A mérési feladatok megoldása eltér az elméleti példákétól, és a kísérletezésben járatlanok általában az iskolában sem látnak olyan „mintákat”, melyek „utánzásával” neki mernének kezdeni a KöMaL mérési feladatainak. Az alábbiakban elsősorban a kezdő kísérletezőknek adunk néhány tanácsot a mérés megtervezéséhez, végrehajtásához és a mérési adatok kiértékeléséhez. Mindezeket nem általánosságban, hanem egy konkrét példán keresztül mutatjuk be. Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy az elméleti feladatokhoz hasonlóan a kísérleti munkánál sincsen univerzális recept, minden esetben alkalmazható módszer, hanem minden egyes feladatnál egyéni ötletekre, „trükkökre” is szükség lehet. Vannak azonban olyan általánosan használható lépések, az esetek többségében alkalmazható eljárások, melyekről minden kísérletezőnek „illik tudni”. [1]Ha ez az írás, amely helyhiány miatt kiszorult a múlt havi számunkból, valakinek bátorságot ad és kedvet csinál a kísérletezéshez, kivételesen az októberi megoldással együtt beküldheti a szeptemberi mérési feladat megoldását is, és így teljes eséllyel indulhat a pontversenyen. | A Szerk.

Tegyük fel, hogy a feladatunk a következő: készítsünk egy nagyméretű, nehéz karikából fizikai ingát, és mérjük meg a saját síkjában kis lengéseket végző inga lengésidejét a felfüggesztési pont és a középpont távolságának függvényében.

1. Első teendőnk a feladat *megértése.* Mivel a mérési versenyben különböző koruak, még általános iskolások is részt vehetnek, nyilván lesznek olyanok, akik nem tanulták még a „fizikai ingáról”. Ők nézzenek utána a függvénytáblázatban, tankönyvekben, lexikonokban az ismeretlen dolgoknak. Ebben az esetben még a fizikatanárt is szabad megkérdezni, az önálló munkára vonatkozó benevezési „fogadalommal” ez még összefér. A mérési feladatoknál általában nincs szükség a vizsgálandó jelenség részletes elméleti áttekintésére, csupán a benne szereplő fogalmak jelentésével kell tisztában legyünk.

2. Következő lépés a mérés *megtervezése.* Ehhez célszerű egy jól áttekinthető *ábrát* készíteni, amelyről kiderül, hogy milyen berendezést állítottunk össze, mivel mit jelölünk, mit rögzítünk és mit mozgatunk. Az *1. ábrán* például vázlatosan (nem feltétlenül mérnöki pontossággal, de áttekinthetően) lerajzoltuk, hogy miként valósítottuk meg a karika felfüggesztését, lengetését.

3. Néhány mondatban leírjuk a *mérés menetét* és a mérésben nem változó adatokat (az úgynevezett *paramétereket*). Pl.: a karika tömege $(3{,}35 \pm 0{,}02)$ kg (a mérési hiba a mérleg 2 dkg-os leolvasási pontosságára utal), külső átmérője $2R = (0{,}40 \pm 0{,}005)$ m (a hiba itt a mérőszalag pontossága mellett a karikának a körtől való eltérését is jelezheti), vastagsága pedig $d = (10 \pm 1)$ mm. A karikához, annak egyik átmérője mentén egy kb. $0{,}6\ \mathrm{cm} \times 0{,}4$ cm keresztmetszetű, 1 m hosszú falécet erősítettünk, melyet különböző helyeken (a középponttól x távolságban) acél varrótűvel szúrunk át. Ez a tű lesz a lengés tengelye. A léc és a tű tömege összesen néhány dkg, sokkal kisebb, mint a karikáé.

4. A mérés során *megmérjük* stopperral, vagy karórával a kicsiny szöggel (néhány foknyira) kitérített inga lengésidejét. (Szükség esetén mérőműszerek ügyében forduljunk bizalommal a fizikatanárhoz és az iskolai fizika szertárhoz. A feladatokat kitűzői általában végiggondolják a diákok otthoni eszközbeszerzési lehetőségeit, de néha szükség lehet egy-egy komolyabb műszerre is.) A mérés pontosabbá tehető, ha jó sok (mondjuk 20, vagy 50) lengés idejét mérjük, s ebből számoljuk ki a periódusidőt. Minden mérést többször (időnktől függő számban, de legalább 3-szor) megismételünk, és a mérési adatokat rögtön a mérőeszköz leolvasása után áttekinthető táblázatban rögzítjük *(1. táblázat).* Lényeges, hogy közvetlenül a mért adatokat (jelen esetben az 50 lengés idejét) írjuk le, ne pedig az ezekből számolt értékeket, mert ezzel később jóvátehetetlen hibákat kerülhetünk el. Tipikus hiba az, ha a kísérletező egyetlen adatot, vagy adatsort küld csak be, majd részletezés nélkül odaírja, hogy „mindegyik adat több mérés átlaga”. (A hivatalos megoldás ismertetésekor helykímélés miatt általában nem soroljuk fel az összes mért adatot, de a versenyzők dolgozatában szeretnénk látni azokat.)

A mért mennyiségeknek (távolság, idő) általában *mértékegysége* is van. A fizikai mennyiség betűjele mellett ezt a dimenziót is feltétlenül fel kell tüntetni, legalább egyszer, mondjuk a táblázat sarkában. (Ellenkező esetben mondjuk egy 102,3-as számról később már nem tudnánk megmondani, hogy *mi* 102,3, illetve $50T = 38{,}2$ *micsoda?*

Látható, hogy a mérés (különösen a sok és pontos mérés) idő- és munkaigényes tevékenység. A mérés tényleges elvégzése előtt végig kell gondolnunk, hogy milyen pontosságra törekszünk, mennyi időt szánunk a kísérletezésre és az adatok feldolgozására, s ezzel összhangban állapítjuk meg a mérési pontok és a méréssorozatok számát.

5. Most már rátérhetünk az adatok feldolgozására. Az egyes sorozatok (tehát a változatlannak vélt külső körülményekhez tartozó, elvben azonosnak várt) mérési adatainak képezzük a számtani közepét, s ezt tekintjük *mért* értéknek és pl. fölülvonással jelölhetjük. Az $x = 0{,}2$ m-nek megfelelő lengésidőknél például

$$\overline{50\,T} = \frac{102{,}3 + 101{,}7 + 103{,}8}{3}\ \mathrm{s} = 102{,}6\ \mathrm{s}.$$

Az átlagértéktől az egyes mérési adatok általában eltérnek. Ez az eltérés felvilágosítást ad nekünk a mérés pontosságáról. Az fentebb számolt esetben az eltérések: $-0{,}3$ s; $-0{,}9$ s; $+1{,}2$ s. Mivel az eltérések összege nulla, megállapodás szerint az eltérések *négyzetének összegét* átlagolják, s abból vont négyzetgyököt tekintik ún. statisztikus hibának. Ez a szám most 0,9 s. (Bizonyos, itt most nem részletezhető megfontolások szerint helyesebben járunk el, ha n szám hibájának számításánál az átlagtól való eltérések négyzetösszegét nem n-nel, hanem csak $(n-1)$-gyel osztjuk. Ha most is így teszünk, akkor 0,9 s helyett 1,1 s értéket kapunk. Mivel az egész eljárás csak a hiba *nagyságrendjét* adja meg, a kétféle eljárás között nincs lényeges különbség.)

Az $50\,T$ mennyiség ($x = 0{,}2$ m-hez tartozó) átlagos értéke 102,6 s, a hibája pedig kb. 1 másodperc, a mért érték tehát

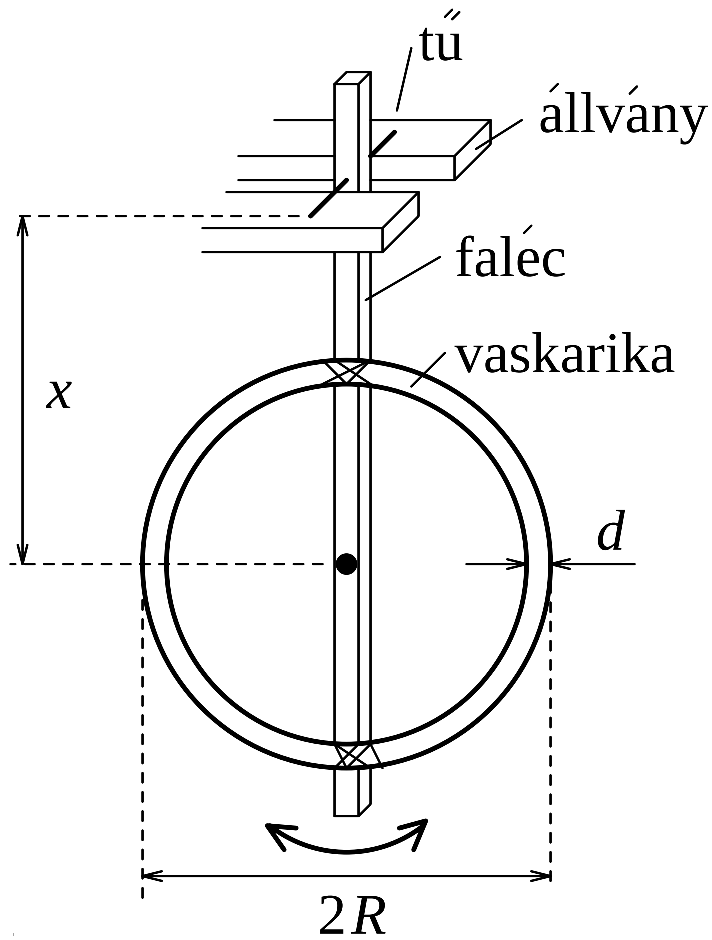
$$50\,T = 102{,}6\ \mathrm{s} \pm 1,0\ \mathrm{s}; \qquad \text{azaz} \qquad T = (2,05 \pm 0,02)\ \mathrm{s}.$$

Megjegyezzük, hogy a statisztikus hiba mellett figyelembe kell vennünk a mérőeszközeink leolvasási pontosságát is. Ha például stopper helyett olyan konyhai faliórával mérjük 50 lengés idejét, amely csak az egész perceket méri, akkor valamennyi mérési adatunk 2 perc lesz. Annak ellenére, hogy most nincs statisztikus ingadozás, a mérés hibája nyilván nem nulla, hanem az óra leolvasási pontosságából adódóan ± 30 másodperc. Általában a statisztikus- illetve a leolvasási hibák közül a nagyobbikat tekinthetjük a mérés hibájának.

6. Az átlagok és a mérési hibák számított értékeit érdemes ismét táblázatba foglalni (*2. táblázat*), esetleg a nyers mérési adatok táblázatát is folytathatjuk újabb sorokkal. A mérési adatokat, azok hibájának feltüntetésével célszerű *grafikonon* ábrázolni (*2. ábra*). A mérési adatoknak megfelelő helyre kicsiny karikát (vagy egyéb jelet) teszünk, melyet akkora vonalkával egészítünk ki, amekkorára a mérés hibáját becsüljük. Ha egy mérési pont mindkét koordinátáját (jelen esetben T mellett x-et is) csak pontatlanul ismerjük, a grafikonon mindkét irányban vonalkákkal bejelölhetjük azok bizonytalanságát, vagy esetleg megfelelő méretű kicsiny téglalapokat rajzolhatunk.

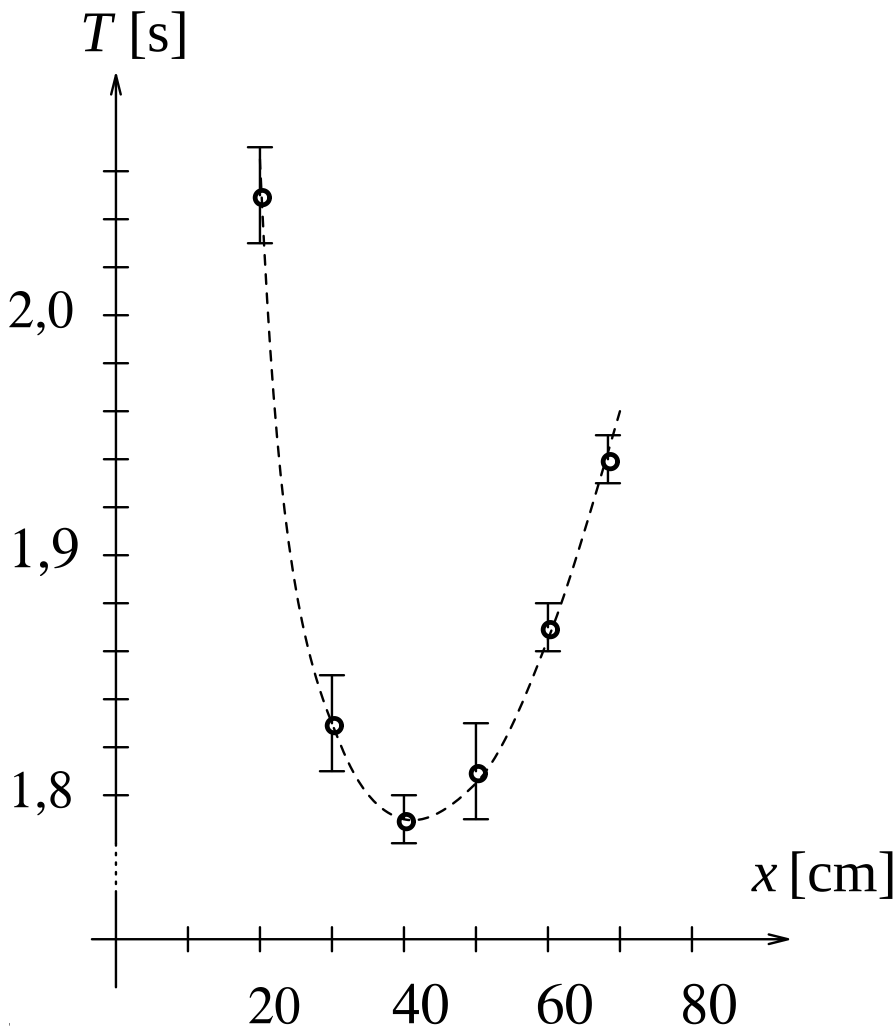
7. A grafikonra, ha az viszonylag szabályos viselkedést mutat, megpróbálhatunk valamilyen sima *függvényt illeszteni.* Ha van valamilyen elképzelésünk arról, hogy a grafikon függvényének menete milyen, csak éppen a függvény néhány adatát (például egy egy egyenes meredekségét, vagy egy hatványfüggvény kitevőjét) nem ismerjük, akkor megfelelő módszerekkel adott típusú függvényt illeszthetünk a mérési adatokra. Ennek technikájáról, a becsülni kívánt ismeretlen paraméter hibájának kiszámításáról, illetve általánosabban a hibaterjedés sajátságairól a cikk II. részében írunk.

G. P.



x [cm] / $50T$ [s]	20	30	40	50	60	70
1. sorozat	102,3	90,5	88,7	90,3	93,5	95,3
2. sorozat	101,7	92,3	89,5	89,9	93,1	95,8
3.sorozat	103,8	92,0	89,8	92,0	94,3	96,2

x [cm]	20	30	40	50	60	70
$T_{\text{átlag}}$ [s]	2,05	1,83	1,79	1,81	1,87	1,94
$\Delta T_{\text{négyzetes}}$ [s]	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01



T [s]
2,0
1,9
1,8
x [cm]
20
40
60
80