

Az utóbbi években – a mesterséges holdak és űrrakéták korában – a kozmikus mozgások felé fordult a közönség figyelve. Ilyen tárgyú előadásokat tartanak országszerte, és ezekkel a kérdésekkel foglalkozó cikkek jelennek meg a folyóiratokban és napilapokban egyaránt. Ez érthető és örvendetes jelenség. Érthető, mert ezekben az eredményekben az emberi tudás valami hasonló méretű diadalát ünnepli, mint amikor – néhány évszázaddal ezelőtt – a nagy földrajzi felfedezések vagy az első távcsövek hozták magukkal az ember látókörének ugrásszerű kiszélesedését. És örvendetes is ez a jelenség, mert a természettudományok felé fordítja a figyelmet, és olyan tudományágot tesz át a mérnöki gyakorlat területére, és hoz szinte kézzelfogható közelségbe, mint az égi mechanika, amiről pedig úgy gondoltuk, hogy vajmi kevés köze lehet a gyakorlathoz. Az említett körülmények amellet, hogy megmutatják az elmélet és gyakorlat egységét, igen élesen rávilágítanak két alapvető fizikai mennyiség – a tömeg és a súly – különbözőségére.<sup>1</sup> Ezt hangsúlyoznunk kell, mert sajnálatos módon igen gyakori e két fogalom felcserélése,

Két mondatl mutatjuk ezt be egyik folyóiratunknak az űrrakétáról közölt cikkéből. Az egyik mondat így szól: „A felgyorsítás során végzett munka 8 millió métertonna.” A másik pedig: „Az átlagos üzemanyag felhasználás tehát 1 tonna/mp.” Az első idézett mondatban a tonna szó nyilván erőt jelent, közelebből egy tonna tömegnek a Föld felszínén mutatkozó súlyát. Ez az erő

$$1 \text{ tonnasúly} = 10^5 \text{ pond} = 1 \text{ Mp (megapond)}$$

A második mondatban viszont tömeget jelent a tonna szó. Súlyt nem jelenthet, mert hiszen a rakéta távolodásával a súly állandóan fogy (a semleges ponton éppen zérussá válik) akkor is, ha nincs üzemanyag fogyasztás.

Látjuk ebből, hogy a „tonna” szónak éppen úgy mint a „kilogramm” szónak kettős jelentése van a közönséges szóhasználatban még ma is, pedig már évekkel ezelőtt bevezették a kg-súly erő számára a *kilopond* (kp) elnevezést. Ez a kettős jelentés súlyos fogalomzavarokra ad alkalmat, például az előbbi idézetekben, vagy több helyen a mechanikában a fizikai és technikai mértékrendszerek kevert használata miatt. Éppen a mértékrendszerek oldaláról próbáljuk a kérdést megfogni.

\*

Előrebocsátjuk, hogy minden fizikai mennyiség jellemzéséhez két adatra: számra és egységre van szükségünk, a mennyiség maga formálisan e két tényező szorzataként jelenik meg előttünk: pl. 5 kg, 3 volt, 16 sec stb. Amikor általános fizikai egyenletet írunk fel betűkkel, az egyenletben szereplő betűk mennyiségeket jelentenek, és minden mennyiség szám és egység szorzata. Ezt nem szabad szem elől téveszteni akkor sem, ha nem írjuk ki részletesen ezeket a szorzatokat. A fizika egyenletei ún. *mennyiségegyenletek*. Ilyen mennyiségegyenlet pl. az egyenes-vonalú egyenletes mozgás ismert

$$(1) \quad s = c \cdot t$$

„útképlete”, ahol  $s$  a megtett utat,  $t$  az eltelt időt, a  $c$  arányossági tényező pedig a sebességet jelenti.

A fizikai egyenletnek ebből a felfogásából azonnal következik az a természetes kívánság, hogy a fizikai egyenlet, aminek mindkét oldalán fizikai mennyiségek állanak, igaz legyen külön a számokra és külön az egységekre is. Így pl. ha az előbbi (1) egyenletünket konkretizáljuk, és arra az útra írjuk fel, amit az 5 m/sec sebességgel mozgó pont fut be 3 sec alatt, akkor ezt kapjuk:

$$15 \text{ m} = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \cdot 3 \text{ sec}$$

Itt valóban igaz külön-külön a  $15 = 5 \cdot 3$  számeqyenlet és az

$$\text{m} = \frac{\text{m}}{\text{sec}} \cdot \text{sec} \quad \text{egységegyenlet.}$$

Hasonlóan a 220 V, 5 A áram teljesítményére felírt  $220 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} = 1100 \text{ W}$  egyenletből következik egyrészt  $1100 = 220 \cdot 5$  és másrészt  $W = V \cdot A$ .

A mennyiségegyenletnek ez a felbontása számeqyenletre és egységegyenletre csak akkor lehetséges, ha az alkalmazott (ún. koherens) egységek egységrendszert (mértékrendszert) képeznek. A fizikai egyenleteknek ilyen kezelésével tehát eldönthető, hogy bizonyos egységek rendszert képeznek-e vagy pedig nem.

\*

Nézzünk most egy másik egyszerű mennyiségegyenletet, mégpedig a súly ugyancsak ismert

$$(2) \quad G = m \cdot g$$

<sup>1</sup> A tömeg a test tehetlenségének mértéke, a tehetlenség pedig az a képessége a testeknek, amivel ellene tudnak szegülni a mozgási állapot megváltoztatásának. A tömeg a testnek más testek hatásától független „belső” tulajdonsága. Egy kg cukor tömege egy kg marad az űrrakétában, vagy a Holdon is. A tömeg skaláris mennyiség. – Ezzel szemben a súly egy másik test (közönséges értelemben a Föld) vonzóereje, vektor mennyiség. A testeknek azonban nemcsak a Föld felé, hanem a Hold, a Nap, az állócsillagok, általában minden más test felé van súlyuk, és mindegyik súly a testek tömegének és kölcsönös helyzetének függvénye. Közönséges tapasztalataink csak a Föld felé irányuló súlyt mutatják, mert a más testek felé irányuló súlyok nagysága emellet elenyésző. Az űrrakétánál azonban jelentős szerepet játszik, és túlsúlyba kerülhet például a Hold felé irányuló súly, miközben a tömeg változatlan marad.

kifejezését. Legyen itt szó 1 liter vízről, akkor

$$G = 1 \text{ kp}; \quad m = 1 \text{ kg} \quad \text{és} \quad g = 9,81 \text{ m/sec}^2$$

miatt az alábbi speciális mennyiségegyenlet lesz érvényes:

$$(3) \quad 1 \text{ kp} = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/sec}^2.$$

Ez az egyenlet feltétlenül igaz, de nem bontható fel az előbbi minták szerint számeqyenetre és egységeqyenetre, mert  $1 \neq 9,81$ .

Ez pedig azt mutatja, hogy a kp *erőegység és a kg tömegegység nem lehetnek egyazon rendszer tagjai*. A fenti (3) egyenletben idegen rendszerekhez tartozó egységek keverednek. A kp és a kg csak akkor tartoznának ugyanazon a rendszerhez, ha  $g$  lenne a gyorsulásegység. Ez azonban nincs így, a gyorsulás egysége nem  $g$ , hanem  $1 \text{ m/sec}^2$ . Más módot kell megpróbálni ahhoz, hogy a (3) egyenletből átszámítási tényező nélküli, ún.: „1:1”-egységeqyenlethez jussunk.

Célunkhoz két különböző úton is eljuthatunk, a jobb oldali 9,81 számtényezőt beolvaszthatjuk vagy az erő, vagy pedig a tömeg egységébe.

Az első esetben a fizikai MKS (méter-kilogram-secundum)-rendszerben vagyunk, és speciális mennyiségeqyenletünk így szól:

$$\frac{1}{9,81} \text{ kp} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}.$$

A fizikai rendszerben a hosszúságot, tömeget és időt tekintjük alpmennyiségeknek, és ezekből származtatjuk a többi mennyiségeket. Ennek megfelelően a m, kg, sec egységekből kapjuk a leszámaztatott mennyiségek egységeit. Fenti kifejezésünkben a bal oldali mennyiséget tekintjük erőegységnek, külön nevet adunk neki, ez a *newton* (N), amivel az

$$N = \text{kg} \cdot \text{m/sec}^2$$

ismert egységeqyenlethez jutunk. Ezzel az erőegységgel dolgozva a mechanika további mennyiségeinek egységeihez jutunk, mint pl.

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| mozgásmennyiség:         | kg · m/sec               |
| sűrűség:                 | kg/m <sup>3</sup>        |
| munka, energia:          | joule = N · m            |
| fajsúly                  | N/m <sup>3</sup>         |
| nyomás:                  | N/m <sup>2</sup>         |
| teljesítmény:            | watt = joule/sec         |
| tehetetlenségi nyomaték: | m <sup>2</sup> · kg stb. |

A 9,81 szorzótényező eltüntetésére a második lehetőség pedig az, hogy beolvasztjuk a jobboldali tömegegységbe. Ekkor kapjuk:

$$1 \text{ kp} = (9,81 \text{ kg}) \cdot \text{m/sec}^2.$$

A zárójelen belüli mennyiséget tekintjük új tömegegységnek, aminek célszerű ugyancsak külön nevet adni. Erre kötelező előírás nincsen, többek javaslatára terjedőben van a „*hyl*” elnevezés. Most a technikai mértékrendszerben vagyunk és egységeqyenletünk így alakul

$$\begin{aligned} \text{kp} &= \text{hyl} \cdot \text{m/sec}^2 \\ \text{amiből hyl} &= \text{kp} \cdot \text{sec}^2/\text{m} = 9,81 \text{ kg}. \end{aligned}$$

A technikai rendszerben – mint látjuk – a hosszúság és idő mellett az erő a harmadik alpmennyiség, és a tömeg mint leszámaztatott mennyiség jelenik meg. A már említett módon nyerhetők a további leszámaztatott egységek, mint pl.

|                  |                                                            |
|------------------|------------------------------------------------------------|
| mozgásmennyiség: | kp · sec                                                   |
| sűrűség:         | hyl/m <sup>3</sup> = kp · sec <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> |
| munka, energia   | kp · m stb.                                                |

Látjuk a fentiekből, hogy a fizikai és technikai mérték rendszer egyformán jó, bármelyiket használhatjuk, csak össze ne keverjük őket.

\*

Visszatérve eredeti kérdésünkhöz, a tömeg és súly felcseréléséhez, azt látjuk, hogy ez a felcserélés elkerülhető, ha tisztán kezeljük a bemutatott két mértékrendszert. Ezt talán egy másik példán mutatjuk meg.

Ugyancsak igen gyakori hiba a fajsúly és sűrűség fogalmak felcserélése, ami szintén e két rendszer összekeverésének folyománya. Vegyünk egy ismert anyagot, pl. a higant. Ennek sűrűsége a fizikai rendszerben

$$d = 13\,600 \text{ kg/m}^3, \quad \text{fajsúly pedig } \gamma = 133\,416 \text{ N/m}^3.$$

Ha pedig a technikai rendszerben akarunk számolni, úgy a fajsúlyból indulunk ki

$$\gamma = 13\,600 \text{ kp/m}^3 \quad \text{és kapjuk a sűrűsége } d = 1386 \text{ hyl/m}^3.$$

Megfelelő adatok a vízre:

|               | MKS                    | techn.                 |
|---------------|------------------------|------------------------|
| sűrűség ..... | 1000 kg/m <sup>3</sup> | 102 hyl/m <sup>3</sup> |
| fajsúly ..... | 9810 N/m <sup>3</sup>  | 1000 kp/m <sup>3</sup> |

Nem lehet tehát azt mondani, hogy pl. „a víz sűrűsége ugyanannyi, mint a fajsúlya”, mert – amint látjuk – ez egyik rendszerben sem igaz, még a számértékekre sem, arról nem is beszélve, hogy a két mennyiség jellegét tekintve is különböző. Ezt az idézőjelbe tett mondatot igen gyakran halljuk mégis. A benne foglalt hibás állítás a tömeg és súly fogalmának felcsereléséből, illetve a fizikai és technikai rendszerek összekeveréséből ered.

Ez a hiba nem korlátozódik a mechanika területére, hanem áterjed a fizika további fejezeteire is. Egy példát mutatunk erre.

Tekintsük a hőmennyiség  $Q = c \cdot m \cdot \Delta t$  kifejezését, amiben  $Q$  hőmennyiséget,  $c$  fajhőt,  $m$  tömeget,  $\Delta t$  pedig hőmérsékletkülönbséget jelent. Ezeket rendre kilokalória (kcal), kcal/kg · fok, kg, ill. fok egységekben mérjük. A kcal a ma is használatos régi definíció szerint az a hőmennyiség, ami 1 kg víz hőmérsékletét 1 °C-kal emeli. A hőmennyiség fenti kifejezésében helyettesítsük a tömeget – amint az a műszaki irodalomban és a mérnöki gyakorlatban szokásos – (2) egyenletünkből az  $m = G/g$  hányadossal, úgy a hőmennyiség kifejezésére ezt kapjuk:

$$Q = c \cdot \frac{G}{g} \cdot \Delta t.$$

Vonatkoztassuk ezt a kifejezést 1 liter vízre és legyen a hőmérsékletemelkedés 1 fok. Ekkor az előzőhöz hasonló felületen gondolkodással ezt mondhatnánk: a jobb oldalon szereplő mennyiségek közül  $c$ ,  $G$  és  $\Delta t$  is 1, míg  $g$  értéke 9,81, így a jobb oldalon 1/9,81 adódik, holott a definíció szerint 1 kilokalóriát kellett volna kapnunk. Vagyis „nem jó a képlet!” Pedig a képlet jó, csak hogy a kilokalória definíciójában 1 kg víz szerepel, míg a  $G/g$  hányados, ha  $G = 1$  kp-ot helyettesítünk, 1/9,81 hylt eredményez. Ez pedig nagy különbség a számértékben. Nem származik azonban semmi zavar a  $G/g$  használatából sem, ha megmaradunk ugyanabban a rendszerben, és  $G = 9,81$  N-al számolunk, vagy, pedig nem feledkezünk meg arról, hogy 1/9,81 hyl = 1 kg.

A példák számát szaporíthatnánk, de talán ennyi is elég. Kis túlzással szólva olyasféle hibákkal találkozunk bennük, mintha azt mondanánk, hogy egy ember testsúlya egyenlő az asztal magasságával. Indokolás: mindkettő értéke 82. Olyan apróságokkal azonban, hogy az egyik mennyiség 82 kp, a másik pedig 82 cm, nem akarnánk törődni.

Ezek a hibák egyrészt abból erednek, hogy nem fizikai mennyiségekben, hanem csak számokban gondolkodunk; másrészt pedig abból, hogy összekeverjük a fizikai és technikai mértékrendszereket, és összetévesztjük a tömeget a súllyal. Márpedig, ha a hibák eredetét felismertük, akkor kezünkben van azok megelőzésének, valamint a már meglévő zavarok megszüntetésének kulcsa.