

Bár szinte az egész környezetünk és jómagunk is telistele vagyunk áramló folyadékokkal és gázokkal – gondoljunk csak a zord téli szelekre vagy az ereinkben keringő vére –, mégis a tanulmányaink során elég kevés szó esik ezekről a jelenségekről. A méltóságteljesen hömpölygő Dunát vagy a szél által felkavart porfelhő örvénylését szemlélve valóban úgy érzi az ember, hogy a jelenség már olyan bonyolult, hogy ezen a megállapításon kívül már nem sokat lehet róla mondani. Hogy azért mégis van rend és törvény ebben a kavargó világban is, azt egy egyszerű példán szeretnénk bemutatni.

A fizikusok ugyan felírtak egy a jelenséghez méltóan bonyolult egyenletet – az úgynevezett Navier–Stokes-egyenletet –, amelyet azonban mi itt fel sem merünk írni, de amelynek van egy nagyon érdekes tulajdonsága, tudniillik az, hogy csupán egyetlen az anyagra és az áramlásra *együttesen* jellemző paramétertől, az úgynevezett Reynolds-számtól függ.

Mielőtt azonban a Reynolds-számról részletesebben beszélnénk, egy hasonlattal szeretnénk megvilágítani, hogy mit is jelent az az állítás, hogy egy fizikai folyamat bizonyos számú paramétertől függ. Vajon a szabadesés hány paramétertől függ? Első pillanatban azt gondolhatjuk, hogy kettőtől: a g -tól, a gravitációs térerősségtől és a h -tól, az esés magasságától. Ezek ismeretében valóban pontosan megadható bármely pillanatban a szabadon eső test helyzete vagy az esés összideje. Ez azonban pazarlás, ha jól meggondoljuk a fizikai folyamat lényegének a leírásához egyetlen paraméterre sincs szükség. Ugyanis elegendő egyetlen „mintakísérlet” elvégzése egy „mintabolygón”, ahol a $g = 1 \text{ cm/s}^2$. Ha ugyanis ismerjük a $h = 1 \text{ cm}$ magasságból való szabadesés időbeli lefolyását, akkor ezzel le tudjuk írni bármilyen homogén gravitációs térben az összes szabadesést. Nem kell mást csinálni, mint alkalmas mértékegységeket bevezetni. Ennek illusztrálására írjuk fel a szabadesést a közönséges és a „minta-mértékegységekben”. Az új egységek:

$$1 \text{ „minta-centiméter”} = h \text{ [cm]},$$

$$1 \text{ „minta-cm”} / \text{„minta-s”}^2 = g \text{ [cm] / [s]}^2,$$

ebből

$$1 \text{ „minta-s”} = \frac{\sqrt{h}}{\sqrt{g}} \text{ [s]}.$$

A továbbiakban csak az idézőjellel jelezzük a mintaegységet:

	Közönséges egys.	„Mintaegységek”	Mintabolygón mintaesés közönséges egységekben
Az út-idő összefüggés	$s[\text{cm}] = \frac{g}{2} \frac{[\text{cm}]}{[\text{s}]^2} t[\text{s}]^2$	$s'[\text{„cm”}] = \frac{1}{2} \frac{[\text{„cm”}]}{[\text{„s”}]^2} \cdot t'^2[\text{„s”}]^2$	$s = \frac{1}{2} t^2$
Az esés ideje	$t[\text{sec}] = \sqrt{\frac{2h[\text{cm}]}{g[\text{cm/s}^2]}}$	$t'[\text{„s”}] = \sqrt{2}[\text{„s”}]$	$t = \sqrt{2}[\text{s}]$

Vagyis a „mintaegységekben” pontosan olyan a folyamat lefolyása, mint a mintafolyamaté a közönséges egységekben.

Pontosan ilyen értelemben kell felfogni azt a kijelentést, hogy a hidrodinamikai folyamatok leírására elegendő egyetlen paraméter. Hogy ebben az esetben semmilyen ügyeskedéssel sem lehet ettől a paramétertől megszabadulni, az jelzi azt a tényt, hogy mennyivel bonyolultabb jelenséggel állunk szemben. A szabadesés független az anyagi minőségtől, a hidrodinamikai áramlás azonban „függ” ettől, de a dologban éppen ennek a függésnek a különleges volta az érdekes, ugyanis ez valamiféle „relatív” függés, mert például bizonyos esetben a víz úgy viselkedhet, mint a méz; a méz pedig, mint a levegő.

Hogy konkrétabban beszélhessünk, vizsgáljunk egy speciális elrendezést. Helyezzünk a $v \text{ cm/s}$ sebességgel áramló $\varrho \text{ g/cm}^3$ sűrűségű $\eta \text{ g/cm} \cdot \text{s}$ belső súrlódású folyadék útjába egy D átmérőjű hengert. Az η ne nagyon izgasson fel senkit, valami olyan dologra kell gondolni, hogy az a két szilárd test egymáson való elcsúszására jellemző μ súrlódási együtthatónak megfelelő anyagi állandó a folyadék esetén. (Részletesebben lásd: K. M. L. 31. kötet 33. old.)

Látható, hogy a közönséges egységekben ez négy paraméteres probléma, de a fizikai lényeget tekintve ezeket egyetlen paraméterbe lehet sűríteni, ez az a bizonyos Reynolds-szám:

$$R = \frac{\varrho}{\eta} Dv.$$

Nyilvánvalóan most is ugyanúgy, mint a szabadesésnél új egységek bevezetésével küszöbölhetjük ki a v -t és a D -t. De a hidrodinamikában nem lehet ilyen egyszerűen eljárni, ugyanis a „mintaegységekben” felírt áramlás nem egyezik meg azzal az áramlással, amelyet ugyanannak a folyadéknak a mintaberendezésben ($D = 1 \text{ cm}$ és $v = 1 \text{ cm/s}$) való áramlása esetén tapasztalunk. A hidrodinamika alaptörvényeiből ugyanis az következik, hogy most is célszerű ugyan

a „mintaegységek” használata – hisz ezzel a négyből kiküszöbölhetünk két paramétert –, de a mintaegységekben leírt áramlás csak akkor fog megegyezni a mintaberendezésbeli ($v = 1$ cm/s, $D = 1$ cm) áramlással, ha abban egy másik folyadékot áramoltatunk, amely folyadék *fajlagos* belső súrlódásának a reciproka – a ϱ/η hányados – egyenlő az eredeti folyadék Reynolds-számával. Tömören ezt úgy fogalmazhatjuk meg, hogy két folyadék áramlása a mintaegységekben akkor egyezik meg teljesen, ha a közönséges egységekben felírt Reynolds-számok megegyeznek.

Látható, hogy a Reynolds-szám reciproka éppen a mintaberendezésbeli mintafolyadék fajlagos belső súrlódásával egyenlő. Mivel itt csak a fajlagos belső súrlódás, vagyis az η és a ϱ hányadosa jelenik meg, ezért csökken le végül is a paraméterek száma egyre. Gondoljuk csak el, micsoda nagy jelentősége van ennek! Ha ugyanis ismerjük egyetlen 1 cm átmérőjű csőben a különböző folyadékok áramlási képét, amikor mondjuk a cső közepén 1 cm/s az áramlás, akkor ezzel tetszőleges átmérőjű csőben, tetszőleges sebességű tetszőleges folyadék esetén ismerjük az áramlást. Ugyanis nem kell mást csinálni, mint az áramlást „mintaegységekben” felírni, és a mintaberendezésben azt a folyadékot kell áramoltatni, amelynek a fajlagos belső súrlódása egyenlő a vizsgált áramlás közönséges egységekben felírt Reynolds számának a reciprokával. Vegyük észre, hogy a *geometriailag* hasonló berendezések közül *bármelyiket* választhatjuk mintaberendezésnek (vagyis például azt a csövet, amelynek a *sugara* 1 cm, és a víz *átlagsebessége* 1 cm/s), ugyanis ez nem változtatja meg a minta- és a közönséges egységek váltószámát, így változatlan marad a mintafolyadék is. Nem szabad viszont két különböző, geometriailag nem hasonló áramlás Reynolds-számaait összekeverni vagy egymással összehasonlítani. Vegyük például azt az esetet, amikor egy v -sebességű áramlásba D átmérőjű gömböt helyezünk, vagy egy R -sugarú csövön keresztül való áramlást. Nyilvánvaló, hogy hiába egyezik meg két áramlás esetén a Reynolds-szám, ebből nem vonhatunk le semmilyen következtetést, hiszen a két alakzat geometriailag nem hasonló egymáshoz. A félreértések elkerülése végett ezért a Reynolds-számot úgy definiáljuk, hogy:

$$R = \frac{\varrho}{\eta} \cdot (\text{jellemző távolság}) \cdot (\text{jellemző sebesség}).$$

Hogy a gyengébb idegzetűeket még jobban kétségbe ejtsük, végezetül hadd áruljunk még el annyit, hogy a fentebb elmondottak csak akkor érvényesek, ha a sebességek kicsik a hangsebességhez képest. Nagyobb sebességek esetén ugyanis két geometriailag hasonló áramlás csak akkor lesz dinamikailag hasonló, ha az áramlási sebesség és a hangsebesség hányadosa, az ún. Mach-szám és a Reynolds-szám azonos. (Irodalom: *Szücs Ervin: Hasonlóságelmélet. Műszaki Kiadó.*)