

A mérési pontverseny lelkivilága*

Bevezető

Manapság egy középiskolás nem találkozik túl gyakran a fizikai mérés fogalmával. Általában csak az elméletet tanuljuk, ritkán végzünk el egy-egy kísérletet, hogy lássuk tényleg az történik-e, amit várunk. Azonban feltehetjük a kérdést: hogyan tudunk egy-egy elméletet „tudományos módszerekkel” ellenőrizni, vagy éppen ha egy-egy kísérletet nem tudunk elmélettel magyarázni, hogyan tudjuk a tapasztaltakat „korrekten” vizsgálni és elemezni. Azt az eljárást nevezzük mérésnek, amikor egy kísérletet végzünk, és annak bizonyos paramétereit rögzítve vizsgáljuk meg, illetve analizáljuk a módszert.

A mérés szoros kapcsolatban áll az elmélettel, együtt adják a fizika gondolkodásmódjának alapját. Egy mérés segítségével modellt alkothatunk a mért rendszerről, amiből fizikai elmélet lehet. Az elméletet további mérésekkel tudjuk megerősíteni: az elmélet elfogadott lesz, ha a kísérlet pontos ismeretében bárki számára megismételhetően ellenőrizhetővé válik. A mérés és az elmélet egymásra támaszkodik, mibenlétükkel azonban ez a cikk tovább nem foglalkozik, ez ugyanis inkább tudományfilozófiai kérdés.

A mérési pontverseny célja, hogy minél több diákot ösztönözzön arra, hogy a feladatokon keresztül elsajátítsák a fizikai mérések tudományos eszközeit és technikáit a középiskolás tudásanyag és a rendelkezésükre álló eszközök segítségével, illetve az egy éven keresztül kimagasló munkát végző megoldókat jutalomban részesítse. Ezen cikk célja ennek megfelelően az, hogy konkrét javaslatok és technikai fogások ismertetésén keresztül tanácsot adjon azoknak, akik nem tudják, hogyan fogjanak hozzá a munkához, illetve minden Olvasót arra sarkalljon, hogy próbálja ki magát a pontversenyben.

Fontos megjegyezni, hogy egy munka nem attól lesz tudományos vagy korrekt, hogy egyetemi vagy egyenesen kutatásbeli eszközöket és ismeretanyagot használ fel, hanem attól, hogy a mérést végző mennyire használja a bárki számára elsajátítható *természettudományos gondolkodásmódot* és *szemléletet*. Ennek megszerzéséhez és csiszolásához nyilvánvalóan szükséges valamennyi gyakorlás is, amire egy ilyen pontverseny – ahol a megoldó visszajelzést kap munkájának helyességéről – szinte tökéletes alkalom lehet.

A cikk a *mérés végrehajtásának* alapgondolataival és a *mérési jegyzőkönyv* írásának technikájával foglalkozik. Először az azon pontokkal foglalkozunk, melyek a feladat helyes megoldásához elengedhetetlenek; legtöbbször ezek betartására és helyes kivitelezésére járnak a megszerzendő pontok. Ezek után a megkezdett gondolatmenet folytatásaként a mérés kiértékeléséről és hibaszámításról lesz szó, majd olyan tanácsok következnek, amelyek a minél magasabb szintű feladatmegoldást ösztönzik, és csak indokolt esetben érnek egy-egy pontot a megoldónak, azonban rendkívül hasznos lehet gondolkodásmódja, szemlélete és technikai készségei fejlesztésében.

Amit mindenképp tegyünk meg

Mindenekelőtt számítsunk arra, hogy a kísérlet elvégzése és a jegyzőkönyv megírása általában nem egy belátható idejű munka, ezért hagyjunk magunknak elég időt. Van úgy, hogy minden néhány órán belül megvan, azonban számolni kell a „váratlannal”, illetve olyan technikai nehézségekkel, amelyeket még a tervezőasztalnál sem látunk előre. Így a legeslegfontosabb tanács, hogy mindig hagyjunk magunknak elég időt!

A tervezőasztalnál

A munka kezdeti szakasza, ahol ki kell találnunk magának a feladatnak a megoldását. Ebbe beletartozik a kísérleti eszközök összeírása, a kísérleti összeállítás kigondolása, megtervezése, illetve a mérés elméletének átgondolása. Utóbbihoz kapcsolódóan fontos, hogy tisztázzuk magunkban, milyen mennyiségeket fogunk mérni, és ezek milyen kapcsolatban állnak azzal, amit a mérés alapján meg akarunk határozni. Ez a mérés kiértékelésénél különösen fontos lesz, emellett elkerüljük, hogy netán még egyszer meg kelljen ismételni a kísérletet, mert nem is azt mértük le, amit kellett volna. Továbbá érdemes a tervezőasztalnál átgondolni, hogy hány sorozatnyi mérést végezzünk; erre bővebben a hibaszámítás részben térünk vissza.

Ha például az a feladatunk, hogy egy folyékony anyag törésmutatóját mérjük meg, akkor azt tehetjük közvetlenül szögméréssel, vagy hosszúságméréssel egy, a vizsgálandó folyadékkal megtöltött plánpáralel lemez segítségével. Ebben az esetben a tervezőasztalnál gondoljuk át, hogy mihez van eszközünk, egyes esetekben pontosan milyen adatokat kell rögzíteni, és hogy mit tudunk pontosabban mérni.

A kísérlet végzéséről

¹ A Szerző a BME fizika BSc szakos hallgatója, a KöMaL elmúlt tanévi mérési versenyének (holtversenyben) nyertese.

Mindenekelőtt törekedjünk az egyszerűsége, és arra, hogy minél kevesebb dolog mehessen tönkre a kísérlet végzése alatt, illetve hogy minél kevesebb mérési adatot kelljen felvinnünk egy mérési sorozaton belül. Természetesen ez senkit ne fogjon vissza a barkácsolástól és a kreatív, ötletes feladatmegoldástól! Ezeket általában a javítók is méltányolják, de a túl bonyolult és sok mérendő adatot igénylő eljárásokkal leginkább csak a saját dolgunkat nehezítjük meg, ráadásul ezzel párhuzamosan a pontosságot rontjuk. (Habár vannak a tudományos és mérnöki világban olyan esetek, amikor a megfelelő pontosságot csak nagyon komoly eszközökkel és berendezésekkel tudják biztosítani, de ennek a pontversenynek nem ez a célja.)

Fontos, hogy a mérésünket reprodukálhatóan dokumentáljuk. A tudományos megközelítésnek megfelelően arra kell gondolnunk, hogy az általunk végzett mérést bárki képes legyen megismételni az ellenőrizhetőség végett. Ebben sokat segít, ha az eszközeinkről és a kísérlet végzésének kulcspillantatairól képeket készítünk, hogy a jegyzőkönyvünket olvasóknak könnyebben át tudjuk adni a mérés megismétléséhez szükséges információkat.

Kiértékelés és hibaszámítás

A mérés elején alakítsunk ki egy egységes jelölésrendszert, és ezt következetesen használjuk valamennyi esetben. A mérés elméletének jegyzőkönyvben való rögzítése *nem kötelező* elem, de a számítások menetének nyomon követhetően szerepelnie kell benne. (Ez alapján egyébként sokszor ellenőrizni is tudjuk magunkat.) Érdemes a mért és a belőlük közvetlenül számított adatokat elkülöníteni a végeredménytől, illetve a nem hozzájuk tartozó esetleges segéd- és részszámításoktól. Erre kitűnően alkalmas a táblázatok használata.

A mérés megkerülhetetlen része a hibabecslés vagy hibaszámítás. A hibáknak alapvetően három fajtáját különböztetjük meg: lehetnek *szisztematikusak*, *véletlenek* vagy *statisztikusak*.

A szisztematikus hiba meghatározott módon ható okok eredménye, abszolút nagysága és előjele – azonos körülmények közt – nem változik. Ebbe a kategóriába tartozik a mérőműszerünk pontosságából fakadó pontatlanság, de akár a hőmérsékletre érzékeny méréseknél a szoba hőmérsékletének bizonytalansága. Például ha egy mérőszalag milliméteres beosztású, akkor mondhatjuk azt, hogy a hosszmerésünk abszolút hibája legfeljebb 1 mm, ezért ezzel számolhatunk tovább. (Ezzel a hibát ugyan felülbecsüljük, de ez középiskolás szinten tökéletesen megfelel.)

Ezen a ponton fontos megjegyezni, mit értünk *abszolút* és *relatív* hiba alatt. Egy mennyiség abszolút hibája a mért vagy számított értéktől vett lehetséges legnagyobb eltérés (abszolút érték); ennek megfelelően az abszolút hibának mértékegysége van. A relatív hiba pedig az abszolút hiba és a mért vagy számított érték hányadosa, melyet általában százalékos alakban szoktunk megadni.

Egy mérés véletlen hibája több különböző hatás együttes következménye, melyet összetettséjük miatt általában nem lehet közvetlenül meghatározni. Ezek sokszor nehezen számszerűsíthetőek, többnyire csak becsülni lehet őket. Ilyen például a kísérlet „kotyogó”, csúszkáló, súrlódó részeiből fakadó pontatlanság. A véletlen és szisztematikus hibák közötti átfedésbe tartozik a reakcióidőből származó hiba: egy ember reakcióideje a mérés során általában egy érték körül mozog, de kisebb-nagyobb mértékben ingadozik; ez sok tényező, mondhatni véletlenszerű dolog. Azonban az erre érzékeny méréseknél (pl. ingák esetén) a saját reakcióidőnk abszolút hibaként valahogy meg kell becsülnünk.

A statisztikus hibák egy jelenség nagyszámú megfigyelése esetén lépnek fel, amikor a mért érték a kísérlet többszöri elvégzése esetén egy meghatározott érték körül kisebb-nagyobb mértékben ingadozik. Ezt nevezzük *statisztikus ingadozásnak*. A legegyszerűbb ezen hiba becsülésére, ha a mennyiség abszolút hibáját a szórásával azonosítjuk.

Ökölszabály, hogy amennyiben egy mennyiség hibáját feltehetően több, különböző és *független* hibaforrás befolyásolta, akkor azt kell választani, amelyik a legnagyobb eltérést produkálhatja. Emellett felsőbb matematikai módszerekkel megindokolható módon állíthatjuk, hogy amennyiben egy számítandó mennyiség más mennyiségek valahányadik (n -edik) hatványának szorzata, akkor úgy kell a kérdéses mennyiség relatív hibáját kiszámítani, hogy a többi mennyiség relatív hibáját a hozzájuk tartozó n abszolút értékével megszorozzuk, és ezeket összeadjuk. A relatív hibák ilyen módon képzett összege több mennyiség esetén túlbecsüli a hibát. Megmutatható, hogy jobb közelítést kapunk, ha a Gauss-féle hibaterjedést használjuk, azaz ha az n -nel megszorított relatív hibák négyzetösszegeből vont négyzetgyököt tekintjük az egész kifejezés relatív hibájának. A különböző görbeillesztések hibájának kiszámítására itt nem közlünk módszert, mert azok a középiskola tananyagán túlmutatnak, de érdemes ezeket is észszerű módon megbecsülni, vagy különböző forrásokban utánuk nézni.

Ezek tisztázása után visszatérhetünk arra a kérdésre, hogy mennyi mérési adatra is van szükségünk. Értelemszerűen ez a hibaforrás milyenségétől erősen függ: ha a statisztikus hibatípus jellemző, akkor több mérési adattal kell dolgoznunk, míg szisztematikus hibaforrások esetén egy-egy mérés vagy sorozat elég lehet. Például nem mindegy, hogy egy darab ellenállással dolgozunk, vagy van tíz darab azonos ellenállás, amiből áramkört építünk: egy darab esetén mindössze egyszer kell lemérnünk multiméterrel, és annak a pontosságával dolgozhatunk, míg a másik esetben mind-egyiket le kell mérnünk, és össze kell hasonlítanunk a két különböző hibatípus nagyságát. Természetesen ha nagyon sok (pl. 100) ellenállásunk lenne, akkor véletlenszerűen választhatunk egy reprezentatív mintát, és nem kell mindet egyesével lemérnünk.

Összefoglalva a fentieket: egy teljes értékű jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell az összes mérési adatot, a használt összefüggéseket és formulákat (némi indoklással), a hibaforrások számbavételét, valamint a mért és a számított értékek becsült hibáját. Hogy ez milyen formában, milyen technikai kivitelezéssel történik, az leginkább a feladattól és a megoldótól függ.

Amit érdemes lehet megtenni

Az első általános tanács, hogy ne féljünk a jegyzőkönyvbe mindent leírni, amit fontosnak tartunk. Ha túl hosszúnak, vagy nehezen érthetőnek ítéljük a szövegünket, akkor a kész jegyzőkönyvet utólag már könnyebben át tudjuk fogalmazni, tudunk tömöríteni. Persze, ahogy több és több tapasztalatot gyűjtünk össze, egyre kevesebb utómunkára lesz szükségünk. Ehhez kapcsolódóan, ha lehet, akkor a jegyzőkönyv elkészítése után egy-két nappal, hideg fejjel olvassuk át a jegyzőkönyvet „kritikus” szemmel.

A megértést segítő, formai és esztétikai elemek

Talán a legfontosabb, hogy találjunk ki egy saját logikai rendszert, ami alapján pontokba szedjük és tagoljuk a munkánkat. Érdemes külön pontba foglalni pl. a mért adatokat, a számítást, vagy akár a kísérleti eszközök listáját és az általunk használt jelölésrendszert.

Használjunk táblázatokat, és a hosszabb részeknél írhatunk egy-két mondatos összefoglalókat. A kísérleti eszközök, illetve a mérés menetének leírásánál képekkel és ábrákkal segíthetjük a megértést, és ezekre hivatkozva tömöríthetjük jegyzőkönyvünket. Természetesen csak arra hivatkozhatunk, ami egyértelműen leolvasható és jól látható. A reprodukálható mérés leírása nem helyettesíthető egy-két homályos vagy távoli képpel.

A formai és esztétikai elemek talán túlzásnak tűnhetnek, mert nincs konkrét információtartalmuk. Azonban egy formázott, tagolt, mondhatni esztétikus dolgozatot sokkal könnyebb olvasni. Ez nemcsak a javítónak hasznos, hanem nekünk is, ha hosszabb idő után újra használni szeretnénk a jegyzőkönyvet. Egy átláthatatlan munkát másoknak nehéz megérteni, elolvasni, így könnyen fontos eredmények és összefüggések keveredhetnek el. Nem véletlen, hogy a műszaki és tudományos munkáknak szigorú formai követelményei vannak.

Az elmélet és a mért eredmények magyarázata

Amennyiben releváns, nem árt a mérés elméletét átgondolni még a tervezőasztalnál: utánanézhethetünk valamilyen szakmai irodalomban vagy hiteles internetes forráson a kísérletnek, kereshetünk és kérhetünk praktikus tippet, de az is fontos lehet, ha észszerű fizikai megfontolások alapján elvárásokat fogalmazunk meg a mérés várható eredményeiről. Például: egy oldat törésmutatója a koncentrációjától monoton függ, vagy hogy egy rugalmas szál megnyúlása az erő növelésével szintén nő. (Nem határozzuk meg, hogy pontosan milyen összefüggést akarunk kapni, hanem csak gyengébb kritériumokat adunk meg).

Ehhez szorosan kapcsolódik, hogy a mérés eredményeit diszkutáljuk, értelmezzük, illetve ha van eltérés az elmélet, az elvártak és a tapasztaltak között, próbáljunk rá magyarázatot keresni. Ha esetleg a mérés nem követi szigorúan az elméletet, az nem feltétlen jelent rossz eredményt. Ez származhat abból is, hogy az elmélet valamely kritériuma nem volt biztosítva, vagy a külső hatások a vártnál nagyobbak voltak. Ellenben ha a „józan ésszel” támasztott elvárásokat sem tartják a mért értékek, akkor érdemes elgondolkozni a kísérlet megismétlésén. Ha sehogy sem tudjuk összeegyeztetni az adatokat egymással, és nem találunk kielégítő magyarázatot, akkor a mérésünk konklúziója lehet az, hogy ezzel a módszerrel nem sikerült az elmélettel összeegyeztethető eredményt kapnunk. Ez is egy lehetséges válasz, amennyiben a munka „tudományosságával” és „korrektségével” nincsenek problémák, ez is a mérési feladat teljes értékű és helyes megoldása (sőt, itt kezdődhetnek a nagyon izgalmas dolgok).

Záró gondolatok

Zárásként talán a legfontosabb gondolat, hogy ne féljünk a méréstől, illetve ne féljünk kísérletezni, barkácsolni, mérni. A másik legfontosabb, hogy ne féljünk a munkától, amit a jegyzőkönyvírás és a háttér munka jelent: az első alkalmakkor ez nagyon-nagyon sok időt el tud venni, de ez a gyakorlattal egyre inkább gördülékenyebbé és rutinszerűvé válik. Lehet, hogy így leírva és összeszedve ez elsősorban „végeláthatatlanul sok” teendő, de általában az egyes szakaszok és részletek a rutinnal és magabiztossággal folyamatosan mélyülnek és rögzülnek – pontosan ugyanúgy, mint bármely más esetben.

Időnként felteszik a kérdést, hogy miért érdemes csinálni a mérési pontversenyt. Viszonylag sok aprólékos feladat, a kísérletet meg kell tervezni és építeni, ami sok idő, jegyzőkönyvet ugyan ki szeret írni, sőt, esetleg kisebb anyagi ráfordítással jár, és még csak azt sem tudjuk mindig biztosan, hogy jó-e, amit csináltunk. Ennek ellenére annyi bizonyos, hogy aki a mérési feladatokat rendszeresen, becsületesen végzi, az olyan rendszerezett tudást, hozzáállást, gondolkodásmódot, szemléletet, magabiztosságot, kitartást, egy tudományos munka megírásának a képességét és módszerességet szerez, melyekhez másképp nagyon nehezen juthatna hozzá.

Ahhoz, hogy a mérést magát megszeressük, és hogy élvezni tudjuk a feladatmegoldást, gyakran csak akkor jutunk el, ha már többet is elvégeztünk – jókat, rosszabbakat, szenvedősebbeket, könnyebbeket, unalmasakat, látványosakat –, ugyanis ekkor tudjuk értékelni, hogy mit is jelent, amikor egy tudományos tartalommal bíró munkát végzünk, amit aztán egy magas színvonalú írással, összefoglalóval „büszkén” meg tudunk osztani másokkal.