

# Hogyan (ne) tanítsunk fizikát?\*

LOVAS ISTVÁN

Az elmúlt évtizedek során számos pozitív jelenséget lehetett megfigyelni:

1. A természetre vonatkozó tudományos ismereteink folyamatosan és egyre gyorsulva bővülnek mind mélységben, mind pedig szélességben.

2. A tudományos ismeretek jelentős része gyorsan alakul át technikailag hasznosítható ismeretekké, aminek eredményeképp a technikai civilizáció rohamosan fejlődik.

3. Úgy tűnik, hogy az önkényuralmi rendszerek visszavonulóban vannak és helyüket a demokrácia és az együttműködés elvére épített társadalmi rendszerek kezdik átvenni, amelyekben a tudomány és a technika fejlődésének nincsenek mesterséges akadályai. Ugyanakkor egyre több negatív jelenség figyelhető meg, amelyek súlyos gondokat okoznak:

1. Növekszik a túlnépesedés, az elszegényedés és ezzel az emberi méltóság leértékelődése.

2. A természeti erőforrások mennyisége csökken, minősége romlik.

3. Növekszik a környezet elszennyeződése.

4. Mindezek láttán növekszik a kiábrándulás a tudományból, sőt a tudományellenesség.

5. Csökken az érdeklődés a tudománnyal és a technikával kapcsolatos pályák iránt.

6. Növekszik az érdeklődés az irracionális iránt.

Az okok és okozatok láncolata illetve sokdimenziós hálója nehezen bogozható ki. Módszeres diagnosztika helyett a negatív jelenségek okai közül egyet szeretnék megjelölni: ez pedig a fizika oktatásának a módja. Minthogy fizikát minden iskolatípusban tanítanak, éppen a legfogékonyabb korban, ez nem elhanyagolható kérdés. Meggyőződésem, hogy hibás feltevésekből kiindulva a fizikát rosszul oktatjuk, és ez jelentősen hozzájárul az értékek válságához.

*A rossz fizikatanítás következményei:*

1. Csökkenti azok arányát, akik képesek felismerni és elfogadni azt az álláspontot – hogy a világ megismerhető,

– hogy a helyes ismeretek alapján a jövő befolyásolható és a fenyegető veszedelem ellen cselekedni lehet.

2. Csökkenti azok arányát, akik a természettudományos világkép alapján alakítják ki véleményüket.

3. Csökkenti a természettudományos és a technikai pályák iránt érdeklődők számát. (Lásd az előzőek 5. pontját.)

4. Növeli azok számát, akik a tudományt teszik felelőssé az élet negatív jelenségei miatt.

A tudomány lehetőségeinek mértéken felül való hangoztatása és főleg a technika

\* Elhangzott 1991. október 12-én, az European Academy of Arts, Sciences and Humanities konferenciáján, amelyet *A nevelés az értékválság korában* címmel szerveztek Budapesten.

eredményeinek felelőtlen alkalmazása sajnos mostanra már olyan helyzetet teremtett, amelynek megjavítása minden eddigit meghaladó politikai és gazdasági erőfeszítéseket követel. Nyilvánvaló, hogy a fizikaoktatás módszertani megjavítása ezt nem helyettesítheti. De ha reménykedünk és elfogadjuk, hogy még van lehetőség a negatív tendenciák megállítására, akkor feltétlenül újra kell gondolni a fizika tanításának módszertanát. Mielőtt a fizikaoktatás megváltoztatására vonatkozó javaslatot megfogalmaznám, elemezni kell azokat a problémákat, amelyek felmerülnek a fizika oktatásával kapcsolatban.

*A fizikára is – mint a legtöbb tárgyra – jellemzőek a következő ellentmondások:*

- rohamosan szaporodnak az ismeretek és csökken a megtanulásra fordítható idő,
- rohamosan bonyolódnak az ismeretek és csökken a motiváció a megértésre és megtanulásra.

A fizika az élettelen anyag legáltalánosabb törvényeit kutatja.

Az ember szempontjából nézve az anyagi világnak két szintje létezik.

1. Az egyik érzékszerveinkkel felfogható, közvetlenül érzékelhető, látható, hallható, tapintható.

2. A másik közvetlenül nem érzékelhető, azaz láthatatlan, hallhatatlan, tapinthatatlan, mert a méret, a sebesség, a hőmérséklet vagy más fizikai jellemző nagyon eltér az emberszabású értéktől.

A fizika a világ mindkét részét vizsgálja és igen sikeresen értelmezi.

A *látható* világ jelenségeinek megismerése és megértése arról győzi meg az embert, hogy a természetben rend uralkodik. Léteznek törvények, amelyek a jelenségeket helyesen írják le. Az ok-okozati összefüggéseket meg lehet találni. Ennek a megértése és megtanítása alapvető fontosságú, mert ez adja meg azt a biztos hitet, hogy a világban el lehet igazodni, hogy lehetséges értelmes emberi lét.

A *láthatatlan* világ megismerése és megértése ugyancsak alapvető fontosságú, megismerésének azonban van egy alapvető nehézsége. Ez pedig az, hogy a jelenségek *megfigyelése közvetett* módon történik és ezért a leírás nyelve elsődlegesen a matematika. A matematika kellő mélységű ismerete azonban csak a természet- és a műszaki tudományokkal felsőfokon foglalkozóktól várható el. A lakosság több mint 90 százaléka számára ez a nyelv nem, vagy alig használható.

A fizika hagyományos gimnáziumi oktatásában mégis ezt erőltetik. Nem lenne tragédia, ha ez csak eredménytelen lenne, nagyobb tragédia, hogy ily módon elvész az a biztos meggyőződés is, hogy a világ megérthető, és helyet ad mindenféle áltudományoknak, babonának és egy teljesen torz világképhez vezet.

Igen sok európai országban is, de Magyarországon különösen szembetűnő, hogy rohamosan csökken a jelentkezők száma a műszaki egyetemekre és a természettudományi karokra. Aggasztóan csökken a jól képzett fizikatanárok száma és egyre kevesebben készülnek fizikatanárnak. Meggyőződésem szerint ennek egyik oka, hogy az iskolai osztályközösségek túlzottan inhomogének a matematikai képességek tekintetében. Ha az osztály többsége számára a fizika matematikai nyelve érthetetlen és felfoghatatlan, akkor nemcsak, hogy sikertelenségre kárhozzatjuk őket, hanem kiváltunk egy immunreakciót is. Ez oly módon jut kifejezésre, hogy az egyéb képességek tekintetében kiváló diákok arra a meggyőződésre jutnak, hogy nem bennük van a hiba, hanem a tanárban, a tankönyvben, a tantervben, a fizikában, sőt az egész természettudományos világképben.

Ezt a meggyőződést megerősítik az osztályközösségekben és ezzel áthangolják azok nézeteit is, akik képességeik szerint alkalmasak lennének valamilyen, a fizikával vagy a technikával kapcsolatos pályára.

Véleményem szerint a helyes oktatási és pedagógiai rendszernek a XX. század végén két alapelve kell épülnie:

– A matematikai absztrakciós készség alapján legalább két kategóriába kell osztani a diákokat.

– A fizika tantervet ugyancsak legalább két részre kell osztani:

1. A *látható* világ fizikája, nevezzük ezt röviden klasszikus fizikának.

2. A *láthatatlan* világ fizikája, nevezzük ezt röviden modern fizikának.

Az ok-okozati összefüggést megértető klasszikus fizika alaptörvényeit egyszerűen, de kellő mélységben meg kell tanítani. Keveset, de alaposan. A modern fizikai ismereteket csak leíró módon szabad tanítani. Ne hitessük el, hogy értjük azt, ami nem érthető. A fizika ugyanis csak addig "érthető", amíg felfogható, szemléletes modellekkel dolgozik. Matematikai formában csak azokat a törvényeket szabad megfogalmazni, amelyek a közvetlenül érzékelhető világra vonatkoznak, és amelyek igazságtartalmáról közvetlenül meggyőződhetünk. A közvetlenül nem észlelhető világra vonatkozóan csak modelleket szabad bemutatni.

A középiskolában nem szabad senkit arra kényszeríteni, hogy a mindennapi tapasztalattól eltérő jelenségeket matematikai formulákkal próbáljon megérteni.

Évtizedek óta szokás arról panaszkodni, hogy a huszadik század két nagy elméletét, a relativitáselméletet és a kvantummechanikát soha, sehol, senkinek sem sikerült a középiskolai szinten megérteni. És azt gondolják, hogy ez egy feltétlenül megoldandó feladat. Nem akarom azt állítani, hogy megoldhatatlan, de azt biztosan merem mondani, hogy a középiskola szintjén csak képszerű modellekkel szabad operálni, annak ellenére, hogy épp ezek vannak a legtávolabb a szemléletességtől.

A Pauli-elv jó példa arra, hogy egy fogalmat hányféleképpen lehet megfogalmazni, és hogyan lehet a középiskola szintjéhez közelíteni.

1. A kvantumtérelmélet nyelvén a Pauli-elv azáltal fejeződik ki, hogy a fermiontereket antikommutáló operátorokkal reprezentáljuk.

2. A kvantummechanika nyelvén ugyanezt oly módon fejezzük ki, hogy az azonos fermionok hullámfüggvénye antiszimmetrikus bármely két fermion koordinátáinak felcserélésével szemben.

3. A kvantumstatistika nyelvén azt mondjuk, hogy egy  $h^3$  nagyságú fázistérfogatban legfeljebb  $(2S+1)$  fermion található ( $h$  a Planck-állandó,  $S$  a fermion spinje).

4. A "kvantumfizika" nyelvén azt mondjuk, hogy minden egyes kvantumállapotban legfeljebb egy fermion helyezkedhet el.

Azok számára, akik nem ismerik a kvantumtérelmélet, a kvantummechanika, a kvantumstatistika nyelvét, a negyedik megfogalmazást szokás használni. Minthogy azonban a kvantumállapot jelentését nem lehet világosan megtanítani középiskolai szinten, ezért az ezzel való foglalkozás csak valamilyen misztikus ködöt eredményez.

Ha lemondunk arról, hogy a tudományosság látszatát keltve, tudálékosan fogalmazzunk, akkor a Pauli-elvről a következőt mondhatjuk. Az anyag építőkövei a fermionoknak nevezett részecskék. Egy adott helyre vagy be van építve egy kő, vagy nincs. A Pauli-elv azt mondja, hogy ugyanarra a helyre legfeljebb egy követ lehet beépíteni.

A középiskolában a Pauli-elv ilyen érzékeltetése elég kell legyen ahhoz, hogy az atomok és az atommagok felépítését jól megmagyarázhassuk.

A fizika oktatásában különös figyelmet kell szentelni az előrejelzés problémájának. A fizika egyik alapfeladata a következőképp fogalmazható meg: Ismerem az adott rendszer valamely  $f$  jellemzőjének értékét a  $t$  időpillanatban. Ez legyen  $f(t)$ . Szeretném tudni, hogy mennyi lesz ennek a mennyiségnek az értéke később, mondjuk a  $t+dt$  időpillanatban, azaz szeretném tudni az  $f(t+dt)$  függvényértéket. Ennek a feladatnak a megoldása adja kezünkbe a jövőbelátás képességét.

Az  $f(t+dt)$  az  $f(t)$  értéktől általában különbözni fog. Ha a  $dt$  időintervallum elég kicsi, akkor  $f(t+dt)$  és  $f(t)$  csak infinitezimális mértékben fog különbözni és a különbség  $dt$ -vel lesz arányos

$$f(t+dt) - f(t) = f'(t)dt.$$

Innen látható, hogy  $f(t)$ -ből kiindulva  $f(t+dt)$  kiszámítható, ha ismerem az arányossági tényezőt, az  $f'(t)$  mennyiséget:

$$f(t+dt) = f(t) + f'(t)dt.$$



Ha ismerem az  $f(t)$  függvényt minden  $t$  időpillanatban, akkor ismerem a rendszer fejlődési törvényét, hiszen a  $t$  időpillanattól kiindulva lépésről lépésre haladva a jövő kiszámítható.

Illusztrációként nézzük a fizika egyik fejezetét, a tömegpont mechanikáját. Az egydimenziós mozgást végző tömegpontnak a mozgásállapotát az  $x$  helykoordináta és a  $v$  sebesség határozza meg. A rendszer jövőjét meg tudom jóslani, ha meg tudom mondani, hogy hogyan változik  $x$  és  $v$  az idő függvényében, azaz ha meg tudom határozni az  $x(t)$  és a  $v(t)$  függvényeket. Ehhez pedig az kell, hogy ismerjem a

$$x(t+dt)=x(t)+x'(t)dt \text{ és a}$$

$$v(t+dt)=v(t)+v'(t)dt$$

egyenletek jobb oldalán álló  $x'(t)$  és  $v'(t)$  mennyiségeket.

A sebesség definíciójából következik, hogy  $x'(t)$  azonos a sebességgel:  $x'(t)=v(t)$ .

Newton ismerte fel azt az alapvető természettörvényt, hogy a sebesség megváltozásának üteme annál nagyobb, mennél nagyobb a tömegpontra ható  $P(t)$  erő, és annál kisebb, mennél nagyobb az  $m$  tömeg. Így az előző két egyenlet a

$$x(t+dt)=x(t)+v(t)dt \text{ és a}$$

$$v(t+dt)=v(t)+1/mP(t)dt$$

alakba írható. Ezekből a helykoordináta és a sebesség időfüggése lépésről lépésre haladva meghatározható.

Amikor a tanulóiban kialakult az a biztos tudat, hogy az itt illusztrált módon a jövő kiszámítható, akkor kell felhívni a figyelmet arra, hogy egyrészt a klasszikus fizikában megismert törvények érvényességi köre véges (kvantumelmélet, relativitáselmélet), másrészt az elvégezhető számítások pontossága is véges. Ezért a jövő előrejelzésének vannak korlátai, más szóval a világ nem egyértelműen determinált, következésképp az ember nincs megfosztva teljesen a szabad akarat gyakorlásától. Ezek a kérdések azonban már átvezetnek a filozófia területére.

A közelmúltban divatos volt panaszkodni arról, hogy a humán műveltség és a reál műveltség között nagy a szakadék. És minthogy ez egyre növekszik, tenni kell valamit már az iskolában.

Természetesen helyes, hogy az iskola arra törekszik, hogy harmonikus, kiegyensúlyozott műveltséget adjon mindenkinek. De azt tudomásul kell venni, hogy mindenkinek mások az adottságai és képességei, és ezért mindenki eltér valamilyen irányban az ideálisnak tekintett embertípustól. Még a reneszánsz idején is csak olyan szellemóriás, mint Leonardo da Vinci tudta megvalósítani az "uomo universale"-t.

Azt természetesnek vesszük, hogy vannak emberek, akik képesek kottából énekelni, egy arcél jellegzetességét néhány vonással megrajzolni, vagy felemáskorlaton lélegzetelállító tornagyakorlatot bemutatni. És természetesnek vesszük, hogy az ilyenek számára, akik egy-egy dologhoz különleges tehetséggel rendelkeznek, külön iskolákat szervezzünk, ahol optimális körülmények között bontakoztathatják ki tehetségüket. Ugyancsak természetesnek vesszük, hogy embertársaink között vannak olyanok, akik valamilyen sorscapás miatt hátrányos helyzetbe kerültek, például mert süketen születettek, és sem kottából, sem anélkül nem tudnak énekelni, vagy mert elvesztették látásukat, és ezért egyáltalán nem képesek rajzolni, vagy mert egy baleset miatt nemhogy tornázni, de mozogni is alig tudnak. Természetesen vesszük, hogy a hátrányos helyzetben lévők oktatásáról a társadalomnak megfelelő iskolatípusok működtetése révén gondoskodnia kell. És még természetesebbnek vesszük, hogy ezen iskolákban a követelmények nem azonosak a különleges tehetséggel rendelkezők számára kialakított iskolák követelményeivel. Azok, akiket az élet nem áldott meg valamilyen különleges tehetséggel, vagy a sors nem vert meg valamilyen különleges hátránnyal, még nem mind egyformák. A képességek és a hátrányok nagyon széles skálán oszlanak el. Egységesen kezelni őket majdnem olyan bűn, mint a mozgássérületet nehéz testi munkára kényszeríteni. Differenciálni kell. Arra kell törekedni, hogy az egy osztályban tanulók a képességek tekintetében normális (Gauss) eloszlással, mégpedig lehetőleg kis szórással legyenek jellemezhetőek. A normális eloszlást az jellemzi, hogy egyetlen

maximuma van, és az átlag alatt ugyanannyian vannak, mint felette. Ez az emberi közösség kialakítására a legalkalmasabb eloszlás, ahol a legkiválóbbak is és a leggyengébbek is még belátható távolságban vannak a derékhadtól.

Korunkat meghatározza a modern tudomány és a modern technika. Ebből következik, hogy az oktatási rendszert is a tudomány és technika által meghatározott körülményekhez kell idomítani. Ezért két iskolatípust kell definiálni. A hagyományoknak megfelelően nevezzük az egyiket reál iskolának, a másikat humán iskolának.

Lehetőséget kell adni minden tanulónak arra, hogy e két típus között szabadon választhasson, de tehetségvizsgálat alapján tanácsal segíteni kell a helyes választást.

Amit idáig elmondtam trivialisítás, ezt már régen és sok helyen felfedezték és a gyakorlatban is eredményesen alkalmazták. Ami újat mondani akarok az az, hogy nem azokat kell reál iskolába tanácsolni, akiknek gyakorlati érzékük van, mert ma nem ez a releváns. *Az egyik legfontosabb jellemző, ami a tanulóknak a két iskolatípus közötti eloszlását meg kell hogy határozza, a matematikai absztrakcióra való készség.*

A fizikának, és egyre inkább a többi természettudománynak is a matematika a nyelve. Enélkül a fizikában nem lehet olyan alapos tudást szerezni, amire egy későbbi életpálya épülhet. Azok számára viszont, akik a szükséges matematikai absztrakciós készséggel nem rendelkeznek, a fizikát nem mint egy életpályát megalapozó tantárgyat kell tanítani, hanem mint az emberi kultúra szerves részét.

Itt most nem akarom érinteni azt a kérdést, hogyan kell összeállítani a tananyagot, és hogyan kell megírni a fizika tankönyveket a reál, illetve azon iskolák számára, ahol a különlegesen tehetségeseket nevelik. Ez utóbbi szinte megoldhatatlan feladat, de a tehetséges tanulóknál elég arra vigyázni, hogy az érdeklődésük megmaradjon. A figyelmet inkább arra szeretném irányítani, hogy hogyan nem szabad oktatni a fizikát a humán iskolákban, ott, ahol a legtöbb hibát lehet elkövetni. Ugyanis, ha ebben az iskolatípusban nem megfelelő szemlélet uralkodik, akkor a tudomány és technika ellenségeinek hadseregét neveljük fel, amely nemcsak az értékválságot mélyíti el, de az egész társadalom életfeltételeit is veszélyeztetheti.

Megpróbálom tételesen felsorolni azokat a hibákat, amelyek a fizika megszeretettségét és elsajátítását a legjobban szokták akadályozni:

1. A jelenségek élményt adó bemutatásának hiánya.
2. A módszertan túlhangsúlyozása a jelenség magyarázatának rovására.
3. A cél és a hozzá vezető út megjelölésének elmulasztása.
4. Elmulasztása annak, hogy az új ismereteket beillesztjük az eddigiek mellé, egy egységes képbe.
5. A feladatmegoldási technika begyakorlását azonosítani a fizika oktatásával.
6. A feladatmegoldás fetiszizálása révén a túlzott versényszellem kialakítása, amely a csoportmunkában való részvétel képességét teszi tönkre.
7. A tanulókat passzivitásra nevelni, ami igen könnyen bekövetkezik, hiszen kezdő fokon a fizikáról nem nagyon lehet vitatkozni.
8. Sietni azért, hogy az előírt "anyagot" a félév során elvégezzük.
9. Azt a hitet kelteni, hogy van egy véges ismeretanyag, ha azt megtanultuk, akkor "végeztünk" a fizikával.
10. Úgy oktatni, mintha az volna a cél, hogy olyan kutatókat neveljünk, akik fiatalabb másolatai a tanáraiknak.
11. Mindig mindent kvantitatíve közelíteni meg, ahelyett, hogy a fogalmakat tisztáznánk.
12. Nem hagyni időt arra, hogy a megszerzett ismeret alapján sikerélménye lehessen a tanulónak.
13. Minden figyelmet a "hogyanra" és nem a "miértre" koncentrálni.