a buborékok lesüllyednek. Különböző súlyú buborékok különböző hőmérsékleten emelkednek és süllyednek. A buborékok hőmérséklet-címkét viselnek (1.13. ábra).

Igen elterjedtek voltak a higanyos hőmérők, a testhőmérsékletet mérő *láz-mérők* nemrég még higany hőtágulásával mutatták a hőmérsékletet 34 és 43 °C között. Sérüléskor azonban a higany kiömlött és az egészségre veszélyes volt, olyankor kénporral kellett a szétguruló higanygolyócskákat beszórni. Az alkoholos változata veszélytelen és ezért az utcai hőmérséklet mérésére inkább azt használták.

Minden test bocsát ki infravörös hőszugárzást, a sugárzás mérésével megállapítható a hőmérséklete. Az infrahőmérő az emberi szemhez hasonló, csak a látható fénynél sokkal hosszabb hullámhosszakat kell észlelnie. Ez igen gyors és biztonságos módszer, hiszen a hőmérőnek nem kell közvetlenül érintkeznie a vizsgált testtel, igen széles tartományban működik, egészen magas, +3000°C hőmérsékletig, és rendkívül gyors, mikroszekundumos észlelési idejű. Hátránya, hogy a hőmérőnek jól kell látnia a tárgyat, ha por vagy pára kerül a levegőbe, elromlik a pontossága, és csak a felület hőmérsékletét méri. A Covid-járvány

idején mindenféle ilyen hőmérővel ellenőrizték a látogatók testhőmérsékletét, nem betegek-e.

A hatvanas évek Budapestjén hatalmas utcai hőmérők kétféle egységben mutatták a hőmérsékletet: *René Antoine Ferchault de Réaumur* 1730-ban és *Anders Celsius* 1742-ben javasolt skáláján. Mindkettő a vízből indult ki: Réaumur a fagyáspontját vette 0 foknak, a forráspontját 80-nak, Celsius pedig a fagyáspontot 100-nak és a forráspontot 0-nak. Európában az utóbbi fordítottja győzött, bár kegyeletből megtartották rá a *Celsius* nevet. A természettudományok számára persze a víz fagyáspontja esetleges, nem természeti állandó, ezért bevezették a megalkotójáról, *Lord Kelvin*-ről elnevezett *Kelvin* skálát, amely Celsius-léptékben ugyan, de a fizikai abszolút nulla foktól indul, tehát $0^{\circ}\text{C} = 273,15\text{ K}$ (1.13. ábra). A Kelvin-skála léptéke tehát azonos Celsiuséval, $\Delta T = 1^{\circ}\text{C} = 1\text{ K}$, rögzített pontja pedig egy adott izotóp-összetételű, desztillált tengervíz hármaspontja, ahol a három fázis, jég, folyadék és gáz egyensúlyban, együtt létezik: ez történetesen $0,01^{\circ}\text{C} = 273,16\text{ K}$. A rögzítésnek köszönhetően megszabadulunk a kelvin mértékegységnél a skála mérési módszertől függő esetlegességétől.

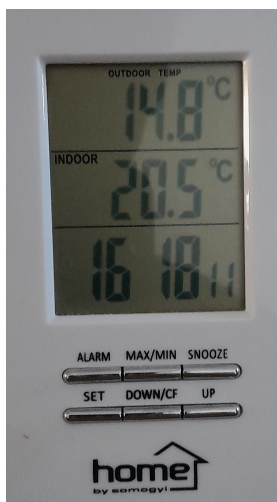


1.13. ábra. Balról jobbra: Galilei hőmérő a különböző hőmérsékleteket jelző, úszó buborékokkal; asztali hőmérő Fahrenheit és Celsius skálával; modern digitális infravörös hőmérő.

Daniel Gabriel Fahrenheit már 1724-ben, tehát jóval Réaumur és Celsius előtt elkészítette az első higanyos (akkor minden másnál pontosabb) hőmérőt, és bevezette a saját hőmérsékletskáláját, amelyet (némi változtatással) az USA ma is használ. Skálája nulla pontját annak a sóoldatnak a fagyáspontjához igazította, amelyet a leghidegebbre sikerült lehűtenie. Eszerint a víz fagyáspontja 32°F és 212°F foknál forr, a 100°C különbség tehát a *Fahrenheit* skálán 180-nak felel meg. Az átszámítás egyszerű: $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32)/1,8$. Ez a skála tehát átöleli a köznapi gyakorlatban előforduló hőmérsékleteket. Szegény amerikai fizikus kollégák itt is két egység között őrlődnek, hiszen a fizika az általuk némi logikával *centigrade*-nek nevezett Celsius skálát használja (a kezdőbetűk is egyeznek), amíg otthon a sütő vagy a szoba hőmérsékletét és a gyerek lázát fahrenheitben mérik. Az utóbbi esetben viszont kidomborodik a fahrenheit előnye:

könnyű megjegyezni, hogy 100°F fölött célszerű orvost hívni. Városi legenda szerint Fahrenheit a 100°F -et a saját testhőmérsékletéhez igazította, valószínűleg éppen lázas volt. Évszázadokig a Fahrenheit-hőmérők voltak a világon létező legpontosabb hőmérsékletmérő eszközök.

Történelmileg még jó néhány hőmérsékleti skála ismeretes, de ma már csak a kelvin, fahrenheit és celsius használatos, szoktak is viccelődni vele, hogy az együttélésük kizárólag a sarki KFC gyorsétteremben valósul meg.



1.14. ábra. Külső-belső hőmérő szobán belüli egysége

Isaac Newton is bevezetett egy hőmérsékleti skálát 1701-ben. Newton teljesen gyakorlati alapon vizsgálta a hőmérsékletet: a királyi pénzverde felelőseként különböző fémek (és természetesen ötvözeik) olvadáspontját kellett mérnie. Hőmérőjében lenmag-olaj változtatta a térfogatát. Nulla pontját a Celsius-skálához hasonlóan a víz fagyáspontjához tette, nála azonban a víz forráspontja 33°N volt. Rengeteg hevítési kísérletet végzett, ennek eredménye lett a Newton-féle exponenciális lehűlési törvény, amely szerint a test hővesztése a test és környezete hőmérséklet-különbségével arányos.

A fenti módszerek nem túlságosan pontosak, ipari célra ezért inkább gáz-töltésű, termopáros vagy tisztán elektronikus hőmérőket alkalmaznak. A gáz-töltésű hőmérő állandó nyomáson a gáz térfogatának, állandó térfogaton a gáz nyomásának változásával méri a környezet hőmérsékletét. A különböző anyagok hőtágulása különbözik, két ilyen összehegesztett fémlemez (például réz vagy sárgarézt és acél) a hőmérséklet változásakor meghajlik és ezzel viszonylag pontosan mérhető a hőmérséklet. Ezt a *bimetál hőmérőt* inkább csak (vész)kapcsolónak szokták használni.

A leggyakoribbak azonban az elektronikus hőmérők. A *termisztornak* az ellenállása változik a hőmérséklet hatására, tehát például állandó áram mellett a rajta megjelenő feszültséget kell leolvasni. A *termopár* két különböző vezető szál kapcsolatánál kelt mikrovoltnyi feszültséget, amely a szálak két vége

közötti hőmérséklet-különbséggel lesz arányos. A termopár nagyon olcsó és egyszerű kezelni, mert nem igényel áramforrást, de csak hőmérséklet-különbséget mér, és azt sem túlságosan pontosan, a pontossága nemigen megy $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá. A háztartásokban igen gyakori drótnélküli külső-belső hőmérők általában termisztorosak, a külső egység rádióadóval közli a belső vevővel a külső hőmérsékletet (1.14. ábra).

1.6. Tömeg, súly

MOTTÓ:

Mit mond a font a kilónak? Túlsúlyos vagy, fogyhatnál.

Falfirka

A gyakorlati felhasználás szempontjából a tárgyak súlyának van jelentősége, nem a tömegüknek, ezért a súlyt és a tömeget csak jóval a metrikus rendszer kidolgozása után választották szét. Egy tárgy (tehetetlen) tömegét meghatározza a benne levő anyagmennyiség, súlya viszont a Föld rá ható gravitációs erejével kapcsolatos, tehát függ attól, a Föld melyik pontján, vagy felette milyen magasban mérik.

A legrégebb ismert súlyegység a babilóniai *mina*, több ismert értékkel, 640 és 978 g között. Nagyon sokáig használatban maradt a babilóniai 60-as váltószámmal együtt. A héber *szent mina* 60 *sékelre* osztott, és 60 *szent mina* volt egy *talentum*. Létezett egy *talmudi mina* is, mintegy 499 g, amelyből ugyancsak 60 tett ki egy *talmudi talentumot*, viszont csak 25 *sékelre* osztották. Többféle *görög mina* is használatban volt, a kisebbik (431 g) 100 *drachmára* oszlott. A rómaiak vezették be a *librát*, amely mérleget és 327,45 g súlyt jelentett. Gyakran együtt szerepelt a *pondus* (súly) szóval, ebből származik az angol *pound* (font) szó, amely egyaránt jelent súlyt a libra után *lb* és pénzegységet £ jellel.

Érdekes súlyegység volt a *márka* a Német-római Birodalomban. Kifejezetten nemesfémek súlyára használták, nyilván ezért lett később pénzegység. Értékét a fonthoz rögzítették: 1 lb = 2 márka. Európában persze többféle márka létezett, ahogyan sokféle font is, de a Német-római Birodalom a *kölni márkát* fogadta el a nemesfémek súlyegységének, amely az ottani font felének megfelelően 233,856 g volt, a birodalom ércpénzeit abban skálázva verették. A nálunk használatos *bécsi márka* a bécsi font fele volt, tehát a kölninél sokkal nehezebb, 280,66 g.

Külön érdekesség, hogy a kétféle, általánosan elterjedt nemesfémre másképpen osztották a márkát kisebb egységre: 1 márka ezüstmél 8 uncia, aranyból 24 karát volt a felosztás. A márkából idővel pénzegység lett, a karát pedig túlélte az SI-t, mint a drágakövek súlya és az aranyötvözet tisztasága. A *karát* súlyegység története mókás: a trójai szentjánoskenyérfa terméséből ered, amely meglehetősen egyforma volt, mintegy 0,205 g súllyal. A drágakövek súlyára a karátot (nálunk Kt, angolszászéknál ct rövidítéssel) 200 mg-ban rögzítették. Aranyból az összetételt jelzi: hány 24-ed rész arany van az ötvözetben, tehát



1.15. ábra. Balra: klasszikus egyensúlyi mérleg. Középen: ékszerésmérleg a súlyokkal. Jobbra: modern elektronikus kémiai mérleg

1 karát 4,167%-os aranytartalmat jelent és a 24 karátos arany teljesen tiszta. Van az aranyötvözetnek egy sokkal pontosabb, ezrelékes mérőszáma is: ha abban kifejezve például az ékszereknél gyakori 14 karátos aranygyűrűre az 585-ös számot vésik, az 58,5% aranytartalmat jelent.

Vegyük észre, hogy ezekből a súlyegységekből lettek idővel a pénzegységek különböző vidékeken (angol font, izraeli sékel, görög drachma, német márka), általában akkora súlyú ezüstöt vagy ritkábban aranyat jelentve; a 62 kg-os latin talentum szállításához már szekér kellett.

Súlyt általában referencia-súlyokkal való összehasonlításban, egyensúly alapján mérünk (1.15. ábra): stabil, rezgésmentes talapzatra állítva a komoly kémiai analitikai mérlegekkel 10^{-6} pontosság is elérhető, azaz 1 kg súly megmérhető 1 mg pontossággal. Erre azonban ritkán van szükség, mg-os pontosság inkább grammos súlyoknál szükséges, és arra vannak elektronikus eszközök (1.15. ábra).

Súlyegységből az újkorban is rengeteg volt, habár a piacon inkább térfogatra vagy darabra mérték, a legtöbbször ma már csak regényekben lehet találkozni. A régi Magyarországon az egységesítés után bécsi és budai egységek voltak használatban, az előbbi hivatalos, az utóbbi kereskedelmi vonalon. 1 osztrák *tonna* = 20 *bécsi mázsa* (1120 kg) volt, 1 *bécsi mázsa* = 100 *bécsi font* (56 kg), 1 *bécsi font* = 16 *bécsi oton* (*uncia*) = 32 *bécsi lat*. 1 *budai font* = 2 *budai márka* (≈ 498 g). 1 *bécsi oton* (≈ 35 g) = 2 (*bécsi*) *lat* = 8 *drachma* = 24 *scrupulus*. Ezekből a nevekből a tonna (most 1000 kg) és az eredetileg egyszerűen csak tömeget jelentő mázsa (a latin *massa*, *tészta* szóból) ma 100 kg-ként maradt meg nálunk, de másutt a font is megmaradt, mint súlymérték, a font, márka és drachma pedig pénzegység (is) lett különböző országokban. *Skrupulusai* inkább csak aggodó embereknek vannak, akik mindenféle baljós lehetőségeket *latolgatnak*, a talentummal meg az emberi tehetséget jellemzik.

Érdekes magyar falusi mértékegységek voltak valamikor a *boglya*, a *petrence* és a *villahegy*: talán inkább térfogatra, mint tömegre vonatkoztak. 20-30 villahegynyi (vasvillával) széna volt egy petrencében, amelyet két ember el tudott vinni a vállán átvett két petrencés rúdon. Mai becslések szerint mázsányi, azaz 80–100 kg körüli súlya lehetett. Egy nagy (széna)boglyából 10 petrence jött ki.

A régi orosz alapvető súlyegység a *funt* volt, amely neve dacára az angol fontnál nagyobb, 1 *funt* $\approx 0,41$ kg lévén. Nagyobb egységei a *pud* = 40 *funt* $\approx$

16,38 kg és a *berkovec* = 400 *font*; kisebbek a *lot* (magyarul *lat*) = $1/32$ *font* $\approx 12,8$ g, a *zlotnik* (valamilyen aranyegység) = $1/96$ *font* $\approx 4,27$ g és a *dolja* (magyarul rész, de egyebek mellett sors is) $\approx 44,4$ mg.

A régi metrikus rendszerben a grammot 1 cm^3 víz súlyával definiálták. A súly és a tömeg szétválasztásánál a kilogramm tömeg lett, a *kilopond* pedig erő, 1 kg súlya, megfelelően meghatározott körülmények között: a földi gravitáció átlagos erőssége mellett. Ezt a meglehetősen kétséges, bizonytalan mértékegységet az SI eltörölte, helyette bevezette az erő egységének a *newton* (*N*). 1 N az az erő, amely 1 kg tömeget 1 másodperc (s) alatt 1 m/s sebességre gyorsít fel. A newton tehát származtatott egység, $1\text{ N} = 1\text{ kg}\cdot\text{m/s}^2$. Mivel a nehézségi gyorsulás nálunk $9,81\text{ m/s}^2$, 1 kg tömeg súlya a Kárpát-medencében $\approx 9,81\text{ N}$.

1.7. Nyomás

MOTTÓ:

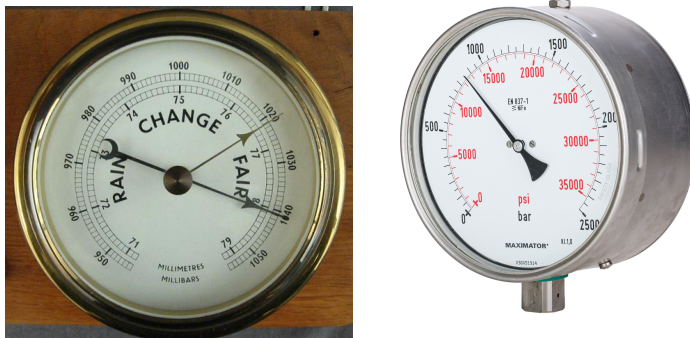
Einstein, Newton és Pascal bujócskázik. Newton rajzol egy 1x1 méteres négyzetet és beleáll. Einstein észreveszi: „Látlak, Newton!”, mire az „Haha, Pascal vagyok!”.

Falfirka

Fizikai mennyiségként a nyomás egységnyi felületre ható erő. Az első nyomásmérők a hőmérőkhöz hasonlóan higanyal működtek, Torricelli olasz fizikus építette az első barométert, nyomásmérőt. Az ő tiszteletére kapta a nyomás a *torr* egységet: 1 torr nyomás egy higanyoszlop magasságát 1 mm-rel emeli, emiatt a *mmHg* (higanymilliméter) rövidítésnek is örvend. Torricelli fejtette meg Galilei kérdését, miért lehet a vizet csak 10 m magassáig szívni: mert akkora a fölöttünk levő levegőréteg nyomása, 760 mmHg körüli, az felel meg a tengerszinten mért 1 *atm* nyomásnak. Magas hegyen emiatt kisebb a nyomás, a víz is kevésbé emelkedik és alacsonyabb hőmérsékleten forr, nehezebb főzni. A légnyomás változása jelzi az időjárását, ezért divatos otthon idő-előrejelző barométert tartani (1.16. ábra).

A metrikus rendszer ezt a légnyomásértéket 1 kg-súly/cm^2 körülinek ismerte fel, tehát bevezették a *bar* egységet: $1\text{ bar} = 1\text{ kg-súly/cm}^2$. Technikai vizsgálatokban mind a túlnyomást, mind pedig a vákuumot ebben mértük, tehát például egy kis autógumi nyomása 2 bar körüli, egy jól leszívott vákuumé pedig 10^{-4} mbar. A földi légnyomás tengerszinten mérve 1,01 bar. Az SI mértérendszer köteles méterrel dolgozni, a hivatalos nyomásegységünk tehát a *pascal* lett (*Blaise Pascal* francia polihisztor tiszteletére): $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$ (ahol N a newton erőegységet jelöli). Ez nagyon kis nyomásérték, $1\text{ bar} = 101\text{ kPa}$. Az SI megalkotói a vákuummérnökök iránti jóindulatból megengedték a hPa használatát (1.16. ábra), 100 Pa ugyanis közel 1 mbar.

Az amerikaiak persze itt is saját mértékegységeket használnak, nyomásra a *psi*-t (pound-per-square-inch, font per négyzethüvelyk, lb/in^2), $1\text{ bar} = 14,7$



1.16. ábra. Balra: Barométer a légnyomás mérésére, mmHg és mbar egységben, időjárás-jelzéssel. Jobbra: nagy gáznyomás mérőműszere bar és PSI egységben

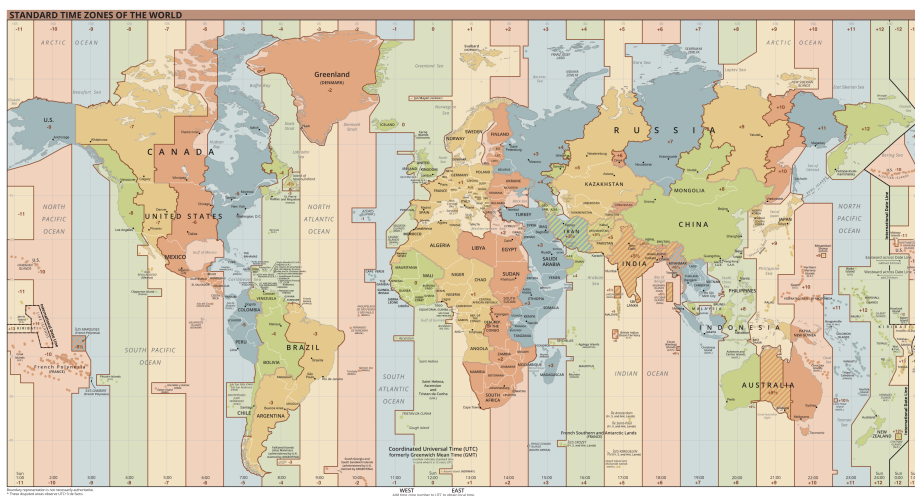
psi), vákuumra pedig a higany-milliméter mintájára a *higany-inch*-et (in.Hg). Vicces, hogy a higany nemzetközi Hg rövidítése nagyon emlékeztet a nyelvújításban nyert magyar névére, de a latin-görög *hydrargyumból* ered, és minden élő nyelvben másképpen hívják. A nyelvújítóinkat talán a *mercury* mellett használt másik angol neve, a *quicksilver* (*~ híg ezüst*) ihlette meg.

1.8. Időmérés, naptárak

MOTTÓ:

- Kérem, meg tudja mondani, mennyi a pontos idő?
- Persze, fel van nekem ide írva. Nyolc óra van.
- Köszönöm. De mit mond, ha nincs nyolc óra?
- Azt, hogy nem tudom, mennyi az idő.
- Aha. És honnan tudja, hogy tényleg nyolc óra van-e?
- Hát fel van nekem ide írva.

Az időt is a legkülönbözőbb módon mérjük, de a legtöbb országban a Gergely-naptár szerinti hónapokkal és napokkal, lejjebb pedig óra - perc - másodperc az ősi 12-es és 60-as léptetéssel. A metrikus rendszer ezt megőrizte, de az idő alapegysége a másodperc lett, mert azt hagyományosan is csak tízesével, messzebb pedig ezresével osztjuk tovább. Magyarországon is a nagyon rövid időtartamokat tized-, század- és ezredmásodpercben mérjük, nincsenek külön nevek azon a tájékon.



1.17. ábra. Földünk időzónái. A nulla az UTC-nél van, régi nevén GMT. A sátrózott régióknak a szomszédaik közötti feles időzónájuk van

1.8.1. Óra, perc, másodperc

A Föld forgása miatt a nappalok és éjszakák változnak, és ezt *időzónákkal* vesszük figyelembe, hogy a reggel-dél-este nagyjából ugyanazokat az órákat jelentse mindenütt. Történeti okokból a különböző időzónákat a nulladik délkörhöz mérjük, amely a Londonhoz közeli Greenwichi Csillagvizsgálót érintette és emiatt GMT (*Greenwich Mean Time*) volt a neve. Ez ma is használatos, bár a Föld tengely körüli forgásához igazodik, tehát nem igazán pontos. Jelenleg helyette hivatalosan a *koordinált világidő*, UTC használatos, de ez különbséget csak a csillagászatban jelent. Az időzónák térképén (1.17. ábra) az UTC vonalától balra negatív, jobbra pozitív órát adunk az UTC-hez. Ez azonban nem mindig egész óra, vannak *félórás* területek is, mint Irán és India, Ausztrália középső része, valamint a kanadai Újfundland. A többi kanadai számára ez a *newfie* viccek egyik forrása.

Rendkívül érdekes, hogy a régi Kínában történelmileg decimális (tizedes) volt az időmérés, a keresztény jezsuita rend hatására váltottak az óra-perc-másodpercre és vették át a Gergely-naptárt. A kínai időszámítás a nappalt osztotta fel 15 órára, és azokat névvel látta el szám helyett, viszont a nappal reggel 6 órától este 8 óráig tartott, tehát az órájuk nagyjából megegyezett az európaival, nyilván ezért volt könnyű az áttérés. A teljes napot ezen kívül kétféleképpen is felosztották: 12-re (*si*), ahol egy egység a mi két órának felelt meg, és 100 részre (*ké*, de történelmileg volt 96, 108 és 120 részre osztás is). Ezeket csak nappal használták, amely a jelenlegi időmérés szerinti 23 órakor kezdődött. Ezt az időszámítást *si-ké* rendszernek hívták, mert az időpontot *si* + *ké* alakban adták meg, ahogyan mi óra + percben időzítünk. A *ké*-t tovább osztották kisebb egységekre, a *fén* a nap 1/6000 része volt, a *miao* pedig a ké századrésze. Az éjszakai időt más, nagyobb egységekben mérték. Ezt váltotta

fel Kínában az óra-perc-másodperc, de a másodpercet *miao*-nak hívják.

Kína 1929-ben vezette be kötelezően a metrikus rendszert, a hagyományos egységeket magánhasználatra korlátozva, és azok értékét metrikusban rögzítve. Ugyanakkor viszont általában igaz, hogy a metrikus egységeknek olyan kínai nevet választottak, amely azokhoz közeli hagyományos egységet is jelent; kétséges esetben hozzáteszik, hogy *piaci*, ha a tradicionálisban számolnak.

1.8.2. Nyári időszámítás

MOTTÓ:

Van egy ifjú hölgy, Katik,
Ki a fénynél gyorsabban utazik,
Ha elmegy ma délelőtt,
Visszaér már tegnapelőtt.

(*Limerick*)

Földünknek a keringési síkjához képest ferde a forgástengelye, ezért a napfényes órák száma napról napra változik, bár az Egyenlítőhöz közeledve egyre kevesebbet. A nyári időszámítást, tehát azt, hogy az órát tavasszal előbbre, télen hátrább állítjuk egy órával, az I. világháború alatt, 1916-ban vezették be Közép-Európában, a Német Császárság és az Osztrák-Magyar Monarchia területén. Célja az volt, hogy megnöveljék a természetes világításnál tölthető órák számát, hiszen például nálunk a nyár közepén már reggel négy órától világos van, télen viszont csak nyolctól világosodik. A nyári időszámítást akkor sokan átvették, a világháború végén azonban abba is hagyták. Újra elővették viszont a II. világháború idején, 1945-ig, sőt akkor Anglia két órával változtatott. Amerikában *War time*-nak, háborús időnek hívták.

Nálunk négy évre újra bevezették, 1954-58 között. A nagy változást a hetvenes évek olajválsága hozta, akkor ötletszerűen egyes európai országok bevezették, mások nem, és különböző időpontokban váltottak. 1980-ban aztán Nyugat- és Közép-Európában ez egységesen megvalósult. Érdekes, hogy az USA államaiban nem kötelező az alkalmazása, Hawaii és Arizona nem is teszi, de ahol igen, ott március második és november első vasárnapja között van. Az Európai Unióban a nyári időszámítás március utolsó vasárnapjától október utolsó vasárnapjáig tart, tehát az amerikaitól egy-két héttel eltolódik. Ettől előfordulnak kellemetlen félreértések internetes megbeszéléseink időzítésével az áttérések idején. A mi Közép-Európai időzónánk jele CET (*Central European Time*), a nyári pedig CEST (*Central European Summer Time*), bár a hivatalos neve angolul *Daylight Saving Time* (nappali világosságot megtakarító idő).

Mivel a kevesebb mesterséges világítás miatti energiamegtakarítás nem igazán ellensúlyozza az átállással kapcsolatos adminisztrációs költségeket, egészségügyi és egyéb problémákat, állandó vita tárgya, van-e egyáltalán értelme. Az Európai Bizottság 2018-ban úgy döntött, hogy megszüntetik, de nem sikerült megállapodni abban, melyik időt válasszák állandóra, úgyhogy 2025-ben még

átállítottuk az órákat. A magyar álláspont az volt, hogy jobban szeretnénk a nyári időszámítást állandóra tartani, de alkalmazkodunk a többségi véleményhez.

A legérdekesebb Oroszország esete, ahol 1981-ben bevezették és 2011-ben megszüntették az óraállítást, maradvá a nyári időnél, ami UTC+4 óra moszkvai időt jelentett, persze 8 óra időeltolódással a hatalmas területen belül. A rossz tapasztalatok miatt azonban három évvel később visszatértek az állandó téli időszámításra, tehát órát továbbra sem állítanak. Oroszország mellett Fehéroroszország, Törökország, Irán és Brazília is eltörölte a téli-nyári óraállítást.

1.8.3. Republikánus időszámítás

A francia forradalom idején lelkes tudósok a távolságon kívül az időmérést is megpróbálták tizedessé tenni: 1 nap 10 tizedes óra, 1 tizedes óra 100 tizedes perc és 1 tizedes perc 100 tizedes másodperc lett (1.18. ábra). Ekkor könnyű leírni egy időpontot, mert 8,2362 óra 8 óra 23 perc 62 másodpercet jelent. Ezt 1793-ban hivatalosan be is vezették, de néhány évvel később (gondolom, a közfelháborodás hatására) fokozatosan törölték.

A forradalom nem állt meg az óránál, a naptárat is megreformálták: 1792. szeptember 22-étől, az őszi nap-éj egyenlőség és a francia köztársaság kikiáltása napjától indult az új *köztársasági naptár* első éve. Az évet római számmal jelölték, az év 12 hónapból állt az évszakoknak megfelelő nevekkal: a szeptemberi szürettől a gyümölcsöző augusztusig. A hónapban hetek helyett három 10-napos dekád volt, a 365-ből megmaradt 5 nap az öt erény ünnepe lett, a szökőévek 6-ik napja pedig a forradalom ünnepe. Ez a naptár 14 évig volt használatban, azután Napóleon eltörölte és visszaállította a Gergely-naptárat, de a forradalom eseményeit máig a köztársasági naptár szerint tartják számon.

1.8.4. Naptárak

MOTTÓ:

- Igaz, hogy ez a korsó háromezer évesnél is idősebb?
- Igen, kisfiam, valóban olyan régi - feleli a teremőr a múzeumban. - Az nem lehet, hiszen még csak 2025 van.

Falfirka

Történetileg az időmérés csillagászati alapon történt: az *év* a Föld Nap körüli mozgásához igazodik, a *hónap* (*Hold-nap*) a Hold keringéséhez a Föld körül, a *nap* pedig a Föld tengely körüli forgásához (a napóra miatt kaphatta a nevét). Vannak kultúrák, ahol az év is a Holdhoz igazodik. Így működött a Római Birodalom régi naptára is, amíg i.e. 46-ban Julius Caesar be nem vezette a róla elnevezett *Julianus naptárat*. Az a régi egyiptomi időszámítást követve pontosan 365 napos évvel számolt, négy évenként (*szökő évente*) egy szökőnappal. Ez azt jelenti, hogy amikor az évszám néggyel osztható, a február 29 napos lesz, bár a



1.18. ábra. Balra: Francia asztali óra fent hagyományos, lent tizedes időskálával. Jobbra: A francia forradalmi (republikánus) naptár hónapjai ősztől nyár végéig

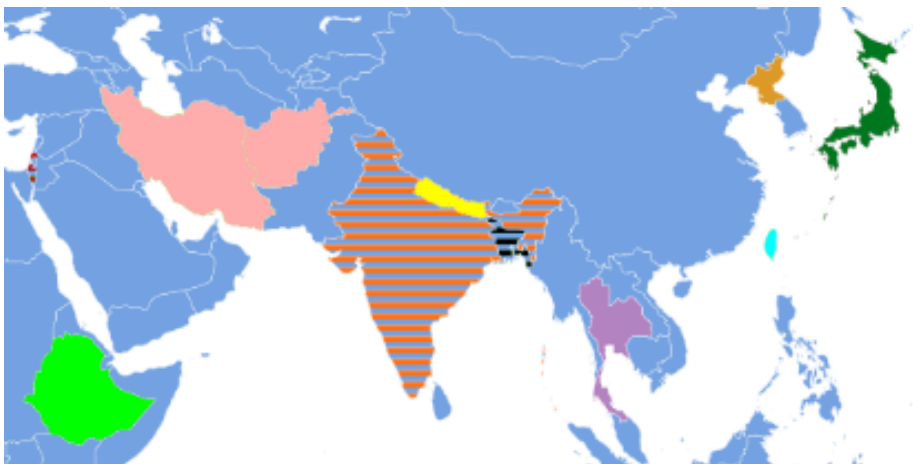
szökőnap hivatalosan február 24-e. Gaius (vagy Caius) Julius Caesar két nevét is megörököltette a történelem, az egyikből naptár lett, a másikkól uralkodó (császár, cár, pedig őt magát meggyilkolták, mielőtt megszerezhetette volna a címet), csak az első neve maradt árván.

A Julianus naptárat váltotta fel 1582-ben XIII. Gergely pápa rendeletével a világszerte használatos *Gregoriánus* vagy *Gergely-naptár*. Mivel addigra a Julianus naptár már 10 nappal a csillagászati idő előtt tartott, a pápa elrendelte, hogy abban az évben október 4-e csütörtök után, október 15-e péntek következék. Magyarország 1587-ben fogadta el a Gergely-naptárt: 1587. október 21-e, szombat után november 1-je, vasárnap következett, és ezzel szinkronba került a legtöbb nyugat- és közép-európai országgal.

Az említett két héten kívül a két naptárrendszer között különbség van a szökőnapok kezelésében is. A Julianus pontosan négýévente iktat be egyet, tehát a Julianus év 365,25 napos. A Gregoriánus naptár 100 évente elhagy egy szökőnapot, az éve viszont 365,2422 nap hosszú, amit úgy ér el, hogy kerek négyszáz évente visszateszi a 100 évente elhagyott szökőnapot. Könnyű kiszámolni, hogy a Julianus naptár 2000 év alatt két héttel *túlsiet* a Gergely-naptáron.

Gergely	Julianus	francia rep.	izraeli	iszlám	iráni
Év: 2016	2016	CCXXIV	5776	1437	1395
07.04	06.21	28 Messidor	Szíván 28	Ramadán 28	Tir 14
07.05	06.22	29 Messidor	Szíván 29	Ramadán 29	Tir 15
07.06	06.23	30 Messidor	Szíván 30	Ramadán 30	Tir 16
07.07	06.24	1 Thermidor	Tammúz 1	Sawwál 1	Tir 17
07.08	06.25	2 Thermidor	Tammúz 2	Sawwál 2	Tir 18

1.4. táblázat. Különbőféle naptárak 5 azonos napja, a Gergely-naptár szerinti 2016 július 4–8, az ortodox keresztény Julianus naptár, a francia republikánus, izraeli (héber), iszlám vallási és iráni (perzsa) naptár szerint. A keresztény dátumban számozott a hónap, mert országoként más a nevük, a többiben megneveztük. A francia republikánus naptár az évszámot (224) római számmal írja.



1.19. ábra. Államilag nem Gergely-naptárt használó országok színezve (a gregoriánus országok kékek, a tengerek fehérek). Balról jobbra: izraeli, etióp, perzsa, indiai, nepáli, bengáli, thai, észak-koreai, tajvani és japán naptárt használó országok (néhányiket több ország is használja, bizonyos országok, mint India, pedig párhuzamosan többfélet). Sok gregoriánus ország használ nem-gregoriánus vallási naptárt, ilyen a pravoszláv (Julianus) és az iszlám naptár

Több nem-gregoriánus naptárt ismerünk, néhányat felsorolunk a 1.4. táblázatban és a 1.19. ábrán. Az európai államok a Gergely-naptárt használják, az ortodox keresztény egyházak viszont megmaradtak a Julianus-naptárnál, amely a szökőnapok miatt 13 nappal előzi a Gergely-naptárt, a pravoszláv karácsonyt emiatt egy héttel újév után ünneplik. Amikor a Szovjetunióban dolgoztam, az ottani Egyesített Atommagkutató Intézetben dolgozó közép-európai kutatók családjainak komoly utánjárással sikerült csak december 24-e előtt karácsonyfát szerezni, azt ugyanis a pravoszlávok csak Újév környékén állítják fel. És ezért ünnepelte a Szovjetunió az orosz naptárreform előtt lezajlott októberi forradalmat november 7-én.

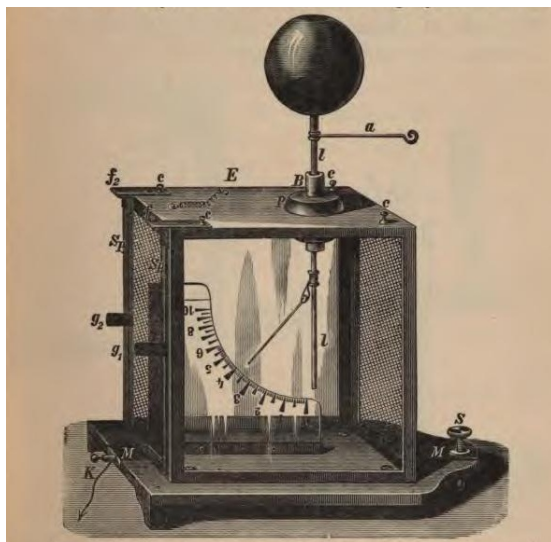
A zsidó időszámítás kezdete a keresztény naptár szerinti i.e. 3761. október 7-e, vasárnap, és holdhónapokkal számolnak. Habár Irán kivételével a muzulmán országok a Gergely-naptárt használják, a muszlim vallásos időszámítás első éve a hidzsra, Mohamed próféta vándorlása Mekkából Medinába, tehát 622. július 16-án kezdődik, és amint az az 1.2 táblázatból is látszik, a zsidóhoz hasonló holdhónapokkal számol. A napok az előző nap nyugtával kezdődnek. Az iráni naptár is a hidzsrával kezdődik, de a Gergely-naptárhoz hasonló az időbeosztása. A tajvani naptár a gregoriánus 1912-ik évvel kezdődik, amikor megalakult a Kínai Köztársaság (Tajvan máig így hívja magát), és csak az évszámban tér el a miénktől.

Sajátos naptárrendszer van a Távol-Keleten, természetesen kínai hatásra, de országokként különbözőképpen megvalósítva. Japánban a császár uralomra kerülésétől számítják az évet a korszak megnevezésével. 2025 például Reiwa 6, mert Naruhito császár 2019-ben lépett trónra és a korszaknak az erre kijelölt

bizottság a Reiwa (hivatalos japán értelmezés szerint *szép harmónia*) nevet választotta. Az előző korszak neve Heisei volt, és amikor Japánban dolgoztam, a Heisei 9-ik évét írták. Egyik tokiói kollégám, számmisztikus hajlamait kiélendő, kivárta egy metróállomáson szept. 9-én a 9 óra 9 percet, és vett egy jegyet, amelyen így öt kilences lett. Ebben a tekintetben a japán évszámozás az óegyiptomihoz hasonló, ott is a fáraó uralomra lépésétől számolták az évet.

Az ókori Róma naptára számunkra idegen volt, pedig elvben azonos a Julianusszal, hiszen az onnan származik [13]. A hónap nem hetekre és azon belül nevesített napokra oszlott, mint nálunk, hanem a hónapok napjait csoportosították és a csoportoknak volt saját neve. Külön szavuk (*Pridie*) volt arra, hogy „egy nappal előtte”. Minden hónap első napja *Kalendis* volt (az egyetlen K-betűs latin szó, de írták C-vel is, nyilván onnan ered az európai *calendar*, magyarul kalendárium). Nem véletlen, hogy történelmünkben 1948 március 15-ét március idusának hívjuk, hiszen a római naptár *idus* (igazából *Idibus*) napja 4 hónapban, köztük márciusban, 15-ére esik, a többi hónapban viszont 13-ára. A 7-ik és 5-ik napnak *Nonis* a neve. Márciusban és társaiban a 8–13 közötti hat nap idus előtti, *ante Idus*, 14-e pedig természetesen *Pridie Idus*. A többi hónapban ezek két nappal korábbra tolódnak. A hónapok utolsó 15 napja *ante Kalendas* volt, az utolsó napja pedig *Pridie Kalendas*.

Különlegesen érdekesek a közép-amerikai naptárak. Az azték naptár a májához hasonló egységekből áll, de a maja a legpontosabb. A maja matematika 20-as alapon működött, illetve helyenként még ma is működik, ellentétben a Európába hozott mezopotámiai 12–60-assal. Háromféle csillagászati naptáruk ismeretes. A *haab* év 18 20-napos hónapból állt, extra napokkal. A vallási célokra használt *tzolkin* viszont 13 20-napos hónapból, a 260 nap feltételezések szerint az emberi terhességhez igazodik. A hónap 20 napjának saját neve van, ahogy a mi hetünk napjainak is, de a majáknál a tzolkin hónapjai is nevet viselnek. A harmadik, a *hosszú számítás* 7891 éves ciklust ölel fel. A maja naptár hihetetlenül pontos, pontosabb, mint a Gergely-naptár. Az átlagos éve 365,242129 napból állt, ami azt jelentette, hogy a Gergely-naptárral ellentétben nem 3300 évenként kell kihagyni egy szökőnapot, hanem 12000 évente beiktatni egy extrát. A maja naptár szerint 2012. december 22-én új időszámítás kezdődött, és annak a napnak a 13.0.0.0.1 maja dátum felel meg. Vicces, hogy az előző ciklus utolsó napja nyugat-európai módra írva (nap.hó.év) 20.12.2012, ehhez akkor még világvége-elméleteket is fűztek. Az azték naptár a majához hasonló egységekből állt.



1.20. ábra. Azonos töltések taszításán alapuló klasszikus elektrométer

1.9. Elektromosság

MOTTÓ:

A fizikatanár feleltet: - Pistike, légy szíves mutasd be nekem ezt az ampermérőt! Mire Pistike: - Tanár úr, bemutatom az ampermérőt. Ampermérő – tanár úr, ismerkedjenek meg egymással.

A simogatott macskaszőr szikrázása ugyan elektromos jelenség, de az első elektromos mérőműszerek azonos töltések taszításán alapultak. Ez az egyetlen taszító alapvető erő (nem ideszámítva a Pauli-féle kizárási elvet), az összes többi, a magerők, a gyenge erő, a Newton-féle gravitáció és persze a különböző elektromos töltéseké mind vonzó. A töltések nagysága a közöttük ható erővel mérhető. Így működtek a korai elektrométerek: két azonosan töltött, egymást taszító fémlemez eltávolodásán (1.20. ábra). Ott tehát a töltés mértékét a közöttük ható erőből származtattuk. A 1.21. ábrán egy régi kilovoltmérőt és egy modern univerzális elektromos mérőműszert mutatunk.

Elsőnek az elektromos töltést definiálták, mert azt lehetett elektroszkóppal mérni. Kiderült azonban, hogy áramot mérni sokkal pontosabban lehet, tehát az eredeti definíciója megfordításával, miszerint áram = töltés/idő, az áram lett az alapmennyiség az amperrel, mint egységgel, és a töltést definiáljuk úgy, hogy az áram · idő. Az SI szerint az elemi töltés pontosan $1,602176634 \cdot 10^{-19}$ C, ekkora a protoné és ennek ellentettje az elektroné.

A hálózati feszültség Európában 230 V és a frekvencia 50 Hz. Magyaror-



1.21. ábra. Balra: Klasszikus kilovoltmérő nagy feszültségre. Jobbra: Egyszerű univerzális elektromos mérőműszer

szágon is 230 V amióta az EU-szabványhoz alkalmazkodtunk, előtte 220 V volt. Hivatalosan a hálózati feszültségünk $230 \pm 10\%$, a 220 V is még belefér a megengedett ingadozásba, tehát a legtöbb helyen a $220 \rightarrow 230$ V átállás nem jelentett problémát. Ahol meg esetleg igen, ott korábban is feszültségstabilizátort kellett használni.

2. fejezet

Túlélő régi mértékegységek

2.1. Angolszász mértékegységek

MOTTÓ:

A metrikus angol 20 mérföldet vezet, hogy részt vegyen egy 5 km-es versenyfutásban. Utána tankol 40 liter benzint és a kút-nál vesz egy diétás kólát mindössze 50 g cukorral, hogy leadjon a súlyából egy stone-t és a derekából pár hüvelyket.

Internet

A metrikus rendszer bevezetése a francia forradalomhoz, majd Napóleonhoz volt köthető, Anglia tehát eleve el kellett, hogy utasítsa, még maga a francia nép is nehezen törődött bele. Az Egyesült Államok megörökölte az angol mérték-rendszert, de érdekes módon nem követte annak 1826-ban bevezetett reformját, maradt az archaikus angol rendszernél, és emiatt azonos néven helyenként máig jelentősen különböző mértékegységeket használnak, amire a kiáltó példa a *gallon* űrmérték. Amerika egyetlen téren engedett a metrikus rendszernek: egy dollár 100 cent lett, ellentétben az akkori, igencsak zavaros angol pénzegységeknek (lásd 3.1. fejezet).

Az amerikaiak a saját angolszász rendszerüket szabványosnak (*standard units*), az angolokét pedig birodalminak (*imperial units*) hívják. Ezek az elnevezések Magyarországról nézve viccesek, hiszen mitől lenne szabványos az USA mértékrendszere Amerikán kívül, a szóban forgó birodalom pedig az elsorvadt brit birodalom. Más országokban persze US vagy UK egységeknek nevezik őket. Kifelé azonban még az amerikai szakemberek sem merik a mértékrendszerüket *standardnak* nevezni, mert csak egyetlen nemzetközi szabvány létezik, az SI, amelynek ők is részt vettek a kidolgozásában. Emiatt a sajátjukat külföldön az angollal azonosítva *imperialnak* hívják, ami csak növeli az általános zavart.

Az angol-amerikai mérnökök kénytelenek követni az angolszász egységrendszert, de a természettudományok az egész világon, az angolszász országokban

is, a metrikusat használják: ebből rengeteg konfliktus, néha még katasztrófa is származik, könyvemben erre hozok néhány példát. Az SI bevezetése után az angol és amerikai alapegységeket a metrikusokhoz rögzítették, mert azokat a lehető legpontosabban határozták meg, természeti törvények alapján. Ahogyan korábban bevezettük, az angolszász mértékegységek rögzített metrikus értékeire az egyenlőségjelet (=) használjuk, a számítottakra viszont a közel egyenlőt ($\approx$).

Kanada helyzete ebben a tekintetben is különös, valahol az USA, Anglia és Európa között őrlődik. A Wikipédia szerint Kanada 1970-ben lett metrikus és 1985-ben hagyta el azt. Az áttérésben feltehetően komoly szerepe volt *Pierre Trudeau* akkori miniszterelnök (a fia, *Justin Trudeau* szintén volt kanadai miniszterelnök) francia származásának.

1982-ben kezdődött együttműködésem a kanadai Vancouverből működő TRIUMF intézettel, testközelből láthattam a mértékegységek közötti zűrzavart. Mivel Kanada metrikus lett, a boltokban és a piacon kg-ban kellett kiírni az egységárakat, és emiatt vásárlók állandó kérdése volt az eladóhoz: az mennyi, mármint fontonként, és történetesen a fontonkénti ár volt kerekesebb. A sebességkorlátozó KRESZ-táblák is km/h-ban szóltak, de ezzel nagyjából véget ért a metrikus rendszer érvénye. Kanadában az amerikai gyártmányú autók, műszerek és szerszámgépek általában az amerikai angolszász (azaz USA standard) egységekben működnek, annak ellenére, hogy elvben át lehet őket állítani metrikusra. Egy wisconsini kollégám például elmesélte, hogy hosszú vita után az egyetemi műhelyükben az összes szerszámgépet metrikusra állították, hogy megkönnyítsék együttműködésüket az európai CERN-nel.

2.2. Hosszúság

MOTTÓ:

Amerika fokozatosan, inchenként közeledik a metrikus rendszerhez, de még mérföldekre van tőle.

Falfirka

Európából érkezett vendégkutatóként milliméterben méretezett műszaki rajzomat a vancouveri TRIUMF kutatóintézet mechanikai műhelyében komoly derűltség fogadta, mert Kanada ugyan hivatalosan metrikus volt, de a szerszámgépeik mind amerikaiak, tehát megkértek, méretezzem át kezelhető egységekre. Az adott szerkezet egyik alkatrésze kicsi volt, tehát *mil*-ben kellett méreteznem, amely ugyan a hivatalos definíció szerint a *yard* 3600-ad része, viszont éppen egy ezred *inch*, onnan is kapta a nevét. Angliában egyébként *thou* a neve, hasonló megfontolásból. Amikor bevittem a kijavított rajzot, a művezető mérnök rábökött az M1 jelölésemre, hogy az micsoda. Mondom, 1 mm-es menetes lyuk. Ő: Sajnos, olyat nem tudunk vágni, csak amerikai standard menetet. Én: Mind egy, csak kicsi legyen. Ő: Akkor a 0-80-as jó lesz, az nagyon kicsi. Aztán úgy kellett hozzá Torontóból rendelnem csavarokat, mert Vancouverből olyan kicsi

csavart nem találtam. Kanadában tehát, tekintet nélkül a Brit Nemzetközösségre, az angolszász egységek amerikai változatát használják, nem az angolt, habár nyilván ők is lassan metrikussá válnak.

Számomra, naiv európai fizikusnak a fő probléma, amellyel Amerikában a kísérleteknél szembesültem, nemcsak a rengeteg egység, amely területenként esetleg más mértéket jelöl, hanem a teljesen önkényes váltószámok közöttük. A *hüvelyk* (*inch*, $1\text{ in} = 25,4\text{ mm}$) egészenként jól kezelhető, mert a négyszerese nagyjából 10 cm . Külön érdekesség, hogy etimológiailag az *inch* a latin *uncia* (egy tizenketted) szóból ered, mert a *láb* tizenkettede, de utána az angol nyelv (nyilván francia hatásra) még egyszer átvette úrmértékként (*ounce*, olasz eredetű rövidítése *oz.*) és azt hívjuk magyarul *unciának*. Közkeletű, ősi eredetű egység a *láb* (*foot*, $1\text{ ft} = 12\text{ in} \approx 30,48\text{ cm}$), nagyobb egység a *yard* (nem fogjuk udvarra fordítani, bocsánat!), $1\text{ yd} = 3\text{ ft} = 36\text{ in} = 0,9144\text{ m}$ (rögzítve!), közel a méterhez. Érdekes módon hazánkban egykor divatosak voltak a 25 yardos úszómedencék, de mára eltűntek. Egyik barátom elmesélte, hogy Miskolcon hét éven át minden hétköznap egy ilyen medencében úszott.

Az amerikai *mérföld* (*mile*), $1\text{ mi} = 1760\text{ yd} \approx 1,6\text{ km}$, de a hajózásban és a földméréshez kicsit más egységeket használnak. A *tengeri mérföld* (*nautical mile*) hosszabb a szárazföldinél, $1\text{ nmi} = 1,151\text{ mi}$, a vízmélység egysége viszont a *tengeri öl* (*fathom*), $1\text{ ftm} = 2\text{ yd} = 6\text{ ft}$. Az amerikai térképészek *láb* egysége majdnem pontosan egyezik a szokásos angol lábbal, nagyobb egységei a *chain* (*lánc*), $1\text{ ch} = 22\text{ yd} = 66\text{ ft} \approx 20,1\text{ m}$, a *furlong*, $1\text{ fur} = 10\text{ ch} = 220\text{ yd}$. A *térképészeti mérföld*, amely majdnem pontosan egyezik a szabványos mérfölddel (ezek az apró különbségek a 7. számjegyben jelentkeznek) és a *league* (*liga*), $1\text{ lea} = 3\text{ mi}$.

Égészen elképesztő a sok eltérés az angol és amerikai mértékrendszer egységei között. Külön érdekesség, hogy a közhasználatú mértékeikre a *frangolul* hangzó *avoirdupois* megnevezést használják. Azt eredetileg a font és az uncia egységesítésére használták, bár furcsa módon háromféle dologra, a drágakövekre, nemesfémekre és gyógyszerekre nem vonatkozott. 1959-ben azt kiterjesztették a hossz mértékekre, és megszületett a *yard és font* egyezmény az USA, Nagy-Britannia, Kanada, Ausztrália, Új-Zéland és a Dél-afrikai Köztársaság között, amelyben megállapodtak a közös, nemzetközi *yardban* és *fontban*.

A nemzetközi *yard*: $1\text{ yd} = 0,9144\text{ m}$ és a nemzetközi (*avoirdupois*) *font*: $1\text{ lb} = 0,45359237\text{ kg}$. Itt már egyenlőségjelet írunk, nem körülbelülít, mert ezek rögzített értékek. Ezek az egységek tehát mindenütt azonosak, de a többi már különböző. A nemzetközi *láb* a *yard* harmada, a *hüvelyk* (*inch*) a *yard* $1/36$ -oda, és így tovább.

Amerikában dolgozva, az európai kísérleti fizikus fő baja az amerikai mérőszalaggal az, hogy a lábat 12 inchre osztja, az *inche*t pedig felezgeti. Amikor tehát kinn egy nagyobb kísérlet geometriáját igyekeztünk feltérképezni, akkor valamelyikünk mérte a távolságot, hogy például 11 láb és $5\text{ egész } 11/32\text{ hüvelyk}$, és a következő méret, mondjuk, 2 láb , $10\text{ egész } 3/8\text{ hüvelyk}$ volt, akkor bizony nehéz volt a kettőt kapásból összeadni vagy kivonni egymásból. Bonyolultabb esetben átszámoltuk a részadatokat milliméterre, összeadtuk-kivontuk, aztán visszaszámoltuk láb+hüvelykre, hogy közérthető legyen.

Amerikai barátaim megkérdezték, milyen magas vagyok. A válaszra, hogy 195 cm, visszakérdeztek, hogy az mennyi. 2,54-gyel osztva mintegy 77 hüvelyk jött ki, de az értetlen arcokat látván még 12-vel osztva 6,4 láb lett, és az sem volt jó. De visszaszorozva a 0,4 lábat 12-vel, kijött 6'5" (amerikai jelöléssel 6 láb 5 hüvelyk), akkor azt mondták: Nahát, tényleg jó magas vagy!

Rengeteg angolszász hosszúságegység van, és a legtöbbet használják is, a köz-napi használatban viszont elég azt tudni, hogy a *yard* kicsit kevesebb, mint 1 m, a *mérföld* meg valamivel több, mint másfél km, az amerikai autópályákon általános 55–80 mi/h sebességhatárolás pedig 88–129 km/h (igen, helyenként ilyen lassú, és általában betartják!). A naiv közép-európai vendég fő problémája nem maga az egység, hanem a különböző egységek közötti véletlenszerű szorzófaktor. Ráadásul az angol mértékreform miatt a legtöbb mértékegység amerikai és brit definíciója különbözik: a láb esetén ez kicsi, 10^{-5} körüli, de számunkra annál érthetlenebb. Igaz, mint láttuk, még Amerikán belül is különbözik aszerint, hogy mire használják.

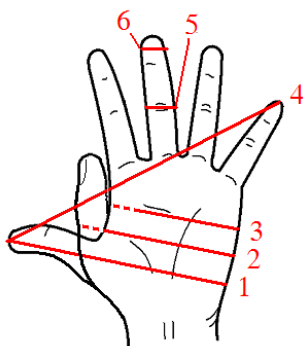
A *hüvelyktől* Európában sem sikerült megszabadulni. A locsolócsövek és vízvezetékek belső átmérőjét máig abban mérik Magyarországon is, feles vagy háromnegyedes a leggyakoribb méret. A faiparban is használatos col néven, mint colos deszka, és habár maga a szó a német *zoll*-ból ered, amelynek értéke tartományonként változott, a mi colunk az amerikai inch-csel egyenlő, 25,4 mm. A colost még emberi méretre is használták, de az jól megtermett férfit jelentett, nem törpét.

A nyolcvanas években egy genfi kísérletünkhöz japán kollégáink amerikai hűtő- és gázrendszert vásároltak, amely, természetesen, amerikai méretezésű alkatrészekkel rendelkezett. Ahhoz, hogy a CERN intézet metrikus rendszeréhez csatlakoztassuk, rengeteg átmenetet kellett készítenünk, rövid réz- és acélcsonkakat egyik felén metrikus, másikon amerikai menetű csatlókkal (2.1. ábra). Hosszú órákat töltöttünk a menetes szerelvények ellenőrzésével. Filctollal kellett ráírni az amerikaiakra a méretet, az európaiat ugyanis ránézésre meg lehet becsülni. Biztosan az amerikaiakat is, csak nem nekünk, és főleg nem, ha összekeveredtek a metrikusakkal. Az egyik gyakori méret, 3/8 in például majdnem 10 mm, látszólag bele is megy a metrikusba, viszont a menete egészen más, ami gyakran csak akkor derült ki, amikor már tönkretettük a menetet az erőltetéssel.

Az angolszász lótenyésztés hosszegysége a *hand* $1\text{ h} = 4\text{ in} = 101,6\text{ mm}$, ezzel a lovak marmagasságát jellemzik (2.2. ábra). Ennél a tizedes pont nem tizedest jelöl, hanem hüvelyket, tehát egy 15.2 handes ló marmagassága 15 hand és 2 inch. A lovak mérete 8 és 18 hand között változik.



2.1. ábra. Kanadai dugókulcs-készlet metrikus (felső sor) és amerikai (alatta) méretben. A metrikus milliméterenként, az amerikai itt 1/16 inchenként változik, de létezik 9/32 inches méret is



2.2. ábra. Balra: A lótenyésztés *hand* hosszegységének eredete, az ábrán 2-es számmal. Jobbra: 15 hand marmagasságú ló



2.3. ábra. Balra: amerikai receptekhez nélkülözhetetlen mérőkanalak: egy és fél evőkanál, egy, fél és harmad teáskanál. Jobbra: babatápszeres mérőpohár milliliterben, valamint angol és amerikai unciában, vegyük észre az utóbbiak különbségét. Jól látszik, hogy az angol pint több, az amerikai kevesebb fél liternél

2.3. Terület, térfogat

MOTTÓ:

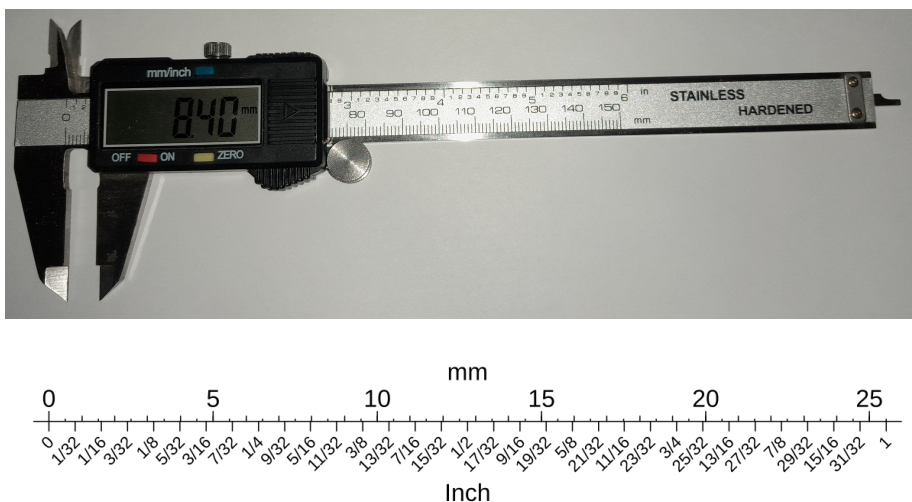
Inni csak mértékkel és tartózkodással szabad.
Mérték a vödör, tartózkodás az asztal alja.

Falfirka

A zavaros hosszúságegységekhez képest az angolszász területmérés logikus és jól kezelhető, egységei az alapvető hosszmértékek négyzetei. A telkeket *acre*-ben (angol hold, $1 \text{ acre} = 10 \text{ chain- négyzet} = 43560 \text{ ft}^2$) mérik, a lakásokat pedig négyzetlábban, amely kicsit kevesebb, mint $0,1 \text{ m}^2$.

A térfogatmérés viszont sokkal bonyolultabb eset. Használják a köbhüvelyket, köblábat és köbyardot, de az túl egyszerű volna. A folyadékokat változatlanul a legkülönbözőbb nevesített egységekben mérik, ezek aztán sűrűn előfordulnak amerikai szövegekben, különös tekintettel a szakácskönyvek receptjeire. Mi is használjuk ezeket, de csak hozzávetőleges értelemben, amíg Amerikában jól meghatározott egységek. Néhány a rengetegből, mutatóban, angolszász étel-receptekből. Legkisebb a *csöpp* (*minim*, $1 \text{ min} \approx 0,062 \text{ mL}$), ott van a *teáskanál* (*tea spoon*, $1 \text{ tsp} = 80 \text{ min}$), az *evőkanál* (*table spoon*, $1 \text{ tbsp} = 3 \text{ tsp}$). A *folyadékuncia* (*fluid ounce*, $1 \text{ US fl. oz.} = 2 \text{ tbsp} \approx 30 \text{ mL}$), konzerveken időnként látható még nálunk is a boltban. Nagyobb egység a *csésze* (*US cup*, $1 \text{ c} = 8 \text{ fl. oz.}$).

Az ivászat alapegységei a *pint* ($1 \text{ pt} = 2 \text{ c}$), amely közel fél liter, a *quart* ($1 \text{ qt} = 2 \text{ pt}$) és a *gallon* ($1 \text{ US gal} = 4 \text{ qt}$). A mérőkanalakra és -edényekre főleg azért van szükség, mert a receptek hemzsegnak a tört egységektől, mint $\frac{1}{2}$ vagy $\frac{1}{3} \text{ tsp}$, amelyeket elég nehéz helyesen megtippelni (2.3. ábra), amellet, hogy minden gyakorlati teáskanál (magyarul inkább kávéskanalat mondunk) mérete különböző. Az, hogy újabban az Amerikában árult mérőkanalakon mL is szerepel, csak a szoktatást szolgálhatja, hiszen mL használata sem amerikai, sem európai ételrecepteken nem szokásos.



2.4. ábra. Fent: Digitális tolómérő inches és milliméteres skálával. Alul: Egy inch hosszúság 1/32 pontosságú összehasonlító skálája milliméterben

Mértékegység	Birodalmi	SI	USA	SI
Uncia (Ounce)	1 (fl.) oz.	28,41 mL	1 (fl.) oz.	29,57 mL
Gill	5 (fl.) oz.	142,07 mL	—	—
Cup	—	—	8 (fl.) oz.	236,59 mL
Pint	20 (fl.) oz.	568,26 mL	16 (fl.) oz.	473,18 mL
Quart	40 (fl.) oz.	1,137 L	32 (fl.) oz.	946,36 mL
Gallon	160 (fl.) oz.	4,546 L	128 (fl.) oz.	3,785

2.1. táblázat. Az angol és amerikai térfogategységek különbözősége. A fl. (fluid) folyadékot jelent, és elvben ki kell írni, mert a másik, csupasz uncia súlyegység, 1 oz. $\approx$ 28 g, csak vízre hasonló. A gill csak Angliában, a cup csak Amerikában használatos

Az angol egységek itt térnek el leginkább az amerikaiaktól, lásd a 2.3. és 2.4. ábrát. Az angol folyadék-uncia kisebb az amerikainál, 1 *imperial oz.* = 0,960 *US fl. oz.* folyadékra és 0,947 *US oz.* száraz élelmiszerre. Az angol *pint* viszont nagyobb az amerikainál, mert 1 *imp. pint* = 20 *imp. fl. oz.* = 568,261 mL, a váltószám tehát nem 16, mint Amerikában, ahol emiatt 1 *US pint* = 473,176 mL. A különbség nagyobb egységekre még növekszik, mert 1 *imp. quart* = 40 *imp. fl. oz.*, nem 32, és 1 *gallon* = 4 *quart* mindkét rendszerben, de 1 *imp. gallon* $\approx$ 1,2 *US gallon* $\approx$ 4,546 L. A *quart* nem tévesztendő össze a *quarterrel*, amely sokkal nagyobb, már hordóméret, Angliában 64 *gallon*. Ezeket a 2.1. táblázat foglalja össze. Érdekes benne, hogy az angol egységek 5-10 unciával ugranak, az amerikaiak pedig 2 hatványaival.

Külön osztályt képeznek a patikaegységek, amelyek Angliában a pinten alapulnak és a 19. század végén rögzítették őket. Nálunk természetesen azok is súlyra mennek.

Egészen zavaros ebben Kanada helyzete, erre jó példa a 2.1. ábra kanadai dugókulcs-készlete. Elvben jórészt metrikus, tehát az angol unciában mérik az ott gyártott folyadékokat, de metrikus mennyiséget feltüntetve. Ugyanakkor rengeteg dolgot Amerikából hoznak be, amelyeken természetesen amerikai unciák és pintek lesznek, metrikus nélkül. A kanadai és amerikai sört például egyaránt 12 unciás üvegben árulják, de a kanadaiban 341 mL, az amerikaiban pedig 355 mL sör van. Recepteknél is ellenőrizni kell, hogy UK vagy USA unciában vagy pintben értik-e az előírt mennyiséget.

Magam naivul mindig azt hittem, hogy amikor 1000 tonnás hajóról olvasok, az valamiféle lehetséges terhelési súlyt jelent. Csak amikor ezen a könyvön dolgoztam, derült ki számomra, hogy a hajózási *regisztertonna* 100 köbláb (közel 3 m³) térfogatot jelent. Ez lehet bruttó (BT) vagy nettó (NT) (*gross* vagy *net tonnage*) aszerint, hogy a teljes hajótérfogatról, vagy csak a teherszállító kapacitásról van szó. A legnagyobb hajók nem a szállító, hanem az üdülőhajók: van, amelyik BT-je 200000 feletti.

Amikor a nyolcvanas években Kanadában dolgoztam, egy ősrégi, hatalmas Chevrolet Impala SW autóm volt elől három üléssel és akkora csomagtartóval, hogy a biciklimet bele tudtam keresztben rakni. Nem is lehetett vele parkolóházban parkolni, olyan széles és hosszú volt. Nyolchengeres motorja 480 köb-inches volt, azaz csaknem 8 literes; a tankjába 30 USA-gallon benzin fért.

Egyébként a naiv európai megzavarására az angolszászok minden anyagot másféle űrmértékben mérnek, a búzát, például, *bushelben*, amely Angliában 8 *imp. gallon*, Amerikában pedig 2150,42 *köbhüvelyk*, de literben nem pontosan ugyanannyira jön ki. Újabban a bushelt inkább súlymértéknek tekintik, és mindenféle mezőgazdasági termékre más súllyal definiálják. Búzára 60 fontnak felel meg, de vicces módon zabra Angliában 38, Kanadában 34, az Egyesült Államokban 32 fontot jelent.

A kőolaj mértéke a *hordó*, amely az egyszerűség kedvéért Angliában 36 *gallon (barrel oil)*, az USA-ban pedig 42 *gallon (petroleum barrel)*, egyébiránt pedig majdnem pontosan egyenlőek 159 liter körül. A lexikon szerint van még jó pár egzotikus angolszász térfogategység, de azokkal, szerencsére, nemigen van alkalmunk találkozni. Jó sok angol egységet sorol fel egyébként a [14] honlap,

metrikus szemmel nézve jót lehet rajtuk derülni.

Újabban Nagy-Britannia és az Egyesült Államok is igyekszik a népet a metrikus egységekhez szoktatni. A 2.4. ábra felső részén gyermektápszeres mérőpohár látható tejjel töltve, és meglepő módon metrikus, amerikai és angol térfogatskálával. Az ábra alján pedig egy mérőskála látszik: 1 inch összehasonlítása 1/32-es lépésben milliméterrel, mintegy magyarázatként amerikaiaknak, hogyan értelmezendő egy kis metrikus hossz.

A 2.3. ábra háromféle konyhai mérőeszközt mutat. Az angol-amerikai receptekben ugyanis ezek az egységek szerepelnek: kis mennyiségekhez mérőkanalakat, nagyobbakhoz pedig mérőpoharakat kell használni, mert a recepteken ezek az egységek szerepelnek. A mi konyhánkban elég egy mérleg és egy skálázott (fél)literes mérőedény. Vegyük észre a különbséget a két edény között: az angol pint több, az amerikai kevesebb fél liternél. Pozitív fejlemény, hogy újabban az edényeken gyakran van metrikus skála is, illetve a kanalakon szerepel az *igazi* térfogatuk is mL-ben.

2.4. Tömeg, súly

MOTTÓ:

Mi az összefüggés tér, idő és tömeg között? Ha jó az idő, a tömeg lemegy a térre.

Falfirka

Súlyegységből mindenütt legalább ugyanannyi létezett, mint a hosszúságé, és jó pár máig fenn maradt. Rendkívül érdekes, mondhatni mulatságos a brit *avoirdupois* súlyrendszer története. A szó francia eredetű (bocsánat, nem fordítjuk le az angol egységeket a font, láb és uncia kivételével), franciául *súlylyal rendelkező*, de inkább súlyra árult dolgot jelent; egységes angol kereskedelmi mértékrendszer, amely azonban nem vonatkozik patikaszerre, nemesfémekre és drágakövekre.

Angliában I. Erzsébet vezette be hivatalos súlyegységként a kisebb korrekciókkal ma is használt, frangolul hangzó *avoirdupois pound*-ot (magyarul egyszerűen csak angol fontot, mint súlyegységet). Rövidítése a latin *libra* (mérleg) után lb, $1 \text{ lb} = 0.45359237 \text{ kg} \approx 453,6 \text{ g}$. Kisebb egysége az *uncia* (1 oz = $1/16 \text{ lb} \approx 28,35 \text{ g}$), a *dram* (korty) (1 dr = $1/16 \text{ oz} = 1/256 \text{ lb} \approx 1,772 \text{ g}$) és a *grain* (gabonaszem) (1 gr = $1/7000 \text{ lb} \approx 64,8 \text{ mg}$). Többszörösei a *stone* (kő) (1 st = 14 lb), a *quarter* (1 qt = 2 st = 28 lb), a *hosszú hundredweight* (1 cwt = 4 qt = 112 lb) és a *hosszú tonna* (1 t = 20 cwt = 2240 lb $\approx 1016 \text{ kg}$). Vegyük észre, milyen közeliek a tonnáink! Angliában a szállodai fürdőszobamérlegek gyakran stone-ban mérik a testsúlyt, aztán találgathatjuk, sok vagy kevés a 10 körüli testsúlyunk.

Az angol és amerikai polgárokat próbálják a metrikus egységekhez szoktatni, rengeteg olyan angol és amerikai mérőeszközt látni, amelyeken a helyi egységen kívül metrikusban is van skála, ilyenek például a 2.5. ábra fürdőszobai személymérlegei.



2.5. ábra. Fürdőszobai mérleg Angliából. A külső, nagy skála *stone*-ban, a kisebb benti kg-ban mér.



2.6. ábra. Balra: Brillíansra csiszolt 1 karátos gyémánt. Jobbra: 1 troy unciás svájci arany-lemez

Amerika átvette az angol mértékrendszert, de nem követte az angol korrekciókat, és a két rendszer kissé eltávolodott egymástól, akárcsak a hosszegységeknél. Az amerikai *font*, *uncia* és *dram* azonos az angollal, de a nagyobb egységeket összezavarta az angol *stone*: Amerikában a *quarter* (1 qr = 25 lb), a rövid *hundredweight* (1 cwt = 4 qt = 100 lb) és a rövid *tonna* (1 t = 20 cwt = 2000 lb $\approx$ 907,2 kg) lényegesen kisebb az angol megfelelőknél.

A patikaszereket és nemesfémeket az angolszász országokban a régi angol *troy* súlyegységekben mérik. A *grain* azonos az *avoirdupois* és *troy* rendszerben, de a *troy fontot* 12 *troy unciára*, a *troy unciát* 20 *pennyweightre*, az utóbbit pedig 24 *grainre* osztják: a két rendszert tehát a *grain* köti össze egymással és az *avoirdupois fonton* keresztül a metrikus rendszerrel. Tehát ha egy uncia aranyról olvasunk, az 1 *troy unciát*, azaz 31,1 g nemesfémeket jelent. Összehasonlítva a *troy* rendszert a régi angol pénzekkel, kiderül, hogy az eredeti angol font pénzben ugyanúgy 240 pennyre osztódott több fokozatban, mint ahogy a súly *troy fontja*

240 *pennyweight*re, innen az elnevezése.

A drágakövek és az igazgyöngy súlyát karátban mérjük. 1907 előtt a karát minden országban más súlyegységnek felelt meg, a ciprusi 187 mg-tól egészen a livornói 216 mg-ig. 1877-ben bevezették a nemzetközi karátot 205 mg-mal, majd 1907-ben a metrikusat 200 mg-mal, ez a mai elfogadott karát egység mindenütt, csudamód még az angolszász országokban is: 1 ct = 200 mg.

2.5. A birodalmi egységek előnyei

Igencsak szórakoztatók az angolszász birodalmi mértékegységeket védelmező cikkek. Az alapkérdés persze az, hogyan lehetséges, hogy a világ három országa, az USA, Mianmar és Libéria nem tért át a metrikus rendszerre. Ezek az eszmefuttatások ugyanis Nagy-Britanniát és Kanadát általában már metrikusnak tekintik, és meglepő módon (gondolom, szemérmességéből) az Amerikában használatos *szabványos* helyett az angol *imperial*, *birodalmi* jelzőt használják rá. Szerintük a birodalmi egységek sokkal praktikusabbak a mindennapi életben, mint a tudományos alapú metrikusak. Egyikük kiváló példának tekint egy angol magasságkorlátozó útjelző táblát, amelyre 14 ft és 4267 mm van festve. A konyhai használatra pedig a teáskanál, evőkanál, pohár (cup) sokkal praktikusabb egységek, mint a gramm. Ezzel szembe lehet persze szegezni, hogy (1) építhették volna az út feletti akadályt kereken 4 vagy 5 méterre, de nyilván a metrika előtt készült, és (2) a feleségemnek be kellett szereznie a megfelelő térfogatú mérőkanalakat és mérőpoharat (2.3. ábra), hogy követni tudja az amerikai recepteket, amíg egy európai recepthez csak egy kis mérleg kell.

Másik védelmező kimondja, hogy a birodalmi rendszer sokkal közelebb áll az emberi gondolkodáshoz, mint a metrikus, hiszen kinek jutna eszébe méterben gondolkodni a testmagasságot illetően a természetes láb helyett? Ezt még kimondani is szörnyű, hiszen a legtöbb mindennapi méretünkhöz a mm vagy cm túl kicsi, a méter meg túl nagy. Ugyanakkor viszont a felhőkarcolók magasságának becsléséhez a méter túl kicsi, a km meg túl nagy, ezért az emeletek számával jellemezzük, hiszen mindenkinek van elképzelése arról, milyen magas egy emelet. Remek példa az amerikai egységek hasznosságára a fizikában, hogy a fény sebessége közel 1 láb per nanoszekundum.

A mérföldet is hatékonyan védik. Egy védelmezője azt írja: a *mile* a latin *mille* ezerből ered, hiszen éppen ezer lépésnek felel meg a hossza. Nem kell óriásnak lennie, aki másfél métereseget lépeget, mert a jobb+bal együtt számít lépésnek.

Ugyanakkor persze több védelmező hangsúlyozza, hogy nincs értelme a fizikai állandókat birodalmi egységekben kifejezni, pedig én láttam még ilyen táblázatokat Amerikában.

Az áttérés metrikus rendszerre nem könnyű, amint azt Kanada esete szépen példázza. Ott is, akárcsak Angliában, betiltották a piacon a fontban való mérest és árazást, és állítólag el is koboztak árusoktól fontban mérő mérlegeket. Amint említettük, 1976-ban Kanada hivatalosan áttért a metrikus rendszerre, és az körülbelül ugyanannyi ideig élt ott, mint Franciaországban Napóleon ide-

jén: 1985-ben Kanada visszavonta a törvényt és újra megengedte az angolszász mértékrendszer használatát. Jelenleg tehát együtt él a két rendszer. A piacon 1 font gyümölcs árát írják ki az árusok, viszont a kanadai sebességkorlátozó táblák km/h-sak, az autók fogyasztását pedig az Amerikában szokásos mérföld/gallon helyett, azaz hány mérföldet tesz meg a kocsí 1 US gallon ($\approx 3,85$ L) benzinnel, az európai L/100 km-ben adják meg. Vegyük észre a szemléletbeli különbséget: Amerikában az egy gallon üzemanyaggal megtehető úthosszat, Európában inkább az egységnyi út költségét tartják fontosnak.

Amit egy amerikainak nehéz felfognia, mi már Európában metrikusan gondolkodunk. A nyolcvanas években egy kanadai diákunk, aki soha nem járt Európában, nem akarta elhinni, hogy egy ország tényleg metrikus lehet, nemcsak úgy félig-meddig, mint Kanada. Megkérdezett mindenféle magyarországi adatot: milyen magas vagyok (ez cm lett); mekkora a súlyom, mondtam, hogy mi úgy kérdezzük, hány kiló vagy; és mekkora az otthoni lakásunk (négyzetméter). Ezekbe még belepihent, de amikor megtudta, hogy nálunk 10 tojás van egy dobozban, kiborult, hogy az már tényleg képtelenség, egy tucatnak kell benne lennie.

A tudomány metrikus és a közélet angolszász mértékegységei meglehetősen zavart jelentenek Amerikában. Egyik legelképesztőbb példa erre a 650 millió dolláros Mars Climate Orbiter űrmisszió, amely a NASA hivatalos elemzése szerint főként azért veszett oda, mert 57 mérföld helyett 57 km magasan léptették be a Mars légkörébe. A hivatalos jelentés persze ennél diplomatikusabban fogalmaz: egyrészt közli aényt, hogy a tervezett 80-90 km-es magasság helyett 57 km-en lépett be a légkörbe, másrészt pedig hibaként felrója, hogy nem váltottak át bizonyos mennyiségeket metrikus egységekre. Hasonló hiba csaknem súlyos repülészerencsétlenséget okozott 1983-ban Kanadában. Ahogy Hágy György írja hihetetlenül érdekes könyvében (Légi balesetek pilótaszemmel, Typotex, 2006), egy hibás üzemanyagmérővel rendelkező Boeing 767-be az előírt 22300 kg kerozin helyett csak 22300 fontnyit töltöttek, úgyhogy félúton egyszerűen leállt a motor, és csak szerencsés véletlenek összejátszása (és persze a pilóták lélekjelölése) mentette meg az utasok és a személyzet életét.

Téved, aki azt hiszi, hogy mi ezeket a furcsa angolszász egységeket egyáltalán nem használjuk. A vízvezetékek csöveit már említettem. Az autógumik méretezése elképesztő módon mind a metrikus, mind az angolszász egységeket használja: a 185/65R15 jelű kerék 185 mm széles futófelületű radiál gumi, amelynek magassága a szélesség 65%-a és egy 15 inch átmérőjű keréktárcsára, felnire illeszthető. A TV-képernyők és monitorok átmérőjét is gyakran inch-ben adják meg, én ezt a cikket egy 14 inches monitorú laptopon gépelem, de a laptopok leggyakoribb képernyőmérete nagyobb, 15,6 inch. Gyerekkoromban bizonyos konzervek címkéin egészen furcsa mennyiségek szerepeltek, gyakori volt például a 28,35 g töltő súly (vagy annak többszöröse), amely éppen 1 oz (uncia), nyilván Amerikába szánt áru csomagológépén készült.

3. fejezet

Egyéb közhasznú egységek

3.1. Pénzegységek

MOTTÓ:

Sikerült a hatezer forintos bankjegyemet elsütönm.
Felváltották két háromezresre.

Falfirka

A pénz történetét rengetegen megírták, itt csak a környékünkre szorítkozzunk. Az európai országok az euro bevezetése előtt általában ragaszkodtak történelmi pénznevükhöz, infláció után egyszerűen levettek két-három-négy nullát az egységből, megtartva a nevet. Ez történt nemrégiben Oroszországban a rubellel, Romániában a lei-jel, Franciaországban a frankkal és Lengyelországban a zlotyval. Magyarország kivétel. Ennek nyilván a különböző külföldi befolyásolás, újabban pedig világrekord-méretű inflációink az oka. Szent István ezüstdénárja (latin *denarius*ból), majd az azt követő, nagyobb ezüstgarast (vicces módon a latin „vastag dénár”-ból: *grossus denarius*) a 14. században követte a firenzei (fiorentino) mintára kibocsátott aranyforint, más néven dukát, amelyet más európai országok is átvettek tőlünk. A török időkben jelent meg a tallér (német eredetije thaler vagy taler a *thal* völgyből, abból lett a dollár), a monarchia idején pedig az ezüst-alapú, majd később arany-alapú forint: nem volt nemesfém, de rögzítették az értékét nemesfémekben.

A papírpénzt (és réz aprópénzt) nálunk Mária Terézia vezette be (annyi más reformja mellett), önálló magyar papírpénz viszont először a Kossuth-bankó lett a 48-as forradalom idején. A különböző országok gyakran súlyegységekre emlékeztető pénzneveket használnak, mint a font, a sékel és a peso, vagy használtak, mint a líra, a drachma vagy a márka. 1892-ben vezették be nálunk a koronát, amely az első világháború után annyira (14500-szorosan) inflálódott, hogy 1926-ban megszületett helyette a pengő, majd újabb őrült infláció (1946 júliusában a pengő az eredeti értékének 10^{-20} -od részét érte) (3.1. ábra) után 1946-ban



3.1. ábra. Az 1946-os hiperinfláció legnagyobb, de már forgalomba nem került 10^{21} pengős bankjegye

a ma is létező forint. A hivatalos átváltás 1946 augusztus 1-én a tökéletesen felfoghatatlan forint $\leftrightarrow$ pengő átváltás helyett arany alapú volt: 1 kg arany = 13 210 Ft, azaz 1 Ft = 0,0757 gramm aranynak felelt meg.

A legtöbb országban, Anglia kivételével, már a középkorban tizedes váltószámú váltópénzeket használtak, általában 100 kisebb egység ért egy nagyobbat. A forint bevezetésekor 1 és 5 forintos, valamint 2, 5, 10, 20 és 50 filléres érméink voltak (3.2. ábra), továbbá 10, 20, 50 és 100 forintos papírpénzeink, 1 forint 100 fillért ért. Fennállása 75 éve alatt a forint értéke az aranyhoz képest háromezerredrészére csökkent, és azt követték a címletei: jelenleg, azaz 2026-ban 5, 10, 20, 50, 100 és 200 forintos érmék, valamint 500, 1000, 2000, 5000, 10000 és 20000 forintos papírpénzeink vannak. A rendszerváltás 1990 körül több kelet-európai országban akkora inflációt okozott, hogy le kellett jó pár nullát faragni a pénz értékéből, bár a nevét nem változtatták meg. Mi ezt szerencsére megúsztuk. Pénzeink az 1-2-5-10 logikát követik, és általában hatféle érem és bankjegy van forgalomban (a lyukas kétfilléres soha nem volt komolyan véve, inkább szimbolikus volt).

Ettől nagyon különbözött a szovjet pénzrendszer logikája. A 70-es években rubel volt az alappénz és kopejka a századrésze, egy rubel mintegy 20 Ft-ot ért. Ami meglepő volt, az a bankjegyek és a pénzérmék nagy száma. Bankjegyek 1 rubeltől 500 rubelig voltak, váltópénz meg kilencféle: 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 50 kopejkás és 1 rubeles (3.3. ábra). Egyrubeles tehát bankjegyben és érmében is használatos volt. Külföldieknek a 3 és a 15 kopejkás meglehetősen zavaró volt, számomra nehéz volt összeadni a többivel.

Váltópénzben az újkori Anglia a rekorder. Áttért ugyan az 1 font = 100 új penny pénzre, de megtartott több korábbi érmét, amelyekre persze nem volt ráírva, hány új pennynek felelnek meg, azt csak a fonthoz viszonyított régi arányukból lehetett kiszámolni. Eredetileg ugyanis Anglia pénze a Nagy Károly által a 8. században bevezetett LSD (nem a kábítószer, hanem a latin *librae*,



3.2. ábra. Felső két sor: forintos-filléres érméink 1989 előtt. Alsó két sor: a közelmúlt és jelen forintos érméi



3.3. ábra. Szovjet pénzérmék 1961 után



3.4. ábra. Euró előtti olasz 50 és 100 lírás nagyban és kicsiben

solidi, *denarii* rövidítése, ezért angolul £sd a jele) karoling rendszert követte, amelyben a font ténylegesen egy font ezüstöt jelentett, abból vertek 20 solidust vagy 240 dénárt. Ez csaknem ezer évig, országonként más-más nevekkal és különböző átszámítással egész Európában működött, amíg a kontinens át nem tért a tízes osztású pénzre. Az angol font (pénz) £ jele is a latin librából ered, akár a súlyos font lb-je. Tehát az új *penny* előtt: 1 £ = 20 *shilling* = 240 *penny* volt. A 60-as évekig még jó pár más egységet és hozzájuk tartozó érmét is használtak: fél- és negyedpenny (ez volt a *farthing*), hárompennys, hatpennys, *shilling* = 12 penny, *florin* (= 2 shilling), *crown* (= 5 shilling) és *half-crown* (= 2,5 shilling). Az 1 fontos arany érme neve *sovereign* volt. A felső osztálynak derogált a 20 shillinges font, helyette szerették a 21 shillinges *guinea*-t használni. Eredetileg negyed unciás aranypénz volt a guineai aranybányákról elnevezve, 1 £ értékben, de az arany megnövekedett ára miatt később 21 shillingben rögzítették. Az angol versenyllovakat még ma is guinea-ben árvezetik és fontban fizetik: az 5% különbség a közvetítő díja.

A francia forradalom érdeme a tizedes osztású pénz is, de ők eredetileg háromfélt gondoltak: az új francia frank tizedét decime-nek, századát centime-nek hívták, abból a centime máig fennmaradt az euroban is. Az egész világon gond a legkisebb éremcímletek előállítás, többbe kerül ugyanis, mint az érem pénzértéke. Óvatos becslés alapján egy jelenlegi ötforintosban 11 forintnyi fémtartalom van. Olaszországban az *euro* bevezetése előtt olasz *lira* volt a fizetőeszköz, 1 USD $\approx$ 1000 lira átváltással. Tekintettel a fém értékére, készítettek 50 és 100 lírás érmét sokkal kisebb méretben is, a két méret együtt volt forgalomban (3.4. ábra).

A pénzérméknek általában (bece)nevük van a különböző országokban. Az USA egydollárosa ugyan létezik érmében, de inkább bankjegyben használják. Viszonylag kevés váltópénze van, az 1 centes neve *penny*, az 5 centesé *nickel* (tényleg nikkelből van), a sokkal kisebb 10 centesé *dime*, a 25 centesé pedig *quarter* (negyed). Létezik 50 centes érme is (*half*, *fél dollár*), de nagyon kevés van forgalomban. A centes pénzérmékre az 1 és 5 centes kivételével a nevük van rávésve, tehát a 10 centesen "ONE DIME", a 25 centesen "QUARTER DOLLAR", az 50-esen "HALF DOLLAR" (3.5. ábra). A *penny* csak becenév az 1 centesre, a *dime* viszont a latin decima, tizedből ered, akárcsak a mi decink. A



3.5. ábra. Amerikai pénzermék: 1, 5, 10, 25, 50 centes és 1 dolláros. Ahol vannak számok, az egységet betűvel kiírják, *cent* helyett a 10 centesen „ONE DIME”, a 25-ösön „QUARTER DOLLAR”, az 50 centesen pedig „HALF DOLLAR” áll.

25 centest nevezik *two bits*nek is, mert amikor még nem létezett amerikai pénz, a mexikói spanyol *peso*t nyolc részre, bitre vágták (a *peso* ugyanis 8 *real*t ért), és azt használták váltópénznek, ezért a negyeddollároson rajta ragadt ez a név is.

A kanadai pénzermék (3.6. ábra) ugyanolyan felosztásúak és becenevűek, mint az amerikaiak, de ott nem a nevet, hanem az értéket vésik rájuk, ahogyan nálunk, Európában is, és általános forgalomban van 1 és 2 dolláros érme is, az utóbbi hasonlít a mi 100 Ft- osunkra.

A nemzeti bankok szeretnek speciális, ünnepi érméket kibocsátani, erre általában kinéznek egy váltópénz-érmét, és azt variálják. Ilyen például Amerikában a 25 centes, Európában a kéteurós, vagy volt a Szovjetunióban az 1 rubeles. Már közel a SzU széteséséhez kibocsátottak egy sorozat 3 és 5-rubelest különböző ünnepi ábrákkal, a szerző gyűjteményéből megmutatunk 9 ilyen ötrubelest (3.7. ábra), amelyek már nem kerültek forgalomba. A Magyar Nemzeti Bank inkább speciális alkalmakkor dedikált érméket ver, bemutatunk két ezüstpénzt, amelyeket Wigner Jenő és Eötvös Loránd fizikusok tiszteletére vertek 3000 Ft és 10000 Ft értékben, a hátsó felükön a fizikus képe látható egy-egy híres művével (3.8. ábra). Elvben törvényes fizetőeszközök, de megnézném annak a bolti pénztárosnőnek a tekintetét, aki megkapná készpénzként a Wignernek szentelt ovális háromezer forintost.

Az Európai Unió legtöbb újabb tagországa (hazánk is) belépésekor vállalta, hogy bevezeti a közös pénzt, az eurót, ennek 21 ország eleget is tett a 27-ből,



3.6. ábra. Kanadai pénzérték: 1, 5, 10, 25, 50 centes és 1 dolláros. Vegyük észre hasonló értéküket és méretüket az amerikai érmékhez

két másik pedig a küszöbén áll. A bankjegyek közösek, az érmék országonként változnak. 2013-ban nem nyomtattak több 500 euróst és megváltoztatták a bankjegyek képét, de a régiek is érvényben maradtak (3.9. ábra). Az érmék egyik lapja közös, a másik szabad préda. Van, ahol az összes érme nemzeti oldala egyforma vagy esetleg kétféle, és van, ahol mind különböző (3.10. ábra). Nagyon sok eurós emlékérme született, ezek általában 1 vagy 2 eurósok.

Külön érdekesség Svájc bankjegy-politikája. Először is létezik 1000 frankos, ez a legnagyobb értékű bankó, amelyet életemben láttam, a világ második legértékesebb bankója Brunei 10000 \$-osa után. Svájc néhány évente az összes bankjegyet lecseréli, a régiek érvényüket veszítik és csak svájci bankban lehet őket újra cserélni. A jelenlegi kilencedik sorozatot 2016-ban vezették be és 2021-ben vonták ki a nyolcadikat a forgalomból. A forgalomból kivontakat 20 évig lehet érvényesekre cserélni: eddig háromszor kellett genfi bankban lejárt bankjegyet cserélnem. A forgalomban a hatodik sorozatot 1995-ben a nyolcadik követte: sajátos módon a hetediket megtervezték, kinyomtatták, de sohasem hozták forgalomba, a nyolcadik kibocsátása után pedig az összes hetediket megsemmisítették.



3.7. ábra. Szovjet ötrubeles érmék turista nevezetességekkel



3.8. ábra. A Magyar Nemzeti Bank által Wigner Jenő és Eötvös Loránd emlékére kibocsátott 3000 és 10000 forintos ezüst pénzérme



3.9. ábra. Eurós bankjegyek 2013 előtt és után (Wikipédia)



3.10. ábra. Eurós pénzérték közös előlapja



3.11. ábra. Az 1 eurós pénzérmék egyedi hátsó lapja 15 országból

3.2. Földrajz

MOTTÓ:

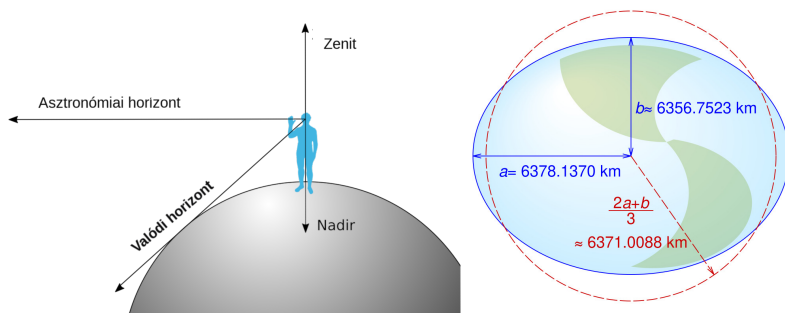
- Gyere Szergej, menjünk Novgorodba, állítólag remek cipőket lehet ott kapni!
- Miért mennék egy cipőért 200 km-t innen Leningrádból Novgorodba?
- Nem kell olyan messze menni, idáig ér a sor.

Klasszikus szovjet vice

3.2.1. Földrajzi helymeghatározás

A földrajznak sajátos mértékegységei vannak. A földterületekét már korábban tárgyaltuk, itt a földrajzi helyzetmeghatározás következik. Az irányok a Nap járásához igazodnak, és emiatt nyelvenként meglehetősen különbözik a nevük: a Nap magyarul keleten kel fel és nyugaton nyugszik le, délben van felettünk, az észak pedig az éjjellel kapcsolatos (*éj-szak*). Ezeket kombinálni szoktuk, mint észak-kelet 45 fokos szöghöz a kettő között, vagy dél-dél-nyugat közelebb a délhez, mint a nyugathoz. Ezeket kulturális célra is használjuk: Európában a Nyugat a keresztény civilizációt jelentette évszázadokig, jelenleg inkább a liberalizmust jelképezi. Olaszországban és Nyugat-Európában az Észak a fejlettebb régiót jelenti. Amerikában a keleti rész volt fejlettebb, ezért hívtak bizonyos kalandfilmeket (*vad*)nyugatnak, *westernnek*.

Földrajzi nevezetes szögek az arab nyelvből származó *zenit* függőlegesen felfelé, a *nadír* függőlegesen lefelé mutató, a görögből átvett *horizont* pedig vízszintes



3.12. ábra. Balra: Zenit és nadír, csillagászati és valódi horizont. Jobbra: A Föld egyenlítői, sarki és átlagos sugara a WGS84 rendszer szerint



3.13. ábra. Balra: A nulla kilométerkő Budapesten. Jobbra: Hajózásban használt szextáns a földrajzi helymeghatározáshoz

(3.12. ábra). Az utóbbi lehet csillagászati horizont, amely valóban vízszintes, tehát merőleges a zenit–nadír vonalra, és a megfigyelési (vagy valódi) horizont, amely a szemünket követve a Föld felületéhez simul. *Zenitszögnek* hívják egy csillag látszólagos magassági szögét a zenithez, azaz a függőlegeshez képest.

A földrajzi koordináta-rendszer két koordinátával, a földrajzi szélességgel és hosszúsággal egyértelműen meghatározza helyzetünket a Föld felszínén. A szélesség a helyzeti pontunkat a Föld középpontjával összekötő egyenes és az Egyenlítő síkja közötti szög, északra pozitív, dél felé negatív (3.12. ábra). Az északi sark szélessége ennek megfelelően +90 fok, a déli sarké -90 fok. *Meridiánnak* hívjuk a két sarkot összekötő, helyzetünk pontján átmenő *délkört*. A hosszúsági koordináta a meridiánunk és a Greenwich Obszervatóriumon átmenő *kezdőmeridián* által bezárt szög. Ezt megadhatják fok-perc-másodpercben, vagy tizedesfokban: jelenleg az utóbbi a szokásos. Magyarországon a földrajzi távolságokat a budapesti Lánchíd budai hídfőjénél álló *Nulla* szobortól mérjük (3.13. ábra); annak helyzete: északi szélesség 47,498970 fok és keleti hosszúság 19,043604 fok, avagy a régebbi jelölésben (é. sz. 47° 29' 56", k. h. 19° 02' 37").

Azt, hogy a Föld felszíne görbült, a hajósok több ezer éve tudják, azt vi-

szont, hogy rendkívül jó közelítéssel gömbölyű, csak Püthagorasz óta. A Föld tehát nem lapos, szükség van egy harmadik koordinátára. Kisebb magasságokat (hegyekét) és mélységeket (bányák, tengerek) az átlagos tengerszinthez képest adunk meg, a nagyokat a Föld középpontjához mérjük. A helyzetet tovább bonyolítja a Föld szabálytalan alakja, de az jól modellezhető egy kissé belapult forgási ellipszoiddal, mert még a legnagyobb felületi egyenlőtlenségek, a Mount Everest (Csomolungma) a +8848 m és a Mariana árok (-10994 m) különbsége is csak a Föld átmérőjének 0,2 %-a, a legtöbb gyakorlati alkalmazáshoz elhanyagolható. Dacára Földünk forgási ellipszoid alakjának, a belapult Antarktiszt átlagosan 2300 méterrel a tengerszint fölé magasodik, és a jégpáncélja közel 3 km vastag. Furcsa, hogy még mindig vannak, akik a lapos Földben hisznek, egy tengeri hajóút sem ingatja meg őket.

Legrégibb helymeghatározó eszközünk az iránytű, bár gyermekkoromban anyám séta közben felhívta figyelmemet a fák északi, mohos oldalára. Az iránytű egy kis szabadon forgó mágnes, amely Észak felé mutat. Ma is elterjedten használatos, mert zsebben elfér. Nem véletlenül hívják a közönséges dipólmágnes pólusait északinak és délinek. Az északhoz képesti szöget mutatja, az iránytűt megfelelően tartva 0° észak lesz, 90° kelet, 180° dél és 270° nyugat. Térképre téve könnyen eldönthetjük, merre van az úti célunk Ugyanakkor persze egyszerűbb elővenni az okos telefonunkat és bekapcsolni a GPS applikációt rajta.

A pontos helymeghatározás elsősorban a hajózáshoz kellett. Ehhez a hosszúsági és szélességi fokokat mérték meg, amit a hajósok a *szextánnal* (3.13. ábra) végeztek. A földrajzi szélességet a delelő Nap szögéből állapították meg, de csillagokhoz (főleg a Sarksillaghoz) viszonyítva is mértek vele helyzetet, navigáltak. Nevét a latin hatodrészből kapta, lévén nyílásszöge általában a kör hatoda, azaz 60° .

3.2.2. GPS és társai

A manapság domináns műholdas helymeghatározó rendszer, a GPS (Global Positioning System) hihetetlenül pontos időméréssel működik: az autónkban vagy telefonunkban működő vevő saját helyzetét abból határozza meg, mennyi idő alatt érkezett meg a jel a műholdról. A GPS-hez kapcsolt helyzetmeghatározást eredetileg az USA hadügyminisztériuma dolgozta ki, a neve WGS (World Geodetic System), a legutóbbi változata a WGS84 rendszer (3.12. ábra). Azt a különböző gravitációs és egyéb hatások még a konkrét dátumtól, sőt az évszaktól is függővé teszik, tehát a rendszert egy dátumhoz rögzítik. A hazai rendszer a HD72 (Hungarian Datum 1972) nevet viseli.

Az USA egy szovjet légtérbe tévedt koreai utasszállító 1986-os lelővése után tette elérhetővé GPS-rendszerét a Föld lakossága számára, persze megfelelően (kezdetben igencsak, később kevésbé) lebutítva, tehát az Internethez hasonlóan eredetileg azt is az USA Hadügyminisztériuma számára fejlesztették ki. Az Egyesült Államokkal párhuzamosan természetesen a többi nagyhatalom is kidolgozott hasonló rendszereket, hiszen háború esetén az USA nyilván lekapcsolná az ellenfelek felé a sajátját. Az orosz rendszer például sokkal pontosabban működik az Északi sark környékén, mint az amerikai, de Kínát és Indiát is lefedi

hasonló rendszer. Az Európai Unió is kidolgozta a saját rendszerét.

A szatellites helymeghatározáshoz általában 4 műholdat kell egyidejűleg látnunk; a Föld teljes felületének letapogatásához ehhez legalább 24-nek kell keríngenie a Föld körül. Az amerikai rendszerben jelenleg 31 működik, 8 van tartalékban. Elvben cm-es pontosságú, ahhoz azonban már figyelembe kell venni több korrekciót is: a műholdak mozgásából származó relativisztikus időhosszabbodást, valamint a Föld szabálytalan alakjából és változó anyagsűrűségéből eredő, Einstein-féle gravitációs hatást. Ezek jelentős hatások, hiszen miattuk a műholdak órája napi 36 μ s-ot sietne, figyelmen kívül hagyásuk tehát km-es távolsághibához vezetne. A GPS műholdakon egymáshoz igazított atomórák vannak. A műholdak rádióhullámon sugárzásimpulzusokat küldenek a vevőnek együtt a műhold helyzetével és a küldés pillanatával. A vevő az érkezési idők alapján mért távolságokból számítja ki a saját helyzetét. Ebből természetesen csak a helyzetet meghatározó koordinátákat tudjuk meg, a tájékozódáshoz pontos térkép is kell, amely az adott GPS-vevőhöz, a navigátorunkhoz tartozik. Az autók GPS-e általában legalább négy, az okos óráké viszont inkább nyolc GPS-műhoddal van egyidejű összeköttetésben.

Készült EU-s, orosz, kínai és indiai hasonló rendszer is, de mi az amerikai GPS-t használjuk. Az autóinkban működő GPS-rendszer pontossága mintegy 30 cm. Az orosz rendszer, a GLONASSZ (*Globális Navigációs Szatellit Szisztéma*, történetesen magyarul is stimmel az orosz rövidítés, mert a nemzetközi szavak ottani változatából áll) 24 műhoddal üzemel. A kínai BeiDou-3 rendszer 30 műholdas, és statikus tárgyakra mm-es pontosságot ér el. Az indiai Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS) csak 7 műhoddal működik, az EU Galileo rendszere viszont 27 műholdas. Az amerikai GPS-t 1973-ban dolgozták ki és 1978-ban lépett működésbe. Az orosz rendszer 3 évvel később követte, a európai viszont csak 27 évvel később.

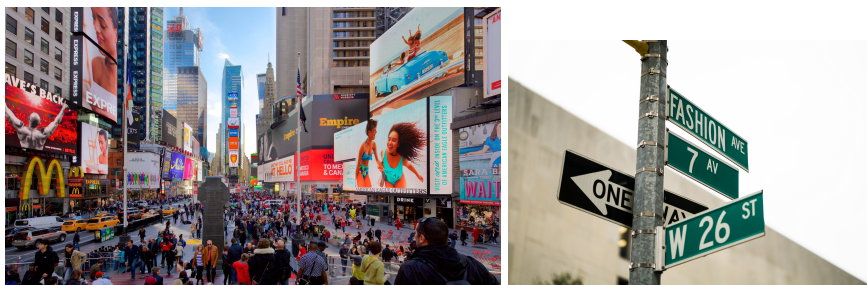
3.2.3. Várostérkép

MOTTÓ:

- Mi a különbség az óra és a térkép között?
- Az órán ott van dél, ahol a térképen észak.

Falfirka

Ahhoz, hogy tájékozódni tudjunk, térképre van szükségünk, amely lehet papíron vagy elektronikusan a telefonunkban, illetve az autónk navigációs eszközében. Magam a GPS-re inkább városokban hagyatkozom, ott viszont igen hasznosnak bizonyult. Az európai városokban ugyanis az épületek elhelyezkedése igazán izgalmas az összevissza kezdődő és befejeződő, véletlenszerűen elnevezett, tekervényes utcákkal és az utcák elején mindig újrakezdődő házszámozással, csak időnként igazán nehéz kiigazodni rajta. Magyarországon szerencsére kiváló az utcanévek és házszámok kiírása, de azt nem mindenütt tapasztaljuk.



3.14. ábra. Balra: New York, Manhattan, Times Square. Jobbra: Utcanevek New Yorkban. A 7-ik sugárút a Fashion (Divat) nevet is megkapta, és itt keresztezi a 26-os utca nyugati fele



3.15. ábra. Balra: Japán, Ehime prefektúra, Macujama város, Kuwabara negyed, 4. körzet, 3. blokk, angol átírással. Jobbra: Tokió két elnevezett főutcája

A GPS viszont a városokban is elvezet bennünket, ha eléggé pontos térkép van a telefonunkban vagy az autónk navigációs eszközében.

Az USA nagyobb településein egyszerűbb a helyzet. Az utcákat többnyire számozzák, a házzszámok pedig valahonnan, többnyire a városközponttól kezdve keresztutcánként százat ugranak, úgyhogy könnyű a térkép alapján utazási távolságot becsülni, és azt, hogy egy keresett cím melyik két keresztutca közé esik. Ráadásul a négyjegyű házzszám utolsó két jegyét általában az határozza meg, milyen messze van a kapu a blokk elejétől, tehát nincs kavarodás, A meg B bejárat, ha egy telket megosztanak két kapuval. Az a cím tehát, hogy 3952 East 57th Avenue például azt jelenti, hogy az adott házkapu az 57-es kelet-nyugati utca keleti felén van a város középvezonától számolva a 39. blokkban, mintegy 52 távolságegységnyire (pl. yardra) a kereszteződéstől. Ráadásul gyakran (például New Yorkban is) a párhuzamos, számozott utcákat egyik irányban *avenue*-nak, a keresztezőket pedig *street*-nek hívják, bár némelyik nevet is kap a szám mellé. New York híres tere, a Times Square például Manhattan negyedben a ferdén futó Broadway, a 7th Avenue és a 42nd Street hármass kereszteződésénél található (3.14. ábra).

Vannak persze Amerikában is kivételek. Egy ismerősöm egy New York melletti faluban, a nevesített utca 68. szám alatt lakott. Az utca egy kisebb park

határán húzódott, csak az egyik oldalán voltak családi házak. Elmesélte, hogy többéves küzdelem eredménye, hogy elérték, a telkeket az utca elejétől számozzák, és ne tömbönként a kapukat.

A japán címek még érdekesebbek. Tokióban a városnegyed és azon belül a városrész nevét három szám követi, az első egy kisebb körzeté, a második egy blokké a körzeten belül, a harmadik pedig a házszám a blokkon körbe, amelyet kis térképek mutatnak a blokk körüli hirdetőoszlopokon. A Tokiói Egyetem központi épületének címe: Tokió, Bunkyo-ku, Hongo, 7-3-1, tehát Tokión belül Bunkyo város, Hongo városrész 7-ik körzetén belül a 3. blokk 1. számú bejárata. Utcanevekre persze így nincs is szükség, de a főbb utaknak azért van, rossz nyelvek szerint a megszálló amerikai hadsereg jóvoltából (3.15. ábra). A régebbi japán névjegyeken kis térkép mutatta, hogyan lehet eljutni hozzájuk, azt oda kellett adni a taxisofőrnek, ha új helyre mentünk, aki a GPS előtt egy igen vastag térképfüzetben kereste meg a helyet. A GPS mára ezt is feleslegessé tette.

4. fejezet

Tudományos mértérendszer

MOTTÓ:

Melyik a legízletesebb hosszegység? A megaméter, Mm.

Falfirka

4.1. A CGS rendszer

A természetkutatók mérései nagyon bonyolultak. Köznapi ember számára nem is igazán érthető, mit neveznek például a fizikusok mérésnek: különböző észlelésekből meghatározott adatok számszerű egybevetését elméleti számításokkal, amivel igazolhatók, fejleszthetők vagy elvethetők elméletek. Amikor vagy három évtizede, megmutattuk egy kedves barátunknak, aki történetesen szabó volt, egy nagy részecskegyorsító földalatti kísérleti csarnokát, és elmeséltük, mit, miért és hogyan mérünk ott, egy idő múlva megkérdezte, hol a mérőszalag, amellyel mérünk. Számára a mérés szó egyértelműen hosszúságmérést jelentett.

Eredetileg a fizika összes többi egységét három alapegységből, hosszúság, tömeg és idő, származtatták, de az rettenetesen bonyolult kifejezésekhez vezetett. A huszadik század hatvanas éveiben a fizika még az eredetileg *Carl Friedrich Gauss* (a matematikusok fejedelme) által 1832-ben javasolt és 1874-ben a British Association for the Advancement of Science (BAAS) által némileg módosított CGS (centiméter, gramm, sec) rendszert használta. Az elektromos egységeket a két töltés közötti kölcsönhatási erőből származtatták. Ki sem írták, olyan bonyolultak voltak, a töltését például egyszerűen elektrosztatikus töltésegységnek hívták, de komoly számolást igényelt, hogy gyakorlati egységekben fejezzük ki. Ráadásul ezek igen kicsi egységek voltak, az erő CGS-egysége például, a *dyn*, az az erő, amely egy grammnyi tömeget 1 cm/s^2 gyorsulásra készíten, egy szúnyog tolóerejéhez hasonló. Hasonló nagyságrendű volt természetesen a CGS-rendszer

energiaegysége is, az *ergon*, *munka* görög szóból rövidített *erg*, $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$.

4.2. Az SI rendszer

A hatvanas években még a CGS-rendszerben tanultuk a fizikai egyenleteket, de az a gyakorlati felhasználás, tehát lényegében a mérnökök számára kezelhetetlen volt. Bevezették helyette az MKS rendszert, amely a métert, kilogrammot és másodpercet tekinti alapegységnek. Ehhez hozzátették az áramerősség egységére az A ampert, és innentől párhuzamosan használták a CGS és az MKSA rendszereket 1960-ig, amikor megszületett a ma is érvényes SI (a francia *Système International d'Unités* rövidítéséből) nemzetközi mértékegységrendszer. Az SI természetesen metrikus, és az USA és Anglia is tevékenyen részt vett a létrehozásában, dacára annak, hogy a köznapi életben egészen más egységekkel dolgoznak. Magyarország 1980. január 1. óta kötelezően az SI-t használja. Az SI rendszer idejémmúlttá tette, mondhatni *leselejtezte* az összes korábbi mértékrendszert, de használatukat bizonyos mértékig megengedte azzal, hogy az értéket SI egységekben rögzítette. Erre korábban is hoztunk néhány példát, és a későbbiekben is sok esetet említünk majd. Az SI hét alapegységét a 4.1. táblázat összegzi.

Mértékegység	jel	fizikai mennyiség	természeti állandó
Méter	m	hossz	fénysebesség
Kilogramm	kg	tömeg	Planck-állandó
Másodperc	s	idő	^{133}Cs színképvonala
Amper	A	elektromos áramerősség	elemi töltés
Kelvin	K	abszolút hőmérséklet	Boltzmann-állandó
Mól	mol	anyagmennyiség	Avogadro-állandó
Kandela	cd	fényerősség	spektrális fényhasznosítás

4.1. táblázat. Az SI nemzetközi mértékegységrendszer alapvető egységei hivatalos magyar megnevezésükkel. Ezekhez prefixumokat, ugrószámokat (1.3. táblázat) rakva (a kg kivételével, amely helyett a grammhoz tesszük őket) kapjuk a nagyobb és kisebb egységeket. Az utolsó oszlopban az a természeti állandó szerepel, amelyhez az egységet rögzítették [9]

Amint már említettük, az SI alapegységeit ugrószámokkal (hivatalos néven *prefixum*, 1.3. táblázat) növeljük és csökkentjük. Itt két kivétel van, a kg és a sec; a kg esetében a grammot változtatjuk, és a másodperccel együtt a gyakorlatban csak csökkenteni szoktuk ugrószámmal. Nemigen mondunk megagrammot vagy gigasec-et, viszont annál gyakrabban μg mikrogrammot vagy ns nanoszekundumot. Krausz Ferenc az attoszekundumos lézer kifejlesztéséért kapott Nobel-díjat. Az SI három nagyságrendenként ugrik, de megengedi az első ezresen belül a tízes ugrást is, ezért használhatjuk például a hPa-t nyomásra, a cm-t hosszúságra és a dag-ot (itthon dkg) súlyra (pedig tömegegység).

Az alapvető mértékegységeknek állandóknak kell lenniük, különben folyton módosítanunk kellene szabványainkat, ahogy a mérések pontosodnak. Ennek

megfelelően az SI rendszert folyamatosan fejlesztik. Teljesen megújították 2018-ban, és a hét alapegységet természeti állandókhoz rögzítették (4.2. táblázat). Ez azt jelentette volna, hogy a természeti állandók egyre pontosabb mérésével, meghatározásával az alapegységek meghatározása is változik. Ezt nem engedhetjük, hiszen akkor például szabványokat kellene folyton változtatni. A gyakorlatban ezt a problémát egy huszárvágással megoldották: egyszer-mindenkorra rögzítették a természeti állandók számszerű értékét az adott mértékegységben kifejezve, így az állandó pontosításával a mértékegység pontosodása automatikus lett (4.2. táblázat), és minden korábbi eredmény számszerűen változatlan maradt. Igazából faramuci eljárás: nem a természeti állandó értékét fejezem ki a kiválasztott mértékegységgel, hanem fordítva: az egységet definiálom az állandóval. Ezzel viszont stabilitást vittünk be az egész mértékrendszerbe. Rögzítések persze 2018 előtt is voltak, de 2018-ban az egész rendszert átdolgozták és az összes számszerű eredményt összegezték a [9] munkában. A korábbiak azzal természetesen érvényüket veszítették.

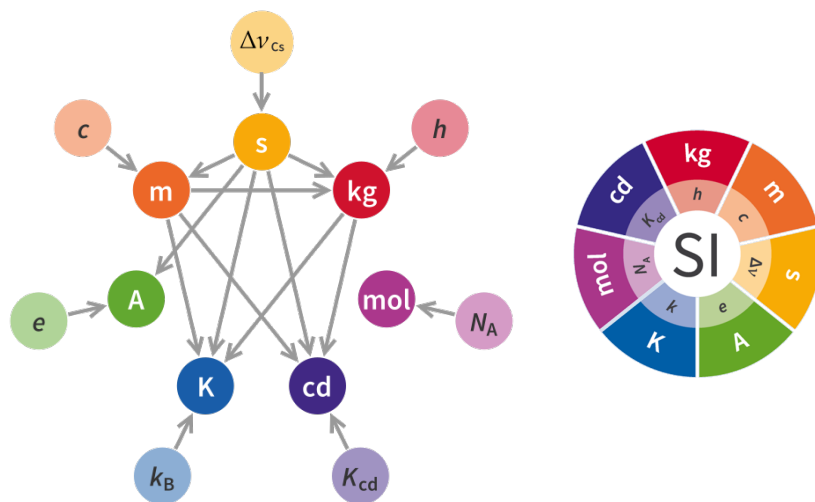
Ez a rögzítés viszont kisebb ellentmondásokkal jár. A legegyszerűbb példa a redukált Planck-állandó: $\hbar = h/(2\pi)$ konkrét értéke a rögzített h mellett attól függ, hány jegyre veszem a $\pi = 3,1415926536\dots$ irracionális számát, amelyből ma mintegy 10^{14} jegy ismert. Ugyanez vonatkozik állandók bizonyos kombinációira, illetve kifejezésükre más mértékegységekben. Ezt a kérdést a CODATA (*Committee on Data of the International Science Council (ISC)*), a Nemzetközi Tudományos Tanács Tudományos és Technikai Adatok bizottsága) úgy kezeli [9], hogy a kombinált állandókat is rögzítettnek tekinti, de az értéküket közelítőleg adja meg, utánuk három ponttal (...). Ennek megfelelően a részecskefizika egyik gyakori tényezője, $\hbar \cdot c$, habár két pontosan rögzített érték szorzata, de kedvenc gyakorlati mértékegységeinkben $\hbar c = 197,3269804\dots$ MeV·fm.

Természeti állandó	Rögzített érték
Fénysebesség	$c = 299\,792\,458$ m/s
Planck-állandó	$h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ J s
^{133}Cs színképvonalának alapállapot felhasadása	$\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770$ Hz
Elemi töltés	$e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ C
Boltzmann-állandó	$k_{\text{B}} = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ J/K
Avogadro-állandó	$N_{\text{A}} = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ 1/mol
Spektrális fényhasznosítás ($\nu = 540 \cdot 10^{12}$ Hz)	$K_{\text{cd}} = 683$ lm/W

4.2. táblázat. Az SI nemzetközi mértékegységrendszer alapvető egységeihez rendelt természeti állandók rögzített értékei a CODATA 2024-es [9] közleménye szerint

A 4.1. ábra az alapegységek összefüggését követi nyomon. Látszik, hogy az időmérés a legalapvetőbb, utána a hosszúság és a tömeg következik, a többi négyet ezekből származtatjuk, bár valamennyit a külső körön ábrázolt állandóhoz rögzítjük. Az atomórák teszik lehetővé az időmérés hihetetlen pontosságát (4.2.1. fejezet). A tömeg kg-ját a rögzített Planck-állandóval származtatjuk a távolság és idő egységével. Mivel a Planck-állandó mértékegysége $\text{J} \cdot \text{s} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ és a méter és másodperc rögzített, a kg is az.

A 4.2 ábrán áttekintjük a nemzetközi SI rendszer fizikai mértékegységeit. Az első oszlopban az alapegységek vannak, a másodikban a külön név nélküli,



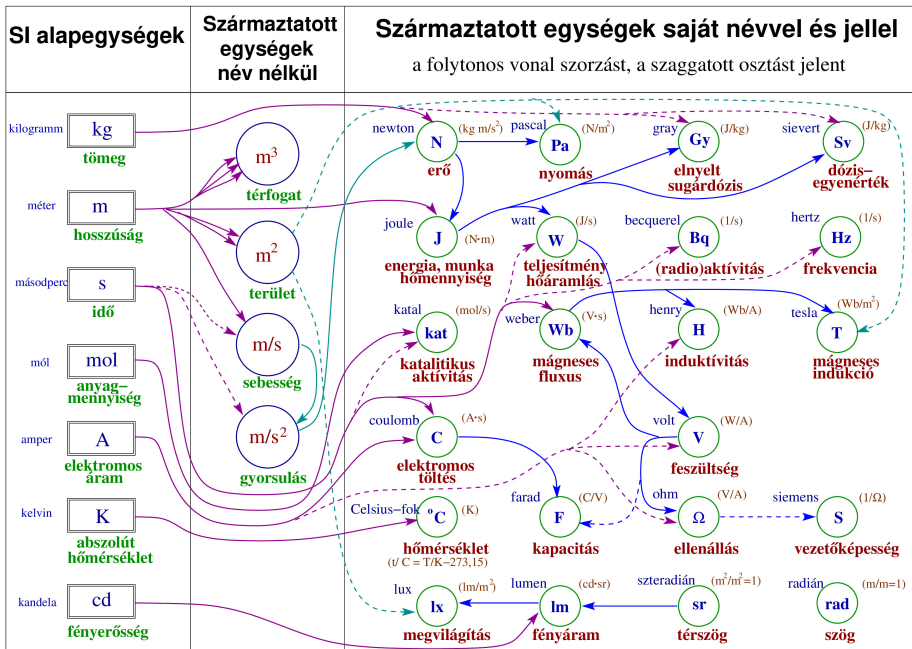
4.1. ábra. Alapvető SI mértékegységeink. Balra: az alapegységek összefüggése. A jelölések feloldása a 4.2. táblázatban található. A külső körön a rögzített állandók vannak, eggyel beljebb az alapegységek. Az összefüggéseket nyilak jelzik, azok kívülről befelé és felülről lefelé haladva növekednek. A mol az Avogadro-számmal mindentől független. Jobbra: SI logó az alapvető mennyiségeket meghatározó állandókkal

hosszúságból és időből származtatott egységek, a jobboldali nagy ábra pedig a nevesített származtatott egységeket foglalja össze: késsel az egység neve, vastag barnával alul a fizikai mennyiség, vékony barnán, jobbra fenn pedig a mértékegység definíciója. Alap- és származtatott egységet összekötő folytonos vonal szorzást, szaggatott vonal osztást jelképez. Lila vonal az alapegységekből, zöld és kék vonal pedig a másodlagos egységekből kiinduló származtatást jelképezi. Vegyük észre a hosszúság és az idő kitüntetett szerepét. A szögmérés egysége, a *radián*, $1 \text{ rad} = 180^\circ/\pi$, minden egyébtől függetlenül áll a jobb alsó sarokban, hiszen a $\pi = 3,141592\dots$ értékéhez kötődik, amelyet szinte tetszőleges pontossággal (jelenleg már 10^{14} jegyre) ismerünk.

A következőkben megvizsgáljuk, hogyan határozzuk meg a legfontosabb természeti jelenségek tulajdonságait, azaz hogyan mérjük meg az alapvető fizikai mennyiségeket. Ez persze mind fizika, hiszen az az alapja valamennyi természet-tudománynak (mondja egy fizikus). Amikor *Ernest Rutherford* a radioaktivitási vizsgálatairért, az atommag felfedezéséért kémiai Nobel-díjat kapott, állítólag kijelentette, hogy a tudomány vagy fizika, vagy bélyeggyűjtés.

4.2.1. Idő

Amint azt a 4.1. ábra szemlélteti, habár a hosszúságnak volt az első igazi tudományos létrehozott egysége, a mértékrendszerünk is a méterről kapta a nevét, mégis az idő számít a fizikai mennyiségek között a legeredetibbnek. Ahogyan az 1.8 részben leírtuk, azt csak a francia forradalmárok próbálták, sikertelenül,



4.2. ábra. Tudományos mértékegységeink és származtatásuk az SI szerint

decimális rendszerre változtatni.

Szent Ágoston sokat foglalkozik az idővel a 4. században írt *Vallomásai*ban [20]. Arra jut, hogy az idő csak mozgással mérhető, de nem egyezik magával a mozgással, igazából nem is tudja, micsoda. A Világ teremtésekor Istennek az időt is meg kellett teremtenie, tehát annak a kérdésnek, hogy Isten mikor teremtette a Világot, nincs értelme. A fizikai kozmológia álláspontja hasonló: *James Peebles* (Nobel díj, 2019) szerint az ősrobbanásnak nem lehetett időpillanata, mert az időnek is akkor kellett létrejönnie: *Nincs értelme kezdetről beszélni, amikor semmi jó elméletünk nincs a kezdetről.*

A fentiekből kiderül, hogy bár az idő az események egymásutánosságát írja le, de értelmezése komoly tudományos probléma, mind fizikai, mind pedig filozófiai szempontból. A Nap járása, nappalok és éjszakák egyenletes váltakozása az idő ciklikusságát sugallja, ugyanakkor létezik abszolút időskála, amely az ősrobbanással kezdődik. Ahogy korábban írtuk, Einstein relativisztikus értelmezésében tér és idő összefügg, együtt négy dimenziós tér-idő koordináta-rendszert alkotnak a világunk számára, de az idővel ellentétben a térnek nincs abszolút nulla pontja. Idő és energia szorosan kapcsolódnak egymáshoz abban is, hogy a fizika nem értelmez sem negatív időt, sem negatív energiát. Valahonnan visszaszámolva persze mind idő-, mind energiakülönbség lehet nullánál kisebb.

Napóra, homokóra

Abszolút skálája ellenére az idő mérése ciklikus mozgáson alapul, és természetesen a napórával kezdődött. A napóra nem lehet univerzális, a 4.3. ábra ellenére nem igazán hordozható, hiszen erősen helyfüggő kell, hogy legyen a felépítése, a kiálló éles mutató árnyékának a megfelelő skálaértékre kell mutatnia. Ezt a problémát a mechanikus óra oldotta meg, amelyből jelenleg is nagyon sokféle létezik.

Az ókorban vízórákat építettek, amelyekben egy kis nyíláson kicsurgó víz szintje mutatta az időt. Ennek módosulata a homokóra, amelyben finom homok egy nyíláson keresztül adott idő alatt a felső tartályból az alsóba csurog, utána meg kell fordítani, hogy újrakezdje (4.4. ábra, baloldalt). Ma is mindkét fajta, mind a víz-, mind pedig a homokóra használatban van, de inkább kuriózumként.

Mechanikus órák

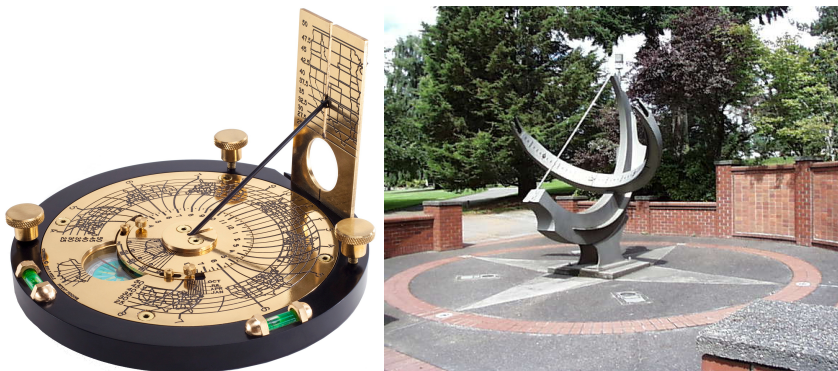
Nagyon sokféle mechanikus óra létezett és létezik. A kisebbekben rugó léptet egy kis lendkereket: azokban időnként, általában naponta egyszer, mechanikusan fel kell húzni a rugót. A nagyobb klasszikus faliórákban felhúzott rugó vagy egy tengelyen letekerődő súly viszonylag nagy méretű tárcsát, az ingát lengetett, azokat ingaórának hívjuk (4.4. ábra, középen). Ezek igen látványosak és ma is sok háztartásban működnek. A mechanikus órák egyenletes járását egy léptető kerék biztosítja, az óra ezért jellegzetes hangot ad, ketyeg. A nagy ingaórák ezen kívül félóránként rövid, óránként meg az órára jellemző hosszúságú vagy számú hangot adnak, ezt óraütésnek hívják. Vannak még zenélő ingaórák is, amelyek ütés helyett zenét sugároznak. A kakukkos órákon egész órákor kinyílik egy kis ablak és kiugrik egy csiripelő vagy kakukkoló madár. Turistaparadicsomokban láthatók óriási köztéri órák, amelyeken egész óránként valóságos színjáték jelenik meg.

A kvarcórák fantasztikus pontossága ellenére ma is sokan esküsznek a mechanikus karórára. A 2000-es években például feltámadtak: divatba jöttek ugyanis a tourbillon órák, amelyekben a mechanikus óraszerkezet meghajtó részét szabadon forgó keretre függesztik, és azzal kiküszöbölik a gravitációs hatásokat. Ehhez természetesen három különböző tengelyre van szükség, és egy karórába való beillesztésük igazi mérnöki bravúr (4.5. ábra, jobboldalt).

Digitális órák

A legrégebbi digitális (azaz az időt óra-percben számszerűen megjelenítő) órák mechanikusak voltak: mutató helyett forgó tárcsa mutatta egy ablakban az időt, de olyan is létezett, amely kis lapocskákat pattintott ki, percenként és óránként ugorva. Az igazi digitális órák már a váltakozó áram frekvenciáját használták. Emlékszem, hogy meglepődtek Amerikából visszatért hazánkiai, amikor a kinti 60 Hz frekvenciára hangolt óra az itthoni 50 Hz-en rettenetesen késett, pedig ahhoz az amerikai 120 V-ot 220-ra kellett transzformálni.

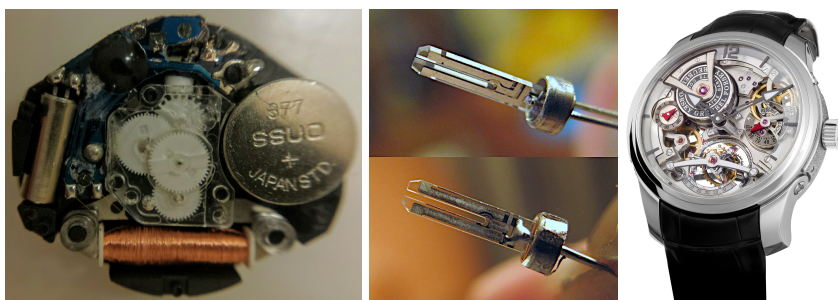
A váltóáram persze csak a hálózati órákra működött, a hordozhatók ma már mind piezoelektromos kristályrezgésen alapuló *kvarcórák*. A frekvenciájuk



4.3. ábra. Balra: Horus típusú hordozható napóra, iránytűvel. Jobbra: A Clark College (Vancouver, Washington, USA) szabadtéri napórája



4.4. ábra. Balról jobbra: 60 perces homokóra. Súlyal hajtott ingaóra a XIX. századból, Gustav Becker készítette. Svájci kakukkos gyerekóra, ingája hintázó kislány, a kakukk a libikókázó gyerekek mögött szétnyíló felső ablakból ugrik ki. Csillagászati óra Prágában harangjátékkal és a felső ablakokban megjelenő figurákkal



4.5. ábra. Balra: Analóg kvarcóra belseje. A hosszúkás fémhenger tartalmazza a hangoló-kristályt, az alsó tekercs hajtja a mutatómotort. Középen: 32768 Hz-es kvarcoszcillátor hangolóvillája. Jobbra: Háromtengelyes tourbillon karóra

a megmunkálástól függ, de a kvarcórákban leggyakrabban a 32768 Hz-et alkalmazzák: az túl van az emberi hallás határán, tehát nem zavaró, viszont nem fogyaszt annyi energiát, mint a magasabb frekvenciák. Az órában számláló van, az jelez a megfelelő számú rezgés után egy másodpercet, tehát lépteti a kijelzőt. Habár ezek az órák mind digitálisak, de az elegánsabbakban a számszerű kijelző helyett számlapon körbeforgó mutató lépked: ezeket analóg kvarcórának hívják (4.5. ábra). A kvarcórák pontossága már kiváló volt, a mechanikusoknál egy nagyságrenddel pontosabb, a feljegyzések szerint 5 és 35° hőmérséklet között havonta néhány másodpercet tévedhetnek. A hőmérséklet-változáson kívül a kristály *öregedése* is ronthat a pontosságon. Sok módja van a stabilizálásnak és korrekciónak, a karóráknál gyakori, hogy naponta egyszer egy műholdhoz igazítják az időzítésüket.

Hab a tortán, hogy a leggyakoribb frekvencia $32768 = 2^{15}$ Hz, azaz kettes számrendszerben 1000000000000000. Nem véletlen ez a választás, rengeteg előnye van technikailag, például kettes számrendszerhez a legkönnyebb számlálót építeni. Az egyszerű 15-lépéses elektronikus számláló pontosan 1 másodpercet fog ugrani minden 32768 impulzusra. Ezt az oszcillátort használják a számítógépek is időmérésre.

A japán SEIKO cég hozta ki az első kvarcórákat: zsebórát 1967-ben és az Astron nevű karórát 1969-ben. Ez természetesen az órákészítés forradalmát hozta, de a svájci híres órágyárak is gyorsan alkalmazkodtak az új helyzethez.

Atomórák

A kvarcórákkal a legnagyobb erőfeszítéssel (hőmérséklet-stabilizálás, korrekciók) sem lehet 10^{-10} -nél jobb pontosságot elérni, márpedig az ma már nem elegendő. Az atomi elektronátmenetek frekvenciája teljesen független a hőmérséklettől és más hasonló környezeti körülményektől, az lett tehát az időmérés következő módszere. Ezt egy atom külső elektronjának kétféle állapota közötti (*hiperfinom*) átmenettel lehet mérni, amelynek a frekvenciája tökéletesen állandó. Többféle atomot is használnak erre, a leggyakoribb a ^{133}Cs izotóp 9 192 631 770 Hz-es átmenete, de használnak hidrogén- és rubídium-alapú atomórákat is. Az utóbbiaknak valamivel kedvezőbb az ára és hordozhatók, de kisebb a hosszú távú pontosságuk.

Az atomokat felhevítik és elég ritka gázzá alakítják ahhoz, hogy egymással ne ütközzenek. Leválasztják az egyik hiperfinom állapotú komponenst, majd kiteszik gerjesztő mikrohullámnak, amelyet finoman hangolnak. Ha eltalálják az átmenetet, akkor újra keletkezik a leválasztott atomfajta és azt jelzi az észlelőrendszer, így lehet folyamatosan stabilizálni a mikrohullám frekvenciáját.

A cézium-atomóra segítségével született meg a másodperc definíciója: az az időtartam, amely alatt az alapállapotú ^{133}Cs izotóp hiperfinom átmenete 9 192 631 770-et számlál. Az idő mérését tehát sikerült egész számú számlálásra visszavezetni.

Az atomórák már olyan pontosak, hogy például ki lehetett velük mutatni az Einstein által megjósolt gravitációs időeltolódást. Einstein általános relativitáselmélete szerint ugyanis nemcsak az egymáshoz képesti sebesség különb-

ség, hanem a különböző gravitációs terek is megváltoztatják az időszámítást. Atomórák segítségével mutatták ki, hogy egy torony tetején vagy repülőgépen a gyengébb gravitáció miatt az óra gyorsabban ketyeg, mint a Föld felszínén. Ez persze a mérés után a két órát egymás mellé téve derül ki. Manapság már olyan pontos órát is készítettek, amellyel 1 m magasságkülönbséget sikerült kimutatni.

4.2.2. Távolság

A hossz- és távolságmérés hagyományos eszközeit már áttekintettük az 1.2. fejezetben. Ahogyan azt már többször említettük, a CODATA a métert a fénysebességhez rögzítette: 1 méter az a távolság, amelyet a fény $1/299\,792\,458$ másodperc alatt tesz meg. A távolságot, hosszúságot tehát időmérésre vezettük vissza, és azt ma már a gyakorlatban is idővel mérjük, ha pontosságra törekszünk. A távolság, mint minden fizikai fogalom, messze túlmutat a fizikán, a magas matematika rengeteg elvont távolságfogalmat kezel és használ. A köznapi életben azonban maradunk az euklideszi távolságnál, amely az (x_1, x_2, x_3) és (y_1, y_2, y_3) térkoordinátájú pontok között a pitagoraszti összefüggést használja:

$$\Delta_{x,y} = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + (x_3 - y_3)^2}.$$

A gyakorlatban tehát ezt mérjük, és ezt hívjuk mérettől függően hosszúságnak vagy távolságnak.

Mechanikus hossz-mérés

A legegyszerűbb hosszúságmérő eszköz a vonalzó, mérőszalag vagy colstok (1.8. ábra): ott a tárgy méretét összehasonlítjuk egy megfelelően skálázott mérőszerszámmal.

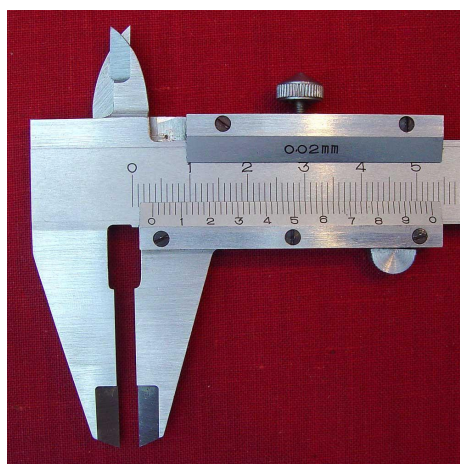
Pontos közhasznú távolság- és hosszúságmérési eszközöket mutatunk a 4.6 ábrán. Kis méreteket lehet viszonylag pontosan mérni a tolómérővel és sokkal pontosabban a mérőcsavarral (azt mikrométernek is hívják). Ezeknek közös érdekessége a *nóniusz skála*, amelyet másutt, például szögméréshez is használnak. Angol nyelvterületen *Vernier scale* a neve, nem véletlenül, mert *Pierre Vernier* találta fel 1631-ben, és ő nevezte el *Pedro Nunez* portugál tudósról, latinul *Petrus Nonius*ról, akinek először támadt az az ötlete, hogy a műszerek pontosságát ezen az elven növelje. A 4.6. ábra mikrométerein is látszik, de legjobban a 4.7. ábra tolómércéjén a fő skála alatti nóniusz mellékskála szemlélteti, amelyről leolvasható a fő skála (például milliméteres) beosztásának tizedrésze: az az érték, amelynél a mellékskála valamelyik vonala a fő skála egy vonalával egybe esik. Tizedmilliméter méréséhez a mellékskála 10 beosztása 9 mm-t fog át.

Interferometria

A legpontosabb távolságmérés, amint a méter CODATA meghatározásából is látszik, időmérésen alapul: azon az időtartamon, amíg az adott távolságot a fény befutja. Nagyobb távolságokat lézersugár visszaverődésével határozunk meg, kihasználva a fénysebesség állandóságát. Így működik a GPS helymeghatározó



4.6. ábra. A pontos hosszmerés eszközei: Balra: lézeres távolságmérő. Jobbra: mérőcsavarok, külső, belső és mélységi mikrométer



4.7. ábra. Nóniusz skálával ellátott tolómérő. A felső része belső, az alsó külső méretet mér. A nóniusz skála 5-ös utáni negyedik vonala esik egybe a fő skála milliméteresével, a méret tehát 2,58 mm



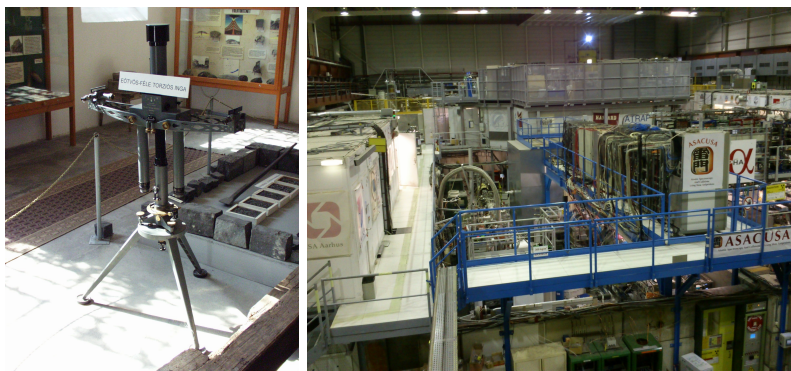
4.8. ábra. A Pisa melletti olasz VIRGO és az egyik amerikai LIGO lézer-interferenciás gravitációs megfigyelőállomása: a baloldali VIRGO karjai 3 km, a jobboldali LIGO-é 4 km hosszúak

rendszer is. A 4.6. ábrán lézeres távolságmérő látható. Ennek a módszernek extrém példája a lézeres interferométer, amely azt nézi, hogy mennyit késik egymáshoz képest két egyforma hullámhosszú, egyszerre kibocsátott fényjel. A LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory*) kísérlet [21] úgy fedezte fel a gravitációs hullámokat, hogy a rövid idő alatt átvonuló gravitációs tértorzulást észlelte. Két, egymásra merőleges, négy km hosszú kar egymáshoz képesti milliszekundumok alatt lezajló megnyúlását mérte 10^{-18} m pontossággal. Ehhez a két lézersugarat mintegy 280-szor verették oda-vissza a két tükör közötti 4 km távolságon egymáshoz képest eltolt, éppen kioltó fázisban, majd összeterelték őket egy fényérzékelő diódába. Amikor az egyik kar relatív megnyúlása miatt a lézersugara késett a másikhoz képest, részlegesen megszűnt az interferenciás kioltás, és megjelent a jel. Jelenleg négy ilyen óriási megfigyelőállomás működik: a két, egymástól 3000 km-re épült LIGO Amerikában, az olaszországi VIRGO és a Japánban épült, föld alatti KAGRA. A LIGO karhosszúsága 4 km, a másik kettőé 3 km (4.8. ábra). Újabb LIGO állomás épül Indiában, és terveznek egy sokkal nagyobb, föld alatti, háromszög alakút Európában (*Einstein-teleszkóp* [24]).

4.2.3. Tömeg

Általában tömegről beszélünk, de korábban mindig súlyt értettek alatta, mert azt volt könnyű mérni a mérlegen, és arra is volt szükség a piacon. A tömeg első metrikus mértékegysége is a súlyhoz kapcsolódott, hiszen a gramm tömeget egy cm^3 víz súlyához kötötték. A tömeg a testek tehetetlenségének mértéke, Einstein szerint arányos a nyugalomban levő test energiájával, $E_0 = m_0 c^2$, tehát a test saját jellemzője. Éppen ezért a fizikában *invariáns tömegnek* hívjuk, mert a v sebességgel mozgó test energiája is azzal arányos:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$



4.9. ábra. Balra: Eötvös-inga a Ság-hegyi múzeumban [22]. Jobbra: A CERN Antianyag-gyárának egyik kísérleti csarnoka

A fizika a test tömegéről szólva mindig az m_0 invariáns tömeget érti, saját nyugalmi energiáján pedig az $m_0 c^2$ -et. Szokták még a testben levő anyagmennyiségnek is tekinteni, de az a fizika szempontjából ugyanaz, mint az energia.

A súly ezzel szemben az az erő, amellyel egy test egy felfüggesztési pontot húz, vagy egy alátámasztó alapot nyom: a pontról pontra változó helyi gravitáció függvénye, passzív gravitáló tömegnek is hívják. Aktívnek akkor nevezzük, ha azt vizsgáljuk, hogyan hat a gravitációs tere egy másik testre, ez az a hatás, amely például a Holdon sokkal kisebb, mint a Földön, és amelyet a később tárgyalandó híres Eötvös-ingával mértek. A súly mérését már tárgyaltuk az 1.6. fejezetben, most az igazi tömeg van soron.

Az természetesen egyáltalán nem magától értetődő, hogyan mérjünk tömeget súlytól függetlenül. A részecskefizika elmélete, a standard modell szerint az elemi részecskék tömegét a spontán szimmetriasértés Brout-Englert-Higgs mechanizmusa hozza létre, azaz egy vákuumot egyenletesen kitöltő mező. Ugyanakkor a tárgyaink tömege túlnyomórészt nem ettől van: csaknem tiszta energia az atommagot alkotó protonok és neutronok tömegében. *Galileo Galilei* vetette fel elsőként, hogy a tárgyak passzív gravitációs és tehetetlen tömege azonos. A legenda, hogy a pisai ferde toronyból dobált le golyókat, valószínűleg nem igaz, a történészek szerint sokkal valószínűbb, hogy golyókat gurított különböző hajlásszögű lejtőkön, úgy hasonlítva össze a gyorsulás tehetetlenségét a gravitációs gyorsulással. Mérési adatainak statisztikus vizsgálata azonban az mutatja, hogy eredményeit az előzetes várakozása befolyásolta. Napjainkban ezt a *vak analízis* módszerével igyekszünk kiküszöbölni: a tényleges mért adatokat csak akkor elemezzük, amikor az elemzési módszert már jóváhagyattuk a saját közösségben.

Eötvös Loránd elévülhetetlen érdeme, hogy torziós ingával végzett kísérletével 1889-ben 10^{-8} relatív pontossággal igazolta a súlyos és tehetetlen tömeg egyenlőségét, amiért többször jelölték Nobel-díjra, de politikailag kedvezőtlen időben, az első világháború környékén. Az Eötvös-inga (4.9. ábra) olyan érzékeny mérőeszköz volt, hogy évtizedekig használták nagy tömegű földalatti ásványkincsek felderítésére, Texasban például olajat kerestek és találtak vele.

Az Eötvös-inga makroszkopikus tömeget mér tehetetlenséggel. Mikroszkopikus tömeget atomi átmeneti energia mérésével tudunk, az ugyanis a kölcsönhatásban álló alkatrészek, azaz az elektron és az atommag tömegétől függ. Ezt igen nagy pontossággal lehet mind számítani, mind pedig lézerspektroszkópiával mérni. A vizsgált mintát nagyon pontosan hangolt lézerfényvel sugározzák be és háromféle jelenséget észlelnek: abszorpciót, azaz bizonyos rezgésszámok intenzitásának csökkenését; reflexiót, azaz visszaverődéskor a frekvenciaeloszlás változását; és emissziót, azaz bizonyos atomi átmenetekből eredő, jellegzetes frekvenciák megjelenését.

A másik tömegmérési lehetőség elektromágneses csapdában keringtetni töltött részecskét. Homogén B mágneses mezőben egy q töltésű és m tömegű részecske a mágneses erőter irányára merőlegesen

$$\omega_c = \frac{|q| \cdot B}{m}$$

körfrekvenciával kering, szinkrotronmozgást végez, ez is rendkívül pontosan mérhető. A tehetetlen tömeg mérését tehát lényegében időmérésre vezettük vissza.

A hidrogén-atommag antirészecskéjének, az antiprotonnak a tömegét is a fenti két módszerrel sikerült igen pontosan megmérni a CERN Antianyaggyárában (4.9. ábra). Az ASACUSA kísérletben antiprotont fogattak be héliumatomban az egyik elektron helyett, és az atomi átmeneteit mérték lézerspektroszkópiával, az ATRAP és BASE kísérlet pedig antiprotont keringtetett mágneses csapdában és a körfrekvenciát mérte. Mindkét módszer igazolta, hogy az antiproton tömege igen pontosan egyezik a protonéval, a relatív különbség a 10^{-12} érzékelési határnál kisebb. Az ALPHA kísérlet pedig ugyanezt megmutatta az antiprotonból és pozitronból álló antihidrogén-atom lézerspektroszkópiájával, valamint azt is, hogy az antiatom is lefelé esik a Föld gravitációs terében, habár az elmélet az antirészecskékkal úgy számol, mintha negatív tömeggel rendelkeznének.

4.2.4. Elektromos jelenségek

Elvben kétféle elektromos jelenséget ismerünk, részecskék mozgását elektromos és mágneses mezőben. A kettő persze nem választható szét, hiszen az álló elektron körül elektromos a térerő, ha viszont mozog, mágneses lesz, tehát a koordináta-rendszertől függ, melyik lesz az igazi. A fizika ezért elektromágnesiségnek hívja és egységesen kezeli. Ha viszont koordinátarendszerünket a töltött részecskéhez rögzítjük, akkor jól szétválasztható a kétféle erő: az elektromos töltés felépít egy elektrosztatikus potenciált, a részecske mágneses momentuma pedig egy állandó mágneset. A részecskék töltése kvantált, a természetben előforduló valamennyi töltött objektumnak a töltése az elektrontöltés többszöröse pozitív vagy negatív előjellel. Történeti okokból az elektromos töltésre a *Charles-Augustin de Coulomb* francia fizikusról elnevezett *coulomb* (C) mértékegységet választották. Meg kell jegyeznünk, hogy az elektromos töltés nem más

[15], mint annak erőssége, ahogyan a részecske a körülötte levő elektromágneses térhez csatolódik, az ilyen tulajdonságot *csatolásnak* nevezzük.

A töltésmennyiséget az átfolyó árammal tudjuk mérni: 1 C az a töltés, amelyet 1 A áram 1 s alatt szállít, de természetesen az elemi töltést rögzítjük, mint természeti állandót. Az elektromos egységeket részletesen tárgyaljuk a 4.4. szakaszban.

A mágneses momentum esete bonyolultabb, mert a részecske mozgása mágneses térben kötődik a részecske töltéséhez, spinjéhez és tömegéhez is. Egy $\vec{\mu}$ mágneses momentumvektorral rendelkező, q töltésű részecskére a $\vec{B}$ mágneses indukciójú mezőben a mező irányára merőlegesen $\vec{\mu} \times \vec{B}$ erő hat, ahol a mágneses momentum

$$\vec{\mu} = g \frac{q}{2 m c} \vec{S}.$$

Itt $\vec{S}$ a részecske perdülete és g a giromágneses tényezője, amely elemi részecskék esetén 2-höz közeli. Az elektronra például $|\vec{S}| = \hbar/2$ és $g \approx 2,002$. Állandó mágneses térben tehát a részecske a mágneses tér iránya körül kering és a spiniránya körül pörög.

A giromágneses tényező pontszerű, kölcsönhatás nélküli részecskére pontosan 2 volna: az eltérést a körülötte létrejött kölcsönhatási mezők okozzák, ezért nagyon fontos jelei esetleges új, eddig nem ismert kölcsönhatásnak. Jelenleg már közel 10^{-11} pontossággal tudjuk mérni, de nem találunk vele lényeges eltérést a részecskefizika általánosan elfogadott elméletétől, a standard modelltől.

Amikor egy elektromos kondenzátorra feszültséget kapcsolunk, a kondenzátor fegyverzetein (sík kondenzátor esetén az egymással szemben levő lapkáin) töltés halmozódik fel, amely arányos a feszültséggel: a kettő közötti arányossági együtthatót hívjuk a kondenzátor kapacitásának, amelyet *Michael Faraday* angol fizikus tiszteletére farad (F) egységben mérünk: $1\text{ F} = 1\text{ C}/1\text{ V}$. Ez irgalmatlanul nagy egység, az egész Földünk kapacitását a légkör és a földfelület között 2,8 F-ra becsülik. A gyakorlatban használt kondenzátorok kapacitása inkább μF , nF és pF nagyságrendű. Mivel az amper az elektromos alapegység, az SI a faradot a többi alapegységből így származtatja teljes kiírásban: $1\text{ F} = 1\text{ kg}^{-1}\text{ m}^{-2}\text{ s}^4\text{ A}^2$, de rengeteg egyszerűbb kombináció lehetséges. Áramkörü leírásokban nehézkes leírni a mikrofarad μ betűjét, ezért azt gyakran uF-nek írják.

A gyakorlati alkalmazások könnyítése végett definiálni kellett a töltésen kívül az üres tér, a vákuum elektromágneses tulajdonságait is, bár ez fizikai szempontból eléggé furcsán hangzik. Az atomokat és molekulákat a Coulomb-erő tartja össze, amely egymástól r távolságban levő q_1 és q_2 töltés között

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

nagyságú, ahol a Coulomb-állandó $k = 1/(4\pi \epsilon_0)$ és $\epsilon_0 = 1/(\mu_0 c^2)$ a vákuum elektromos permittivitása. Itt μ_0 a mágneses permeabilitás vákuumbeli értéke, amely a $\vec{H}$ mágneses térerősséget a $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ mágneses indukcióhoz csatolja üres térben. Az SI szerint $\mu_0 = 1,256\,637\,061\,27(20) \cdot 10^{-6}\text{ N/A}^2$ (newton/amper²).

4.2.5. Anyagmennyiség

Az anyagok makroszkopikus mennyiségét a *mol* egységben mérjük. Ez természetesen kémiai eredetű mértékegység, azt fejezi ki ugyanis, hogy a kg-ban (eredetileg persze grammban) kifejezett molekulásúly hányszorosa áll rendelkezésünkre. A molekulásúlyt a molekulát alkotó atomok tömegének összegéből származtatjuk, erre az 4.3.1. fejezetben visszatérünk. Az atom fogalmát a görög *a-tom, oszthatatlan* alapján *John Dalton* angol polihisztor (vegyész, fizikus, meteorológus, optikus, nyelvész) vezette be 1805-ben a kémiai vegyületek alkotórészeiként. A különböző elemek atomjai különböző tömegűek, és mérésekre a hidrogénatom súlyát választotta egységnek. A hidrogénatomról, mint tömegegységről később az oxigénatom tömegének 16-od részére tértek át: a kettő közel volt egymáshoz, de az oxigén sokkal többféle elemmel képez vegyületet.

A tömegspektroszkópia megjelenése lehetővé tette a súly és a tömeg fogalmának szétválasztását: mérlegen súlyt, spektroszkópiával tömeget mérünk. A súly a helyi gravitációs körülményektől függ, a tömeg viszont helyfüggetlen. Az izotópok megjelenésével a tömeg egysége az oxigén-16 (^{16}O) izotóp tömegének 16-od része lett. A hatvanas években ezt a ^{12}C izotóp tömegének $1/12$ -d részére módosították, az lett az SI definíciója szerint a *dalton* egység:

$$1 \text{ dalton} = m(^{12}\text{C})/12.$$

A molekula szóból Németországban kiötlött mol egység (angolul *mole*, mint anyajegy, vakond és móló) annyi grammot jelent az anyagból, amennyi a legkisebb egységének a tömege daltonban, a nemzetközi jele *mol*. Ez a legkisebb egység tiszta elemnél atom, vegyületnél pedig molekula. A ^{12}C atom móltömege tehát pontosan 12 g/mol, a hidrogénmolekuláé viszont mintegy 2,016 g/mol. A ^{12}C izotóp atommagját 6–6 proton és neutron alkotja és az elektronok járuléka az atom tömegéhez nagyon kicsi, a dalton tömegegység értéke tehát igen közeli az atommagokat alkotó nukleonok átlagos tömegéhez.

A mértékegységek felügyelete természetesen itt is szembesült a mértékegység rögzítésének problematikájával, tehát a mol egységet a ^{12}C atom tömege helyett a rögzített Avogadro-számhoz kötötték, tehát az SI definíciója szerint 1 mol az az anyagmennyiség amelyben pontosan $N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23}$ elemi alkotóelem található.

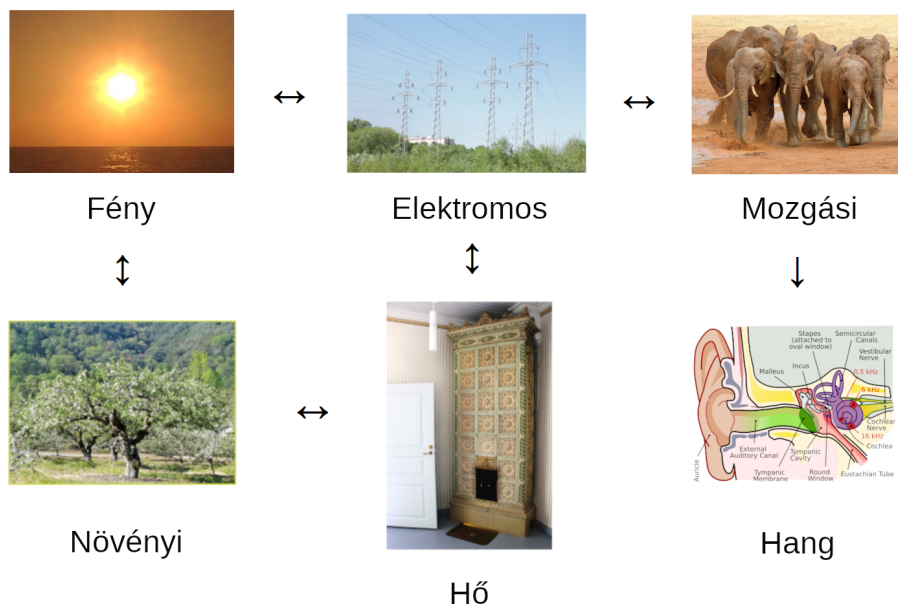
4.3. Tudományterületek sajátos mértékegységei

MOTTÓ:

Alkik kételkednek benne, hogy a fizikusok is csak emberek, gondoljanak arra a sok eszement mértékegységre, amelyet az energia mérésére használunk.

(Richard P. Feynman)

A természettudomány, a technika és a gyakorlati élet különböző területei



4.10. ábra. Különböző energiafajták a gyakorlati életben és a természettudományokban. Az összenergia megmarad, de átalakul közöttük, például a nyilak irányában

különböző sajátos, ott *természetesnek* tekintett mértékegységeket használnak, és ami egyiknek természetes, a másiknak egészen bizarrnak látszhat. A továbbiakban megvizsgáljuk, milyen tudományágak milyen sajátos mértékegységeket használnak, ugyanis tudományterületenként változik, milyen egységek állnak a legközelebb a vizsgálati módszerekhez. A szerző elfogultsága miatt ez elsősorban a fizika területeire irányul, bár említünk majd kémiai, orvosi és mérnöki témákat is.

Nagyon úgy látszik, amint azt *Richard Feynman* mottóban idézett mondása is bizonyítja, hogy a természettudományok szinte valamennyi ágában a kedvenc mértékegységek között az energia alapvető szerepet játszik (4.10. ábra). Az energia munkavégző képességnek tekinthető. Az SI hivatalos energiaegysége a *joule*, annyi munkát végez 1 newton erő 1 méteren: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$. Ahogy már említettük, a CGS rendszer erőegysége a *dyn* volt: az az erő, amely 1 g tömeget 1 cm/s sebességre tud gyorsítani, és abból származtattuk az energia kényelmetlenül kicsiny *erg* CGS-egységét. A különböző tudományágakban azonban a joule mellett jó pár, egészen különböző, de azt az ágat művelők által *természetesnek* tekintett energiaegységet használnak.

4.3.1. Atom- és molekulafizika

MOTTÓ:

Úgy neveltek, hogy az atomot kis, kemény alaknak tekintsem, vörös vagy szürke színűnek, ahogy tetszik.

Ernest Rutherford

A klasszikus atomfizika az energiát atomi egységben (*a.u.*, atomic unit) méri, amely a Rydberg-állandó (gyakorlatilag a hidrogénatom kötési energiája) kétszerese. Akik spektroszkópiával foglalkoznak, a mért sugárzás energiáját a hullámhosszal szeretik kifejezni a részecske-hullám megfeleltetés alapján, tehát náluk 1/cm vagy 1/m a kellemes energiaegység. Ugyanakkor viszont az igazán pontos spektroszkópiai kísérleteket lézerrel végzik, és ott már az energia = Planck-állandó · frekvencia, $E = h \cdot f$ képlet alapján frekvenciában szokás az energiákat kifejezni, akkor ugyanis a kísérlet bizonytalansága független lesz a vizsgálat tárgyától, a frekvencia közvetlenül a módszer, a lézerek és a mérőműszerek pontosságát tükrözi.

A Coulomb-törvény megadja, hogy az egymástól r távolságban levő q_1 és q_2 töltés között mekkora erő hat, de bennünket nem az erő, hanem az atomok kötési és gerjesztési energiája és az összetevői közötti távolság érdekel, mert azt tudjuk mérni. Hogyan kapunk az erőből távolságot és energiát? Azokat a Coulomb-törvény segítségével az ismert fizikai állandókhoz kellene kapcsolni. Ezt a legegyszerűbb a mértékegység- (vagy más néven dimenzió-) analízissel végezni, ami a különböző fizikai állandók mértékegységeinek megfelelő kombinációját (szorzás-osztás) jelenti. A szóba jövő fizikai állandók a k Coulomb-állandó mellett az atomok és molekulák fizikáját elsősorban meghatározó elektron m_e tömege és e töltése, valamint természetesen a $\hbar = h/2\pi$ redukált Planck-állandó, a hatáskvantum. Ezekből levezethető egy remek távolságegység:

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{k m_e e^2} \approx 5,29177210544 (82) \cdot 10^{-11} \text{m},$$

amely történetesen, de egyáltalán nem véletlenül a hidrogénatomban az elektron alapállapotú pályasugara, a *Bohr-sugár* (a zárójelben a meghatározás bizonytalansága szerepel). Igen szerencsés távolságegység, a többszörösével ugyanis valamennyi egyéb atom- és molekulafizikai távolság szerencsésen kifejezhető. Az atomfizikai távolságegység tehát $a_0 = 1$, és amikor távolságot definiálunk $a_0 = 1$ -ből indulunk ki.

És az energia? Az erő · távolság, tehát tekintsük energiaegységnek két egymástól Bohr-sugárnyi távolságban levő elektron közötti erő munkáját Bohr-sugárnyi úthosszon:

$$k \frac{e^2}{a_0}$$

A méréseinkben az egyik töltés biztosan elemi lesz, az elektroné, de a másik akármekkora lehet, tehát az a jó, ha egységnyinek az egy elektronnra jutó energiát

tekintjük, amely

$$E_0 = k \frac{e}{a_0}.$$

Ezt az egységet nagyon kényelmes *elektronvoltban* kifejezni: akkora energiára tesz szert egy elektron, proton vagy más egyszeresen töltött részecske 1 V feszültség hatására, azaz átszelésekor. Az elektronra jutó energia ebben az egységben $E_0 \approx 27,2$ eV. És itt összetalálkozik az atom-, a szilárdtest- és az atommagfizika. Ennek az energiaegységnek a neve hartree az atomfizikában, mert *Douglas Hartree* vezette be 1928-ban. A hartree a hidrogénatom alapállapotára vonatkozó, *Johannes Rydberg*ről elnevezett Rydberg-energia kétszerese, $1 \text{ H} = 2 \text{ Ry}$, a szilárdtestfizika azonban magát a rydberget szereti használni. A részecske- és magfizika ugyanakkor az eV egységet használja, amint a következő részben látni fogjuk. A kvantumkémia megmaradt a Hartree-rendszerénél, tehát az energiaegysége a hartree.

Meg kell jegyeznünk, hogy a Rydbergről elnevezett állandó és energiaegység körül van némi konfúzió. Ahogyan említettük, eredetileg a hidrogénatom kötési energiáját jelentette, amelyet természetesen azonosítottak a hidrogén egyetlen elektronjának kötési energiájával. Rydberg egyenlete szerint egy hidrogénszerű, tehát egyetlen elektronnal rendelkező atom n_1 és $n_2 > n_1$ főkvantumszámú állapotai közötti átmenet λ hullámhosszú fotont kelt:

$$\frac{1}{\lambda} = R Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

ahol Z az atom rendszáma (azaz protonjainak száma) és R az adott atomra vonatkozó Rydberg-állandó. A kötési energia azonban a μ redukált tömegtől függ:

$$\mu = \left(\frac{1}{m_e} + \frac{1}{M} \right)^{-1},$$

ahol M az atommag, m_e pedig az elektron tömege. A hidrogénatomhoz rendelhető Rydberg-állandó R_H értékében tehát megjelenik a proton tömege. Az atommag tömegétől független, azaz végtelen atommagtömegnek megfelelő Rydberg-állandó az R_∞ jelölést kapta, de az SI-ben külön megjelenik a Rydberg energiaegység is: $1 \text{ Ry} = hcR_\infty$. Az SI szerint hozzájuk tartozó értékeket alább leírjuk.

Hartree a következő rendszert (atomi egységeket) vezette be az atomfizika számára:

- Távolság: $a_H = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e e^2}$, a hidrogénatom elektronjának alapállapot (1S) sugara a rögzített atommag körül.
- Töltés: e , az elektron töltésének abszolút értéke (egyben a proton töltése).
- Tömeg: m , az elektron tömege.
- Hatás: $h/2\pi$.
- Energia: $\frac{e^2}{a_H} = 2 h c R$.

– Idő: $\frac{1}{4\pi c R}$.

A fentiek értelmezése az SI névvel, jelölésmódban és definícióval:

– Elemi töltés: e

– Elektrontömeg: $m \rightarrow m_e$

– Bohr-féle atomsugár vagy Bohr-sugár: $a_H \rightarrow a_0$

– Rydberg-állandó: $R \rightarrow R_\infty = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3 c}$, ahol ϵ_0 a vákuum permittivitása és c a vákuumbeli fénysebesség.

– Redukált Planck-állandó: $\hbar = h/2\pi$.

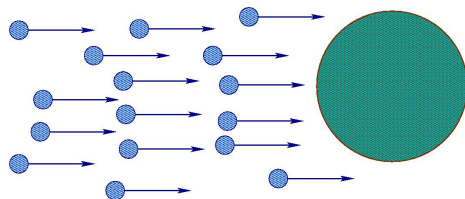
– Rydberg energiaegység: $1 \text{ Ry} = h c R_\infty = 2,1798723611030 (24) \cdot 10^{-18} \text{ J} = 13,605693122990 (15) \text{ eV}$, ahol a zárójelben az érték kísérleti bizonytalansága van.

– Hartree energiaegység: $1 \text{ H} = 2 \text{ Ry}$.

Az atom- és molekulafizika ezeket az egységeket általában nem írja ki, hanem Hartree javaslatát követve az au., a.u. vagy egyszerűen au (*atomic units*) jelölést használja rájuk. Tudnunk kell persze, ha ezt látjuk, hogy a csillagászat ugyanígy jelöli az egységeit (*astronomical units*), és több fizikai terület is használja a *tetszőleges egységek* (*arbitrary units*) rövidítésére, amikor csak valamilyen függvény alakját szemléltetik, úgyhogy erre igencsak oda kell figyelniünk. Ráadásul az atomfizikai a.u. energiaegység is lehet rydberg vagy hartree, a cikk-író hangulatától függően.

Az SI rögzítette a Planck-állandó és az elemi töltés értékét, de az elektron m_e tömegének és a vákuum ϵ_0 permittivitásának már kísérleti bizonytalansága van. Általános atomfizikai tömegegységnek egyébként az SI a hat protonból és hat neutronból álló szénatomizotóp, a ^{12}C atommag tömegének 12-ed részét választotta. Ez ugyanis átlagos nukleontömegnek tekinthető, az atommag kötési energiáját is beszámítva, amely viszonylag keveset változik atommagról atommagra. A méréseket természetesen részben és teljesen ionizált $^{12}\text{C}^{4+}$ és $^{12}\text{C}^{6+}$ atomokon végzik, a fennhagyott elektronok tömegének és kötési energiájának figyelembevételével. Az Avogadro-szám rögzítése miatt ez azt jelenti, hogy a ^{12}C izotóp *móltömege* pontosan $12 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ és a móltömeg egysége természetesen 10^{-3} kg/mol (azaz g/mol). Az SI tömeg-alapegysége a kg, azért írunk gramm helyett 10^{-3} kg -ot, bár elég furán néz ki.

A fenti módszer semleges részecskékre nem vonatkozik, de a neutron tömegét például a protonból és neutronból álló, egyszeres töltéssel rendelkező deuteron tömegének és kötési energiájának mérésével állapították meg. A mérések pontosságára jellemző, hogy a neutron és a proton jelenleg érvényes tömegaránya $m_n/m_p = 1,00137841946(40)$, ahol a zárójelben az utolsó számjegyek kísérleti bizonytalansága látható [9].



Bombázó részecskenyaláb Céltárgy részecskéje

4.11. ábra. Részecskék szóródása [10]. Mérése feltérképezi a szóróközpontnak a bombázó részecskékkel való kölcsönhatása által növelt keresztmetszetét, a *hatáskeresztmetszetet*

4.3.2. Atommag- és részecskefizika

MOTTÓ:

Csak az, hogy a dolgok kicsit zavarosak a szubatomi szinten, még nem jelenti, hogy mindennek vége.

(Murray Gell-Mann)

A mikrofizikai folyamatok igen kis távolságokon és igen gyorsan mennek végbe, kísérletileg csak energiát tudunk mérni náluk. A részecskefizikusok tehát visszafordítják a spektroszkópusok mértékegységeit: a távolságot és az időt is energiával fejezik ki. A Heisenberg-féle bizonytalansági (hibásan *határozatlanságának* is mondják) összefüggés szerint mennél hosszabb egy bomlékony részecske élettartama, annál jobban meghatározott a tömege, azaz a nyugalmi energiája, az élettartamát tehát a mérhető energiabizonytalanságával jellemezzük. A kísérletben ez rezonanciaként, a bomló részecskéhez rögzített koordináta-rendszerben észlelési csúcsként jelentkezik: a csúcs helye a részecske tömegének, szélessége (azaz mérési bizonytalansága) pedig az élettartam reciprokéval arányos.

A mag- és részecskefizika kedvenc energiaegysége a korábban bevezetett elektronvolt (eV). A röntgensugarak energiája a keV-es (10^3 eV) tartományban van, a röntgenspektroszkópiával foglalkozók számára az a természetes energiaegység. A magfizikusok számára az atommag kötési energiájához közeli mega-elektronvolt ($1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$), a részecskefizikusoknak, amilyen a szerző is, viszont a proton tömegenergiájához közeli giga-elektronvolt ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$) a megfelelő egység. Minden terület a hozzá közelebb álló energiát tekinti természetesnek.

Az is igen sajátos, ahogyan a mikrofizika a folyamatok végbemenési valószínűségét jellemzi: hatáskeresztmetszetnek hívjuk. A vizsgálatok ugyanis részecskék és/vagy atommagok nagyenergiás ütköztetésével történnek, és az ütközéskor keletkezett szétszóródó részecskéket észleljük. Ha golyókat lövünk egymásnak, a reakció valószínűsége attól függ, mennyire fednek át egymással a golyók, tehát ha jól célzunk, a keresztmetszetük összegétől. A mikrofizikában maguk a részecskék nagyon kicsik, de erőteret hurcolnak magukkal, az elektron például elektromosát, a proton elektromosát és magerőket, ami jelentősen megnöveli a

kölcsönhatási távolságukat, tehát a kísérletileg észlelhető szóródási valószínűséget. Az utóbbit kényelmesen számszerűsíti a szóródás észlelt keresztmetszete, a *hatáskeresztmetszet* (4.11. ábra). Ennek felületegysége a már említett *barn*: $1\text{ b} = 10^{-28}\text{ m}^2$.

A fent említett rezonancia gyönyörű példája a 4.12 ábra a Z bozon megfigyeléséről nagyon nagy energiájú elektron-pozitron ütközésekben. Az ábra vízszintes tengelyén az egymásnak lőtt elektron és pozitron ütközési energiája látható GeV egységben, a függőlegesen pedig az észlelések számából levezetett ütközési hatáskeresztmetszet logaritmus, pb ($10^{-12}\text{ barn} = 10^{-40}\text{ m}^2$) egységben. A csúcs helye a Z-bozon 91 GeV-es tömegénél van, a csúcs félértékszélessége pedig, amely persze a logaritmikus ábrázoláson nagyon magasan, a maximumhoz igen közel van, a Z-bozon élettartamát jellemzi. A Z-bozon könnyebb részecskékre, többek között kvarkokra bomlik, azok pedig mindenféle kvarkokat tartalmazó részecskéket, *hadronokat* keltenek, úgy észleljük. Mindig így figyelünk meg új részecskéket, így fedeztük fel 2012-ben a csaknem fél évszázaddal korábban *megjósolt* létezésű Higgs-bozont is a CERN Nagy hadronütköztetőjénél.

Hasonló Heisenberg-szabály vonatkozik a távolságra is: bizonytalansági reláció kapcsolja össze a távolságot a lendülettel: minél pontosabban meghatározott egy részecske helyzete, annál bizonytalanabb a lendülete. Erre vonatkozik a vicc, amelyben Heisenberg autót vezet és megállítja a közlekedési rendőr: „Tudja maga, milyen gyorsan ment?” Mire ő: „Azt nem, de azt pontosan tudom, most hol vagyok!”

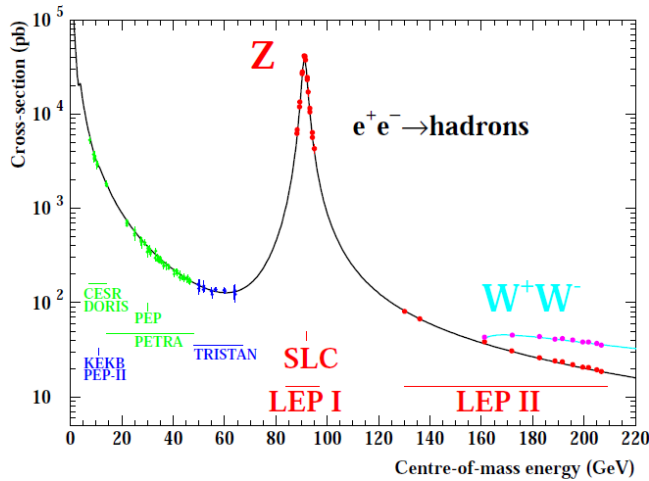
A nagyenergiájú fizika gyakorlatilag kizárólag energiát és hatáskeresztmetszetet mér, az utóbbival lehet ugyanis a legegyszerűbben kifejezni azt, hogy két egymásnak repülő részecske milyen valószínűséggel lép egymással kölcsönhatásba. Ahogyan már említettük, történeti okokból a hatáskeresztmetszet egysége a *barn*, $1\text{ barn} = 10^{-28}\text{ m}^2$. Ez első ránézésre ugyan kicsinek tűnik, de a neve nem véletlen: már a keresztzülei tudták, hogy nagy lesz, azért nevezték így el (a barn angolul csúrt jelent). A nagy energiájú fizika jellegzetes folyamatai pikobarn (azaz 10^{-12} barn) körüli hatáskeresztmetszettel rendelkeznek, bár mostanában a ritka folyamatoknál a femtobarn (10^{-15} barn) is gyakran előfordul. A Z bozon megfigyelésének 4.12 képén a függőleges tengely a mért hatáskeresztmetszet logaritmusát ábrázolja pikobarn egységben. Új részecske felfedezéséről akkor beszélhetünk, ha valamennyi bomlási módusa ugyanazon a helyen mutat ilyen tömegcsúcsot.

4.3.3. Az energia szerepe a fizikában

MOTTÓ:

Egyszerre nyitottam ki a víz- és villanyszámlámat: megrázott.

Látjuk tehát, hogy a részecskefizika kedvenc fizikai mennyisége az energia, gyakorlatilag minden mást abból származtatunk vagy arra vezetünk vissza. Az azonban sokkal mélyebb fogalom: a mikrofizika (és nagy mértékben az egész

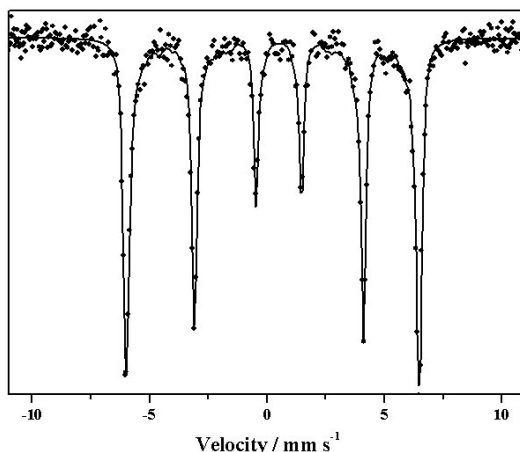


4.12. ábra. A Z részecske megfigyelése különféle energiájú részecskegyorsítóknál elektron-pozitron ütközésben: észlelt gyakoriság, azaz a pikobarnban mért hatáskeresztmetszet logaritmikus skálán a GeV-ben mért ütközési energia függvényében. A csúcs helye a Z részecske tömegének, a csúcs magasságának felénél mért szélessége pedig az élettartam reciprokának felel meg

fizika is) mindent az energiára alapoz. A fizika legalapvetőbb elve ugyanis a legkisebb hatás elve, amelyből minden mozgásforma levezethető. Ebből következik az energiaminimum elve is, tehát az, ahogyan az atomi elektronok fokozatosan töltik be az egyre nagyobb energiájú állapotokat. A testek mozgását is az határozza meg, merre a legkisebb a munkavégzés, hogy az elérhető pályák közül melyiken fog végigmenni. Mindez az energiával kapcsolatos és ez végigkíséri az elméleti fizikát a klasszikus mechanikától egészen a részecskefizika standard modellnek hívott térelméletéig. Ezt a mennyiséget kell minimalizálni, hogy megkapjuk a jelenségek leírását.

Az energia mint alapegység természetes módon adódik, ha a mikrovilágbeli mozgásokat jellemző természeti állandókat egységnyinek tekintjük: (i) $c = 1$, tehát a fény sebessége üres térben a sebesség egysége, (ii) $\hbar = 1$, vagyis a részecskék mozgásában a határozatlanság nagyságát kifejező redukált Planck-állandó értéke szintén 1, és (iii) $k_B = 1$, ami a részecskesokaság átlagos mozgási energiája és hőmérséklete arányosságában szereplő Boltzmann-állandó. E három természeti állandó egységnyi választása azt eredményezi, hogy minden más fizikai mennyiség egysége az energia egységének pozitív vagy negatív kitevőjű hatványával kifejezhető.

Válasszuk az energia egységének a mikrovilágban szokásosan használt elektronvoltot (eV, vagy alkalmasint keV, MeV, GeV). Így lesz például praktikus, kézzel fogható egység a proton méretéhez közeli femtométerből: $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m} \simeq 5 \text{ GeV}^{-1}$, vagy az igen rövid életű részecske-rezonanciákra jellemző élettartamból $1 \text{ ys} = 10^{-24} \text{ s} \simeq 1.5 \text{ GeV}^{-1}$ a *természetes* egységrendszerben. Energiával természetesen a hőmérséklet is kifejezhető. A Nap legforróbb része, a magja, ahol az energiatermelő fúzió zajlik, 15 millió °C hőmérsékletű,



4.13. ábra. Mössbauer-spektrum abszorpciós csúcsokkal. A vízszintes tengelyen a sugárforrás és az abszorbens relatív sebessége látható mm/s egységben, ami megfelel a mintába érkező sugárzás energiaváltozásának

amely 1,3 keV energiának felel meg.

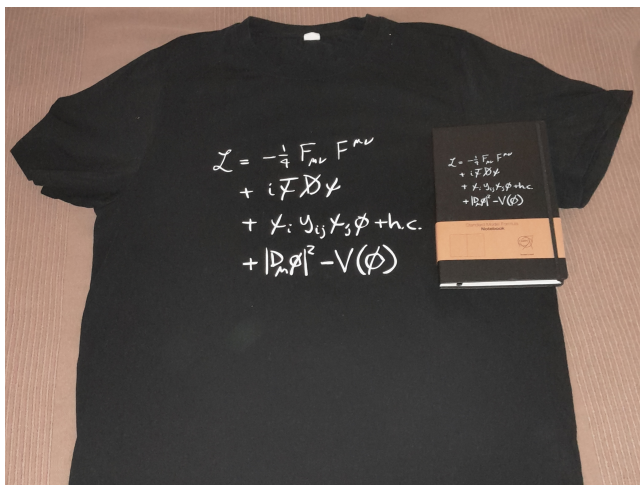
4.3.4. Anyagtudományok

Nagyon érdekes a kémiában és anyagtudományban használt Mössbauer-spektroszkópia energiámérése. A terület kedvenc sugárforrása az ^{57}Co , amellyel az ^{57}Fe atommag megfelelő átmenetét gerjesztik. Az átmenet energiája 14,4 keV ugyan, de a mérés annyira pontos, hogy a kémiai információhoz a forrásból ki-jövő foton energiájának letapogatását a céltárgy finom mozgatásával (Doppler-hatás) változtatják. Amikor ugyanis a céltárgy az észlelő felé mozog, a hullámhossza csökken, tehát az energiája nő, amikor meg távolodik, ellenkező a hatás, mint a közeledő és távolodó motorkerékpár hangmagassága. A vizsgált anyagban levő vas kémiai környezetére jellemző, hihetetlenül kicsi energiakülönbségeket a mozgítás sebességével változtatják, azaz általában m/s vagy mm/s egységben ábrázolják (4.13. ábra). Ez tehát újabb energiaegység, és vegyész legyen a talpán, aki kapásból meg tudja mondani, 1 mm/s hány elektronvoltnak vagy joule-nak felel meg.

Már említettük a mólt, mint anyagmennyiséget. Van egy speciális kémiai tulajdonság, a *pH*, *power of Hydrogen*, a savasság logaritmikus mérőszáma: a H^+ ion koncentrációjának negatív, 10-es alapú logaritmus. A lúgosság ugyanaz az OH^- ionra. A desztillált víz pH-ja semleges, 7 körüli.

4.3.5. Mérték és szimmetria

A fizika bizonyos alapvető mennyiségei párokba rendeződnek. *Emmy Noether* német matematikus ismerte fel 1918-ban (Noether-tétel, [10], 48. o.), hogy teljes



4.14. ábra. A CERN ajándékboltjában kapható trikó és füzet a standard modell alap-egyenletéül szolgáló Lagrange-függvény formulájával, amely egy ψ állapotfüggvényű részecske mozgását hivatott leírni külső erőterben (például elektromos mezőben). Az első sor a külső mező kinetikus energiája, alatta a részecske mozgása a külső mezővel kölcsönhatásban, a harmadik sor a részecske kölcsönhatása a Higgs-mezővel, amellyel tömeget nyer, és végül a Higgs-mező kinetikus mínusz potenciális energiája

általánosságban, ha egy fizikai rendszerben teljesül valamilyen folytonos szimmetria, akkor hozzárendelhető egy megmaradó fizikai mennyiség. Az energia és a lendület megmaradása például ahhoz a szimmetriához kapcsolódik, hogy egy fizikai rendszer viselkedése nem függhet attól, milyen tér-idő koordináta-rendszerben írom le. A koordináta-rendszeremet el is forgathatom, attól meg a forgási impulzuszmomentum őrződik meg (próbáljuk meg a gyorsan forgó biciklikerek tengelyét elfordítani).

Az energia és idő, valamint a távolság és a lendület kapcsolatát illusztrálja *Werner Heisenberg* már korábban tárgyalt bizonytalansági elve is: ezek nem mérhetők egyidejűleg tetszőleges pontossággal.

A koordináta-rendszer szimmetriája általánosítható más fizikai változókra, azokat mértéknek hívjuk, a rájuk vonatkozó szimmetriát pedig mértékszimmetriának. Sok ilyent ismerünk, ezek általában matematikai transzformációknak felelnek meg. Ilyen mértékszimmetria teszi lehetővé azt, hogy a madarak sértetlenül üldögéljenek a nagyfeszültségű hálózati vezetéken, mert csak a potenciálkülönbség számít (4.4. szakasz). Az elméleti fizika egyik fontos módszere, a mértékelmélet is egy Noether-tételen, Emmy Noether második tételén alapul, amely valamilyen értelemben visszafordítja az első Noether-tételt. Ha a koordináta-rendszerem folytonos szimmetriája egy mennyiség megmaradásához vezet, akkor ugyanazon mennyiség lokális (azaz helyről helyre változó) tulajdonsága (mint például az energiája vagy mozgása) leírható a koordináta-rendszerem lokális torzulásával.

Ezt használja a részecskefizika elmélete, a standard modell, amely a részecskék közötti kölcsönhatásokat a tér-idő koordináta-rendszer változásával írja le:

a külső erőterben mozgó részecske torzult koordináta-rendszert érez, és úgy változik a mozgása. Ezt a külső mezőt, a *mértékmezőt* persze keltheti egy másik részecske is. Két részecske kölcsönhatása, tehát tulajdonságaik átalakulása a közös energiamérleg átalakulásával jellemezhető. Ezt matematikailag az energiamérleg elemzésével végezzük, amelyet Lagrange-függvénynek hívunk, és amely a leírandó jelenség teljes mozgási és helyzeti energiájának különbsége (4.14. ábra). A legkisebb hatás elvének megfelelően ezt kell minimalizálnunk, hogy megkapjuk a helyes végső állapotokat.

4.3.6. Csillagászat

MOTTÓ:

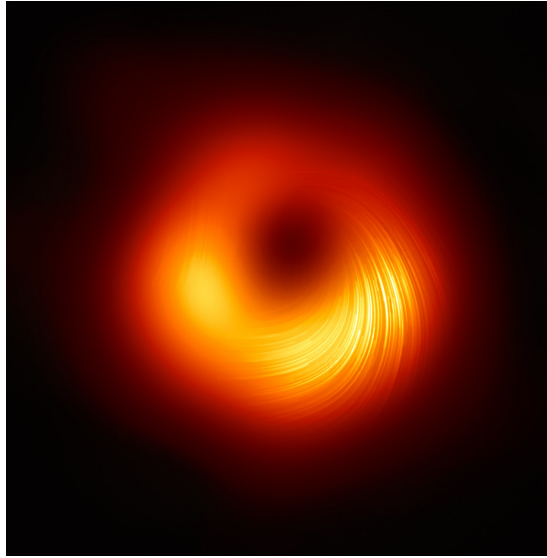
Milyen csillagokon van napszemüveg? A filmcsillagokon.

Falfirka

A csillagászok óriási méretekben kénytelenek gondolkodni, ezért sajátos egységrendszerük van. Az idő csillagászati egysége a *nap*, 1 nap = 86400 másodperc, 1 d = 86400 s. A távolságokat többféle egységben mérik. A klasszikus csillagászati egységet (*astronomical unit*, au) az átlagos Nap-Föld távolságból származtatták, 1 au $\approx$ 150 millió km. Fizikusok a nagyobb távolságokat fényévben szeretik mérni, amennyit a fény befut vákuumban 1 év alatt ($\approx 9,46 \cdot 10^{15}$ m), ami azért tetszetős, mert összehozza a relativitáselméletben összekapcsolt teret és időt: ha az időt évben, a távolságot pedig fényévben mérjük, a fénysebesség éppen 1,0. Egy milliárd fényévre levő galaxis fénye egy milliárd év alatt ér ide, tehát most olyanak látjuk, amilyen egy milliárd évvel ezelőtt volt.

A csillagászatban a távoli csillagok távolságát nem fényévben, hanem *parszekben* mérik: 1 pc az a távolság, ahonnan a Nap-Föld távolság 1 szögmásodperc alatt látszik: 1 pc $\approx$ 3,26 fényév $\approx 3,09 \cdot 10^{16}$ m. A legközelebbi csillag 1,3 pc-re van tőlünk, az igazi nagy távolságok egysége mega- és gigaparszek (10^6 és 10^9 pc). A csillagászati tömegegység a naptömeg, $\approx 2 \cdot 10^{30}$ kg, a galaxisok közepén tanyázó óriási fekete lyukak pedig milliónyi és milliárdnyi naptömegűek (4.15. ábra).

A csillagászok már régen felismerték, hogy minél távolabb van tőlünk egy csillag, annál gyorsabban távolodik, a pontos arányosságot *George Lemaître* és *Edwin Hubble* fedezte fel 1927-29-ben, eszerint a tőlünk történő távolodás sebessége $v = H_0 \cdot s$, ahol s a távolság és H_0 a Hubble-állandó, jelenlegi értéke $H_0 \approx 70$ (km/s)/Mpc. A Hubble-állandó mértékegysége 1/idő, tehát a tágulási folyamatot visszajátszva arra következtetünk, hogy a világegyetemünk egy ősrobbanásban keletkezett 13,8 milliárd évvel ezelőtt. Ezt a modellt valamennyi ismert adat alátámasztja, a Világegyetem kora ezek szerint 13,8 milliárd év. Ha el tudnánk ilyen messzire nézni (nem tudunk), az égbolt valamennyi pontján az ősrobbanás tűzgömbjét kellene látnunk.



4.15. ábra. 3,2 milliárd naptömegű fekete lyuk a Messier 87 galaxis középpontjában. Az EHT Együttműködés felvétele polarizált fénnel történt, látszanak az akkréciós (anyagbegyűjtési) korong vonalai

4.3.7. Termodinamika, hőtán

MOTTÓ:

- Melegben a tárgyak kitágulnak, hidegben összehúzódnak
- magyarázza a tanár. - Ki tudna példát mondani erre?
- A nappalok télen rövidebbek, mint nyáron - mondja Peti.

A klasszikus termodinamika első törvénye kimondja, hogy ha egy test és környezete között nincs anyagcsere, akkor a test energiaváltozása egyenlő a környezet által átadott hőmennyiség és a környezet által a testen végzett munka különbségével, $\delta E = Q - W$. Ebből azonnal következik, hogy a hőmennyiség is energiafajta, tehát energiaegységben kezelendő. A hőmérsékletet a k_B Boltzmann-állandó kapcsolja az energiához: egy T abszolút hőmérsékletű környezetben egy részecske minden szabadsági foka $\frac{1}{2} k_B T$ hőmérsékleti energiát hordoz.

A Ludwig Boltzmann osztrák fizikusról elnevezett Boltzmann-állandó statisztikus fizikai eredetű, a hőmozgás értelmezésére vezették be, elsősorban gázokra. Eredeti definíciója $k_B = R/N_A$ egy molnyi gázra, ahol N_A az Avogadro-szám, az 1 molnyi (gáz, folyadék vagy szilárd) anyagot alkotó részecskék (atomok, ionok vagy molekulák) száma, R pedig az egyetemes gázállandó, amely összekapcsolja az ideális gáz p nyomását, sűrűségét (egy mol-ra jutó V térfogatát) és T hőmérsékletét: $R = p \cdot V/T$. Az SI 2019-ben rögzítette a Boltzmann-állandó és az Avogadro-szám értékét, ettől persze a gázállandó értéke is rögzített lett:

$$k_B = 1,380649 \cdot 10^{-23} \text{ J/K (joule per kelvin fok) és}$$

$$N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}, \text{ tehát}$$

$$R = 8,31446261815324 \text{ J/(K} \cdot \text{mol)}.$$

A fenti rögzítésekkel sikerült újradefiniálni a kelvin, K értékét is, ezzel megfordítva és pontosítva a hőmérséklet korábbi meghatározásait. A fenti állandók nagyon sok gyakorlati alkalmazásban játszanak kulcsszerepet. Az Avogadro-szám megmondja, mekkora egy molekula vagy atom térfogata, hiszen egy molnyi anyag térfogata viszonylag pontosan mérhető. Eredeti meghatározása kísérleti volt: hány atom található a hat protont és hat neutronot tartalmazó szén-12, ^{12}C izotóp 12 grammjában, és pontossága a mérés technikától függött.

4.3.8. Energiatartalom

Mindenki találkozott már az étkezés energiaegységével, a *kalóriával*. A CGS energiaegységével, az erg-gel együtt vezették be és eredeti definíciója szerint 1 cal az a hőmennyiség, amely 1 g víz hőmérsékletét 1°C -kal emeli. Ez persze irreálisan kicsi volt a gyakorlati használatra, tehát bevezették a *nagy kalóriát*, amely már 1 kg vizet hivatott 1°C -kal melegíteni, ezt ma már kilokalóriának hívják, kcal jelöléssel. Az SI leselejtezte, de az egyöntetűség kedvéért megpróbálta rögzíteni az értékét. A problémát az jelentette, hogy a termodinamika különböző területi alkalmazásai különbözőképpen definiálták a vízmelegítés körülményeit. Például a *termokémiai* kalória értéke $1 \text{ cal}_{\text{th}} = 4,184 \text{ J}$, egyszerű. De már a maximális sűrűségű, 4°C hőmérsékletű víz hőmérsékletére vonatkozó (azaz a desztillált vizet $3,5$ -ről $4,5^\circ\text{C}$ -ra melegítő) kalória értéke $1 \text{ cal}_4 \approx 4,204 \text{ J}$, a szoba-hőmérsékletűé pedig $1 \text{ cal}_{20} \approx 4,182 \text{ J}$. Több más kalória is létezik, megemlítem még a nemzetközi gőzkalóriát, amelyet 1929-ben vezettek be, és azután 1956-ban az értékét rögzítették: $1 \text{ cal}_{\text{IT}} = 4,1868 \text{ J}$.

Habár az SI hivatalosan betiltotta, világszerte mégis megengedik az élelmiszerek energiatartalmára (tápértékére) való használatát, de sajnos különböző jelölésekkel. Észak-Amerikában a kcal-t használják *cal* jelöléssel, amíg Európában azt kcal-nak írják, de mellette kötelező kiírni a tápértéket kJ-ban is, mindkettőt 100 g anyagra vagy 100 mL folyadékra vonatkoztatva. A vegyészetben is használják a kémiai reakciók során felszabaduló hőmennyiség jellemzésére, általában kcal/mol egységben, de lassan ez is kimúlik.

Hőmérséklettel, hőátadással kapcsolatos brit hőegység *British Thermal Unit* (BTU), $1 \text{ BTU} \approx 1055 \text{ J}$, de a pontos értéke kissé különböző Európában, Amerikában és Nagy-Britanniában. Sokkal nagyobb egység a *therm*, amely 100000 BTU, és nagyjából megfelel 100 köbláb földgáz fűtőértékének normális nyomáson és hőmérsékleten, de a pontos értéke a BTU-val helyről helyre változik.

4.3.9. Egészségügy, orvostudomány

MOTTÓ:

Van egy jó és egy rossz hírem. A rossz: a röntgenfelvételen egy nagy kiterjedésű, rosszindulatú tumor látszik. A jó hír: photoshoppal el tudom tüntetni.

Orvosvics

Ma már rengeteg otthon használható orvosi mérőeszköz létezik, a 4.16. ábrán három ilyen műszer látható vércukorszint, elektrokardiogram és vérnyomás mérésére.

Sugárterhelés

A radioaktivitás régi (de Amerikában még ma is használatos) mértékegysége a Curie-házaspárról, a rádium felfedezőiről elnevezett curie: 1 Ci a radioaktív bomlások másodpercenkénti száma 1 g tiszta rádiumban. Ezt az SI megváltoztatta a radioaktivitás felfedezőjéről *Antoine Henri Becquerel* francia fizikusról elnevezett becquerelre. Meghatározása egyszerű: 1 Bq = 1 radioaktív bomlás másodpercenként. Ennek megfelelően a curie-t is rögzítették: 1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq. Látszik, hogy a Ci nagyon nagy, a Bq nagyon kis egység: viszonylag intenzív radioaktív források erőssége mCi-ben és GBq-ben mérhető.

Az ionizáló sugárzás közvetlenül sebesülést, hosszabb távon betegséget, főként rákot okozhat. Az emberi szövetek vagy más anyagok által elnyelt sugárzás energiamennyiségét sugárterhelésnek hívják. Az első ilyen egység a röntgensugárzás felfedezőjéről, *Wilhelm Conrad Röntgen*-ről elnevezett röntgen volt: 1 rtg sugárdózis okoz egy elektrosztatikus CGS töltésegységnyi ionizációt 1 cm³ 1 atm nyomású és 0 °C hőmérsékletű száraz levegőben. Mivel ez nem vette figyelembe a sugárzás energiáját, bevezették helyette a CGS-rendszerben a *rad* egységet: 1 rad = 100 erg energia elnyelve 1 g anyagban. Ezt az SI módosította a *Louis Harold Gray* angol sugárfizikusról elnevezett *grayre*: 1 Gy = 1 J/kg = 100 rad, 1 J elnyelt energia 1 kg anyagban. A gray Gy jelölése nem tévesztendő össze a csillagászok hasonlóan jelölt giga-year, milliárd év időegységével, habár nemigen fordulhatnak elő hasonló szövegekörnyezetben. A 4.17. ábrán radioaktív laboratóriumokban használt sugárdózismérő műszerek láthatók.

Az emberi szervezet lehetséges sugárzási károsodása nyilvánvalóan sok körülmény függvénye: függ a sugárzás fajtájától, nemcsak az energiájától, valamint a szervtől, amelyben elnyelődik. A grayt ezért inkább csak a sugárzások ipari alkalmazására használják, mint a felületi keményítés és élelmiszerek csírámentesítése, sterilizálása elektron- vagy röntgensugárzással. Orvosi célra bevezették az ekvivalens dózis fogalmát. Ez is több lépésben történt. Elsőként megszületett a *kerma*, mint a *kinetic energy released in matter* rövidítése: a becsapódó sugárzás által keltett másodlagos részecskék által bevitt teljes energia. SI alapegysége természetesen ugyanaz, J/kg, mint a gray-é, de figyelembe veszi a nagy energiájú részecskék kiszabadulását az adott anyagból.



4.16. ábra. Háztartási orvosi műszerek, balra fenn vércukorszint, alatta EKG, jobbra vérnyomás mérése



4.17. ábra. Laboratóriumi műszerek sugárdózis mérésére

A következő lépésként figyelembe kellett venni az emberi szövetekre gyakorolt hatást. Erre először a radhoz kötődő *rem* (*röntgen equivalent man*) CGS-egységet vezették be, ezt változtatta az SI a *Rolf Maximilian Sievert* svéd orvos-fizikusról elnevezett sievertre (Sv), amelynek fizikai egysége ugyanaz, mint a gray-é, J/kg, de igencsak változó szervről szervre. A $\text{rad} \rightarrow \text{gray}$ viszonyból következőleg $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$. A dózisterhelés kumulatív, a sugárzási környezetben dolgozók megengedett dózisterhelése 0.02 Sv/év . Ezzel azonban összemérhető az orvosi képalkotási technikák által átadott terhelés, egy CT-vizsgálat például $2\text{--}15 \text{ mSv}$ dózisterhelést is jelenthet. Rendkívül érdekes Marx György erre vonatkozó írása [16], ahol azt mutatja meg, hogy 1 mSv dózisterhelés egészségügyi kockázata hasonló, mint amit 1 csomag cigaretta elszívása, 8 liter bor megivása, vagy 1000 km autózás jelent.

Genetika

Sajátos távolságegység a *Thomas Hunt Morgan* amerikai genetikusról elnevezett morgan egység, amelynek csak a századrészét használják. A *centimorgan* (cM) egy kromoszómán belül a gének távolságát írja le, de nem méterben, hanem lehetséges rekombinációs valószínűségben, kicserélődési gyakoriságban. Genetikai térképegységnek is hívják. A különböző egyénekhez tartozó örökítő anyag génjei közötti rekombinációs valószínűséget, azaz a lehetséges genetikai kapcsolódást jellemzi. A [17] Wikipédia-lap szerint emberek között 1 cM mintegy 1 millió nukleotid lehetséges kapcsolatát jelenti. Az emberi kromoszómában 7050 cM esetén ugyanarról az egyénről vagy egypetűjű ikertestvérekről beszélünk, ez felel meg a nulla távolságnak; 3525 cM szülő-gyermek kapcsolódást, azaz 1 lépés távolságot jelenthet, 1762 cM viszont már két lépést, például féltestvéreket, vagy nagyszülő-unokát, és így tovább.

Gyógyszertár

A világháló forrásai szerint az SI ugyan betört a patikába is, de a receptek a legkülönbözőbb adagokat írják elő, többnyire milligramm és milliliter egységekben, de előfordul nagyobb adagoknál a kávéskanál is. A súlyt mérleggel, a térfogatot mérőpohárral és -kanállal vagy fecskendővel mérik.

4.3.10. Ipari energiaegységek

MOTTÓ:

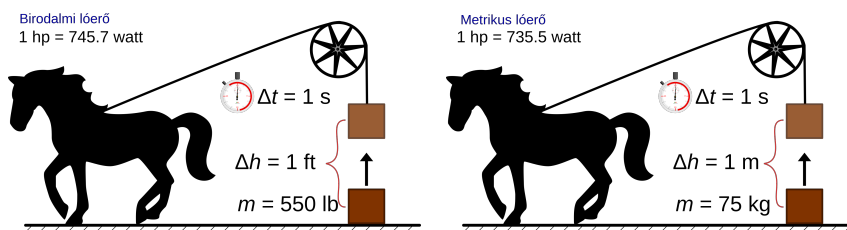
Elméletben nincs különbség elmélet és gyakorlat között.
Gyakorlatban viszont van.

Falfirka

Lóerő

Az autómotor teljesítményét szinte napjainkig a ma már nevetségesen hangzó *lóerő* egységben mérték. Ez munkavégző képességet jelent, tehát időegység alatti energiaátadást. *James Watt* vezette be a 18. században a gőzgépek teljesítményének jellemzésére, hiszen egy ló húzóerejéről mindenkinek volt valami fogalma. Azt Watt a malomkerekeket forgató lovak vizsgálatára alapozta. Az idők folyamán kiderült, hogy bár értéke meglepően közeli egy átlagos ló hosszú idejű teljesítményéhez, rövid ideig a lovak ennél nagyságrenddel nagyobbra képesek.

Természetesen később mindenütt kicsit másképpen definiálták, a Wikipédia több tucat definíciót felsorol, de itt csak kettőt érintünk. Angliában a *birodalmi lóerő* volt hivatalos, az a teljesítmény, amely egy 550 fontos súlyt 1 másodperc alatt 1 láb magasra emel, $1 \text{ hp} \approx 747,5 \text{ W}$ (4.18. ábra). Alternatívája a viccesen hangzó *metrikus lóerő*, amely egy 75 kg-os súlyt 1 sec alatt 1 m magasra emel, és az értéke hasonló lett: $1 \text{ LE} \approx 737,5 \text{ W}$. A metrikus lóerő neve minden nyelvben az angol *horse power*, *hp* tükörfordítása lett a megfelelő rövidítéssel, magyarul *lóerő*, (*LE*), olaszul *cavallo vapore* (*cv*), franciául *cheval-vapeur* (*ch*), oroszul *lo-sagyinaja szila* (*sz.l.*), románul *cal-putere* (*CP*), csehül *koňská síla* (*ks*), szerbül és horvátul *konjska snaga* (*KS*) és a néhai Jugoszlávia más nyelvein is hasonlóan hangzik. Egyedül a lengyel *koń mechaniczny* (*KM*) kivétel, az ugyanis géplovat jelent. Nemzetközi használatban a német *Pferdestärke* (*PS*) rövidítése honosodott meg, bár Németország az autók teljesítményére az ugyanolyan értékű *DIN hp* egységet használta. Ma már ezt is mindenütt kW-ra cserélték.



4.18. ábra. A *birodalmi* és a *metrikus lóerő* csaknem azonos definíciója

Közhasználatú energiaegységek

A villanyszámlánkon is furcsa mértékegységben szerepel a fogyasztásunk, azt ugyanis munkában mérik, és joule volna az egysége. Az eszközeink teljesítménye természetesen wattban van megadva, egy vasaló vagy melegítő kW-os teljesítményű. A nagyközönséget az érdekli, mennyit fogyaszt a berendezése időegység alatt, de az lehetőleg ne másodperc legyen, ezért az elektromos fogyasztásunkat kilowatt-órában (kWh) mérik, $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$.

Angolszász technikai energiaegység a *láb-font-erő* (*lbf*), ahol az egyik f-et lespórolták a rövidítésből, amely természetesen egy font súlynak megfelelő erő

kifejtése egy láb távolságon, $1 \text{ lbf} = 1,3558 \text{ J}$. Használják még munkavégzésre a *lóerő-órát*, amely $2,6845 \text{ MJ}$ -nak felel meg.

Érdekes a különböző üzemanyagfajták összehasonlítására használt energiaegység, a *gasoline gallon equivalent (GGE)*, amely azt mondja meg, az adott üzemanyag adott mennyisége hány (amerikai) gallon (azaz $3,8 \text{ L}$) normál benzinének felel meg. Itt persze azonnal felmerül a kérdés, mit tekintünk normál benzinnek, melyik gallonban mérjük és hogyan hasonlítjuk össze gázokkal. Ezt az amerikai szabványügyi hivatal, a NIST (National Institute of Standards and Technology) 1994-ben úgy oldotta meg, hogy az GGE-t $5,660$ font földgáz fűtőértékének definiálta, ami egyébként $33,41 \text{ kWh}$ -nak felel meg. Ebbe belefér a földgáz, cseppfolyósított gáz (LNG), benzin és dieselolaj, de a hidrogén és elektromos üzemanyag is. Amerikai benzinkutaknál a nagynyomású földgázt GGE-ben árazzák. Elvben normál benzinre $1 \text{ GGE} \approx 7594,1 \text{ kcal/L}$, de erősen függ a körülményektől: milyen benzin vagy gáz és milyen hőmérsékleten.

A robbantási energiát a trinitrotoluol (trotil, TNT) súlyegységében fejezik ki, 1 g TNT felrobbanásakor $4100 - 4600 \text{ J}$ energia szabadul fel. Emlékezzünk, hogy az atombomba robbanóerejét kilotonna, a hidrogénbombáét megatonna TNT-vel skálázzák. A legnagyobb megépített hidrogénbomba, a szovjet cárbomba jellemző adata mintegy 50 Mt TNT , azaz 210 PJ ($2,1 \cdot 10^{17} \text{ J}$) volt.

Földrengés

A Richter-skála a földrengés erősségének leggyakoribb, műszeres megfigyelésen alapuló mérőszáma, arányos az epicentrumban (fészekben) felszabaduló energia logaritmusával. A *Charles Francis Richter* amerikai szeizmológus által kidolgozott eljárás szerint a skála értéke a földrengés helyétől 100 km távolságban lévő szeizmográf által mikrométerben mért legnagyobb kitérés tízes alapú logaritmusa. A skála tehát felfelé nyitott, de az értéke korlátozott. A Nagaszakira 1945-ben ledobott 20 kilotonnás atombomba mintegy $4,5$ richter értékű földmozgást okozhatott. Ilyen erősségű földrengés évente több ezer történik, megérezzük, de károkat nemigen okoz. Amikor Tokióban dolgoztam, ott csaknem hetente éreztünk kisebb földrengést. A valaha skálázott legerősebb földrengés (Chile, 1960) $9,5$ erősségű volt, de 2025-ben is volt egy rendkívül erős, $8,8$ richteres földrengés Kamcsatkánál.

A *Giuseppe Mercalli* olasz vulkanológusról elnevezett *Mercalli-skála* 12 fokozatú és a földrengés pusztításának arányában adja a fokozatot. Az 1 -es fokozatot csak a szeizmográfok észlelik, a 12 -es már a hegy- és vízrajzi térképet is átrendezi. Mercalli 12 -es volt a chilei földrengés 1960-ban. Ezt a skálát összefüggésbe hozták a talaj gyorsulásával: a leggyengébb 1 -es $0,005 \text{ m/s}^2$, az erős 5 -ös $1,2 \text{ m/s}^2$, a 12 -es pedig 14 m/s^2 körüli pillanatnyi földmozgást jelent.

Olajfinomítók

Az olajfinomítás meglehetősen komplex folyamat, a legkülönbözőbb komplexitású olajfinomító rendszerek léteznek. Jellemző adatuk a *Nelson-komplexitási index* [25], amelyet a hatvanas évek elején *Wilbur L. Nelson* fejlesztett ki. Azt

fejezi ki, mennyivel bonyolultabb az adott finomító az egyszerű desztillálónál. Egy N egységből álló olajfinomító komplexum Nelson-indexe a részegységek adataiból számítható:

$$NCI = \sum_{i=1}^N F_i \frac{C_i}{C_D},$$

ahol F_i az egység komplexitási tényezője, C_i a finomító és C_D a desztilláló kapacitása. Ez persze a mérettől erősen függ, egyetlen desztilláló egységre $NCI = 1$. A Nelson-indexből számolható az adott olajfinomító állomás pénzbeli értéke. A hivatalos feljegyzések szerint a legnagyobb olajfinomítók indexe $NCI = 21,1$, az európai finomítók átlagos indexe 6,5, az amerikaiaké pedig 9,5. A szászahombattai Dunai Finomítóé 11,5.

4.3.11. Hang- és jelerősség, zajterhelés

Ezt a mértéket eredetileg az amerikai Bell Telefontársaság vezette be a kábelen történő jelgyengülés mérésére, és (*Alexander Graham Bell*, a telefon szabadalmaztatója tiszteletére) belnek (B) nevezte el (egy l-lel!). Logaritmikus mérték, hasonlóan a Richter-skálához, a kezdeti és végállapot jelerősség arányának logaritmus. 1 B volt a telefonjel gyengülése az akkori szabványos telefonkábel 1 mérföld hosszúságú szakaszán. A logaritmikus skálát az indokolja, hogy az érzékszerveink (a szemünk és a fülünk) is úgy működnek: tízszer akkora fényerőt kétszeresnek érzünk.

Paradox módon, a bel (B) helyett, amely nagyon nagy egységnek bizonyult, a *decibel* (dB) lett az általánosan elfogadott, az SI által is megtűrt, bár nem szabványos „mértékegység” (főleg mivel csak egy szám). A jel, amelynek a gyengülését mérjük vele, sokféle lehet, de mindig teljesítmény-jellegű: leggyakrabban elektromos, légnyomás vagy hangerő változásának jellemzésére használják. Definíciója:

$$W_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(W_1/W_0),$$

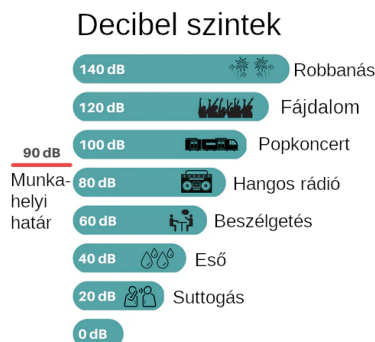
ahol W_0 a kiinduló és W_1 a végső (gyengült vagy erősödött) teljesítmény.

Elektromosságnál, ha például egy R ellenállású vezetékben az I áramerősség csökkenését mérjük állandó U feszültség mellett, a $W = U \cdot I = I^2/R$ összefüggés miatt a négyzetes arányt kell néznünk, tehát

$$I_{\text{dB}} = 20 \log_{10}(I_1/I_0)$$

lesz a decibelben kifejezett eredmény. Az említett elektromos példánál az ellenállás vagy impedancia nem változhat meg a kezdeti és végpont között. Ha mégis, akkor azt meg kell jelölni. Ennek megfelelően mindig pontosan meg kell neveznünk, milyen mennyiségre vonatkozik a decibeles változás és milyen körülmények között.

De mit jelent az az akusztikai adat, hogy a csendes porszívó hangereje 60 dB, a hangosé meg 80 dB? Ez hangnyomás-változást jelent, tehát a normális légköri nyomáshoz képesti növekedést. Ennek megfelelően 0 dB a fülünk



4.19. ábra. A hangerősség skálája suttogástól robbanásig

által hallható leghalkabb zaj, amelynek intenzitása (a hanghullám energiaáram-sűrűsége) 10^{-12} W/m^2 . Ehhez képest minden 10 dB-es többletet mintegy kétszeres hangerősség-növekedésnek érzünk. A szúnyog zümmögése 10 dB-es, a motorkerékpáré 80-as, 120 db pedig a fájdalomküszöb; 100 dB fölött (kőfűrész, légkalapács) már fülvédőt kell hordani (4.19. ábra)

A zajt a levegő pillanatnyi túlnyomásával (nyomásnövekedésével) is kifejezhetjük és a minimális zajra elfogadott értéke $20 \mu\text{Pa}$ (20 mikropascal). A 10 dB-enkénti kétszeres növekedést ebből kiindulva mérik.

Viccesen hangzik a FOG-orvosoknak (nem fogász, hanem fül-orr-gégész) az a tanácsa, hogy a hallásunk védelme érdekében hordjunk a popkoncerteken vagy a diszkóban fül dugót.

A zajterhelést a legegyszerűbb mikrofonnal mérni, amely a hangot eleve elektromos jellé alakítja. A piacon elérhető műszerek érzékenysége 30 és 140 dB közötti, ezt mérik a eltelt idő függvényében, majd rögzítik a pillanatnyi maximumot és az átlagos zajszint időbeni változását. Ilyen méréseket főleg a lakóterületeken történő építkezéseknél végeznek.

4.3.12. Keménység és érdesség

Vízkeménység

Keménységről általában a víz keménysége jut eszünkbe, amely a vízben oldott ásványi anyagok (gyakorlatilag kalcium- és magnéziumsók) koncentrációját jellemzi. A *változó keménységet* (más néven karbonátkeménység) a kalcium és magnézium hidrogén-karbonátja adja ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$). Ezek mennyisége forralással csökkenthető, olyankor ugyanis a fenti sók vízben oldhatatlan karbonátok formájában kiválnak. Az *állandó keménységet* a vízben oldódó szulfátok és kloridok okozzák, azok hő hatására sem válnak ki. A két keménység együtt adja meg a víz teljes keménységét.

Európában háromféle keménységi skála ismeretes, az angol, a francia és a német. Mi a németet használjuk, jele Magyarországon nk° . 1 nk° keménységű a víz, ha 10 mg/L kalcium-oxiddal egyenértékű kalcium- és magnéziumiont

tartalmaz. 4 nk° alatt nagyon lágy, 8 és 18 nk° között közepesen kemény és 30 nk° felett nagyon kemény a víz. A kemény víznek több kellemetlen hatása is van, a karbonátok például lerakódnak és eltömik a vízvezetékét és a melegítő edényeket (kávéfőző, vízforraló). Folyó vízén vízlágyító szerkezet használható, amely meglehetősen bonyolult, a már lerakódott vízkő viszont savval (például étkezcettel vagy vízkőoldóval) viszonylag egyszerűen eltávolítható.

A németnél praktikusabb a francia keménységi fok, amelynek a németéhez hasonló a definíciója, de nem kalcium-oxiddal, hanem 10 mg/L kalcium-karbonáttal definiálja a fokot. Ennek két előnye is van: egyrészt a változó keménység fő komponensét, a karbonátot használja, másrészt a CaCO_3 molekulásúlya 100 körüli, ami egyszerűsíti a számításokat. Az angol keménységi fok egysége $14,3 \text{ mg/L}$ CaCO_3 -nak megfelelő oldott sójt jelent. A három fokozat közötti átszámítás: $1 \text{ nk}^\circ = 1,79 \text{ fk}^\circ = 1,25 \text{ ak}^\circ$.

Felületi keménység

A felületi keménység az anyag ellenállóságát jellemzi külső mechanikai hatásokkal szemben. Megkülönböztetnek karcolási, fúrási, csiszolási és nyomási keménységet.

- A karcolási keménységet nem annyira mérik, inkább fokozatba állítják. A Mohr-féle skála: talk vagy zsírkréta (Mohr 1), gipsz (2), kalcit (3), fluorit (4), apatit (5), földpát (6), kvarc (7), topáz (8), korund (9) és gyémánt (10). Meg kell találni, hogy az adott anyag melyik kettő közé esik, az erősebb karcolja a gyengébbet.
- A fúrási keménységet adott fordulatszámú gyémánthegyű fúró behatolási mélységével mérik adott idő alatt.
- A csiszolási keménység mérőszámát az a tömegveszteség adja, amelyet adott körülmények (pl. csiszoló anyag és idő) mellett a csiszolt minta elveszít.
- A felületi keménység fontos mérőszám szerszámok és alkatrészek tervezésénél. Többféle módszerrel mérik. A Brinell-keménységnél acél- vagy karbidgolyót, a Vickers- és Knoop-keménységnél gyémánt piramist, a leggyakoribb Rockwell-keménységnél golyót vagy kúpot préselnek az anyagba, a keménységet a lenyomat átmérője vagy mélysége jellemzi. A Vickers-módszer sérti a legkevesbé a vizsgált anyagmintát, mert egy 136° csúcs-szögű gyémántgúlával csinálják.

Felületi érdesség

A köznapi életben egy felület rücskös vagy sima, érdes vagy finom, esetleg szálkás. Az ipari alkalmazások szempontjából azonban mérni kell a felület minőségét, amely a felület helyi változásának vizsgálatát jelenti. Ennek kézenfekvő matematikai módszere volna a felületre merőleges normálvektor változásának mérése mozgítás közben: annak mérete a felület durvaságának lesz a mértéke.

Ez természetesen függeni fog a szonda mozgatásának sebességétől és a leolvasás gyakoriságától, azokat tehát a kíváncsisághoz kell igazítani. A kíváncsiság pedig erősen változó: az a kérdés, mire akarjuk a felületet használni. Gondoljunk az autógumi és a csúszócsapágy vagy puskacső használati különbségére, vagy a képernyők simaságára; jómagam csak matt képernyővel szeretek dolgozni, mert nem az érdekel, mi világít a hátam mögött. Ugyanakkor az elektronikus chipek gyártásához egészen kiválóan sima felület kell.

A normálvektor szögét igen bonyolult mérni. A gyakorlatban mélységet mérünk. Viszonylag sima felület érdekességét makroszkóppikusan gyémánttűvel, tehát mechanikus érintéssel, mikroszkóppikusan pedig lézer-interferenciás mikroszkóppal, tehát a fotonok visszaverődési idejével szokták mérni. A mechanikus módszer a tű mérete, az optikait a vizsgálati fény hullámhossza korlátozza. Sok más mérési módszer is ismeretes, például a piezoelektromos, alagút- és elektronmikroszkópok már atomi szinten mérnek. Valamennyi ilyen mikroszkóp pásztázó (*scanning*), hogy végig tudja nézni a teljes felületet.

Rengeteg érdekességi paraméter ismeretes, és azok főleg az átlagos szinttől eltérő felületi mélység változását jellemzik. Van az eltérések számtani átlaga (ez a leggyakoribb, jele R_a), de négyzetes átlagot is számolnak: ezek persze adott távolságlépésre vonatkozó integrálok. Mérnek még adott távolságon belüli legnagyobb észlelt eltérést, illetve a legkiállóbb és legmélyebb pontok átlagos távolságát. Ezeket mikrométerben vagy mikroinchben mérik, a helyi kultúrától függően.

Van még egy jellemző paraméter, a dimenzió nélküli *ferdeség* (*skewness*), amely azt jellemzi, mennyire nem szimmetrikus a magasságok és mélységek megoszlása a felületen. Definíciója a harmadik centrális momentum és a szórás köbének hányadosa, azaz

$$\beta_1 = \frac{\langle (x - m)^3 \rangle}{(\langle (x - m)^2 \rangle)^{3/2}},$$

ahol a $\langle \rangle$ zárójel várható értéket jelent, x a mért mennyiség, m pedig annak várható ($\sim$ átlagos) értéke. Szimmetrikus esetre $\beta_1 = 0$, ha az eloszlás jobbra nyúlik, akkor pozitív, ha balra, akkor negatív.

Az SI ISO szabványa az érdekességet az N1–N12 mérőszámmal jellemzi. N1 a legfinomabb, $R_a = 0,025 \mu\text{m}$, történetesen mintegy 1 mikroinch, az N2 ennek duplája, és kétszeresen nő egészen N12-ig, amely már $R_a = 50 \mu\text{m}$ -nek felel meg. Mindegyik N értékhez tartoznak más érdekességi paraméterértékek is. Erős amerikai hatás érződik a kétszerezés miatt is.

4.3.13. Ízérzékelés

Ételeink ízjellemezői, a savanyú, sós, édes, keserű és csípős. Az élelmiszergyártóknak izmesterei vannak a fűszerezés beállítására. Van egy fizikus kollégám, aki még soha nem felejtett el egy ízt, azonnal tud azonosítani mindent, amit valaha kóstolt; bornál nemcsak a fajtát, de lelőhelyet és évjáratot is. A szánk ízlelő bimbói állapítják meg az ételek ízét, és azt elég nehéz kvantifikálni. Bizonyos alapízekre viszont már felállítottak mérőszámokat.

Először Arisztotelész állított fel alapízeket, édeset és keserűt, i.e. 350-ben. Jelenleg a hivatalos alapízek a következők, példákkal: édes (cukrok, alkohol), sós (sófélék), savanyú (savak), keserű (ebből rengeteg van), és végül a finomság, japánul *umami* (ízfokozó adalékok). Szoktunk beszélni még fémes, vizes, zsíros és lúgos ízről is. Az ízlelés erősen összefügg a szaglással, a Covid-influenza jellegzetes tünete volt ízlelés és szaglás egyidejű elvesztése a betegség idején.

Ízmérésre jellegzetes ízforrásokhoz viszonyított értékeket használnak. Az édességet például az étkezési cukor alapvető komponense, a szacharóz édességéhez hasonlítják, az emberi észlelés alsó határa arra 10 millimol/liter, ez felel meg az 1-es édességnek. Ezen a skálán például a laktóze csak 0,3, mert 30 millimol/litertől érzékeljük. A mesterséges édesítőszeres általában sokkal édesebbek, mint a cukor. A jelenleg ismert legédesebb vegyületet, a 4000-es fokozatú ultrasüsst (5-nitro-2-propoxianilin) lehetséges toxikus hatása miatt már nem használják, 1950-ben hivatalosan be is tiltották Amerikában.

A savanyú érzetet az édeshez hasonló módon a legnagyobb még érzékelhető vizes hígításban a sósavhoz, a sósat a konyhasóhoz, a keserűt a kininhez, az umamit a nátriumglutamát ízfokozóhoz viszonyítják.

4.3.14. Szcientometria

A tudományos teljesítmény mérése, a *szcientometria* rendkívül fontos, mind a tudományos dolgozók előmenetele, mind pedig a kutatással foglalkozó intézmények és fenntartó testületeik szempontjából. A tudományos kutatók munkásságát többféle módon is mérik. A legrégebbi mérőszám a publikációk száma. Egy sikeres természettudóstól elvárnak évi 3–10 tudományos publikációt, amelyek szerzőként a nevét viselik. Ezek között természetesen azok nagyobb súllyal jönnek szóba, amelyek magasabb presztizsű nemzetközi folyóiratokban jelennek meg: egy természettudós számára például az amerikai *Nature* folyóiratban megjelenő saját cikk igazi nagy siker. Tekintettel arra, hogy rengeteg a folyóirat, azokat kategóriákba sorolják, a [26] lap sok ilyen minősítő indexet elemez.

Hirsch-index

Egy tudományos publikáció értékének legelterjedtebb minősítése az, mennyire segíti az adott tudományterület fejlődését, és azon a legegyszerűbb mérni, hány más tudományos közlemény idézi, azaz hivatkozik rá. Ezt a kutatóknak maguknak kell vezetniük, de szerencsére nemzetközi figyelőszolgálatok végzik. Vannak természetesen divatos témák, amelyekre sokan hivatkoznak, de olyan igazán jelentősek is, amelyek csak később fejtenek ki hatást valamelyik területre. Ráadásul a kutatók egy része rengeteg cikket ír, mások azonban ritkábban, de magvasabbakat. Egyéni kutatói jellemző a *h-index*, amelyet *Jorge E. Hirsch* amerikai fizikus vezetett be elméleti fizikusok munkájának értékelésére. Definíciója roppant egyszerű: azon saját cikkek *h* száma, amelyekre legalább *h* hivatkozás történt. Ez azt jelenti, hogy ha egyetlen cikkem van több száz hivatkozással, vagy száz cikkem, de csak 0 vagy 1 hivatkozással, az indexem egyaránt $h = 1$ lesz. A *h-indexet* a folyóiratokra is kiterjesztették, a már említett *Nature*-

é 2024-ben 1442 volt, azaz 2024 folyamán 1442 olyan cikk jelent meg benne, amelyekre legalább 1442 hivatkozás történt tudományos folyóiratokban.

Impakt faktor

A folyóiratok legelterjedtebb minősítése az *impakt faktor*, *IF*, amely a megjelent cikkekre a rákövetkező két év alatt adott hivatkozások száma, osztva az összes publikáció számával. Egy átlagos tudományos folyóirat impakt faktora 1 körüli, de a Nature-é 2024-ben 18 felett volt. Ez kivetíthető a kutató személyekre is: az adott időszak alatt összegyűjtött IF-összege pontosabban jellemzi a munkásságát, mint a publikációk és hivatkozások pusztá száma.

Sokszerzős cikkek

Egyik mérőszám sem veszi figyelembe a publikáción szereplő szerzők számát. Néhány szerző esetén van, ahol egyszerűen elosztják a mérőszámokat a szerzők számával. Vannak azonban óriási tudományos együttműködések (csillagászat, űrkutatás, nagyenergiás részecskefizika, gravitációs hullámok vizsgálata) ahol a milliárd dolláros kísérletek csak többszáz, esetleg több ezer tudóssal működtethetők. A CERN CMS nevű együttműködése például évente mintegy száz publikációt közöl és mindegyiken 2000-nél több szerző szerepel. Ezek a publikációk nem hasonlíthatók a kevés szerzős közleményekhez, hiszen ha szerzőszámmal osztjuk az évi termést, gyakorlatilag nullát kapunk, normálás nélkül viszont irreálisan sokat, mind a cikkek, mind pedig rájuk befolyó hivatkozások számát illetően.

Több kísérlet is volt a sokszerzős cikkek kezelésére, normálására. A Magyar Tudományos Akadémián egykor bevezettek effektív mérőszámokat: például 5 szerző alatt egészset ért a publikáció, 5 és 20 szerző között felet, afölött negyedet. Másik javaslat az volt, hogy normálják a cikkek számát a szerzők számának négyzetgyökével. A kérdés változatlanul megoldatlan, a nagy létszámú együttműködések kutatói gyakran azzal intézik el a kérdést, hogy „ez más kávéház”.

Erdős-szám

Valamilyen szempontból ide illik az *Erdős-szám* is, amely azt mutatja, milyen messze található tudományosan egy matematikus tevékenysége *Erdős Pál* [27] világhírű matematikusétól. Ezt Erdős barátai találták ki, hogy tisztelegjenek Erdős elképesztően széleskörű együttműködési hálózata előtt. Tréfának indult, de tudományos körökben meglehetősen elterjedt, és komoly lökést adott a hálózatkutatásnak. Azt mutatja, hány lépésre található Erdőstől egy másik matematikus publikációs tevékenysége. Magának Erdősnek az Erdős-száma természetesen nulla, közvetlen munkatársaié, akivel közös publikációja született, 1. Ha valaki magával Erdőssel nem publikált közös cikket, de társszerző 1-es Erdős-számú kutatóval, akkor 2 az Erdős-száma, és a szám a távolsággal lépésenként növekszik. Maga Erdős mintegy 1500 publikációt írt életében, túlnyomórészt másokkal közösen, és 509 matematikus Erdős-száma 1. 2-es száma viszont 2020-ban már 12000-nél több tudós volt, többek között Nobel-díjas fizikusoknak, biológusoknak és közgazdászoknak, ez is Erdős elképesztő hatását mutatja a

matematika fejlődésére. *Angela Merkel* néhai német kancellárnak, aki eredetileg szilárdtestfizikus volt, 5-ös volt az Erdős-száma. Erdős Pál egész életében a világot járta, de szoros hazai kapcsolataira jellemző, hogy a statisztika szerint a tíz legtermékenyebb szerzőtársa között hat magyar volt. A szerző Erdős-száma 4, mert az együttműködései sokezer társszerzője között volt matematikus is.

Az Erdős-számot többször módosították és kiterjesztették más területekre is. Erre jó példa a *Bacon-szám*. Ez *Kevin Bacon* amerikai filmszínészhez kapcsolódik az Erdős-számhoz hasonló definícióval, csak közös publikáció helyett közös filmszerepléssel. A *Bacon-szabály* kimondja, hogy a világ bármelyik filmszínészétől legfeljebb hat lépéssel eljutunk Kevin Baconig. Másik példa a *Sabbath-szám*, amely azt mutatja, hány hasonló lépésre található egy zenész a *Black Sabbath* popzenekartól. Ide kívánczik *Richard Feynman* Nobel-díjas fizikus esete, aki arról is nevezetes, hogy mindhárom listán előkelő helyet foglal el, az Erdős- és Bacon-száma 3, a Sabbath-száma 4, mivel a fizikán kívül filmekben is szerepelt és zenekarban is játszott.

Külön érdekesség, hogy ez az ötlet az angol Wikipédia szerint is *Karinthy Frigyes*től ered, aki 1929-ben *Láncszemek* című novellájában megsejtette, hogy az ismeretségek hálózata a lépésekkel ezponenciális növekszik, és bárkitől bárkiig eljutunk hat megfelelően definiált lépéssel (például ismeretsséggel) a Földön [28].

4.4. Elektrotechnika

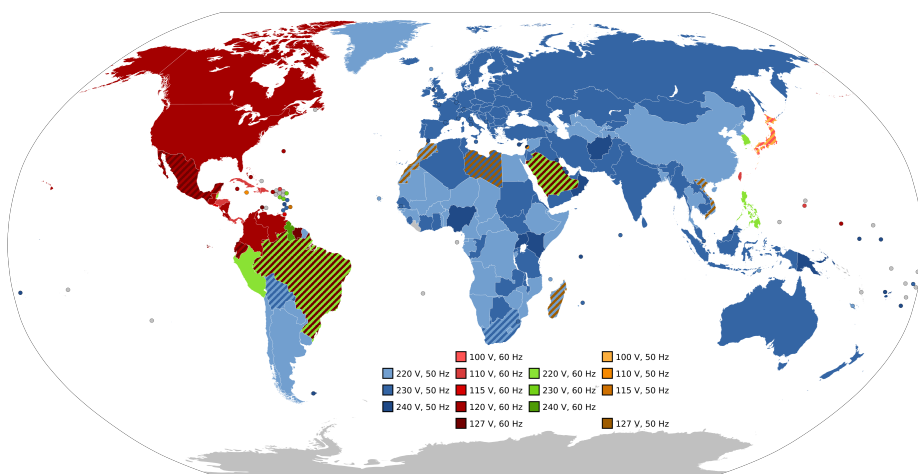
MOTTÓ:

Az áram alatt levő vezeték ugyanúgy néz ki, mint a földelt, csak a fogása más.

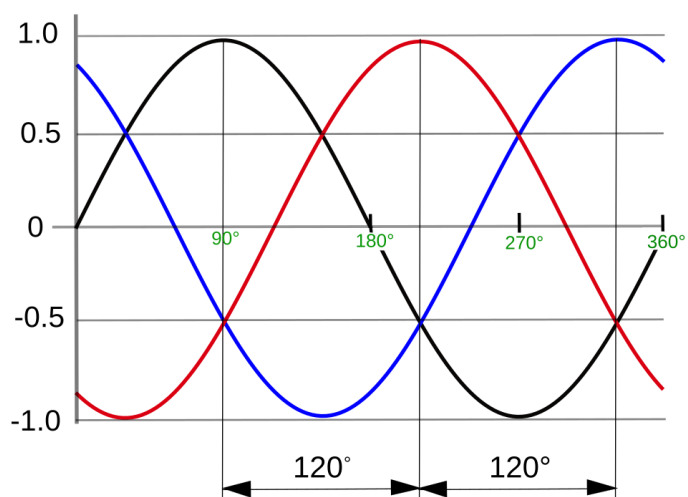
Falfirka

Az elektrotechnika alapvető mennyiségeit és mérőszámait foglaljuk össze a 4.3. táblázatban. A vezetőképességre régebben használták a *mho* $\mathcal{U}$ egységet fejreállított Ω jellel, de az SI ezt *Ernst Werner Siemens* német elektromérnök tiszteletére megváltoztatta az *S siemens*-re. A $Z = R + iX$ *impedancia* a váltóárammal szembeni komplex ellenállás, amely a frekvenciától is függ: valós része az R ellenállás, a képzetes pedig az X *reaktancia*, mindkettő egysége ohm. Az elektromágneses mezők közül csak a B mágneses indukció érdemelt saját nevű egységet, a T teslát (*Nikola Tesla* szerb-amerikai fizikusról), az elektromos térerősségnek, például, maradt a V/m. Az *induktivitás* a vezető ellenállása a rajta átfolyó áram változásával szemben, egysége a *henry* egyik felfedezőjéről, *Joseph Henry* amerikai fizikusról. Az induktivitás másik felfedezője *Michael Faraday* volt, akiről már több mindent elneveztek, többek között a kapacitás egységét (*farad*) és az elektromágneses mezőt árnyékoló *Faraday kalitkát*.

Az elektromos potenciált voltban mérjük, de az értéke kizárólag attól függ, mit tekintünk nullának. A nagyfeszültségű távvezetéken ülő madaraknak semmi



4.20. ábra. Hálózati fázisfeszültségek és frekvenciák a világ különböző országaiban



4.21. ábra. Háromfázisú váltakozó áram hullámformája ($\sin \omega t + \Theta$). A vízszintes tengelyen a Θ fázisszög, a függőlegesen az adott szöghöz tartozó pillanatnyi feszültség látszik, a maximális érték arányában. Az állandó ω körfrekvencia miatt a fázisszög az időfüggést is tükrözi. A három fázist három különböző szín jelzi egymáshoz képest $\Delta\Theta = 120^\circ$ -kal eltolva

Mennyiség	jelölés, reláció	mértékegység	jel
Áram	I	amper	A
Töltés	$Q = I \cdot t$	coulomb	C
Elektromos potenciál	V	volt	V
Feszültség	$U = V_1 - V_2$	volt	V
Frekvencia	f	hertz	Hz = 1/s
Fázisszög	Θ	radián	
Ellenállás	$R = U/I$	ohm	Ω
Impedancia	$Z = R + iX$	ohm	Ω
Vezetőképeség	$G = I/U$	siemens	S
Kapacitás	$C = Q/U$	farad	F
Teljesítmény	$W = U \cdot I$	watt	W
Elektromos térerősség	$E = V/s$	volt/méter	V/m
Elektromos fluxus	Ψ	volt·méter	V·m
Mágneses indukció	B	tesla	T
Mágneses fluxus	Φ	weber	Wb
Induktivitás	$L = \Phi/t$	henry	H

4.3. táblázat. A villamosság alapvető mennyiségei és mértékegységük az SI rendszerben, ahol t az idő és s a távolság jele. A mennyiségek szimbólumait dőlt, a mértékegységeket álló betűkkel írjuk. Itt nem követtük az imaginárius egység jelölését a szokásos i helyett az elektrotechnikában meghonosodott j -vel, nehogy összetévedesszék az áramsűrűség jelével.

bajuk, számukra az ottani 10000 V a nulla, ami jól mutatja, hogy az elektromos jelenségeket a feszültség, azaz két pont közötti potenciálkülönbség határozza meg. Az elektromos térerősség emiatt nem is kapott külön nevet, mértékegysége egyszerűen V/m, hiszen alapvető mennyisége az elektromos feszültség. A mágneses térerősség, az indukció sokkal fontosabb: nem lévén mágneses töltés, az erőter tulajdonságait (elsősorban a mágneses mezőét) az elektromos áram által keltett indukció hozza létre.

Az elektromos hálózat ma már gyakorlatilag mindenütt váltakozó áramot szolgáltat, emiatt az elektromosság gyakorlati alkalmazásában rendkívül fontos tényező a frekvencia és a fázis. A hálózati feszültség a különböző országokban változó, 100 és 240 V közötti, a frekvencia pedig 50 vagy 60 Hz (4.20. ábra). Európában, Ázsia és Afrika túlnyomó részén, valamint Ausztráliában a feszültség 220 vagy 230 V 50 Hz frekvencia mellett. Észak-Amerikában viszont 120 V és 60 Hz, Japánban pedig 100 V és 50 vagy 60 Hz. Megbízható elektromos szolgáltatáshoz nagyon pontos frekvenciatartás kell. Ha ugyanis az egy helyen megváltozik, akkor keveredve egy másikkal lebegés következhet be, amely tönkretelheti az elektromos eszközöket. Hazánkban is elterjedtek a hálózatra kapcsolt napelemes rendszerek, azok invertere a napelem egyenfeszültségét váltóárammá konvertálja, amelynek a frekvenciáján kívül a fázisszögét is a hálózathoz igazítja, hiszen ha azok, azaz a feszültségcsúcsok időzítése nem esik pontosan egybe, gyengítik egymást.

A váltakozó áram gyakorlatilag azt jelenti, hogy a feszültség szinuszfüggvény szerint változik a nullán átmenve pozitív maximum és negatív minimum között,

az áramerősség időfüggése tehát $i(t) = I \sin(\omega t + \Theta)$, ahol $\omega = 2\pi f$ a körfrekvencia, az f frekvencia 2π -szerese, Θ pedig a fázis (4.21. ábra). A feszültség átlagos értéke időben általában nullára jön ki. Jogos kérdés, mit jelent akkor a 230 V? Ez a teljesítményre vonatkozó effektív feszültség, tehát U^2 időbeni átlagos értékének négyzetgyöke, amely a szinuszos függés esetén $U_{\text{eff}} = U_{\text{max}}/\sqrt{2}$. Ezek szerint tehát a 230 V effektív feszültség 325 V körüli csúcsheszültséget jelent.

Érdekes a három fázis szerepe. A váltóáram általában mindenütt három különböző, egymástól $\Delta\Theta = 120^\circ$ különbséggel eltolt fázisból áll (4.21. ábra). Ez mind a felhasználás, mind pedig a továbbítás szempontjából előnyös, hiszen amíg a legtöbb háztartásban használt egyetlen fázishoz két vezeték kell, a három fázishoz egyetlen nullával négy elegendő. Egy fázis és a nulla közötti effektív feszültséget, azaz nálunk a 230 V-ot fázisfeszültségnek hívják, a két különböző fázis közöttit pedig vonali feszültségnek, hazánkban az utóbbi értéke mintegy 400 V. Amerikában a fázisfeszültség 120 V és a vonali feszültség 208 V.

4.5. Fénytan, optika

MOTTÓ:

Valami újra van szükségünk. Nem tudjuk előre, mi lesz, és hogy mikor találunk rá, hiszen ha tudnánk, már megtaláltuk volna!

Stephen Hawking

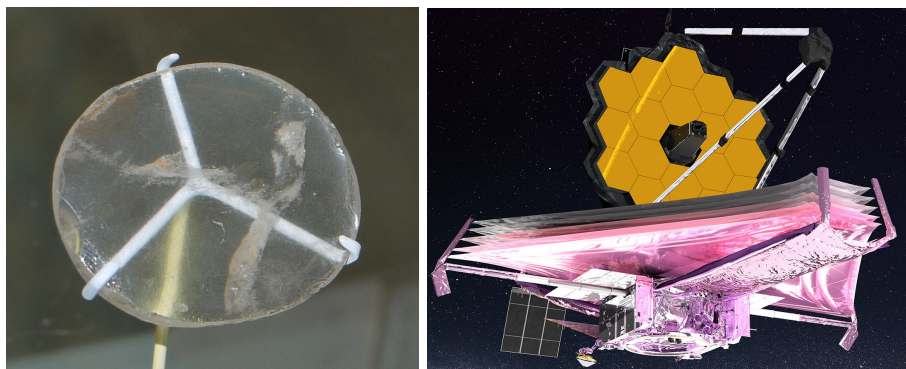
A fénytan vagy optika az egyik legrégebbi tudományág, és igen sok minden helyet kap benne: a látható fény terelésén kívül a lézerek és a csillagászati teleszkópok is. Tágabb értelemben még a részecskegyorsító berendezések nyalábkezelő mágneses egységei is ide tartoznak, hiszen azok alkotják a *nyaláboptikát*. A csillagászok nemcsak a látható fényt tanulmányozzák, hanem a nagy energiájú gamma-kitöréseket, sőt még ide sorolhatók a gravitációs hullámokat észlelő gigászi berendezések is.

4.5.1. Látható fény

Nagyítólencsék már 2000 évvel időszámításunk előtt léteztek. A Nimrud-lencse (4.22. ábra) Asszíriában készült, az i.e. 8. században.

Az optika legfontosabb mértékegysége a hosszúság. Ide tartozik a tanulmányozott sugárzás hullámhossza, legyen az hosszú hullámú hősugárzás, látható fény, mikrohullámú vagy rádiósugárzás, vagy éppen nagy energiájú gamma-foton. Nagyobb energiák esetén a hullámhossz helyett, ahogyan már korábban említettük, inkább a sugárzás energiáját említik valamilyen energiaegységben, spektroszkópiában pedig a frekvenciáját Hz-ben.

A fény legfontosabb tulajdonsága a λ hullámhossza, amely látható fénynél 380 és 760 nm közé esik ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), a frekvenciája pedig a $f = c/\lambda$, ahol c a vákuumbeli fénysebesség. A fény kvantum, elemi egysége a foton, amely



4.22. ábra. Balra: Az i.e. 8. században, Asszíriában készült, 38 mm átmérőjű Nimrud-lencse (British Museum). Jobbra: A 6500 kg-os, 25 m² érzékeny felületű James Webb űrteleszkóp képe a Nap, a Föld és a Hold fényét árnyékoló ernyőrendszerrel (NASA)

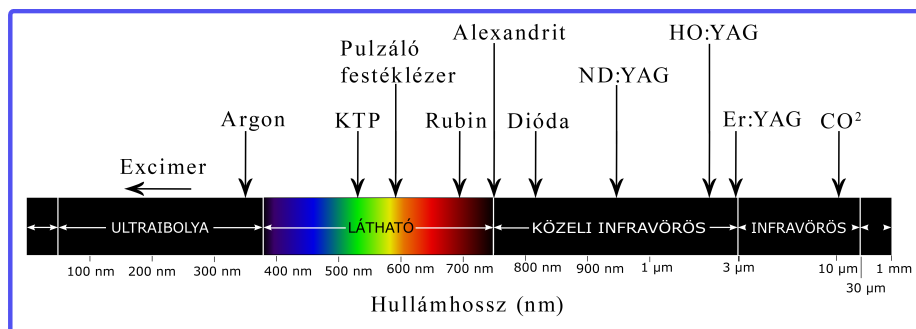
részecskének is tekinthető. Habár a foton tömege nulla, az energiája $h \cdot f$, ahol h a Planck-állandó. Emiatt a foton energiája kifejezhető akár részecskeként, például elektronvoltban, akár hullámként hullámhosszban vagy rezgésként frekvenciában. Az adott alkalmazástól függ, melyik kényelmesebb. Azok az optikusok, akik a láthatónál nagyobb energiájú fényt ibolyántúlinak, ultraviolának, a kisebb energiájút meg infravörösnek, vörösön inneninek nevezték el, nyilvánvalóan hullámhosszban gondolkodtak, de ma már inkább frekvenciát hasonlítottunk össze, mert azt lehet a legjobban szabályozni és mérni.

4.5.2. Lézerek

A lézer (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, LASER*) a 20. század egyik legnagyobb találmányának számít, alapvető szerepet játszik az életünkben, hiszen addig elképzelhetetlen energiasűrűségű, nagyon pontos frekvenciájú fotonmennyiséget ad akár folytonosan, akár villanásszerűen. Kevert hullámhosszú sugárzás energiáját valamilyen kiválasztott hullámhosszra konvertálja gázban vagy szilárd anyagban.

A különböző területek más-más lézereket használnak, gondoljunk például a lézeres mutatópálcára, a DVD-lejátszóra vagy a lézeres anyagmegmunkálásra: felületmegmunkálás, vágás, hegesztés, vagy akár kozmetikai szőrtelenítés és orvosi operáció (4.23). A lézereket jellemző adatok a hullámhosszon és a lézerimpulzus hosszán kívül a teljesítménye impulzusonként vagy folytonos üzemmódban. Nagy energiasűrűsége miatt helyenként betiltották a lézeres mutatópalcák használatát; valóban veszélyes belenézni, és voltak, akik a színház nézőteréről a színészek szemébe világítottak vele.

A leggyakrabban használt lézerek a lézerdiódák: ezek vannak a mutatópálcákon kívül a CD- és DVD-lejátszóban is. A CD-khez inkább vörös, a DVD-khez (amint azt az újabbak *blu-ray*, *kék sugár* neve is sugallja) a rövidebb hullámhosszú, kék és ibolya színű fényt kibocsátó lézereket használják, mert a rövidebb hullámhosszuk nagyobb információsűrűséget tesz lehetővé. Lézerek nemcsak a



4.23. ábra. Lézerfajták spektroszkópai célra. A vízszintes tengelyen a lézerek hullámhossza látható nanométer egységben



4.24. ábra. Gyertyaláng és telehold

látható fénnel léteznek, hiszen vannak infravörös, ultraibolya, röntgen- és gamma lézerek is.

A lézerek fényhozamát teljesítményben, természetesen wattban mérik. A 633 nm hullámhosszú, folytonos üzemű hélium-neon lézer tipikus teljesítménye néhány milliwatt. A szegedi ELI (Extreme Light Infrastructure) intézet óriási lézerei csúcsteljesítménye több terawatt, persze extrém rövid pillanatokra, nagyjából 100 W átlagos teljesítmény mellett. Másik lényeges adat a lézerimpulzus hossza. Gyors atomi folyamatok tanulmányozásához nagyon rövid impulzusok kellenek: Krausz Ferenc és társai az attoszekundumos, azaz 10^{-18} s hosszú impulzusokat kibocsátó lézerek kifejlesztéséért kapták meg a Nobel-díjat, azok ugyanis lehetővé teszik az atomokban lejátszódó, rendkívül gyors folyamatok kísérleti vizsgálatát.

4.5.3. Fényerősség

A fényerősséget az SI *kandelában* méri, a jele cd. Eredetileg, amint a latin gyertya szóból származó neve is sugallja, egy átlagos viaszgyertya fényerősségének felelt meg. Az SI átvette a következő definícióval. 1 cd annak a fényforrásnak

az erőssége adott irányban, amely arrafelé $1/683$ watt/szteradián (W/sr) energiát bocsát ki $540 \cdot 10^{12}$ Hz frekvencián. Ez a kisugárzott fényerő, a szemünk által érzékelt fényerőt viszont *lumenben* mérjük, ott ugyanis a szem frekvenciafüggő érzékenységet is figyelembe vesz, tehát a látható frekvenciatartományra vonatkozik. Egy lumen az a fényáram, amelyet egy 1 kandela fényerősségű, minden irányban egyenletesen sugárzó, pontszerű fényforrás 1 szteradián térszögbe sugároz, $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot 1 \text{ sr}$, tehát a lumen lényegében watt. A megvilágítás mértékegysége a *lux*, $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$. Kis mértékegység, a telehold ad közel ennyi világítást tiszta éjszakán, az irodánkban több száz lux van és a nyílt napfény sok ezer luxot jelent (4.24. ábra).

[Az oldal szándékosan üres.]

5. fejezet

Furcsa mértékegységek

MOTTÓ:

Az optimista meg van győződve róla, hogy a lehetséges világok legjobbjában élünk, a pesszimista meg tart tőle, hogy ez tényleg igaz.

Falfirka

5.1. Átfogó rendszerek

Pihent agyú feltalálók kidolgoztak furcsa mértékrendszereket, és azokat van, ahol használják (ha nem is mindig véresen komolyan).

5.1.1. Az FFFF rendszer

Az FFFF-mértékrendszert angolok eszelték ki a sajátjuk kicsúfolására. Hosszegysége a *furlong* (201,2 m), időegysége a *fortnight* (2 hét), a tömegegysége pedig a brit söröshordó töltő súlyából *firkin* (40,8 kg). Rendkívül praktikus egységrendszer, a fény sebessége például $3 \cdot 10^8$ m/s = 1,8 megafurlong per mikrofortnight. Ezt később kiegészítették FFFF-re, hozzáadva a *Fahrenheitet*, bár az a legnagyobb mértékben igazi, abszurd definíciója ellenére Amerikában az a hivatalos hőmérsékletegység.

5.1.2. Potrzebie

Donald E. Knuth világhíres matematikus, a TeX matematikai szövegszerkesztő program megalkotója (annak Latex utódjában született a jelen könyv is), 19 éves egyetemistaként alkotta meg a MAD amerikai humoros magazin számára a *Potrziebie* mértékrendszert. Alapja természetesen hosszúságegység: 1 Potrzebie = 2,2633484517438173216473 mm, a MAD magazin 26. számának vastagsága.



5.1. ábra. A *smoot* hosszegység 50-ik születésnapjára készített emléktábla és maga Oliver Smoot, mint hosszegység a bostoni Harvard-híd közepe a smoot-skálával és a "Félúton a pokolhoz" felirattal

Térfogategysége a *ngogn* = 1000 *potrzebie*³. Tömegegysége viszont a *halván*, ezen a közel-keleti édességen alapul és az orosz palacsinta nyomán *blintz*-nek hívja. 1 *blintz* = 1 *ngogn* térfogatú olyan halva súlya, amelynek a fajsúlya π (azaz 3,14159) és fajhője $\pi/10$, gondolom, metrikus egységekben. Az idő az első *Mad* magazin megjelenésekor, 1952. okt. 1-én kezdődik és nyolc nevesített időegységet tartalmaz, alapegysége a Föld átlagos tengely körüli fogásának ideje, a *clarke*, annak többszöröse helyettesítik a hetet, hónapot, évet, különböző neveken. A korábbi idők B.M. (MAD előtt, before MAD) jelölést kapnak.

5.2. Hosszúság

5.2.1. Smoot

MOTTÓ:

A Harvard-híd hossza $364,4 \text{ smoot} \pm 1 \text{ fül}$, az MIT belső rádióadója a 2 smoot hullámhosszon sugároz.

Massachusetts Institute of Technology

A *smoot* ($\approx 170 \text{ cm}$) komoly hosszegység, mégpedig *Oliver R. Smoot* testhossza 1958-ban, egyetemista korában. Diáktársai őt (a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet későbbi elnökét) használták fel az MIT (Massachusetts Institute of Technology) közelében levő bostoni Harvard-híd hosszának mérésére: csaknem hetven éve 364-szer ráfektették és a jeleket a járdára festették (5.1. ábra). Az MIT diákjai évente kétszer újrafestik a jeleket, minden tizedik smootot számozva. A helyszínelő rendőrök smootban adják meg a baleset helyszínét, és amikor a hidat renoválták, a jeleket a hídepítőknak újra fel kellett festeniük. Az MIT belső rádióadója a 2 smoot hullámhosszon (88.1 MHz frekvencián) sugároz.

5.2.2. Egyéb hosszegységek

Versenynél használatos a lóhossz lóversenynél, testhossz vagy karcsapás úszóversenynél, hajóhossz kajak-kenunál. Városi távolságokat szoktak jellemezni utcahosszal, blokkal, háztömbbel.

A csillagászat óriási távolságait *parsecben* mérik, $1 \text{ pc} \approx 3,26 \text{ fényév} \approx 3,09 \cdot 10^{16} \text{ m}$, ennek megfelelően az attoparsec kézzelfogható hosszegység: $1 \text{ apc} \approx 3,09 \text{ cm}$. Nagyon kis távolságok viszont jól leírhatók a férfiszakáll másodpercenként növekményével, a Google Calculator szerint $1 \text{ beard-sec} = 5 \text{ nm}$ (nanométer). Számítástechnikában született Walt Disney mikiegeréről a *mickey*: az a legkisebb távolság (felbontás) pixelben, amelyet az egér mozgatása közben a számítógép még éppen érzékel. Tipikus értéke 16 mickey/mm , de ez manapság felmehet 600 mickey/mm -ig.

5.3. Terület

5.3.1. Barn

Érdekes, hogy sokan a tréfások közé sorolják a részecskefizikai hatáskeresztmetszet ténylegesen használt *barn* egységét ($1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$) a neve miatt. Az ugyanis csúrt jelent. Az amerikai atombomba fejlesztésén, a Manhattan projekten dolgozó fizikusok az urán atommag méretéhez közeli felületegységet választottak mértékegységnek, és hosszú vita után, mialatt több fizikus neve is felmerült, nevezték el barnnak, mivel „olyan nagy, mint egy csőr”. Mértékegységként először egy titkos Los Alamos-i jelentésben szerepelt, de mára hivatalos mértékegység lett, az SI is elfogadja. Elnevezett kisebb egységei viszont tényleg tréfások, definiálták az *outhouse* (budi) és *shed* (kerti tároló, pajta) egységeket is, bár meglepő módon a barnnál nagyságrendekkel kisebbeknek.

5.3.2. Nanoacre

Az angolszász földmérés egysége az *acre*, $1 \text{ acre} = 4046,85642 \text{ m}^2$, a hektár 40 %-a. Tréfásan használják a Szilícium-völgyben a nanoacre, 10^{-9} acre egységet, mint a nagy sűrűségű szilícium-áramkörök jellemző méretét. Állítólag egy nanoacre chip kifejlesztése nagyjából ugyanannyi pénzbe kerül, mint a környéken egy acre méretű telek.

5.3.3. Egyéb egységek

- *Futballpályányi*: Nagyon nagy városi vagy falusi terület.
- *Szekérdereknyi*: Köbméter körüli térfogat.
- *Ölnyi*: Tűzifa kézzel fogható mennyisége.

5.4. Idő

A *napóra* időtartamként a napkelte és napnyugta közötti időszak 12-ed része volt, tehát évszakonként erősen változott. A *momentum* a napóra 40-ed része, tehát szintén változó, de átlagosan 90 s körüli. Nem tévesztendő össze a *pillanattal*, amely viszont tényleg egy szempillantásnyi.

A *perc* az óra 60-ad része, és a neve nem századrész, *percent*, hanem általában a *kicsiből* ered, mint az ujj perce vagy a latin *minutus*. A *másodperc* a perc 60-ada, tehát újabb 60-as osztásokkal lehetne harmad- és negyedperc is, de azokat szerencsére nem használjuk.

A *jiffy* nagyon rövid időtartam, többé-kevésbé komoly egység, sokan használják, de értéke területfüggő. Egyik régi definíciója szerint az az idő, amíg a fény vákuumban megtesz egy cm-t, tehát mintegy 33,3 ps. Elektromosságban a váltóáram periódusidejét jelenti, amely Európában 1/50, Amerikában 1/60 s. Számítástechnikában az interruptok ismétlődési idejét jelenti, ez például a Linux különböző fajtáiban 1 és 10 ms lehet. A Stratus virtuális operációs rendszer olyan naptárat használ, amely az 1980 január 1. 00:00 GMT (Greenich Mean Time) óta eltelt időt jiffy-ben méri: 1 jiffy = 1/65536 s (1/hexadecimális 10000).

A *New York sec* az az idő, amely eltelik New Yorkban a közlekedési lámpa zöldre váltása és a türelmetlen taxik *Induljunk már!* dudálása között. Az IBM vezette be a *nanocentury* (10^{-9} évszázad, 3,16 s) időt, amelynél többet egy felhasználó nem várhat válaszra a szoftvertől. Az *ohnosecond* másodpercben méri azt az időt, amely egy végzetes hiba (például lényeges file törlése) elkövetése és felismerése között eltelik, és a programozó felkiált „Oh no!!”.

Magam is többször találkoztam a helyi életszínvonalra jellemző *Big Mac időegységgel*, amely azt mutatja, hol hány percet dolgozik az átlagos keresetű munkavállaló egy helyi McDonald's-ban elfogyasztott Big Mac áráért. Ezt nyilván nem véletlenül választották ki: McDonald's éttermek a világon mindenütt vannak és némileg szabályozott a helyi franchise-ok árszabása. Egy 2018-as felmérés szerint ez a Big Mac idő Kairóban 101 perc volt, Isztambulban 67, Budapesten 56, Pekingben 51, Pozsonyban 48, Varsóban 33, Moszkvában 30, Párizsban 23, Bécsben 18, New Yorkban 15 és Tokióban 12 perc.

A *Rictus skála* meglehetősen morbid: a földrengések Richter-skálájához igazodó médiavisszhangot tükrözi 1 és 5 közötti értékkel, a RI = 4 már elnöki látogatást és speciális nyomtatott pólót jelent, az RI = 5 pedig magazin-címlapot és később külön annak szentelt könyvet.

5.5. Sugárterhelés: banánegység

Minden élelmiszer tartalmaz sugárzó izotópot, a banán például főként kálium-40-et (^{40}K). A *banán-ekvivalens dózis*, *BED* annak a dózisterhelésnek felel meg, amelyhez egy banán elfogyasztásával jutunk, 1 BED $\approx 10^{-7}$ sievert. A BED természetesen nem hivatalos SI egység, de igen szemléletes, tehát komoly oktatási jelentősége van. Természetes radioaktív sugárzásnak kitett köznap ember napi 100 BED sugárterhelést kap. Az atomreaktorok évi 2500 BED-nyi sugárzást jut-

tathatnak a légkörbe, viszont egyetlen mellkasi CT-felvétel mintegy 70000 BED terhelést jelent.

5.6. Tréfás mennyiségek

A *Hawking index* azt mutatja, hányan olvasnak tényleg végig egy könyvet azok közül, akik elkezdték. Az elnevezés *Stephen Hawking* angol fizikus leghíresebb könyvétől, *Az idő rövid története*-től ered, amely ezen a skálán a 6,6 % értéket kapta [7].

Szép Heléna miatt indult el a Trójai háború 1000 görög hajója, ennek megfelelően 1 milliheléna az a női szépség, amely egy hajó indulásához kell. Ha figyelembe vesszük, hogy miatta 10 évig ostromolták a görögök Tróját, akkor a háborúság 1 hajó-napra jutó szépségértéke mintegy 0,27 mikroheléna.

Állatok méretét jellemzi az SGU *standard zsiráf-egység*, amelyet érdekes módon az ESA Európai Űrhajózási Hivatal vezetett be, azon például a kacsa és a pingvin értéke 0,2, az elefánté pedig 1,25.

Wil Wheaton amerikai színész és író, aki például az *Agymenők* (eredetiben *The Big Bang Theory*) filmsorozatban visszatérően saját magát játszotta, ihlette az internetes követés wheaton egységét, amely 500000 X (néhai Twitter) követőt jelent.

[Az oldal szándékosan üres.]

6. fejezet

Összegzés

Manapság úgy véljük, hogy a mérés, vagyis az ellenőrzött körülmények között végzett adatgyűjtés a tudományos megközelítés alapja. Az így gyűjtött adatok közötti összefüggések keresése ma már nem csupán a természettudományok alapvető módszere, hanem teret nyer a társadalomtudományokban és a bölcsészetben is, noha e területeken még gyerekcipőben jár. A mesterséges intelligencia megjelenése pedig az adatokban megbúvó összefüggések könnyebb és gyorsabb felismerésével kecsegtet. Az adatokban rejlő összefüggések feltárásának kulcsa pedig a mért mennyiségek megfelelő ábrázolása.

Amint az Előszóban elmondtuk, a mérések és az eredményül kapott adatok életünket teljesen behálózzák. A könyv címében megjelölt három kérdés közül természetesen a második, a *miért* a legfontosabb, de azt csak futólag érintettük, a módszerre (*mivel*) összpontosítottunk, és az természetesen a mérés tárgyától (*mit*) függ. Mérésünk eredménye egy szám és egy mértékegység, csupán együtt jelentenek mennyiséget. A mértékegységek fejlődése egyidős a civilizációval. Könyvünkben ezt a civilizációs fejlődést tekintettük át elsősorban a legfejlettebb mértékegységrendszer, az SI fizikai-technikai mértékrendszer kialakulásának és fejlődésének bemutatásával.

Első lépésünk a számok tisztázása volt: ismertettük a történelmileg kialakult számrendszereket és a mi jelenlegi, indiai eredetű tízes-tizedes rendszerünket. A mértékegységek elemzését a hosszúsággal kezdtük, hiszen a jelenleg is használt metrikus rendszerünk a *méterről* kapta a nevét. A terület és a térfogat mértékegysége a hosszúságtól függ, ez még a régi egységek esetén is igaz.

Másik alapvető mennyiségünk a tömeg, amelyet évszázadokig a súllyal, azaz Földünk a tárgyra ható gravitációs erejével azonosítottak, de Eötvös Loránd hatására sikerült világosan és véglegesen elválasztani őket egymástól. Ennek megfelelően a tömegre a nemzetközi SI mértékrendszer a kg-ot választotta alapegységnek, amely történetileg a hosszúsághoz kapcsolódott. Ugyanis a grammot eredetileg 1 cm³ alapállapotú víz tömegével definiálták, de ez később sokkal pontosabb lett: fényhullámhosszra vezették vissza.

Harmadik alapvető mértékegységünk az idő. Annak legkisebb köznapi egységét, a másodpercet tekintjük alapegységnek, és ez látszólag teljesen független

a többbitől. Amikor azonban a fizikai állandók kezeléséhez érünk, kiderül, hogy csak egyetlen igazi alapegység lehetséges, a többbit ahhoz és a fizikai állandókhoz kell kötnünk. Amint azt láttuk, az időt tudjuk a legpontosabban mérni, ezért végül az összes egységet (a mol, a molekuláris alpmennyiség kivételével) az időhöz érdemes kötni. A mol ugyanis egy önkényes fizikai állandóhoz, az Avogadro-állandóhoz kötődik, de rendkívül praktikus a gyakorlati számításokban.

Nehéz azonosítani az erőt fizikai mennyiségként, helyette az energiát használjuk, amely munkavégző képesség. Az ráadásul az anyag tömegével a lehető legszorosabb kapcsolatban van, ugyanis Einstein híres egyenlete, $E = mc^2$ alapján gyakorlatilag egyenlő vele. Az energia fizikai használata azonban ezen messze túlmegegy, annyira alapvető, hogy a fizika teljes matematikai eszköztára az energiára épül a legkisebb hatás elve alapján. Az elméleti fizika tehát az energiát tekinti az igazi, egyedüli alpmennyiségnek, és a mikrovilág tárgyalásánál a részecskék mozgásának és átalakulásának leírását energiaváltozásra (pontosabban energiafajták egymásba alakulására) vezeti vissza. Így tehát nemcsak a tömeget, de a távolságot és az időt is energia egységben fejezhetjük ki.

Könyvemben a mértékegységek széles spektrumát tárgyaltam: a fentebb említetteken kívül a hőtan, az optika, a hangrezgések és a radioaktív sugárzás hatásainak mérését, valamint a mérnöki tudományok és a köznapi élet mértékeit. Mondandómat igyekeztem szórakoztatóra fogalmazni, a végén még néhány tréfás mértékegységet is leírtam benne, de vigyáztam, hogy ez nem menjen a pontosság rovására: ebben elvülhetetlen érdemei vannak barátomnak, Trócsányi Zoltán akadémikusnak, aki végig nyomon követte művem alakulását. Köszönöm Verle Ilonának könyvem szerkesztésében nyújtott segítségét. Másoktól is kaptam ötleteket kiegészítésre, javításra, különösen jelentős volt Ván Péter, Steinczinger Zsuzsanna, Kutnyánszky Anikó, Néda Zoltán és Baranyai Klára, valamint a fiam és menyem hozzájárulása.

Irodalomjegyzék

- [1] Wigner Jenő: *A matematika meghökkentő hatékonysága a természettudományokban*. In: Wigner Jenő: *Szimmetriák és reflexiók*, Györgyi Géza fordítása, Gondolat kiadó, Budapest, 1971, 286–306.
Wigner, E.P.: *The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences*. In: Wigner, E.P.: *Symmetries and reflections*. Indiana University Press, Bloomington – London (1967) 222-237.
- [2] Marx György: *Mértékegységek fizikusszemmel*, Fizikai Szemle **11** (1961) 67-75.
- [3] Drégelyi-Kiss Ágota: *Szerkesztői előszó - 150 éves a méteregegyezmény*. Bánki közlemények, VII.évfolyam, 1.szám (2025) 1-2.
<https://bk.bgk.uni-obuda.hu/index.php/BK/issue/view/14/34>
(Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [4] Pálinkás Tibor: *A méter sztori*. Bánki közlemények, VII.évfolyam, 1.szám (2025) 9-24. o.
<https://bk.bgk.uni-obuda.hu/index.php/BK//article/view/236>
(Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [5] *List of obsolete units of measurement*. Wikipedia, the free encyclopedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_obsolete_units_of_measurement
(Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [6] *List of unusual units of measurement*. Wikipedia, the free encyclopedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_unusual_units_of_measurement
(Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [7] *List of humorous units of measurement*. Wikipedia, the free encyclopedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_humorous_units_of_measurement
(Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [8] *Numbers in Proto-Germanic*. Omniglot, the online encyclopedia of writing systems and languages.

- <https://www.omniglot.com/language/numbers/protogermanic.htm>
(Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [9] P. J. Mohr, D. B. Newell, B. N. Taylor and E. Tiesinga: *CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2022*, Rev. Mod. Phys. **97** (2025) 025002, doi:
<https://doi.org/10.1103/RevModPhys.97.025002>
- [10] Horváth Dezső és Trócsányi Zoltán: *Bevezetés az elemi részek fizikájába*, Typotex, Budapest, 2017, ISBN 978 963 493 163 8.
- [11] Ván Péter: *Mennyire állandó a fény sebessége?*, A Bay Zoltán 120 emlékkonferencia előadásainak ismertető kiadványa (szerk. Kádár György), Bay Zoltán Tudomány és Technikatörténeti Alapítvány (2021) 42-53. o.
- [12] Zoltán Néda and Madeea Axinciuc: *Light. Paradigms for Scientific and Religious Thinking*, Zeta Books, Bucharest 2018.
<https://zetabooks.com/all-titles/light-paradigms-for-scientific-and-religious-thinking/> (Utolsó elérés: 2025-12-28).
- [13] Györkösy Alajos: *Latin–magyar szótár*, Akadémiai Kiadó, 1960.
- [14] *Definitions of many imperial (and older) units*. English weights and measures. <http://home.clara.net/brianp/quickref.html> (Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [15] Seller Károly, Trócsányi Zoltán: *Mi a töltés*. Fizikai Szemle, 72. évf. 11. sz. (2022) 357–359. https://fizikaiszemle.elft.hu/uploads/2022/12/fizszem-202211-seller-trocsanyi_10_07_46_1670490466.8857.pdf
(Utolsó elérés: 2025-08-17).
- [16] Marx György: *Kockázat*. Fizikai Szemle, 40. évf. 5. sz. (1990) 129-138.
<https://fizikaiszemle.elft.hu/archivum/fsz9005/mgy9005.html>
(Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [17] *Centimorgan*. Wikipedia, the free encyclopedia.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Centimorgan> (Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [18] *Magyarországi forgalmi rendszámok*. Wikipédia, a szabad enciklopédia.
https://hu.wikipedia.org/wiki/Magyarorsz%C3%A1gi_forgalmi_rendsz%C3%A1mok
(Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [19] Michael Kustermann: *License plates of the world*.
<http://www.worldlicenseplates.com/> (Utolsó elérés: 2025-08-01).

- [20] Hippói Augustinus Aurelius: *Szent Ágoston vallomásai* (ford. Dr Vass József). Magyar Elektronikus Könyvtár.
<https://mek.oszk.hu/04100/04187/04187.pdf> (Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [21] *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO)*.
Wikipedia, the free encyclopedia.
<https://en.wikipedia.org/wiki/LIGO> (Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [22] *Az Eötvös-inga*. Wikipédia, a szabad enciklopédia.
<https://hu.wikipedia.org/wiki/Eötvös-inga> (Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [23] *Noether's theorem*. Wikipedia, the free encyclopedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Noether%27s_theorem (Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [24] *The Einstein telescope*. <https://www.et-gw.eu/> (Utolsó elérés: 2025-08-01).
- [25] *Nelson complexity index*. Wikipedia, the free encyclopedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Nelson_complexity_index (Utolsó elérés: 2025-08-27).
- [26] *Journal ranking*. Wikipedia, the free encyclopedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Journal_ranking (Utolsó elérés: 2025-08-27).
- [27] *Erdős-szám*. Wikipédia, a szabad enciklopédia. <https://hu.wikipedia.org/w/index.php?title=Erd%C5%91s-sz%C3%A1m&oldid=27640356> (Utolsó elérés: 2025-08-27).
- [28] *Hat lépés távolság*. Wikipédia, a szabad enciklopédia.
https://hu.wikipedia.org/w/index.php?title=Hat_1%C3%A9p%C3%A9s_t%C3%A1vols%C3%A1g&oldid=27647106 (Utolsó elérés: 2025-08-27).

[Az oldal szándékosan üres.]

Tárgymutató

A lapszám az adott kulcsszó szövegben említési helyét jelöli.

A

akó, [24](#)
akusztika, [100](#)
alapegységek összefüggése, [69](#)
amper, [68](#), [80](#)
angolszász egységek, [41](#)
antiproton tömege, [79](#)
arab számok, [8](#)
atm, [31](#)
atomfizika, [83](#)
atomi egységek, [84](#)
 energia, [83](#)
 tömeg, [85](#)
autógumik méretezése, [52](#)
Avogadro-szám, [92](#), [93](#)
avoirdupois, [43](#), [49](#), [50](#)
azimutszög, [24](#)

B

Bacon-szám, [105](#)
banánegység, [116](#)
bar, [31](#)
barn, [115](#)
barométer, [31](#)
Bay Zoltán, [20](#)
beard-sec, [115](#)
becquerel, [94](#)
BeiDou-3 navigáció, [64](#)
berkovec, [30](#)
Big Mac időegység, [116](#)
billió, [9](#)
bimetál hőmérő, [28](#)

birodalmi egységek, [51](#)
bizonytalanság, [86](#)
boglya, [30](#)
Bohr-sugár, [83](#)
Boltzmann-állandó, [88](#), [92](#)
bormérték, [24](#)
BTU, [93](#)
bushel, [48](#)
butélia, [24](#)

C

Celsius hőmérséklet, [27](#)
centigrade, [27](#)
CET, CEST, [34](#)
CGS rendszer, [67](#)
CODATA, [69](#)
colstok, *lásd* mérőléc
Coulomb
 állandó, [83](#)
 törvény, [80](#), [83](#)
coulomb, [79](#)
cubit, *lásd* könyökhossz
curie, [94](#)

Cs

csöbör, [24](#)

D

daktülosz (ujjhossz), [16](#)
dalton, [93](#)
decibel, [99](#)
dél, [61](#)
délkör, [62](#)

dolja, 30

Doppler-hatás, 89

drachma, 29

dugókulcs, 45

dyn, 82

E

édesség, 103

elektrometer, 39

elektromos áram, 39

elektromos kapacitás, 80

elektromos töltés, 79

elektromosság, 39

elektrontömeg, 83

elektronvolt, 84, 86, 88

elektrotechnika, 105

elemi töltés, 39

élettartam, 86

ellenállás, 105

energia, 87, 88, 96, 98

energiafajták, 82

energiatartalom, 93

Eötvös Loránd, 57, 78

Eötvös-inga, 78

érdesség, 101

Erdős-szám, 104

erg, 82

észak, 61

etalon, 3, 19

F

Fahrenheit hőmérséklet, 27

farad, 80, 105

fathom, 43

fázisszög, 106

fénysebesség, 20, 51, 85, 88, 108

fertály, 24

feszültség

effektív, 108

fázis-, 108

vonali, 108

Feynman, Richard, 1, 82, 105

FFFF rendszer, 113

fillér, 54, 55

fizikai állandók, 69

fluid ounce, 25

font, 29, 43, 49

font pénzegység, 51

foot, *lásd* láb

forgalmi rendszámok, 12

forint, 54, 55

földrajz, 61

földrajzi

hosszúság, 62

szélesség, 62

földrengés, 98, 116

földterület, 21

funt, 30

G

gabonaköböl, 24

gabonamérték, 24

Galilei-hőmérő, 26

Galileo Galilei, 78

Galileo navigáció, 64

gallon, 26, 41, 46–48, 98

gázállandó, 92

genetika, 96

gérvágó, 23

GGE energiaegység, 98

giromágneses tényező, 80

GLONASSZ navigáció, 64

gon, 23

gömbi koordináták, 24

GPS, 23, 63, 64

gradián, 23

gramm, 31

gray, 94

grossz, 7

gyógyszertár, 96

H

hálózati feszültség, 40

hálózatok, 104

hand (hosszmérték), 44

hangerősség, 99

hartree, 84

Hartree, Douglas, 84

hatáskeresztmetszet, 86, 88

hatlépéses szabály, 105

Hawking index, 117

Háy György, 52

házszámozás

Európa, 64

Japán, 66

USA, 65

Heisenberg, Werner, 3, 90

Heisenberg-reláció, 86, 87

heléna szépségérték, 117

henry, 105

higanymilliméter, *lásd* mmHg

higanyos hőmérő, 26

h-index, 103

Hirsch-index, 103

holdhónap, 37

hordó (olaj), 48

horizont, 62

hosszú tucat, 7

hosszúság, 42

hőmennyiség, 92

hőmérséklet, 92

hőtan, 92

hüvelyk, 18, 44

I

icce, 24

időmérés, 116

időszámítás

időzóna, 33

kinai, 33

nyári, 34

republikánus, 35

világidő, 33

zsidó, 37

impakt faktor, 104

impedancia, 105

inch, 18, 42–44

induktivitás, 105

in.Hg (nyomásegység), 31

ipari egységek, 96

iránytű, 63

IRNSS navigáció, 64

iskolai osztályzatok, 10

íz, 102

J

jiffy, 116

K

kalória, 93

Kanada, 52

kanadai mértékek, 42

kandela, 68

kanta, 24

karát, 29, 51

Karinthy Frigyes, 105

kcal, 93

kelet, 61

kelvin (fok), 68, 93

Kelvin hőmérséklet, 27

keménység, 101

kerma, 94

kilogramm, 20, 31, 68

kilométer, 20, 62

kilopond, 31

kondenzátor, 80

kopek, 54

korona, 54

köbméter, 24

köből, 24

könyök hossz, 16

Krausz Ferenc, 68

kupa, 24

kWh, 97

L

láb hosszegység, 16–19, 43

Lagrange-függvény, 90, 91

laktóz, 103

lat, 30

lázmérő, 26

lbf energiaegység, 98

legkisebb hatás elve, 88

libra, 29

liter, 11, 19, 24

lóerő, 97

birodalmi, 97

metrikus, 97

-óra, 98

M

mágneses momentum, 80

márka, 29

Marx György, 96

másodperc, 33, 68, 116

mázsa, 30

Mercalli-skála, 98

mérföld, 18, 43, 51

tengeri, 43

térképészeti, 43

meridián, 62

mérleg, 30

mérő, 24

mérőléc), 18

mértékmező, 91

meszely, 24

méter, 19, 20, 68

metrológia, 1

mickey, 115

mil, 42

mina, 29

mmHg, 31

mól, 68, 89

tömeg, 81, 85

momentum, 116

morgan, 96

Mössbauer-spektroszkópia, 89

N

nadír, 62

nanoacre, 115

nanocentury, 116

Nap hőmérséklete, 89

napjárás, 61

napóra, 116

naptár, 35

azték, 38

Gergely, 36

Gergely-, 35

Hold-, 35

japán, 37

Julianus, 35

maja, 38

republikánus, 35, 36

római, 38

vallási, 37

Nelson-index, 98

New York sec, 116

Newton

hőmérséklet, 28

newton, 31

Noether-tétel, 89

normálvektor, 101

nulla, 8

Nulla szobor, 62

Ny

nyomás mérése, 31

nyugat, 61

O

ohnosecond, 116

óra, 33

orosz egységek, 25

Ö

öl hosszegység, 18

P

papírméret (A0–A5, B0–B5), 22

papírméretetek, 21

parsec, 115

pascal, 31

Pascal, Blaise, 31

péktucat, 7

pengő, 54

pénzrendszer, 53

amerikai, 56

angol, 56

euro, 58

forradalmi, 56

kanadai, 57

karoling, 56

magyar, 54

olasz, 56

svájci, 58

szovjet, 54

perc, 33, 116

petrence, 30

pH, 89

pint (HU), 24

pint (UK), 24, 46–49

pint (US), 24, 46–49

Planck-állandó, 83, 88

polárszög, 24

Potrzenie rendszer, 113

pound, lásd font

prefixum, *lásd* ugrószám
psi (nyomásegység), 31
pszeudorapiditás, 24
pud, 30
puttony, 24

R

rad, 94
radián, 23, 70
radioaktivitás, 94
reaktancia, 105
Réaumur hőmérséklet, 27
receptek, 96
regisztertonna, 48
rem, 96
rezonancia, 86–88
Richter-skála, 98, 116
római számok, 8, 13, 35
rőf, 18
rögzítési állandók, 68
römpöly, 24
röntgen, 94
rubel, 54
rydberg, 84
Rydberg, Johannes, 84
Rydberg-állandó, 83

S

Sabbath-szám, 105
sékel, 29
SGU állatméret, 117
SI alapegységek, 68, 69
SI rendszer, 68
siemens, 105
sievert, 96
skrupulus, 30
smoot, 114
sorszám, 8
standard modell, 80, 88, 90
stone, 49
sugarterhelés, 94
súly, 29, 49

Sz

szacharóz, 103
számlálás ujjon, 7
számrendszer, 6

10-es, 8
12-es, 7, 32
60-as, 29, 32, 116
ázsiai, 9
babilóniai, 6, 23, 38
maja, 38
protogermán, 9

szcientometria, 103
szextáns, 62
szinkrotronmozgás, 79
szögmérés, 23, 70
szökőév, -nap, 35
szteradián, 23, 111

T

táalentum, 29
térképészet, 21
természetes mértékegység, 82
termisztor hőmérő, 28
termodinamika, 92
termopár hőmérő, 28
térszög, 23
területmérés, 22
tesla, 105
therm, 93
tipográfia, 21
TNT, 98
tonna, 30, 49
torr, *lásd* mmHg
tömeg, 29, 49
tömegmérés, 79
troy súlyegységek, 50
tucat, 5, 7
tudományos teljesítmény, 103

U

ugrószám, 11, 12, 68
újfok, 23
ultrasüss, 103
uncia, 29, 30, 43, 47–49, 52
UTC, *lásd* időszámítás, világidő

V

vákuum, 31, 78, 80, 85
váltóáram, 107
várostérkép, 64
véka, 24

verdony, [24](#)
vezetőképesség, [105](#)
vízkeménység, [100](#)
voltmérő, [40](#)

W

WGS84, [62](#), [63](#)
wheaton követőegység, [117](#)
Wigner Jenő, [1](#), [57](#)

Y

yard, [42](#), [43](#)
yard és font egyezmény, [43](#)

Z

zajterhelés, [99](#)
zenit, [62](#)
szög, [62](#)
zéró, *lásd* nulla
zolotnik, [30](#)

Ábrajegyzék

- A **borítókép** az alábbi képek felhasználásával készült: 8photo. Freepik https://www.freepik.com/free-photo/measuring-tape-wooden-cubes-with-text-measure_9485735.htm (utolsó elérés: 2026.03.03.) BIPM: SI Illustration Base Units and Constants Colour Full.svg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SI_Illustration_Base_Units_and_Constants_Colour_Full.svg (utolsó elérés: 2026.03.03.)
- 2. o., 1. ábra: Balra: Négy alma mérlegen: darabszám és súly. Maxmann (2016) / <https://pixabay.com> / Pixabay Content License. <https://pixabay.com/photos/libra-apple-weight-control-weigh-1155878> / (Utolsó elérés: 2025.10.06.). Jobbra: Szabó méretet vesz: hosszúság. Sebastian Hoofs: Bespoke Tailor is taking measurement.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bespoke_Tailor_is_taking_measurement.jpg (Utolsó elérés: 2025.10.06.)
- 3. o., 2. ábra: Euró bankjegyek és érmék. Avij: Euro coins and banknotes.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Euro_coins_and_banknotes.jpg (Utolsó elérés: 2025.10.06)
- 6. o., 1.1. ábra. A babilóniai 60-as számrendszer alapszámai. Josell7: Babylonian numerals.svg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Babylonian_numerals.svg (Utolsó elérés: 2025.12.03.). Jobbra: Klasszikus falióra római számokkal, amelyen a 4 jele IIII. A szerző saját felvétele.
- 12. o., 1.2. ábra: Európai uniós forgalmi rendszámaink 2022 előtt és után, egy- és kétsoros kivitelben. Balra: Jerry "Woody": HUNGARY c.2000 passenger plate - Flickr - woody1778a.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HUNGARY_c.2000_passenger_plate_-_Flickr_-_woody1778a.jpg (Utolsó elérés: 2025.12.05). Jobbra: Szürke: Sample license plates of Hungary.png / Wikimedia Commons.

- https://hu.m.wikipedia.org/wiki/F%3Aajl:Sample_license_plates_of_Hungary.png. (Utolsó elérés: 2025.10.06.)
- 13. o., 1.3. ábra: Régebbi forgalmi rendszámok az USA Hawaii és Texas államában. Balra: 1991 Hawaii license plate MNG 728.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1991_Hawaii_license_plate_MNG_728.jpg (Utolsó elérés: 2026.04.20.) Jobbra: AllenLow: Texas 2009 truck license plate on dark base.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Texas_2009_truck_license_plate_on_dark_base.jpg (Utolsó elérés: 2025.10.06.).
 - 15. o., 1.4. ábra: Az amerikai űrprogram korai *computerei*, matematikus hölgyek asztali számológépekkel. When Computers were human – Teachable moment | NASA JPL Education. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology/NASA. <https://www.jpl.nasa.gov/edu/resources/teachable-moment/when-computers-were-human/> (Utolsó elérés: 2025.12.06.)
 - 15. o., 1.5. ábra: A számítástechnika fejlődése. Balra: Orosz abakusz a 20. századból. Staecker: Schoty abacus.jpg/ Wikimedia Commons. https://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Schoty_abacus.jpg (Utolsó elérés: 2025.12.06.). Középen: Texas Instruments tudományos kalkulátor nyomtatóval. A szerző felvétele. Jobbra: A CERN adattárának folyosója a mágnesszalagokkal és az olvasó robottal. SimonWaldherr: CERN Computer Center 04.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CERN_Computer_Center_04.jpg. (Utolsó elérés: 2026.04.20.)
 - 17. o., 1.6. ábra: Mezopotámiai könyökrúd az időszámításunk előtti 3. évezredből. Ana al'ain: Nippur cubit.JPG / Wikimedia Commons. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Nippur_cubit.JPG (Utolsó elérés: 2025.10.06.)
 - 18. o., 1.7. ábra: Régi orosz hossz mértékek. Kaidor: Obsolete Russian units of length - ru.svg / Wikimedia Commons. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Obsolete_Russian_units_of_length_-_ru.svg (Utolsó elérés: 2025.10.06.)
 - 20. o., 1.8. ábra: Balra: A kilométer definíciója. US Government; adapted by Martinvl: Kilometre definition.svg / Wikimedia Commons. https://hu.wikipedia.org/wiki/F%3Aajl:Kilometre_definition.svg (Utolsó elérés: 2025.12.03. Középen: Hagyományos colstok (bár cm-ben mér). Za: Metre pliant 500px.png / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metre_pliant_500px.png. (Utolsó elérés: 2025.12.03. Jobbra: Négyféle metrikus mérőműszer. Martinvl: FourMetricInstruments.JPG / Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FourMetricInstruments.JPG>

- [//commons.wikimedia.org/wiki/File:FourMetricInstruments.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FourMetricInstruments.JPG)
(Utolsó elérés: 2025.12.06.)
- 20. o., 1.9. ábra: Balra: A méter jele a párizsi Vendôme téren. Chabe01: Mètre Étalon Place Vendôme - Paris I (FR75) - 2022-05-27 - 1.jpg / Wikimedia Commons. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M%C3%A8tre_%C3%89talon_Place_Vend%C3%B4me_-_Paris_I_\(FR75\)_-_2022-05-27_-_1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M%C3%A8tre_%C3%89talon_Place_Vend%C3%B4me_-_Paris_I_(FR75)_-_2022-05-27_-_1.jpg). (Utolsó elérés: 2025.12.03.) Jobbra: A kilogramm etalonja a párizsi BIPM Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatalban. BIPM: International prototype of the kilogram aka Le Grand K.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:International_prototype_of_the_kilogram_aka_Le_Grand_K.jpg. (Utolsó elérés: 2025.12.03.)
 - 22. o., 1.10. ábra: Metrikus papírméretek. Balra: Bromskloss: A size illustration2.svg / Wikimedia Commons. https://hu.m.wikipedia.org/wiki/Fájl:A_size_illustration2.svg / (Utolsó elérés: 2025.10.06.) Jobbra: Bromskloss: B size illustration2.svg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:B_size_illustration2.svg / (Utolsó elérés: 2025.10.06.)
 - 25. o., 1.11. ábra: Thummerer borospince Noszvajban. Thaler Tamas: NoszvajThummererFotoThalerTamas1.jpg / Wikimedia Commons. <https://hu.m.wikipedia.org/wiki/Fájl:NoszvajThummererFotoThalerTamas1.jpg> (Utolsó elérés: 2025.12.03.)
 - 26. o., 1.12. ábra: 1824 előtti angol hordóméretek. Grolltech: English wine cask units.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:English_wine_cask_units.jpg (Utolsó elérés: 2025.12.06.)
 - 27. o., 1.13. ábra: Balra: Galilei hőmérő a különböző hőmérsékleteket jelző, úszó buborékokkal; Steinczinger Zsuzsanna felvétele. Középen: Asztali hőmérő Fahrenheit és Celsius skálával; Stilfeher: Raumthermometer Fahrenheit+Celsius.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raumthermometer_Fahrenheit+Celsius.jpg / (Utolsó elérés: 2025.12.03.) Jobbra: Modern digitális infravörös hőmérő; Hedwig Storch: 1024 Pyrometer-8445.jpg / Wikimedia Commons. https://en.wikipedia.org/wiki/File:1024_Pyrometer-8445.jpg. (Utolsó elérés: 2025.12.03.)
 - 28. o., 1.14. ábra: Külső-belső hőmérő szobán belüli egysége; a szerző felvétele.
 - 30. o., 1.15. ábra, Balra: Klasszikus egyensúlyi patikamérleg. Naval History & Heritage Command: 2013.114.022 Scale, Pharmacy

- (11715228076).jpg / Wikimedia Commons.
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2013.114.022_Scale,_Pharmacy_\(11715228076\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2013.114.022_Scale,_Pharmacy_(11715228076).jpg). (Utolsó elérés: 2025.12.03.) Középen: Ékszerésmérleg a súlyokkal. Sally V:Diamond Balance Scale 0.01 - 25 Carats Jewelers Measuring Tool.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diamond_Balance_Scale_0.01_-_25_Carats_Jewelers_Measuring_Tool.jpg / (Utolsó elérés: 2025.10.06.) Jobbra: Modern elektronikus kémiai mérleg. PaulT (Gunther Tschuch): Kern ADB 200-4.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kern_ADB_200-4.jpg (Utolsó elérés: 2025.12.06.)
- 32. o., 1.16. ábra: Balra: Barométer a légnyomás mérésére, mmHg és mbar egységben, időjárás-jelzéssel. Langspeed: Dosen-barometer.jpg / Wikimedia Commons. <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Dosen-barometer.jpg> (Utolsó elérés: 2025.12.03.) Jobbra: nagy gáznyomás mérőműszere bar és PSI egységben. adarozan: Manometr.jpg / Wikimedia Commons. <https://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Manometr.jpg> (Utolsó elérés: 2025.12.06.)
 - 33. o., 1.17. ábra: Földünk időzónái. UnaitxuGV [et al.]: World Time Zones Map.png / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_Time_Zones_Map.png. (Utolsó elérés: 2025.12.03.)
 - 36. o., 1.18. ábra: Balra: Francia asztali óra fent hagyományos, lent tizedes időskálával.; al Khalili Collections: Khalili Collection Enamels of the World FR840.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Khalili_Collection_Enamels_of_the_World_FR840.jpg / (Utolsó elérés: 2025.10.06.) Jobbra: A francia forradalmi (republikánus) naptár hónapjai ősztől nyár végéig; Tresca, Salvatore (Graveur) – Lafitte, Louis (Dessinateur du modèle): Francia forradalmi naptár (1797-1798)
 - 37. o., 1.19. ábra: Államilag nem Gergely-naptárt használó országok. Weaveravel: World calendars map.svg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_calendars_map.svg / (Utolsó elérés: 2025.10.06.)
 - 39. o., 1.20. ábra: Azonos töltések taszításán alapuló klasszikus elektrométer. Bruno Kolbe: Kolbe electrometer.jpg / Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B5.jpg&oldid=1013684206> / (Utolsó elérés: 2025.12.03.)

- 40. o., 1.21. ábra: Balra: Klasszikus kilovoltmérő nagy feszültségre. A szerző felvétele. Jobbra: Egyszerű univerzális elektromos mérőműszer. A szerző felvétele.
- 45. o., 2.1. ábra: Kanadai dugókulcs-készlet metrikus (felső sor) és amerikai (alatta) méretben. A szerző felvétele.
- 45. o., 2.2. ábra: Balra: A lótenyésztés hand hosszegységének eredete, az ábrán 2-es számmal. Unitfreak: Hand Units of Measurement.PNG / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hand_Units_of_Measurement.PNG (Utolsó elérés: 2025.12.03.) Jobbra: 15 hand marmagasságú ló. Johanna Rautio: Finnhorse stallion.jpg / Wikimedia Commons. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Finnhorse_stallion.jpg felhasználásával a szerző készítette. (Utolsó elérés: 2026.03.03.)
- 46. o., 2.3. ábra: Balra: amerikai receptekhez nélkülözhetetlen mérőkanalak: egy és fél evőkanál, egy, fél és harmad teáskanál. A szerző felvétele. Jobbra: babatápszeres mérőpohár milliliterben, valamint angol és amerikai unciában. MJCdetroit: MetricImperialUSCustomaryUnits.jpg / Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MetricImperialUSCustomaryUnits.jpg> / (Utolsó elérés: 2025.12.21.)
- 47. o., 2.4. ábra: Fent: Digitális tolómérő inches és milliméteres skálával. A szerző felvétele. Alul: Egy inch 1/32 pontosságú összehasonlító skálája milliméterben. Whyso: Mm to 1 inch fraction ruler.svg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mm_to_1_inch_fraction_ruler.svg (Utolsó elérés: 2025.12.21.)
- 50. o., 2.5. ábra: Fürdőszobai mérleg Angliából. Simon Speed: SalterBathroomScales.JPG / Wikimedia Commons. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/SalterBathroomScales.JPG> (Utolsó elérés: 2026.04.10.)
- 50. o., 2.6. ábra: Balra: Brillánsra csiszolt 1 karátos gyémánt. Mauro Cateb: One carat brilliant.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:One_carat_brilliant.jpg / (Utolsó elérés: 2025.12.06.). Jobbra: 1 troy unciás svájci aranylemez. Olegvolk: Gold1oz.jpg / Wikimedia Commons. <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gold1oz.jpg> (Utolsó elérés: 2025.12.06.)
- 54.o., 3.1. ábra: Az 1946-os hiperinfláció legnagyobb, de már forgalomba nem került 10^{21} pengős bankjegye; Magyar Nemzeti Bank: HUP 1000MB 1946 obverse.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HUP_1000MB_1946_obverse.jpg (Utolsó elérés: 2026.04.12.)

- 55. o., 3.2. ábra: Felső két sor: forintos- filléres érméink 1989 előtt. Alsó két sor: a közelmúlt és jelen forintos érméi. A szerző felvétele.
- 55. o., 3.3. ábra: Szovjet pénzérmék 1961 után. A szerző felvétele.
- 56. o., 3.4. ábra: Euró előtti olasz 50 és 100 lírás nagyban és kicsiben. A szerző felvétele.
- 57. o., 3.5. ábra: Amerikai pénzérmék: 1, 5, 10, 25, 50 centes és 1 dolláros. A szerző felvétele.
- 58. o., 3.6. ábra: Kanadai pénzérmék: 1, 5, 10, 25, 50 centes és 1 dolláros. A szerző felvétele.
- 59. o., 3.7. ábra: Szovjet ötrubeles érmék turista nevezetességekkel. A szerző felvétele.
- 59. o., 3.8. ábra: A Magyar Nemzeti Bank által Wigner Jenő és Eötvös Loránd emlékére kibocsátott 3000 és 10000 forintos ezüst pénzérme. A szerző felvétele.
- 60. o., 3.9. ábra: Eurós bankjegyek 2013 előtt és után. Balra: Bericht: Euro banknotes, First series.png / Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Euro_banknotes,_First_series.png (Utolsó elérés: 2025.12.03.)
 Jobbra: Bericht: Euro banknotes, Europa series.png / Wikimedia Commons. https://hu.wikipedia.org/wiki/Fájl:Euro_banknotes,_Europa_series.png (Utolsó elérés: 2025.12.06.)
- 60. o., 3.10. ábra: Az eurós pénzérmék közös előlapja. A szerző felvétele.
- 61. o., 3.11. ábra: Az 1 eurós pénzérmék egyedi hátsó lapja 15 országból. A szerző felvétele.
- 62. o., 3.12. ábra: Balra: Zenit és nadír, csillagászati és valódi horizont. DTR: Zenith-Nadir-Horizon.svg / Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zenith-Nadir-Horizon.svg>. (Utolsó elérés: 2025.12.03.) Jobbra: A Föld egyenlítői, sarki és átlagos sugara a WGS84 rendszer szerint. Cmglee: WGS84 mean Earth radius.svg / Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WGS84_mean_Earth_radius.svg (Utolsó elérés: 2025.12.03.)
- 62. o., 3.13. ábra: Balra: A nulla kilométerkő Budapesten. Andrzej Otrębski: Budapest 0 km.jpg / Wikimedia Commons.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Budapest_0_km.jpg. (Utolsó elérés: 2025.10.07.) Jobbra: Hajózásban használt szextáns a földrajzi helymeghatározáshoz [S.N.]: Sextant-2.jpg / Wikimedia Commons.
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sextant-2.jpg> (Utolsó elérés: 2026.03.03.)

- 65. o., 3.14. ábra: Balra: New York, Manhattan, Times Square. Terabass: New york times square-terabass.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:New_york_times_square-terabass.jpg. (Utolsó elérés: 2025.10.06.) Jobbra: Utcanevek New Yorkban. Billie Grace Ward: Fashion Ave (26756852389).jpg / Wikimedia Commons. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fashion_Ave_\(26756852389\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fashion_Ave_(26756852389).jpg) (Utolsó elérés: 2026.04.12.)
- 65. o., 3.15. ábra: Balra: Japán, Ehime prefektúra, Macujama város, Kuwabara negyed, 4. körzet, 3. blokk. Snolygoster: JapaneseAddressPlateWithEnglishExplanation.JPG / Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:JapaneseAddressPlateWithEnglishExplanation.JPG> (Utolsó elérés: 2025.10.06.) Jobbra: Tokió két elnevezett főutcaja. Comyu: Tokyo Metropolitan Road Route 10 Eitai Street and Kiyosuna-Ohashi Street signs.jpg/ Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokyo_Metropolitan_Road_Route_10_Eitai_Street_and_Kiyosuna-Ohashi_Street_signs.jpg (Utolsó elérés: 2025.12.04.)
- 70. o., 4.1. ábra: Alapvető SI mértékegységeink. Balra: az alapegységek összefüggése. Emilio Pisanty: Unit relations in the new SI.svg/ Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Unit_relations_in_the_new_SI.svg (Utolsó elérés: 2025.12.03.) Jobbra: SI logó az alapvető mennyiségeket meghatározó állandókkal. BIPM: SI Illustration Base Units and Constants Colour Full.svg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SI_Illustration_Base_Units_and_Constants_Colour_Full.svg (Utolsó elérés: 2025.12.03.)
- 71. o., 4.2. ábra: Tudományos mértékegységeink és származtatásuk az SI szerint; Horváth Dezső: *Kedvenc mértékegységeim*, Fizikai Szemle 57/4. 131. o. (2007).
- 73. o., 4.3. ábra: Balra: Horus típusú hordozható napóra, iránytűvel. Rich Keele, Horus Sundials: Horus Sundials Portable Horizontal Sundial.jpg / Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horus_Sundials_Portable_Horizontal_Sundial.jpg (Utolsó elérés: 2026.04.12.) Jobbra: A Clark College (Vancouver, Washington, USA) szabadtéri napórája; Rorybowman: ClarkCollegeSundial.jpg / Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/Sundials#/media/File:ClarkCollegeSundial.jpg> (Utolsó elérés: 2026.04.12.)
- 73. o., 4.4. ábra: Balra: 60 perces homokóra. S Sepp: Wooden hourglass 2.jpg / Wikimedia Commons.

- https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Wooden_hourglass_2.jpg
(Utolsó elérés: 2025.12.06.) Középen balra: Súlyyal hajtott ingaóra a XIX. századból, Gustav Becker készítette. Luekk: GB-3-Gew-Pendeluhr (Luekk).jpg / Wikimedia Commons.
- [https://hu.m.wikipedia.org/wiki/Fájl:GB-3-Gew-Pendeluhr_\(Luekk\).jpg](https://hu.m.wikipedia.org/wiki/Fájl:GB-3-Gew-Pendeluhr_(Luekk).jpg) (Utolsó elérés: 2025.12.06.)
Középen jobbra: Svájci kakukkos gyerekóra, ingája hintázó kislány, a kakukk a libikókázó gyerekek mögött szétnyíló felső ablakból ugrik ki; a szerző felvétele. Jobbra: Csillagászati óra Prágában harangjátékkal és a felső ablakokban megjelenő figurákkal; Secernesto: Orologio astronomico.jpg / Wikimedia Commons. https://hu.m.wikipedia.org/wiki/Fájl:Orologio_astronomico.jpg
(Utolsó elérés: 2025.12.06.)
- 73. o., 4.5. ábra: Balra: Analóg kvarcóra belseje. Glosome: Quartz Watch Mechanism Closeup.jpg / Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quartz_Watch_Mechanism_Closeup.jpg (Utolsó elérés: 2025.12.03)
Középen: 32768 Hz-es kvarcoszcillátor hangolóvillája; Chribbe76: Inside QuartzCrystal-Tuningfork.jpg / Wikimedia Commons. https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Inside_QuartzCrystal-Tuningfork.jpg (Utolsó elérés: 2025.12.06.)
Jobbra: Háromtengelyes tourbillon karóra; Greubel Forsey: Greubel Forsey Double Tourbillon Technique.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Greubel_Forsey_Double_Tourbillon_Technique.jpg (Utolsó elérés: 2026.04.12.)
 - 76. o., 4.6. ábra. A pontos hossz mérés eszközei: Balra: lézeres távolságmérő; Mileseey.laserdistancemeter: Hand Laser Distance Meter.png / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hand_Laser_Distance_Meter.png (Utolsó elérés: 2026.04.12.) Jobbra: mérőcsavarok, külső, belső és mélységi mikrométer; Splarka: Micrometers.jpg / Wikimedia Commons, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Micrometers.jpg> (Utolsó elérés: 2025.12.06.)
 - 76. o., 4.7. ábra: Nóniusz skálával ellátott tolómérő. A; ArtMechanic: Messschieber.jpg / Wikimedia Commons. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Fájl:Messschieber.jpg> (Utolsó elérés: 2025.12.06.)
 - 77. o., 4.8. ábra: A Pisa melletti olasz VIRGO és az egyik amerikai LIGO lézer-interferenciás gravitációs megfigyelőállomása; Balra: The Virgo collaboration: VirgoDetectorAerialView.jpg / Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:>

- [VirgoDetectorAerialView.jpg](#) (Utolsó elérés: 2025.12.04). Jobbra: LIGO Hanford / Courtesy of Caltech/MIT/LIGO Laboratory <https://www.ligo.caltech.edu/image/ligo20150731e> (Utolsó elérés: 2025.12.06.)
- 78. o., 4.9. ábra: Balra:: Eötvös-inga a Ság-hegyi múzeumban; Zátonyi Sándor, (ifj.) Fizped: Eötvös-inga a Sághegyi Múzeumban.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:E%C3%B6tv%C3%B6s-inga_a_S%C3%A1ghegyi_M%C3%BAzeumban.jpg (Utolsó elérés: 2025.12.06.). Jobbra: A CERN Antianyaggyárának egyik kísérleti csarnoka; a szerző felvétele.
 - 82. o., 4.10. ábra: Különböző energiafajták a gyakorlati életben és a természettudományokban. A felhasznált képek: georgina salameh: PikiWiki Israel 46420 sunshine at sea.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PikiWiki_Israel_46420_sunshine_at_sea.jpg (Utolsó elérés: 2026.03.03). Foto3821: Electric transmission power tower.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electric_transmission_power_tower.jpg (Utolsó elérés: 2026.03.03). Byrdyak: Elephant running.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elephant_running.jpg (Utolsó elérés: 2026.03.03).
 - inkknife 2000: Apple Tree and Blossoms, Oak Glen, CA 4-12-14 (13879386344).jpg / Wikimedia Commons. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apple_Tree_and_Blossoms,_Oak_Glen,_CA_4-12-14_\(13879386344\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apple_Tree_and_Blossoms,_Oak_Glen,_CA_4-12-14_(13879386344).jpg) (Utolsó elérés: 2026.03.03). Abc10: Suitia Manor. Heating stove first floor.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Suitia_Manor_Heating_stove_first_floor.jpg (Utolsó elérés: 2026.03.03). Inductiveload: Anatomy of Human Ear with Cochlear Frequency Mapping.svg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anatomy_of_Human_Ear_with_Cochlear_Frequency_Mapping.svg (Utolsó elérés: 2026.03.03).
 - 86. o., 4.11. ábra: Részecskék szóródása; Horváth Dezső, Trócsányi Zoltán: Bevezetés az elemi részek fizikájába, Typotex, Budapest (2017) 111. o. (ld. irodalomjegyzék: [10])
 - 88. o., 4.12. ábra: A Z részecske megfigyelése különféle energiájú részecskegyorsítóknál elektronpozitron ütközésben; Horváth Dezső, Trócsányi Zoltán: Bevezetés az elemi részek fizikájába, Typotex, Budapest (2017) 113. o. (ld. irodalomjegyzék: [10])
 - 89. o., 4.13. ábra: Mössbauer-spektrum abszorpciós csúcsokkal; Lubenica: Mossbauer spectrum of goethite.jpg / Wikimedia Commons.

- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mossbauer_spectrum_of_goethite.jpg (utolsó elérés: 2026.04.20.)
- 90. o., 4.14. ábra: A CERN ajándékboltjában kapható trikó és füzet a standard modell alapegyenletétől szolgáló Lagrange-függvény formulájával; a szerző felvétele.
 - 92. o., 4.15. ábra: 3,2 milliárd naptömegű fekete lyuk a Messier 87 galaxis középpontjában; EHT Collaboration: A view of the M87 supermassive black hole in polarised light.tif / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_view_of_the_M87_supermassive_black_hole_in_polarised_light.tif (Utolsó elérés: 2026.01.02)
 - 95. o., 4.16. ábra: Háztartási orvosi műszerek; a szerző felvétele.
 - 95. o., 4.17. ábra: Laboratóriumi műszerek sugárdózis mérésére; a szerző felvétele.
 - 97. o., 4.18. ábra: Laboratóriumi műszerek sugárdózis mérésére; Balra: Sgbeer, adapted by User:Martinvl: Imperial Horsepower.svg/ Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Imperial_Horsepower.svg (Utolsó elérés: 2025.12.04.) Jobbra: Sgbeer: Horsepower plain.svg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horsepower_plain.svg (Utolsó elérés: 2025.12.04.)
 - 100. o., 4.19. ábra: A hangerősség skálája suttogástól robbanásig; a szerző munkája.
 - 106. o., 4.20. ábra: Hálózati fázisfeszültségek és frekvenciák a világ különböző országaiban; SomnusDe: World Map of Mains Voltages and Frequencies, Detailed.svg/ Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_Map_of_Mains_Voltages_and_Frequencies_Detailed.svg (Utolsó elérés: 2025.12.03.)
 - 106. o., 4.21. ábra: Háromfázisú váltakozó áram hullámformája ($\sin\omega t + \Theta$); J JMesserly modification of original svg by User:SiriusA: 3 phase AC waveform.svg/ Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3_phase_AC_waveform.svg (Utolsó elérés: 2025.12.03.)
 - 109. o., 4.22. ábra: Balra: Az i.e. 8. században, Asszíriában készült, 38mm átmérőjű Nimrud-lencse; Geni: Nimrud lens British Museum.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nimrud_lens_British_Museum.jpg (Utolsó elérés: 2025.12.03.) Jobbra: A 6500 kg-os, 25 m2 érzékeny felületű James Webb űrteleszkóp képe; NASA Webb Mission Team, Goddard Space Flight Center:

- <https://science.nasa.gov/blogs/webb/2022/11/28/nasa-webb-image-coming-this-week/> (Utolsó elérés: 2026.04.27.)
- 110. o., 4.23. ábra: Lézerfajták spektroszkópiai célra. Danh: Commercial laser lines.svg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Commercial_laser_lines.svg (Utolsó elérés: 2026.04.27.) felhasználásával készült.
 - 110. o., 4.24. ábra: Gyertyaláng és telehold; Balra: Paolostefano1412: Candle.jpg / Wikimedia Commons. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Candle.jpg> (Utolsó elérés: 2026.01.02). Jobbra: Photo by Alexander Andrews on Unsplash: https://unsplash.com/photos/moon-H0dcpc0_hYc?utm_content=creditCopyText&utm_medium=referral&utm_source=unsplash (Utolsó elérés: 2026.01.02).
 - 114. o., 5.1. ábra: A *smoot* hosszegység 50-ik születésnapjára készített emléktábla és a bostoni Harvard-híd. Balra: Beyond My Ken: Harvard Bridge Smoot plaque.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Harvard_Bridge_Smoot_plaque.jpg (Utolsó elérés: 2025.12.03.) Jobbra: A Harvard-híd közepén, "Félúton a pokolhoz"; Jim.henderson: Mass Av Bridge east lane halfway jeh.jpg / Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mass_Av_Bridge_east_lane_halfway_jeh.jpg (Utolsó elérés: 2026.04.17)

Hogyan számolunk az ujjainkon, és hogyan lehet két kézen 144-ig vagy akár 1028-ig számolni? Hogyan alakult ki az SI Nemzetközi Egységrendszer és miért vezet mindent vissza az időre? Hogyan mérünk genetikai távolságot, ízt, érdességet és hangerőt? Mit jelent a drágakövek és nemesfémek mérésére a karát? Hány különböző módon vettük át a latin uncia szót, és mennyi egy uncia hosszúságban, súlyban, aranyban, és folyadéktérfogatban? Hogyan mérünk időt, távolságot, áramot, teljesítményt, hőmérsékletet és radioaktivitást? Hogyan mérik Angliában a testsúlyt és a ló méretét? Miben különbözik a magyar, angol és amerikai pint? Hogyan vezette be, majd néhány évvel később ki Kanada a metrikus egységeket? Hogyan reformálta meg a francia forradalom az időszámítást, bevezetve tizedes hónapot, hetet, órát és percet? Mi a különbség a Gregoriánus, Julianus, maja, japán, iszlám, zsidó és republikánus naptár között? Mit jelent az Erdős-, Bacon- és Sabbath-szám és hogyan járult hozzá Karinthy Frigyes egy új tudományág kialakulásához? Milyenek az utcanevek és házszaámok Európában, Amerikában és Japánban? Hogyan osztályoznak a különböző országok iskoláiban? Milyen tréfás mértékegységeket alakítottak ki pihent agyú tudósok? A kedves Olvasó minderre megkaphatja a választ a kezében tartott könyvből, amely a mérések szórakoztató története az ókortól egészen napjainkig.

Kapcsolat

HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont
1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29-33.

E-mail: lib@wigner.hun-ren.hu
Website: pubs.wigner.hun-ren.hu

További kiadványainkat
keresse itt: ↓

