Bizonyára már sokan megfigyelték azt a jelenséget, hogy ha autóval utazunk az egymást azonos időközönként követő buszokkal szemben, akkor gyakrabban találkozunk velük, mint amilyen sűrűn indították őket a végállomásról. A buszok követési ideje az autós számára lecsökken, a találkozási sűrűség (a „találkozási frekvencia") megnő. E megfigyelésnek a mérési változatát és más, a közlekedéssel, a nagyvárosi élettel kapcsolatos méréseket végeztem el tanítványaimmal, a budapesti Szent László Gimnázium III. osztályos, kiemelt fizika fakultációs csoportjának lelkes tagjaival.

1. A földalattik randevúja

Ha a v áltagsebességű buszokat T időközönként indítják a végállomásról (és ideális esetben a megállókba is ilyen időközönként érnek), akkor a buszokkal szemben haladó, u átlagsebességű autó $t = \dfrac{v}{u+v} \cdot T$ időközönként találkozik velük, amint ez egyszerű kinematikai meggondolások alapján igazolható. A képletből látható, hogy $t < T$, azaz a „találkozási frekvencia" nagyobb az „indítási frekvenciánál". Az egyszerűség kedvéért mi a buszokat és az autót is földalattival cseréltük fel, mivel ezeknek a haladását nem akadályozza a közúti forgalom, és a földalatti teljes vonalán láthatók a szembejövő szerelvények. Ekkor a képlet egyszerűsödik: $u = v$ miatt $t = T/2$ lesz. Mi ezt az összefüggést ellenőriztük: mértük a szerelvények indítása között eltelt időt (T), és felülve az egyik földalattira, mértük a szembejövő szerelvényekkel való találkozások közötti időket (t). Több érték átlagolásával T-re 120 s-ot, t-re 58 s-ot kaptunk, ami — az egyébként viszonylag nagy szórást figyelembe véve – jó egyezést mutat a képlettel.

2. Gyorsulásmérés a földalattin

A földalattin való utazás és mérés közben arra is jutott időnk, hogy megmérjük a szerelvény gyorsulását és lassulását. A mérést metrón is elvégeztük. Egy kb. 1 m hosszú fonál végére golyót rögzítettünk, a másik végét egy vízszintes kapaszkodóra kötöttük. Amíg a szerelvény állt, szögmérünkkel beállítottuk a függőleges irányba, induláskor és fékezéskor pedig leolvastuk, hogy mekkora szöget zár be a fonál a függőlegessel. A leolvasás igen nehéz volt, mivel a fonál nem állt be egy rögzített irányba, hiszen a metró gyorsulása nem állandó, és az inga lengése nem volt kellő mértékben csillapítható. 15° és 30° közötti szögeket mértünk, amelynek az $a = g \cdot \operatorname{tg} \alpha$ képlet alapján 2,6 $\mathrm{m/s^2}$ és 5,7 $\mathrm{m/s^2}$ közötti gyorsulásértékek felelnek meg. A mérést megfelelően csillapított és elég rövid lengésidejű ingával lehetne pontosabban elvégezni.

3. Népszámlálás az aluljáróban

A metrózást követően rövid népszámlálást tartottunk a Blaha Lujza téri aluljáró egyik metrókijáratánál. Megszámoltuk, hogy adott Δt idő alatt mennyi ember jön ki a $d = 3,5$ m szélességű kijáraton. A mérési időtartamot akkorának választottuk, hogy ezalatt az emberek folyamatosan jöjjenek (éppen 1 percen át mértünk). Csoportunk egyik része a nőket, másik része a férfiakat számolta, így lett a „létszám" $N = 70$ fő. Becsléssel megállapítottuk az átlagos népsűrűséget is ($\varrho = 0,4\ \mathrm{f/m^2}$). Ezekből az adatokból ugyanis meghatározható az emberek áltagos sebessége. Hogyan? Éppen ez a kérdés az FGY 2794. számú kitűzött feladatunknál. A mérés többszöri megismétlésével kapott átlagérték egyébként nagyjából megfelelt a péntek délutáni csúcsforgalmat is figyelembe vevő becsléseinknek. Népszámlálásunkat nagy érdeklődés kísérte, többen a bérletüket is felmutatták nekünk.

4. Túra a mozgólépcsőn

Igen érdekes feladat a következő: ha a mozgólépcsőn megyünk valamekorra sebességgel a mozgólépcsőhöz képest, akkor, végighaladva rajta, n_1 db lépcsőt számolunk; ha kétszer akkor sebességgel haladunk a lépcsőhöz viszonyítva, n_2 db lépcsőt számolunk. Kérdés: hány lépcsőt számolnánk az álló lépcsőn? Némi számolás után azt kapjuk, hogy ez a szám $l = (2/n_2 - 1/n_2)^{-1}$. Ezt az eredményt ellenőriztük az Arany János utcai megállónál. A sebesség kétszerezését a következőképpen valósítottuk meg: egy fülhallgatós kismagnót („walkman-t") vittünk magunkkal, melyből ritmusos zene szólt: az első esetben minden ütemre egy lépcsővel lépett feljebb a mérést végző személy, a második esetben kettesével vette a lépcsőket. A mérést többen is elvégezték, átlagolással az $n_1 = 40$, $n_2 = 60$ számokat kaptuk. A képlet alapján $l = 120$. Az álló lécsőn is végigmentünk, ekkor 125 lépcsőt számoltunk, ami — figyelembe véve a mozgólépcső elején és végén adódó bizonytalanságot — összhangban van a számolt értékkel.

5. „Fogyókúra" a liftben

Bizonyára mindenki tapasztalta már, hogy amikor a lift felfelé indul vagy lefelé fékez, nagyobb erővel nyomódunk a padlóhoz, a lefelé induló vagy felfelé fékező liftben viszont kisebb erővel nyomjuk a padlót, mint a nyugvó vagy egyenletesen mozgó liftben. Ha a súlynak a mindenkori nyomóerőt tekintjük, akkor láthatjuk, hogy mennyire „szeszélyes" a súly: nemcsak a földrajzi helytől, a felszíntől számított magasságtól függ, hanem a Földhöz viszonyított gyorsulástól is. A dinamika alaptörvényét a gyorsuló liftben álló m tömegű emberre felírva, a padló által kifejtett nyomóerőre $F_{ny} = m \cdot (g \pm a)$ értéket kapunk, ahol g a nehézségi gyorsulás, a a lift gyorsulásának nagysága: a „+" a felfelé induló vagy lefelé fékező, a „−" a felfelé fékező vagy lefelé induló liftre vonatkozik. Így aki fogyókúrázni akar, annak nem kell mást tennie, csak be kell szállnia egy liftbe, és a súlyát mérő mérlegre akkor ráállnia, amikor a lift lefelé indul vagy felfelé fékez; a mérleg a nyugalmi súlyánál kevesebbet fog mutatni. (Remélem, a javaslatot senki sem vette komyolan: a súly ugyan változik, de a tömeg nem.)

Ezen a fogyó- és hízókúrán estünk át az Astoriánál álló irodaház csodaszép liftjeiben, előzetes engedéllyel. Miközben a kilátásban is gyönyörködhettünk, a nálunk lévő mérlegre állva megmértük a súlyunkat a gyorsuló és lassuló liftben. Ebből — az előbbi képlet alapján — kiszámítható a lift gyorsulásának nagysága: $a = \dfrac{|F_{ny} - mg|}{m}$. A mérleg valójában a nyomóerőt méri, de mi az ennek megfelelő tömeget olvassuk le. A két érték közötti kapcsolat: $F_{ny} = m'h$, ahol m' a leolvasott tömeg. Ebből: $a = \left|\dfrac{m'}{m} - 1\right| \cdot g$. Mivel a kúrán csoportunk minden tagja részt vett, igen sok mérési adat gyűlt össze. Ezek átlagolásával a gyorsulások abszolút értékére a következőket kaptuk:

felfelé induláskor: $a = 0,93$ m/s^s, felfelé érkezéskor: $a = 0,98$ m/s^s,

lefelé induláskor: $a = 0,95$ m/s^s, lefelé érkezéskor: $a = 1,09$ m/s^s.

Összesítve: a lift kb. 1 m/s^2 nagyságú gyorsulással mozog gyorsuláskor és lassuláskor. (Bár meggondolandó, hogy szabad-e az egyes gyorsulásokat átlagolni: nem okvetlenül kell megegyeznie a gyorsulások és lassulások nagyságának. Mindenesetre a fenti értékek közötti eltérés a mérési hibán belül van.) Megmértük a gyorsuláshoz szükséges időt is: 2 s-ot kaptunk.

Háromórásra sikeredett fizikaóránkat egyébként egy cukrászda megtekintésével és kínálatának tesztelésével fejeztük be – a fogyókúra után mindezt lelkiismeretfurdalás nélkül tehettük meg.

Unyi Tamás