

A sűrűség mérése elvben visszavezethető tömeg és térfogat mérésére. A tömeg kellően pontos mérleggel könnyen megoldható. (Több versenyző is közeli gyógyszerárba ment be, és ott kérte, hogy mérjék meg a patikai mérlegen a pingponglabda tömegét.) A térfogat mérése sem látszik nehéz feladatnak, ha egy szabályos test (pl. egy gömb) térfogatát kell meghatározni. Tolómérővel vagy mikrométerrel tized- vagy századmilliméter pontossággal lemérhető egy pingponglabda külső átmérője. (Sokan rájöttek, hogy ilyen pontosság mellett már egyáltalán nem biztos, hogy a labda „gömbölyű”; a különböző irányokban mért átmérője általában eltérő nagyságúnak adódik.)

Többen félreértették a kérdést, és a sűrűségét a labda tömegének és a külső átmérőből számított gömb térfogatának hányadosaként adták meg. Ez a mennyiség a labda és a benne levő levegő átlagsűrűségét adja meg (kb.  $0,1 \text{ g/cm}^3$ -t), ami nyilvánvalóan különbözik a labda *anyagának* sűrűségétől. Az is hibásan járt el, aki a labda mérlegen mért tömegéből kivonta a benne levő levegőt (labda térfogatából és a levegő sűrűségéből kiszámítható) tömegét. A mérleg ugyanis *nem* méri a labdában levő levegőt, hiszen annak súlya éppen akkora, amekkora felhajtóerő hat a labdára a környező levegő miatt. (Feltételezhetjük, hogy a labdában levő levegő ugyanakkora sűrűségű, mint a külső légkör, továbbá, hogy a labda falának térfogata sokkal kisebb, mint a bezárt levegőé.)

A labda *falának* sűrűségét a fal térfogatának ismeretében tudjuk kiszámítani. Sok versenyző félbe (vagy még kisebb darabokra) vágta a labdát, s közvetlen méréssel (tolómérővel), vagy közvetett úton (a belső és a külső átmérő mért különbségéből) határozta meg a labda anyagának térfogatát. Mindkét módszer meglehetősen pontatlan, hiszen a labda fala viszonylag vékony, így a relatív hiba 20–30% vagy még ennél is több lehet. Két – majdnem egyforma átmérőjű – gömb térfogatának különbsége sokkal kisebb, mint a gömbök térfogata, emiatt hiába ismerjük külön-külön viszonylag pontosan a gömbök átmérőjét (térfogatát), a különbség relatív bizonytalansága sokkal nagyobb lesz. A közvetlen vastagságmérést az is nehezíti, hogy a mikrométer henger alakú mérőfelülete nem fekszik fel a szétvágott labda belső oldalára. Ezt a problémát úgy lehetett volna megoldani, hogy egy kicsiny csapágygolyót érintünk belülről a labdához, s ezzel együtt mérjük meg a vastagságot, majd a mért értékből kivonjuk a csapágygolyó előzőleg megmért átmérőjét.

A „gömbhéj” térfogatának mérése a fentebb leírt módon még akkor is megkérdőjelezhető, ha kellő gondossággal végezzük el a falvastagság mérését. Többen felfigyeltek rá, hogy a labda fala nem egyenletes vastagságú, a mért vastagságadatokat számottevő „szórást” mutatnak. Ehhez járul még a két félgömbhéj összeragasztásánál megfigyelhető „abroncs”, melynek extra járulékat többen megpróbálták számítással figyelembe venni.

Helyesebben jártak el azok, akik a labda falának térfogatát úgy mérték meg, hogy nem tettek semmiféle elméleti megfontolást a fal geometriai alakjára. *Kállai Márton* (Budaörs, Illyés Gy. Gimn. 12. o.t.) nyolc darabra vágott fel egy pingponglabdát, majd az összes darabot mérőhengerbe rakta. (Vigyázott rá, hogy a darabokat egymás után helyezze a hengerbe, nehogy levegő maradjon közöttük.) A mérőhengerrel mérni tudta a kiszorított víz térfogatát, ami (hacsak nem maradt parányi légbuborék a műanyagdarabkákon) megegyezik a labda falának térfogatával. Mérése szerint a labda anyagának sűrűsége  $\rho = 1,06 \text{ g/cm}^3$ , és a mérés pontosságát (a tömegmérés és a térfogatmérés pontosságából) 5%-ra becsülte. A mérés pontossága fokozható, ha a mérés előtt gondosan zsírtalanítjuk a labda darabkáit, ismert hőmérsékletű, kiforralt desztillált vízzel dolgozunk, és a folyadék térfogatának mérését felül elkeskenyített mérőedénnyel végezzük.

Sokan végeztek előzetes sűrűség-bebecslést úgy, hogy a pingponglabda darabkáit vízbe dobták, s megfigyelték, hogy a darabkák lassan lesüllyednek. Ebből arra következtettek, hogy a labda anyagának sűrűsége egy *kevésbé nagyobb*, mint a víz sűrűsége. *Bálint László* (Temesvár, Bartók B. Líceum 10. o.t.) fokozatosan növelt koncentrációjú sós vizes oldatot készített, s figyelte, hogy elsüllyednek, felszállnak vagy éppen lebegnek-e az oldatban a pingponglabda darabkái. A határesetnek megfelelő töménységű sóoldat sűrűségét *aerométerrel* (úszó sűrűségmérővel) viszonylag pontosan meg tudta mérni, s a mért érték megadta a labda anyagának sűrűségét is.

Hasonló módon járt el *Flender Gyöngyi* (Hajdúszoboszló, Hőgyes E. Gimn. 10. o.t.) is, aki a vasárnapi ebéd készítése közben figyelt fel arra, hogy a húslevesben a tésztagombócok a sózottságtól (és a hőmérséklettől) függően úsznak, lemerültek vagy éppen lebegtek. A pingponglabda darabkáinak sűrűségét gyorsan oldódó sóból készített (a határesetnek megfelelő) oldat térfogatának és tömegének mérése után számítással határozta meg. Megfigyelte, hogy a pingponglabda nem minden része azonos sűrűségű. Azok a darabkák, melyek összeragasztott részt is tartalmaztak, még úsztak akkor, amikor a labda többi része lebegett. (Ez a ragasztó kisebb sűrűségével, vagy az összeragasztott részek között maradt parányi légbuborékokkal magyarázható.)

A legügyesebben (és legeredményesebben) *Nagy Ádám* (Budapest, Szent István Gimn. 11. o.t.) oldotta meg a feladatot. Abból indult ki, hogy az iskola kémia laboratóriumában található korszerű mérleggel ezred grammnál is pontosabban (!) lehet tömeget (és súlyt) mérni. Ez a pontosság sokkal jobb, mint a térfogat- vagy hosszúságmérések-nél elérhető mérési hibahatár, érdemes tehát olyan módszert keresni, amely tisztán tömegmérésből áll. Az érzékeny mérleggel lemérte egy desztillált vízzel félig töltött pohár súlyát, majd megismételte a mérést úgy, hogy egy rögzített állványra kötött fonálon a vízbe lógatta a félbevágott pingponglabda darabjait. A labda darabkáira a kiszorított víz súlyának megfelelő felhajtóerő hat, ennek az erőnek az elleneje viszont a vizet (a poharat és rajta keresztül a mérleget) nyomja lefele. A második mérésnél tehát a mérleg az első méréshez viszonyítva éppen annyival mutatott többet, amennyi a labda anyaga által kiszorított víz tömege. Ebből az adatból (és a hőmérsékletből) a víz sűrűségének ismeretében kiszámítható a labda falának térfogata, az előzőleg megmért tömegéből pedig a sűrűsége.

Hasonló módon végezte el a mérést *Pozsgay Balázs* (Pécs, Magyar-német Nyelvű Isk. 11. o.t.) is, de ő nem állványról lógatta le, hanem kézzel tartotta a (kilyukasztott) pingponglabdát. Ilyenkor a kéz kicsiny remegése okoz mérési hibát.

(A vízben mozgó testre közegellenállási erő hat, melynek ellenerejét az érzékeny mérleg ingadozások formájában jelzi.) Érzékeny mérleg használatakor célszerű rezgésmentes körülményeket biztosítani, pontosabban fogalmazva: a környezetből származó rezgéseket olyan mértékben csökkenteni, amennyire csak lehet.)

*Megjegyzés.* A mérési feladat értékelésénél az kaphatja meg a maximális pontszámot, aki ötletes mérési módszer választ, az alkalmazott módszert világosan, áttekinthetően leírja, elegendő számú és pontosságú, tényleges mérésből származó adattal rendelkezik és azokat áttekinthető táblázatba rendezi vagy grafikonon ábrázolja, a mérési adatokból a keresett mennyiséget meghatározza, és végül korrekt hibaszámítással elfogadható becslést ad a mérés pontosságára. Az a megállapítás, hogy „a mérés nem tökéletesen pontos” (melyik mérés az?), vagy annak kijelentése, hogy „a mérőeszközök hibája miatt a mérésem nem túl pontos”, önmagában nem fogadható el hibabecslésként, de még az sem, ha valaki (indoklás nélkül) közli: „véleményem szerint az eredményem 10 százalékra pontos”. Ugyancsak értékelhetetlenek a mérési eredményeket nem tartalmazó, csak elvi leírást közlő dolgozatok, továbbá azok, melyek különböző tanulók tökéletesen azonos mérési módszeréről és azonos mérési eredményeiről számolnak be.