

Az induktív módszer zavarai az oktatásban

A pedagógia tudománya a filozófiai tudományok közé tartozik. A pedagógiai megfontolások alapjait minden esetben az adott kor filozófiájában kell keresnünk. Az utóbbi évtizedekben jelentős változások mentek végbe a tudományfilozófia területén. Egyre többen kezdtek el foglalkozni a tudományos ismeretszerzés metodikájával, az egyes felfedezések létrejöttének körülményeivel. Közös ezekben a megközelítésekben az ismeretszerzés elméletirányítottságának a hangsúlyozása.

A természettudományok oktatása során a gyermeki világból kiindulva a tanárnak úgy kell megszerveznie a tanulási folyamatot, hogy a tanuló a mai értelemben vett tudományos képet tegye magáévá. Ehhez a széles körben alkalmazott induktív, felfedeztető módszer újragondolására van szükségünk.

A huszadik század első évtizedeiben a tudományelméletek terén még szinte teljes mértékben a pozitivizmus uralkodik. Aszerint a tudományos ismeretszerzés csakis induktív-empirikus alapon épülhet fel. Az e filozófiát vallók számára kevésbé kérdésesek a kísérleti eredmények, mint az elméletalkotás. Ez magyarázhatja például, hogy *Einstein* sem a tudományra oly nagy hatású relativitáselméletért, hanem a tapasztalathoz közelebb álló fényelektromos-jelenség megmagyarázásáért kapta meg a Nobel-díjat. Valójában ilyen jellegű tendencia napjainkban is megfigyelhető, mutat rá *Palló Gábor*.

Popper 1934-ben fogalmazza meg markánsan fenntartásait az induktív módszerek használatával kapcsolatban, bár a gondolat felvetődött már korábban is. Induktívnak azokat a következtetéseket nevezik, amelyek segítségével egyedi állításokból – melyek lehetnek megfigyelések vagy kísérletek eredményei – egyetemes állításokra következtünk. *Popper* szerint „a legkevésbé sem magától értetődő, hogy logikailag jogosultak volnánk egyedi állításokból – legyen ezek száma bármilyen nagy – egyetemes állításokat levezetni. Egy ilyen következtetés bármikor hamisnak bizonyulhat: tudvalevő, hogy akárhány fehér hattyút is figyelünk meg, nem indokolt arra következtetnünk, hogy minden hattyú fehér.”

Bernal a következőt írja: „A logika azt mondja: az elmélet, az igazán jó elmélet úgy épül fel, hogy kísérletek sora előzi meg az elméletépítést, ám a tényleges, történeti fejlődésben éppen fordított a helyzet: előbb született az elmélet, s utána jött a kísérleti bizonyítás. Az első, amit tudtak, a válasz volt, a legutolsó pedig az, hogy vajon ez a válasz megfelel-e a természetnek; az általános nézet pedig az volt, hogy ha nem felel meg, arról a természet tehet!” *Lakatos Imre* még tovább megy, amikor kimutatja: úgy fogadtak el elméleteket, hogy a döntő kísérlethez tartozó berendezést még csak meg sem építették.

Az indukció problémáját érdekesen mutatja be *Hempel* példája. Az e tudományos módszer szerint gondolkozó kutató munkája a következőképp festene:

- megfigyelné és rögzítené az összes tényállást anélkül, hogy azok közt szelektálna;
- ez után pedig hozzáfogna analízálni, összehasonlítani, csoportosítani a megfigyelt tényeket anélkül, hogy előzetesen bármilyen hipotézist felállított volna;
- harmadik lépésként a tények előbbi elemzése alapján induktív általánosításokat végezne.
- az előbbi elfogadott általánosítások alapján további kutatási induktív és deduktív elemeket is tartalmazna.

Észre kell azonban vennünk, hogy egy tisztán induktív logikát követő kutatás sohasem jutna túl az első szakaszon. Mégpedig azért, mert ebben a szakaszban semmilyen kiindulási hipotézis nincs arról, hogy a tények mennyiben befolyásolják egymást, milyen kapcsolatban lehetnek egymással. Semmilyen kritérium nem állna rendelkezésre a 2. szakasz elvégzéséhez, a tények közti válogatáshoz, csoportosításhoz stb. De mint majd *Kuhn* példájánál látni fogjuk, még az 1. szakasz sem végezhető el.

Polányi Mihály szerint ha a tudományos elmélet pusztán a tapasztalat, a tények egyszerű összegzése lenne, akkor egy menetrendet vagy egy telefonkönyvet is tudományos elméletnek kellene tekinteni.

Einstein a speciális relativitáselmélet megalkotása előtt nem is ismerte a *Michelson-Morley* féle kísérletet, 1905-ben megjelent cikkében nem is hivatkozik rá. Önéletrajzából kiderül, hogy tízévnnyi elmélkedés után állította föl egy olyan paradoxon segítségével, mely már 16 éves korában foglalkoztatta. Ez a következő volt: ha egy fénysugarat *c* sebességgel (a fény vákuumbeli sebessége) követünk, akkor egy térben oszcilláló, nyugalomban lévő mezőként lehetne a fénysugarat észlelni.

Az ókori görögök az atomelméletet nem a tapasztalatok magyarázatára gondolták ki. Amikor évszázadokkal később ismét előkerül, akkor sem arra szolgál, hanem egyfajta elképzelésként az anyag szerkezetére vonatkozóan.

Napjainkban felmerül az a gondolat is, hogy a természeti törvények valójában konstrikció jellegűek. Gondoljuk ezt kicsit át a fizikában! Mind az elméleteket, mind pedig azokat az objektumokat, amelyekre azok illelenek, mi konstruáljuk. A gázok állapot-egyenlete ideális gázokra vonatkozik, az emelő-törvény teljesen merev és homogén rudakkal számol stb. *Newton* első alaptörvénye olyan testekre érvényes, amelyekre semmilyen erő nem hat. Így a szó szigorú értelmében nincs és nem is lehet arra vonatkozóan empirikus bizonyítékunk, hogy valóban mindig megőriznék állandó sebességű mozgásukat.

Az észlelés problematikus voltának, elmélettől vezéreltségének is tudatában kell lennünk, ha helyes képet akarunk kialakítani a tudománnyal kapcsolatban. Az észlelő emberek sokszor különböző dolgokat „látanak”, mivel az észlelési aktus sok minden mástól függ. Ha nincs előre megadva az észlelési kategória, akkor zavar támad, hiszen benyomásainkat a már meglévő tudásunk összefüggéseibe helyezjük el. Tehát az észlelet mindig valamilyen elmélettel terhelt, nem pedig objektív adottság. Ahogy a tudós, úgy az éppen kísérletező vagy a tanári kísérletre figyelő gyerek tudatában is jelen vannak a tanult konceptuális mintázatok. Analógiát keres a már meglévő elméletekkel. Ezért nagyon fontos az, hogy a különböző megfigyelések esetében legyenek megfigyelési szempontok.

Kuhn rendkívül szemléletesen mutatja be az anomáliák észlelését, illetve észre nem vételét. Pszichológusok a következő kísérletet végezték el ezzel kapcsolatban: a kísérleti alanyoknak játékkártyákat kellett fölismerniük, mégpedig úgy, hogy megszabott rövid ideig látták azokat. A kártyák többsége szabályos volt, de akadt közöttük néhány szabálytalan is, például egy piros pikk hatos, meg egy fekete kőr négyes. Egy-egy kísérleti ciklus abból állt, hogy minden egyes kísérleti alanynak minden egyes kártyát fokozatosan egyre hosszabb ideig, újra meg újra megmutattak. Minden kártyalap minden egyes megmutatása után megkérdezték a kísérleti alanytól, hogy mit látott, és a ciklus akkor ért véget, ha egymásután kétszer helyesen ismerte föl az összes kártyalapot.

Sok kísérleti alany már a kártyák legrövidebb ideig tartó megmutatása után is fölismer-

Az észlelet mindig valamilyen elmélettel terhelt, nem pedig objektív adottság. Ahogy a tudós, úgy az éppen kísérletező vagy a tanári kísérletre figyelő gyerek tudatában is jelen vannak a tanult konceptuális mintázatok. Analógiát keres a már meglévő elméletekkel.

te a legtöbb kártyát, és az időtartam csekély növelése elegendő volt mindenkinek valamennyi kártyalap felismeréséhez. A szabályos kártyáknál a meghatározások általában helyesek voltak, de a szabálytalanokat is majdnem mindig szabályosként határozták meg minden szemmel látható habozás vagy töprengés nélkül. A fekete kör négyest például vagy pikk, vagy kör négyesként határozták meg. Anélkül, hogy fölmerült volna bennük annak a lehetősége, hogy valami nincs rendjén, a kísérleti alanyok a szabálytalan kártyát rögtön besorolták a korábbi tapasztalataik alapján kialakított fogalmi keretek egyikébe. Azt mégsem szívesen mondanánk, hogy valami mást láttak, mint amit a meghatározás során kimondtak. Ha még hosszabb ideig mutatták a szabálytalan kártyákat, a kísérleti alanyok habozni kezdtek, és jelét adták, hogy tudják: valami nincs rendjén. Ha az időt tovább növelték, a habozás és a zavar fokozódott, míg végül – néha egészen hirtelen – a legtöbbben habozás nélkül helyesen határozták meg a kártyát. Két-három szabálytalan kártya sikeres meghatározása után pedig a többiek meghatározása már könnyen ment. Néhányan azonban egyáltalán nem voltak képesek helyesbíteni fogalmaikat, és ettől rendkívül idegesek lettek.

Kuhn a tudománytörténet szempontjából vizsgálva a helyzetet a következőképp jellemzi azt: „Amikor a tudománytörténész a jelenkori történetírás nézőpontjából tekinti át letűnt korok kutatási krónikáját, kísértésbe esik, hogy felkiáltson: a paradigmák megváltozásával maga a világ is megváltozik. Új paradigmákat követve, a tudósok új eszközöket alkalmaznak, és új területeket vesznek szemügyre. Még fontosabb, hogy forradalmak idején a tudósok új és más dolgokat látnak meg, mint azelőtt, noha megszokott eszközeiket használják ismert területeken. Mintha a szakmai közösség egyszer csak átkerült volna egy másik bolygóra, ahol az ismerős tárgyak más megvilágítást kapnak és ismeretlennel együtt jelennek meg.”

Hasonló fordulatot élnek át a kártyakísérlet alanyai is. Mindaddig, amíg a meghosszabbított bemutatás révén meg nem tanulták, hogy vannak a világon rendellenes kártyák is, csak olyanfajta kártyákat látnak, melyek észlelésére előző tapasztalataik felkészítették őket. Amint azonban személyes tapasztalataik nyomán elsajátították a szükséges kiegészítő fogalmakat, képesek lettek első látásra fölismerni minden rendellenes kártyát, ha legalább annyi ideig látták őket, amennyi egyáltalán bármilyen azonosítást lehetővé tesz. Más kísérletek is bizonyítják, hogy a bemutatott tárgyak méretének, színének stb. felismerése függ a kísérleti alany korábbi gyakorlatától és tapasztalatától. Tehát magának az érzékelésnek is előfeltétele valami paradigmaféle. Hogy mit lát az ember, függ attól is, amit néz, és attól is, hogy korábbi vizuális-fogalmi tapasztalatai minnek a meglátására tanították meg! És ezt a fizika tanításakor, különösen az empirikus részek feldolgozásakor, nevezetesen a megfigyelések, kísérletek, mérések esetében fokozottan figyelembe kell venni! Nincs ez másképp a műszeres észlelések esetében sem.

Az olyan tapasztalatszerzés esetében, melyeket mérőeszközök segítségével végzünk, felmerül az éppen használt műszer működését leíró elmélet is. Amikor *Galilei* be akarta mutatni a Jupiter holdjait távcsövén keresztül, akadt, aki nem is volt hajlandó belenézni a távcsöbe, hiszen ami nincs leírva Arisztotelész könyveiben, az nem is létezik. Néhányan a belenézők közül azt állították, hogy amit látnak, annak semmi köze sincs az égi jelenségekhez, az csak optikai csalódás lehet. Galilei kortársai joggal figyelmeztették, hogy megfigyelései közben egy olyan optikai elméletre támaszkodott, mely annak idején valóban nem volt világosan kifejtve.

A megfigyelés személyes jellege megmarad a modern technika korában is. *Polányi Mihály* könyvében található erre egy tanulságos példa. A lóversenyen a győztes megállapítása nem könnyű feladat. Azt gondolhatnánk, hogy a célfotók időszakában ez nem jelenthet problémát. A következő eset történt. A fényképen az látszott, hogy az egyik ló orra pár mm-rel előrébb van, mint a másiké. Ellenben ennek a lónak az orra egy nyálcsík következtében jobban előrenyúlt. Az elsőség megállapításához tehát ebben az esetben is személyes döntésre volt szükség.

Néhány tudománytörténeti példa

A mozgással kapcsolatos elképzelések változásának főbb állomásai különösen érdekesek filozófiai, ismeretelméleti szempontból. Öt kardinális kérdés fogalmazható meg, melyen túl kellett jutniuk a tudomány hőseinek, hogy megalkossák számunkra a természet-tudomány alapjait:

- a világ két szférára való felosztása, égire és földre;
- a geocentrikus felfogás;
- a mozgás leírása az egyenletes sebességű körmozgások dogmájára épül;
- a tudomány nem kapcsolódott össze a matematikával;
- dinamikai szempontból a testek természetes állapota a nyugalom.

Az öt dogma ledöntése a következő személyekhez fűződik:

- égen és földön egy fizika van – Galilei és Newton;
- napközpontú világrendszer – *Kopernikusz*;
- a bolygók ellipszis pályákon mozognak – *Kepler*;
- a matematika a természet nyelve – Galilei;
- dinamikai szempontból nem a nyugalom, hanem a mozgás a természetes állapot – Galilei.

Egy adott korban a tudósok látásmódját erősen befolyásolja az adott korszak uralkodó ideológiája, amelytől nagyon nehezen tudnak csak megszabadulni. Erre kiváló példa a ragaszkodás az egyenletes körmozgáshoz, amelyet *Platón* vezetett be, majd *Arisztotelész* emelt „dogmává”. Hosszú évekkel később *Ptolemaiosz* egyenletes körmozgásokból próbálja összerakni a bolygók pályáját, a defferensek mellett számtalan segédkört, epiciklust felhasználva. Évszázadok múlva *Kopernikusz* is addig helyezi a köröket, amíg végül a bolygók mozgását ő is le tudja írni egyenletes körmozgások eredőjeként. Aki hosszú évekig tartó szellemi erőfeszítések árán megszabadul a köröktől, az *Kepler*, a Mars pályájának vizsgálatakor. A következőkben ezt a példát elemezzük kicsit részletesebben.

A Mars bolygó pályájának alakját sokan próbálták már *Kepler* előtt is leírni. *Brahe* rendszeresen figyelte a bolygót, komoly adatállományt hozott létre, mely később *Kepler* rendelkezésére állt. *Kepler* három újítást vezetett be vizsgálatainak kezdetén:

- az egész rendszer középpontjának a Napba való áthelyezése, vagyis az abban az időben létező világmodellek közül a kopernikuszi modellt fogadta el. A mérési adatokat ebben az elméleti keretben értelmezte, illetve ebben tette fel kérdéseit;

- a bolygók pályásíkja nem billeg a térben;
- az egyenletes sebességű mozgások elvének feladása.

A megfigyelési adatokat kezdetben körre akarta illeszteni, ami nem járt sikerrel. A Mars megfigyelt pozíciói 8 ívperccel eltértek a modell által megkövetelt értéktől. Ez *Kepler* számára katasztrófa volt, mivel tudta, hogy *Brahe* adatai csupán 2 ívmásodperces hibával rendelkeznek. Zsenialitását és merészségét bizonyítja, hogy hajlandó volt a körköröség eszméjétől is megszabadulni és valamilyen más görbét keresni. Ehhez pedig elegendően sok pontot kellett a görbén meghatározni.

Kepler munkája két fő részből állt. Mivel a Föld a megfigyelőhely, először a Föld pályáját kellett meghatározni, majd annak ismeretében a Marsét. Mint már említettük, *Kepler* a kopernikuszi modellben gondolkozott. Míg a régi ptolemaioszi modellben valójában csak a szögeknek volt értelme, addig a kopernikusziban értelmet nyernek a távolságok is. A bolygók Naptól való távolsága megadható a Föld-Nap távolsággal kifejezve. Vagyis relatív távolságokról van szó. Továbbá megadható az egyes bolygók Nap körüli keringési ideje.

A Földpálya alakjának meghatározáshoz egyedülálló ötlettel állt elő, a megfigyelő pozícióját a Marsra helyezte át. Kiinduló helyzetként az szerepelt, amikor a Nap, a Föld és a Mars egy egyenesbe esik (NFM). Ismerte továbbá azt, hogy a Mars Nap körüli keringési ideje 687 nap, tehát ennyi idő elteltével a Mars ismét a kiindulásival azonos térbeli helyzetbe

kerül. A Föld viszont ebben az időpontban pályájának valamilyen F' pontjában lesz.

Ezt a pontot pedig meg lehet szerkeszteni, ha ismerjük a Nap-Föld és a Mars-Föld irányt. Újabb 687 nap múlva a Mars ismét ugyanebben a helyzetben lesz, míg a Föld pályájának egy másik, F'' pontjában, mely szögmérések segítségével ismét megszerkeszthető. És így tovább, vagyis anélkül, hogy bármi egyebet tudnánk a Mars pályájáról, mint a keringési időt, a Föld pályájának az alakja megszerkeszthető.

A távolságok itt és a későbbiekben is relatív távolságok. Minden távolság a Föld Nap-tól mért távolságához viszonyítva van kifejezve.

A Földpálya ismeretében határozta meg Kepler a Mars pályáját. Az egyes pontok megszerkesztéséhez a következő gondolatmenetet használta. Előzetes tudásként ismét felhasználta azt, hogy a Mars Nap körüli mozgásának periódusideje 687 nap. Tehát 687 naponként a Mars ugyanabban a térbeli helyzetben, pályájának adott pontján van. Válaszszunk ki két, egymástól 687 napnyi „távolságban” lévő helyzetet a Földpályán. Ha megmérjük a Mars irányát mindkét helyzetben, akkor a két irányvonal metszéspontja kijelöli a Marspálya egyik pontját.

Javasolhassanak a gyerekek is kísérleteket egy-egy saját maguk találta probléma megoldására, saját „elméleteik” alapján, annak igazolására vagy elvetésére. Dolgozzák ki a megvalósítás lehetőségeit, fogalmazzák meg előzetes elvárásaikat, tervezzék meg a kísérletet, amelyet tanári ellenőrzés és felügyelet mellett el is végeznek, amennyiben az lehetséges az iskola feltételei között. Majd hasonlítsák össze előzetes elképzeléseikkel, amely azzal vagy megegyezik, vagy nem. Ez utóbbi esetben további „kérdéseket” kell feltenni a természetnek, majd a válaszok szerint módosítani az előzetes elképzeléseket.

A fent említett szerkesztést kell sok esetben elvégezni, hogy minél több pont legyen az ismeretlen görbén. A hosszú évekig tartó mérésorozatot nem kellett Keplernek elvégeznie, hiszen rendelkezésére álltak Brahe adatai, „mindössze” a számára szükségessé kellett abból kiválogatni. Vagyis a 687 naponkénti adatpárokat kellett kikeresni, majd megszerkeszteni az egyes pontokat. Így valójában meg lehetett kapni a pálya „nyomképét”, melyből a bolygó pálya menti sebessége, illetve annak változása is látszott. Ezért Kepler valójában a róla elnevezett 2. törvényt előbb fogalmazta meg.

Az, hogy ezek a mérési eredmények milyen görbére illeszthetők, szintén nem volt könnyű feladat megtalálni. A kúpszeletekkel, így az ellipszissel már az ókori görögök is sokat foglalkoztak. Ezt a tudást felhasználva lehetett meghatározni a pálya alakját.

Jellemző volt Kepler egész gondolkodásmódjára, hogy a pálya meghatározását nem egyszerű geometriai problémaként kezelte,

ahogy addig mindenki, hanem fizikai erőkkel kapcsolatos magyarázatot keresett. A Nap központi helyre való állítása is ezt jelenti nála. Új fogalmi rendszerbe illesztette a kérdést, másképp látta, mint azt elődei tették. Továbbá Brahe példájából látható, hogy hiába végez valaki rendkívül pontos megfigyeléseket, csupán csak a mérési adatokból nem tud törvényszerűségeket kiolvasni. *Koestler* igen szellemesen a következőt írja: „Tudni kell használni az észleleteket; a nehézséget az okozza, hogy mikor vegyük figyelembe az egyiket, s mikor a másikat.”

A mérési eredmények közül a megfelelőek kiválasztásához (687 naponkénti pozícióadatok) minden esetben komoly elméleti felkészültség szükséges, sőt valójában a mérés, az észlelés megtervezéséhez is. Különböznem tudjuk, hogy valójában mit is keresünk, nem veszünk észre lényeges momentumokat.

Példánkból szépen látszik az is, hogy Kepler munkamódszere egyáltalán nem nevezhető induktívnek. Ugyanis csupán a mérési adatokból nem fedezhetett volna fel semmit.

Szüksége volt természetesen az adatokra, de azok csak egy meghatározott elméleti keretben nyertek értelmet!

Nem arról van tehát szó, hogy tapasztalásnak, a megfigyelésnek, észlelésnek, méréseknek ne lenne nagyon fontos szerepük a megismerésben. Mindössze arról van szó, hogy ahhoz, hogy valamire rátaláljunk, már valamilyen előzetes elképzeléseknek kell lennie arról a dologról. Olyan adatokat kell figyelembe venni, amelyek a vizsgált hipotézist alátámaszthatják vagy cáfolhatják, amelyek így lehetővé teszik annak ellenőrzését.

Kepler kérdését már eleve egy modell keretei között fogalmazta meg, nevezetesen a kopernikuszi modellt választotta. A Föld és a többi bolygó keringési idejének eleve csak ebben a modellben van értelme. A pályák alakjára vonatkozóan különböző hipotézisei voltak. Ilyen volt az addigi modellekben kizárólagosan szereplő kör. Megpróbálkozik tehát a kiválasztott észlelési adatok alapján kapott pontoknak körre való illesztésével. És ez a hipotézis nem válik be. Újat kell keresni. Végül rátalál az ellipszisre, de csak azért tudja ezt megtenni, mivel már ismert volt az ellipszis fogalma. Ezt a görbét nem neki kellett felfedeznie.

Következő példánk a szabadesés. A szabadesés törvényszerűségei Galilei színrelépése előtt már közel egy évszázada foglalkoztatták a tudósokat. Sok problémát okozott az, hogy vajon az egyenletes változás az idő vagy pedig a hely függvényében értendő-e. Galilei hipotézise szerint az idő függvényében. Mai jelölismódunkat használva a következőképp foglalhatjuk össze gondolatmenetét, amit aztán kísérletileg vizsgált (vizsgálni tudott).

A sebesség tehát legyen arányos az idővel, vagyis $v = at$. Ha a test nulla kezdősebességgel indul, akkor a középsebesség vagy átlagsebesség: $v_{\text{közép}} = v/2 = at/2$. A megtett út a következőképp számítható: $s = v_{\text{átl}}t = at^2/2$. Ebből az következik, hogy: $s/t^2 = a/2 = \text{állandó}$, amit másképp, mérésrel vizsgálható módon megfogalmazva a következőképp írhatunk fel: $s_1/t_1^2 = s_2/t_2^2 = \dots$

Mind az utat, mind pedig az időt mérni lehet és így vizsgálni, hogy fennáll-e a kettő között az előbb matematikailag megfogalmazott arányosság. A mérés közvetlen végrehajtásánál azonban felmerült egy nehézség: szabadesés esetében túlságosan kicsi időket kellene mérni. Galilei zseniális ötlete volt az, hogy vett egy kis hajlásszögű lejtőt, és ezzel – megtartván a jelenség időbeli lefolyásának jellegét – lelassította a szabadesés folyamatát úgy, hogy a rendelkezésére álló időmérő eszközökkel kellően pontos méréseket tudott végezni.

Galilei módszere a következőképp foglalható össze:

1. A fogalmak tisztázása (út, idő, sebesség és a gyorsulás fogalmának „megsejtése”).
2. Hipotézisalkotás a jelenség várható lefolyására vonatkozóan (az idő függvényében egyenletesen változik a sebesség).
3. Hipotéziséből matematikai úton olyan összefüggéseket vezet le, amelyek kísérletileg ellenőrizhetők ($s/t^2 = \text{állandó}$).
4. Végül kísérleti úton ellenőrzi az elméleti következtetéseket.

Ebből a példából is szépen látszik, hogy Galilei munkamódszere sem tekinthető induktívnak. Szó sincs arról, hogy „vaktában” méregetett volna utakat és hozzájuk tartozó időket, majd észrevette volna a köztük lévő négyzetes összefüggést. Épp ellenkezőleg. Már tudta, hogy mit keres, és azt a módszert, azt a kísérleti elrendezést kellett megtalálnia, amellyel azt igazolhatja.

Harmadik példánkat a biokémiából vesszük, a DNS-szerkezet felderítésének néhány érdekes aspektusának bemutatásával. 1944-ben jelent meg *Schrödinger* „Mi az élet?” című könyve. Ebben fogalmazódik meg az gondolat, miszerint az élet működésének megértéséhez a gének működési mechanizmusát kell tisztázni. Ezt követően általánosan elfogadott nézet volt, hogy a gének speciális típusú fehérjemolekulák lehetnek. *Watson* és *Crick* nem osztotta ezt a nézetet. Elképzelésüket igazolta az a megfigyelés, hogy vírusfertőzés kö-

vetkeztében a vírus-DNS bejut a gazdaszervezetbe, ellenben a vírusfehérje alig.

Közös kutatási módszerük új elemmel is bővült: felismerik a molekulamodell megépítésének fontosságát. A röntgendiffrakciós adatok 2, 3 vagy 4 szállal voltak összeegyeztethetők. Végül is kétláncú modellt kezdtek el építeni. Gondot jelentett az, hogy a cukorfoszfat váz hol helyezkedhet el, belül-e, vagy kívül. Az utóbbi esetben a bázisoknak kell belültre kerülni, de hogyan? Ugyanis a bázisok sorrendje végtelen sok lehetőséget jelent, másrészt a négy bázis teljesen eltérő formájú. Először a kémiában oly gyakran alkalmazott „hasonló a hasonlóval” elvet akarták alkalmazni. Ellenben ha e szerint helyezik egymással szembe a bázisokat, akkor nem lehet szabályos külső gerincet létrehozni, ez a forma nem egyezik a mérési adatokkal.

A Chargaff-szabály szerint a DNS-ben az adenin-mennyiség közel azonos a timin mennyiségével, míg a guaniné a citozinnal. Watson és Crick ismerték ezeket mint mérési eredményeket, mégis sokáig nem vették figyelembe. Egyszerűen nem tartották fontosnak a DNS szerkezete szempontjából. Amíg a műhelyben készültek a bázismodellek, Watson azokat kartonból kivágta és elkezdte tologatni. Eközben hirtelen rádöbbsent, hogy az adenin-timin pár, amelyet két H-kötés tart össze, azonos formájú a legalább két H-kötéssel összetartott guanin-citozin párral. Ekkor jutott eszébe a Chargaff-szabály! A két egymásba fonódó lánc bázissorrendje egymás kiegészítője. És eképp már értelmezhetővé válnak a röntgendiffrakciós mérési adatok is.

Ez a példa szintén azt mutatja, hogy csupán a mérési adatokból kiindulva nem lehetett volna meghatározni a DNS szerkezetét. A többféle hipotézis alapján kapott eredményeket kellett minden esetben összehasonlítani a mérési eredményekkel. De az egyik legfontosabb mérési eredmény mellett mindaddig „elmentek”, amíg meg született az a séma, amelybe az beleillik, amelyben értelmet nyer.

A gyerekek tapasztalatszerzésének néhány kérdése

A tudomány szempontjából a kísérlet célja általában a létező elméletek érvényességének ellenőrzése, valamint adatok gyűjtése az esetleges módosításhoz. (Kuhn szerint ilyen a „normál tudomány” működése, mely hasonlít a rejtvényfejtéshez, az adott paradigma kiteljesedését szolgálja.) Vagyis egy kísérletet valamilyen konkrét elmélet alapján gondolnak ki és készítenek el a hozzá szükséges kísérleti berendezést, fogalmazzák meg a várható eredményt. Ez lényeges az esetleges biztonsági előírások szempontjából is, robbanás várható, fülke alatt kell-e dolgozni stb. A természet módszeres kérdezése a kísérlet. A kérdés feltevése pedig már mindig feltételez egy elméletet. Ennek nem szabad kimaradni az adott tudományterület oktatásából sem! Pedig sokszor elvész.

A gyermek készen kapja a kísérleti eszközöket, és előre megmondjuk, hogy melyikkel mit kell csinálni, vagyis előírások, receptek alapján kell dolgoznia. Hol marad ebből a gyakorlatból a probléma felvetése, megfogalmazása, megértése? Sokkal jobban fejlesztenénk tanulóink értelmi képességeit, ha bevonnánk a gyerekeket az ismeretszerzés teljes folyamatába. Vagyis javasolhassanak a gyerekek is kísérleteket egy-egy saját maguk találta probléma megoldására, saját „elméleteik” alapján, annak igazolására vagy elvetésére. Dolgozzák ki a megvalósítás lehetőségeit, fogalmazzák meg előzetes elvárásaikat, tervezzék meg a kísérletet, amelyet tanári ellenőrzés és felügyelet mellett el is végeznek, amennyiben az lehetséges az iskola feltételei között. Majd hasonlítsák össze előzetes elképzeléseikkel, amely azzal vagy megegyezik, vagy nem. Ez utóbbi esetben további „kérdéseket” kell feltenni a természetnek, majd a válaszok szerint módosítani az előzetes elképzeléseket. Ezek megfogalmazásában, verbalizálásában komoly szerepe van a tanárnak.

A következő tanítási terv az előzőeket figyelembe véve készült az intenzív paraméterek kiegyenlítődéssének bemutatása, a hőmérséklet példáján keresztül:

– előzetes hipotézist kérünk a gyerekektől arra vonatkozóan, hogy mi történik szerin-

tük, ha azonos tömegű hideg és meleg vizet összeöntünk. Legyen 100 g a tömeg és a hőmérsékletek 20°C és 40°C . Indokolják is meg hipotézisüket (Vizsgálataink szerint a 10 év körüli gyerekek esetében az a leggyakoribb, hogy a tanulók 60°C -os közös hőmérsékletet várnak.);

- felszólítjuk a gyerekeket, hogy tervezzenek mérést állításuk igazolására;
- végezzék el a mérést;

– vonják le a következtetést a tapasztalat alapján, vagyis helyettesítsék elméletüket. Ebben természetesen segítenie kell a tanárnak. (Tapasztaltuk néhány esetben, hogy amikor a hőmérő nem a várt 60°C -ot mutatta, másikat kértek, mondván, az ő hőmérőjük elromlott, mivel csak 30°C -ot mutat.);

– további problémák fölvetésére is adunk lehetőséget, például más kiindulási hőmérsékletek vizsgálata, különböző tömegű vízminták használata, különböző anyagok használata stb.

A példa tanulságai: A gyerekek meglévő kognitív struktúráinak tudatosítása. Tudásuk nyelvi megformálása alapvető szerepet játszik annak kiegészítésében és alapvető megváltozásában is. Nem baj, ha csak „suta dolgokat” tudnak mondani. Nem feltétlenül kell a gyerekeknek előre megadott „receptek” szerint dolgozni. Maguk fogalmazzák meg a kérdést, mit kívánnak vizsgálni az adott kereteken belül. Előzetes elvárásaik alapján mire kíváncsiak, hogyan tudják annak alapján megtervezni a kísérletet, majd azt kivitelezni. Gondolkozásuk, kreativitásuk sokkal jobban fejlődik a példában bemutatott módszert követve, mintha a tanár előre kikészítené az egyes csoportok padjára a kísérleti eszközöket és megmondaná, hogy milyen műveleteket kell azokkal végrehajtani.

A Magyarországon kiadott tankönyvek rendkívül egységesek abban a vonatkozásban, hogy minden elméleti rendszer kiindulópontjának a tapasztalatot tekintik. A tankönyvek kísérleti leírásokkal vannak tele. A szerzők elvárják a tanároktól, hogy a kísérletek megtekintése után vonják le azokból a megfelelő következtetéseket, majd azokra alapozva építsék fel, szélsőségesebb esetben a gyerekek „fedezzék fel” az éppen feldolgozás tárgyát képező elméleti rendszert.

Ez a fajta oktatási módszer teljesen megfelel a széleskörűen elfogadott induktív-empirista hagyományoknak. Azonban épp az előbb mutattunk rá, hogy a valóságban sohasem ezen a módon keletkeznek az elméletek. Akkor a gyerekekre miért erőltetjük rá ezt a módszert? Az, hogy egy mutató kileng egy skála előtt, vagy a folyadékszint emelkedik, vagy egy kiskocsi elindul, miért lehet kiindulópontja egy elméletnek? Arról nem is beszélve, hogy különösen a fizika által bemutatott effektusok, legyünk öszinték, nem is igazán látványosak. Bár a valóban színes, látványos kémia sincs jobb helyzetben a kedveltségi toplistán.

A gyerekektől elvárjuk azt, hogy egy-egy alig sikerült kísérletet kiindulásnak tekintve fogadjanak el olyan elméleti rendszereket, melyeknek sok esetben ráadásul ellentmond a mindennapi tapasztalat. Pedig Newton első törvénye esetében például nincs is olyan jelenség, mely annak igazságát mutatná. A Nap, a csillagok és bolygók látszólagos égi mozgása pedig végképp mást mutat.

Sokan azt gondolják, sőt el is mondják, le is írják, hogy különösen az általános iskolában csak olyan elméleteket szabad tanítani, amelyek biztosan igazak, bizonyított ismereteket. Ugyanakkor a tudomány története több olyan példát is mutat, hogy elméletet annak ellenére fogadtak el széles körben, hogy ténylegesen és egyértelműen bizonyított lett volna. De problematikus magának a kísérleti bizonyításnak a kérdése is. Ugyanis az, hogy valaki mit fogad el bizonyítékként, az elméletfüggő. Sőt nem egy olyan eset van, hogy ugyanazt a kísérleti tapasztalatot többféle elméleti keretben is magyarázni lehet. Továbbá a fent említett oktatási paradigmát követve épp a tudomány egyik lényeges vonását, annak változó voltát nem mutatjuk be. Pedig a tudomány céljai, módszerei tekintetében erősen függ az adott korszemlemtől, az ideológiai környezettől, amelyben létezik, mely egy-egy elképzelés adaptívítását meghatározza.

A tudománytörténet szerepéről a természettudományok oktatásában

A NAT szerint, mely a kerettantervekkel együtt továbbra is érvényben marad, fontos helyet foglal el a hon- és népismeret. Ennek a természettudományos tantárgyak tanítása során úgy próbálunk megfelelni, hogy a megfelelő helyeken bemutatjuk azoknak a tudósoknak az életét és munkásságát, akik valamilyen formában hozzájárultak az éppen a tanítási anyagban szereplő törvényszerűség felismeréséhez. Ez természetesen nagyon fontos és jó, de azt gondolom, hogy a tudománytörténet szerepe túlnyúlik ezen.

Azt gondolom, hogy mindenképpen beszélni kell arról is, hogy a tudomány (a világról alkotott mai ismereteink rendszere) változott, és régebben másképpen gondolkodtak, mást tanítottak, mint ma, és akkor azokat az embereket hívták tudósoknak, és más rendszert hívtak tudománynak. Vagyis a tudomány módszerei és céljai is koronként változóak.

Több olyan elméleti rendszer ismeretes, mely a maga idejében egyáltalán nem számított haladónak, később mégis uralkodó paradigmává vált, akár anélkül is, hogy bármiféle tapasztalati bázis erősítette volna. Például a tudományról való gondolkodás is alapjaiban megváltozott a reneszánsz kora óta. Galilei mintegy „örök igazságként” tisztelte a kopernikuszi rendszert, melyet az inkvizítorok csak mintegy lehetséges hipotézist voltak hajlandók elfogadni. Napjainkban pedig általában így gondolkodunk egy-egy elméletéről, gondoljunk csak a nagy egyesítés elméletére vagy a fekete lyukakra.

Célszerű a tanulókkal együtt megvizsgálni azt, hogy az egyes felfedezések milyen társadalmi környezetben jöttek létre, milyen addig létező elméleteket, gondolkodási rendszereket, szemléletmódot váltottak fel, majd pedig annak következményeképp milyen változások jöttek létre az emberiség életében. Miképp segítette elő a fizika tudománnyá válása és fejlődése, a matematika felhasználása, a kvantifikálás módszere, a többi természettudomány a kémia és a biológia kialakulását és fejlődését. Hogyan szabadult meg a kémia az alkímista szemlélettől, miként alakították át életünket a vegyipar termékei.

Célszerű a tanulókkal együtt megvizsgálni azt, hogy az egyes felfedezések milyen társadalmi környezetben jöttek létre, milyen addig létező elméleteket, gondolkodási rendszereket, szemléletmódot váltottak fel, majd pedig annak következményeképp milyen változások jöttek létre az emberiség életében. Miképp segítette elő a fizika tudománnyá válása és fejlődése, a matematika felhasználása, a kvantifikálás módszere, a többi természettudomány a kémia és a biológia kialakulását és fejlődését. Hogyan szabadult meg a kémia az alkímista szemlélettől, miként alakították át életünket a vegyipar termékei.

A tanárkollegáknak azt is tudniuk kell, hogy az általános iskolába járó gyermekek elképzeléseinek egy része igen hasonló a korai tudomány során megjelentekhez. A mozgásszemléletük nagyon hasonló az arisztotelészi elképzelésekhez, az anyagot folytonosnak gondolják, és a Föld gömb alakjának elfogadása is csak fokozatosan megy végbe. Ezen elképzelések tanári feltérképezésében is segítséget nyújt a tanár számára a megfelelő tudománytörténeti részek ismerete.

A tudománytörténet a tanári képességek kialakításában is jelentős szerepet játszhat, mégpedig azzal, hogy a tanár megpróbál belehelyezkedni egy adott korszak tudományos ismereteinek rendszerébe, mely különbözik a maitól. Ugyanis a gyerekek gondolkodása sem minden esetben felel meg a jelenlegi tudományos álláspontnak minden kérdésben. Sőt általában nem, és a tanár feladata éppen az, hogy a mai tudományos rendszer alap-gondolatait elfogadtassa a gyerekekkel. De ehhez bele kell helyezkednie a gyerekek gon-

dolatvilágába, hiszen abból kell kiindulnia! A tanárképzés során ezért célszerű a hallgatókkal minél több új tudományos ismeret keletkezési körülményeit megvizsgáltatni szemináriumszerű foglalkozások keretében.

Tudomány – áltudomány

Az áltudományos nézetek száma világszerte nő. Ezek nyilvánosságát a tömegtájékoztatás és a modern informatika lehetőségei jelentősen megnövelik, így megváltozott társadalmi szerepük is. A médiumok nemegyszer a tudományos mellett áltudományos nézeteket is közvetítenek, azokat tudományosnak beállítva. Azoknak az ismeretterjesztő filmeknek egy része is ilyen, amelyek például asztrológiával, ufókkal, ezredvégi jóslatokkal foglalkoznak. De hozhatunk példákat a különböző gyógy módok terjesztését illetően is. Több esetben népszerűsítettek bizonyos praktikákat, azokat általános gyógy módnak kikiáltva, például a rákos daganatok kezelését illetően stb., mintha megtalálták volna az alkímisták által keresett „életelixírt”, nemegyszer a hivatalos tudomány képviselőit negatív színben feltüntetve. A médiumok széleskörű nyilvánosságot biztosítanak az ilyen jellegű megnyilatkozásoknak. Pedig több esetben bebizonyosodott, hogy az esetenként ígéretes eljárás torz, helytelen bemutatása és annak kritikátlan ajánlása károkat okozott. Ki tudja, hány embert tévesztettek meg, vezettek félre, akik ennek következtében nem vettek részt hatásos gyógykezelésben. A gyerekek számtalan hasonló esetet hallanak, melyek mind a szakórákon, de osztályfőnöki órákon is előkerülhetnek.

Hogyan reagálhat ilyen esetben a tanár?

A tudománytörténet ebben az esetben is segítségünkre lehet. Konkrét probléma felmerülése esetében a következő lépéseket ajánljuk.

Úgy érdemes kezdeni a beszélgetést, hogy összegyűjtünk minél több szakmai jellegű ismeretet az adott, éppen felmerült témával kapcsolatban. Vagyis kezdjük el a gyerekek alkotó módon használni a megtanult ismereteket. Próbáljanak különböző szakkönyvekben, szakfolyóiratokban kutakodni. Esetleg egy másik gyerekcsoport a médiában keresi a vonatkozó híradásokat.

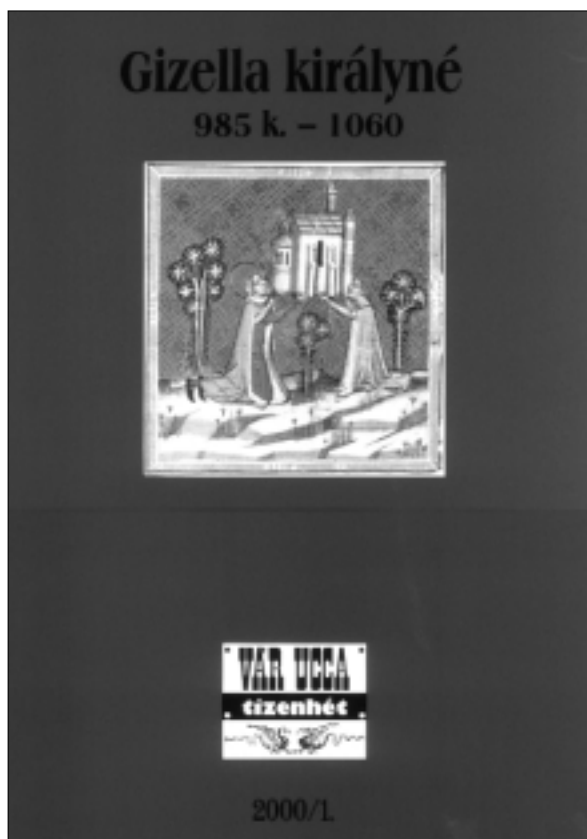
A szakmai ismeretek gyűjtése mellett szükséges a tudományos rendszerek változásáról is beszélgetni. Példákat keresni a tudomány történetéből arra, hogy miként fogadott a tudományos közvélemény egy-egy új elgondolást. Ez azért fontos, mert sok, napjainkban elfogadott elméletet kiáltottak ki keletkezése idején áltudományosnak.

Beszélni kell a hipotézisekről, a tudomány fejlődésében betöltött szerepükről. A tudomány története kicsit hasonló az evolúcióhoz, hiszen általában csak a sikeres elgondolások maradnak fenn. De célszerű keresni olyanokat is, melyek később nem bizonyultak sikeresnek, végül is nem adaptálódtak a társadalmi környezetben. Például a flogisztonelemélet, folytonos anyagkép, hőanyagelmélet, boszorkányok léte, aranycsinálás stb. Vagyis bemutatni azt, hogy egy elgondolás lehet téves is. Az éppen felmerülő kérdésben is, meglehet, évek múltán derül majd ki, melyik volt a helyes avagy téves hipotézis.

Irodalom

- ABONYI Iván: *Arthur Koestler képe az újkori tudomány születéséről* Természet Világa 1997/5. sz. 207–210. old.
 LAKI János (szerk.): *Tudományfilozófia*. Osiris Kiadó, Bp, 1988.
 BARROW, J. D.: *A fizika világképe*. Akadémiai Kiadó, Bp, 1994.
 BERNAL, J. D.: *A fizika fejlődése Einsteinig*. Gondolat Kiadó – Kossuth Könyvkiadó, Bp, 1977.
 EINSTEIN, A.: *A mozgó testek elektrodinamikájáról*. In: *Válogatott tanulmányok*. (Szerk. TÖRÖS Róbert) Gondolat, Bp, 1971. 55–74. old.
 FEHÉR Márta: *A fizika és a filozófia kapcsolatáról*. In: CSÁKÁNY Antalné (szerk.): *A fizika és a társtudományok*. Tankönyvkiadó, Bp, 1977. 5–30. old.
 KOESTLER, Arthur: *Alvajárók*. Európa Kiadó, Bp, 1996.
 KUHNS, T. S.: *A tudományos forradalmak szerkezete*. Gondolat. Bp, 1984.

- LAKATOS, Imre: (Edited by John WORRALL and Gregory CURRIE): *The methodology of scientific research programmes*. Cambridge University Press, 1978.
- McMULLIN, Ernan: *A természettudomány célja*. In.: FORRAI Gábor – SZEGEDI Péter (szerk.): *Tudomány-filozófia*. Szöveggyűjtemény. Áron Kiadó, Bp, 1999. 331–348. old.
- NAHALKA István: *Konstruktív pedagógia – egy új paradigma a láthatáron 1., 2., 3.* Iskolakultúra 1997/2., 3., 4. sz.
- PALLÓ Gábor: *A Nobel-díj mítosza*. Népszabadság, 1999. március 6.
- POLÁNYI Mihály: *Személyes tudás 1–2*. Atlantisz Kiadó, Bp, 1994.
- POPPER, K. R.: *A tudományos kutatás logikája*. Európa Kiadó, Bp, 1997.
- SCRÖDINGER, E.: *Mi az élet?* In: *Válogatott Tanulmányok*. (Szerk.: TÖRÖS Róbert) Gondolat Kiadó, Bp, 1944. 117–220. old.)
- SIMONYI Károly: *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat Kiadó, Bp, 1978.
- VEKERDI László: *Így él Galilei*. Typotex Kiadó, Bp, 1997.
- WATSON, J. D.: *A kettős spirál*. Gondolat Kiadó, Bp, 1970.



A Vár Ucca Tizenhét Kiadó ajánlatából