

A fizikai kutatómunka elképzelhetetlen a valóság megfigyelése, kísérletek végzése nélkül. Fizikai ismereteink bővülése az elméleti leírás és a kísérleti eredmények állandó egybevetésének köszönhető. Elméleti és kísérleti feladatok egyaránt szerepelnek a középiskolai fizikaversenyeken, és a Középiskolai Matematikai Lapokban is. A következőkben a kísérleti feladatok megoldásával kapcsolatban néhány általános szempontra szeretnénk felhívni a figyelmet.

A kísérletek eredményeit jegyzőkönyvben rögzítjük, amit célszerű a munka végzése közben, folyamatosan vezetni. A jegyzőkönyvben minden lényeges megállapításnak maradjon nyoma! A gyakorlati kutatómunka során a mérések értékelését, az esetleges hibalehetőségek utólagos elemzését, a mérések reprodukálását teszi lehetővé a részletes, pontos és áttekinthető jegyzőkönyv. Versenyeken a mérési jegyzőkönyv az a „dolgozat”, amely a munka elbírálásának alapjául szolgál. Így csak azok a megfigyelések, technikai fogások, mérési adatok értékelhetők, amelyeknek a jegyzőkönyvben nyoma maradt. Előfordulhat – pl. a KML pontversenyében vagy pályázatain –, hogy nem a teljes mérési jegyzőkönyvet, hanem egy tömörített beszámolót érdemes elkészíteni. Ügyeljünk rá, hogy a mérés menete, a munka mennyisége és körülményei ilyenkor is megállapíthatók legyenek a dolgozathoz.

A kísérleti feladat megoldása a mérés *megtervezésével* kezdődik. Fel kell mérnünk, hogy a rendelkezésre álló eszközökkel milyen mérési elrendezéseket tudunk megvalósítani, milyen mennyiségeket hogyan tudunk megmérni. Másképp érdemes hozzáállni a gyorsan elvégezhető, könnyen ismételhető, illetve az időigényes, nehezen vagy egyáltalán nem ismételhető mérésekhez:

a) A gyors méréseknél általában van lehetőség előkísérletek végzésére, a mérendő mennyiségek nagyságrendjének gyors becslésére. Használjuk ki ezeket a lehetőségeket! A végleges mérési elrendezés kiválasztásában sokat segít a mérendő mennyiség nagyságrendjének ismerete. Érdekes lehet a becslés és a végleges mérési adat összehasonlítása. Ha pl. egy ellenállás méréséhez bonyolult hídkapcsolat tervezünk, célszerű Ohm törvényével megbecsülni az ellenállás nagyságát és a híd elemeit ennek megfelelően megválasztani. Hasonló tájékozódó mérésekre a legtöbb elektromos, optikai, mechanikai mérésnél van lehetőség. Maradjon ezeknek nyoma a jegyzőkönyvben is!

b) Különös gonddal kell megtervezni az időigényes vagy megismételhetetlen méréseket, hiszen ha ezeknél elfelejtünk megmérni valamilyen adatot, az később sok esetben már nem pótolható. Ilyen a legtöbb hőtani mérés, de pl. az egy próbatest elszakításához szükséges erőt is csak egyszer mérhetjük meg. Ne kezdjük el addig a mérés végrehajtását, amíg nem tudjuk pontosan, milyen adatokra lesz szükségünk, melyiket mikor és hogyan fogjuk mérni!

A mérés megtervezéséhez kapcsolódik a mérés *elméletének* kidolgozása. Ez lényegében egy elméleti feladat megoldásával egyenértékű, azonban a feladatot itt nem a példa szövege, hanem az általunk választott mérési elrendezés szabja meg. A mérés elméletének helyes kidolgozása a mérési feladat megoldásának alapvetően fontos része. A mérés elméletéből derül ki, hogy milyen paraméterek meghatározására van szükség. Helyes elmélet nélkül lehetetlen az eredmények helyes kiértékelése, helyes elemzése. Ne hagyjuk, hogy a technikai részletek eltereljék a figyelmet a pontos számolásról!

A mérés elméletének kidolgozása során – akárcsak egy elméleti feladat megoldásakor – el kell döntenünk, hogy milyen kölcsönhatásokat, körülményeket veszünk figyelembe és mit hagyunk figyelmen kívül. Nagyon lényeges az elhanyagolások, közelítések pontos elemzése, hiszen ezek szisztematikus hibák forrásai lehetnek. Gyakran mérési eredményeink kényszerítenek bizonyos elhanyagolások feladására és új, pontosabb elmélet kidolgozására.

Előfordulhat, hogy a mérés elméleti háttere viszonylag egyszerű, a mérési adatok tanult képletek alapján közvetlenül kiértékelhetők. Röviden ilyenkor is idézzük föl a szükséges összefüggéseket. Gondoljuk meg, hogy a „képletben szereplő betűk” valóban azokat a mennyiségeket jelölik-e, amelyeket mérésünk során meghatároztunk.

Ha mérésünket megterveztük, elméletét végig gondoltuk, tudjuk, hogy mit, mikor és hogyan fogunk mérni, hozzáálhatunk a mérőelrendezés *összeállításához* és a mérés *végrehajtásához*. Az összeállítás során ügyeljünk arra, hogy elrendezésünk valóban megfeleljen az elmélet kidolgozásakor feltételezett helyzetnek (pl. a csigák kötele legyen valóban függőleges, a lencsék síkja legyen valóban merőleges az optikai tengelyre, ha a méréshez az szükséges, a műszerek bekötése feleljen meg a vizsgált elrendezésnek stb.). Készítsünk áttekinthető rajzot az elrendezésről, adjuk meg a tipikus méreteket, az alkalmazott mérőműszerek típusát és számát. Írjuk le, hogy milyen beállításokra volt szükség, ezeket hogyan végeztük el. Az esetleges szisztematikus hibák lehetősége csak akkor zárható ki a jegyzőkönyv alapján, ha a megfelelő beállítások végrehajtásának leírását a jegyzőkönyvben is megtalálhatjuk.

A mérés végrehajtásánál egyrészt az ügyes és pontos munkára, másrészt a munka megfelelő dokumentálására kell ügyelni. Tartalmazza a jegyzőkönyv a mérés során alkalmazott fogásokat, a mérés körülményeire, az elérhető pontosságra vonatkozó észrevételeket.

Alapvetően fontos, hogy a mérési jegyzőkönyv valamennyi mért adatot tartalmazza, lehetőleg a szöveges megjegyzésektől jól elkülönülő, táblázatos formában. A jegyzőkönyvben a primer adatoknak is szerepelniük kell. Ha több mérést végeztünk, valamennyi adatot adjuk meg, ne csak átlagokat, hiszen csak így kaphatunk képet az adatok szórásáról. Ha pl. egy téglatest térfogatát eleinek hosszúsága alapján határozzuk meg, adjuk meg az élek hosszát is, ne csak a szorzatukat. Ne felejtjük el felírni a méréshatárváltások helyét! Ha a mérés jellege lehetővé teszi, ábrázoljuk grafikusan is a mért adatokat.

A mérések többszöri megismétlése növeli a mérés megbízhatóságát, lehetőséget nyújt a statisztikus hibák becslésére, ugyanakkor időigényes. Általában 3 – 5 párhuzamos mérési adat elegendő. Nem érdemes több mérést végezni, ha a műszerek leolvasási pontossága mellett mindig ugyanazt az adatot kapjuk. Olyan mérések esetén, ahol a mérendő mennyiséget sok esetleges tényező befolyásolja, több mérési adatra is szükség lehet. Kezdeti tapasztalataink alapján menet közben is növelhetjük vagy csökkenthetjük a párhuzamos mérések számát.

A mérés *kiértékelése* a mérés elmélete során megállapított összefüggésekre támaszkodik, célja a közvetlenül mért adatokból meghatározni a keresett mennyiségeket. Törekedjünk az eredmények megfelelő grafikus ábrázolására! Sok esetben különösen célszerű lehet olyan ábrázolási módot keresni, ahol az adatoknak egy egyenesre kell esniük, és az egyenes meredeksége és tengelymetszete tartalmazza a meghatározandó mennyiségeket. Ekkor ugyanis a mérendő mennyiségek meghatározásán túl arra vonatkozóan is kapunk információt, hogy mért adataink mennyire szórnak az egyenes körül, illetve nem tapasztalható-e szisztematikus eltérés az egyenestől, amely az elmélet alkalmazhatóságának korlátait mutathatja.

Ha erre van lehetőség, érdemes taglalni az eredményeket, összevetni őket előzetes várakozásainkkal, táblázatok adataival, hasonló mérések eredményeivel. Előfordulhat, hogy a kiértékelés során derül ki, nem jól választottuk meg elméleti modellünket, nem a figyelembe vett kölcsönhatások játsszák a leglényegesebb szerepet. Ilyenkor próbálkozunk meg új, a valóságnak jobban megfelelő elmélet kidolgozásával.

A mérési feladat megoldásához feltétlenül hozzátartozik a mért mennyiségek megbízhatóságának, *hibáinak* vizsgálata. Ha ugyanazt a kísérletet többször elvégezzük, ugyanazt a mennyiséget többször megmérjük, némileg eltérő eredményeket kapunk. Az eredményeknek ezt a véletlenszerű szórását hívjuk statisztikus hibának, vizsgálatának matematikai módszereivel külön cikkben foglalkozunk. Előfordulhat, hogy ugyanazt a mérést többször megismételve egymáshoz közeli, de a tényleges értéktől eltérő eredményeket kapunk. A mérés ilyen jellegű hibáját szisztematikus hibának nevezzük, vizsgálata és kiküszöbölése a kísérleti munka egyik legnehezebb része.

A szisztematikus hibák vizsgálatával már a mérés tervezésekor foglalkoznunk kell: végig kell gondolnunk, milyen szisztematikus hibákat okozhat a mérőberendezés helytelen beállítása, a mérés gondatlan végrehajtása, és ezeket a hibákat tudatosan ki kell küszöbölni. Törekedni kell megfelelően kalibrált mérőműszerek használatára, vagy műszereinket használat előtt kalibrálni kell. A mérés elméletének kidolgozásakor sok lehetséges zavaró körülményt kényszerülünk figyelmen kívül hagyni. Érdemes megvizsgálni, hogy az elhanyagolt kölcsönhatások milyen mértékben befolyásolják eredményeinket. Ha a mérés végrehajtása vagy kiértékelése során derül ki, hogy valamelyik elhanyagolhatónak vélt kölcsönhatás lényegesen befolyásolja az eredményeket, új, pontosabb elmélet kidolgozására kényszerülünk, vagy korrigálnunk kell eredményeinket.

A kísérleti feladatok megoldása összetett munkát igényel. Az eredményes munkához modell-alkotó készség, manuális ügyesség, figyelem és jó ötletek egyaránt szükségesek. Ugyanakkor összetett mérések végzése során mutatkozik meg a fizika igazi szépsége, az elméleti és kísérleti munka egysége.