

TUDOMÁNYTÖRTÉNET ÉS FEJLŐDÉSLÉLEKTAN: A FOGALMI VÁLTOZÁSOK TERMÉSZETÉNEK VIZSGÁLATA

LÁNG BENEDEK

Filozófia és Tudománytörténet Tanszék

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

e-mail: lang@filozofia.bme.hu

ABSZTRAKT

A jobb híján science learning-nek nevezett diszciplína az elmúlt négy évtizedben formálódott a fejlődéslélektan, a kognitív pszichológia, a tudományoktatás és a számítógépes modellezés határterületén. Egyik legfőbb témája az a fogalmi változás, amely a tipikusan 4-10 éves tanulóknak játszódik le, miközben elsajátítják a természettudomány alapjait. A science learning meghatározó szerzőinek egy része (de korántsem mindannyian), pl. Nancy Nersessian, Susan Carey és Marianne Wiser, a tudománytörténetből vett analógiák segítségével (pl. Galilei, Kepler, Newton, Darwin, Maxwell) elemzi a tanulók fogalmi változásainak jellegét, a naiv tudásállapotnak vagy commonsense reprezentációnak nevezett állapotból a szakmaiba való (töredékes vagy éles váltás szerű) átmenet természetét. A kérdésre, hogy vajon az ontogenezis (az iskolás gyermek fogalmi fejlődése) bármilyen módon visszatükrözi-e a filogenezist (az emberiség tudománytörténetének változásait), olyan izgalmas válaszok születnek, amelyek visszahatnak a tudománytörténet diszciplínájára is. A cikk második felében két példán keresztül mutatom meg (az ún. meztelen növényekről, illetve a mágnes-

fokhagyma ellentétéről), hogyan vizsgálható a fogalmi háló változás a tudománytörténeti esettanulmányokban.

Ajánlás

Tudománytörténet és tudományfilozófia kapcsolata, a fogalmi változások természete és az egymás után következő fogalmi rendszerek összemérhetősége, bizalom a tudományban és a tudományos közösség konszenzusa – csupa olyan témák, amelyekről Fehér Mártától hallottam életemben először; azon hosszú konzultációk során, amelyek éveken keresztül kedd du 2 és 4 közt zajlottak a BME K épületben az irodájában. Hogy ő mit gondolt akkor, amikor az energiáit hetente két órán keresztül egyetlen közepesen tájékozott tanítványra pazarolta, nem tudom, bár visszaemlékezve azt gondolom, természetes feladatának tekintette, és nem a várható eredmény felől mérte a tevékenység hasznosságát. Számomra pedig nagyon is meghatározóak voltak e konzultációk, amelyek hatására felvételiztem az ELTE filozófia szakára, majd kerültem végül a BME-re, éppen Fehér Márta tanszékére. Gondolkodásmódomat azóta is meghatározza az az intellektuális és erkölcsi tartalom, amit a beszélgetések során akkor nekem átadott. Nehéz ennél nagyobb hatást gyakorolni egy emberi életre.

Magánfogalmak és közfogalmak¹

„A tudománytörténetben bekövetkezett fogalmi változások sokat segítenek az [fogalmi] átstrukturálódások általános kérdéseinek megértésében, és bizonyos esetekben még hipotézisek felállításában is segíthetnek a tanulók reprezentációinak vizsgálatában.”²

¹ A tanulmányhoz adott tanácsaiért Tamer Aminnak és Andrea diSessa-nak mondok köszönetet.

² Conceptual change as it has occurred in the history of science provides a valuable resource for gaining an understanding of the general issues of restructuring and, in some cases, may even aid the formation of hypotheses about the dimensions along which to probe student representations.

„A tudománytörténetből és -filozófiából kölcsönzött megközelítés segíthet értelmet adni a tanulók téves elképzeléseinek, és a hagyományosnál hatékonyabb tanítási eszközök felé terelhet bennünket. A tudománytörténet (...) modellt kínál a diákok naiv elméletéhez (a hővel és a hőmérséklettel kapcsolatban).”³

A fenti két idézet Nancy Nersessiantól és Marianne Wisertől származik, a tudományos fogalmak terén a gyermekekben lejátszódó fogalmi változások (conceptual change) növekvő szakterületének⁴ két olyan szerzőjétől, akik a tudománytörténetet aktívan bevonták a vizsgálódásaikba. Az idézetek mögött meghúzódó gondolat az, hogy a múltban lejátszódott átmenet a korábbi és a későbbi tudománytörténeti paradigma, vagy – más szerzők terminológiáját idézve – a tudományelőtti fogalmak és az ezeket követő elmélet közt valamiképp modellt jelent a tudományos fogalmak egyéni elsajátítása során lejátszódó változások vizsgálatához.

Míg a tudománytörténetben és a tudományfilozófiában az egymást követő fogalmi rendszerek megnevezésére viszonylag kevés terminust használnak, a tudományoktatás (science learning) szakemberei elméleti elköteleződésüktől függően a naiv tudásállapot (naive knowledge state), téves elképzelések (misconceptions),⁵ a józan ész fizikája (commonsense physics), intuitív fogalmak

(Nersessian 1989a, 164).

³ An approach borrowed from history and philosophy of science could help make sense of students' misconceptions and guide us toward teaching interventions that are more effective than traditional ones. History of science (...) offers a model for the students' naive theory (about heat and temperature). (Wiser 1995, 26)

⁴ A conceptual change szakterületéről hasznos áttekintést nyújt a terület majd minden kutatóját felvonultató szerkesztett kötet: Amin, Levrini 2018.

⁵ Bár a misconceptions szónak a beszélt nyelvben határozottan hibáztató, kioktató jelentéstartalma van, a science learning szerzői hangsúlyozzák, a fizikai jelenségek tankönyvi elméleteinek inkább alternatív, mint hibás változatait jelölik vele (Wiser 1995, 23).

(intuitive conceptions), növendékek reprezentációi (novice's representations) és az előzetes fogalmi struktúrák (pre-existing conceptual structures) kifejezéseit használják arra a fogalmi rendszerre, amelyet a tanulóknál az oktatás során felvált az, amit tankönyv elmélet (textbook theory) vagy szakértői reprezentációk (expert's representations) néven neveznek.

A párhuzam valóban kínálja magát, hiszen a tudománytörténetben, és a fizikai, biológiai, stb. fogalmakat elsajátító tanuló fejlődésében eltérő fogalmi rendszerek követik egymást, és a fogalmi változás természete, az átmenet folytonossága vagy éppen szakadozottsága, valamint a rendszerek egymással való erősebb vagy gyengébb összemérhetősége hasonlóképp vizsgálható.

De vajon milyen mértékben jelenthet inspirációt vagy éppen modellt a tudománytörténet a tudomány oktatás számára? Hogyan viszonyul a tudomány történetében közösségi szinten lejátszódó fogalmi változás az oktatás során egyéni szinten végbe menőhöz? És vajon tartható-e, hogy a tanuló személyes folyamata bármilyen mértékben leképezi az emberiség történetét. Vajon állíthatja-e bárki józan ésszel, hogy az egyedfejlődés tükrözi a filogenezist?

Nyilvánvalóan adódnak ellenérvek, és ezek nem mellékes, hanem súlyos ellenérvek, a fenti szerzők és követőik is tisztában vannak velük (Carey 2009, 362, Wiser, Carey 1983, 295). Mindenekelőtt, bár adódhatnak analógiák a diákok tanórát megelőző elképzelései és a történelemben valaha elfogadott nézetek közt, ezek nyilvánvalóan nem azonosak egymással. A tanulók mozgásról, a Föld formájáról vagy a hőtanról alkotott prekoncepciói meglehetősen emlékeztetnek arisztotelészi fizika egyes részleteire, a középkoriak impetus elméletére, vagy a kora-újkorai hőtan forrás-befogadó tanára, de ezek az analógiák nem érvényesek az idézett történeti példák egész fogalmi rendszerére (Nersessian 1989a, 165, Carey 2009, 397). Az arisztotelészi fizika például egy rendkívül összetett, számos pontján egyáltalán nem magától értetődő elméleti konstrukció, amely igen messze áll egy gyermek naiv reprezentációjától.

Másodszor, a tanulók és a felnőtt laikusok nem tudatos elméletépítők, nem

követnek kutatási programokat, nem kísérleteznek és tesztelnek szisztematikusan, nem töreksenek formális modellek építésére (Carey 2009, 362).

Harmadszor, a két folyamat látványosan eltér abban, hogy az egyik egyéni, és emberi élet léptékű, míg a másik közösségi jellegű és a *longue durée*-ben zajlik. Nyilvánvalóan más típusú ontológiai, episztemológiai, és főleg: társas tényezők formálják őket.

Negyedszer, a tudomány történetében a fogalmi váltást nem – vagy csak nagyon korlátozottan – tekintik fejlődésnek, szükségszerűen egyirányú és kumulatív folyamatnak. Az oktatásban azonban sokkal inkább kínálja magát a nézet, amely egy egyirányú pontosítási, haladási folyamatot tételez, melynek során a korábbi, naiv, téves és következetlen nézeteket felváltják a kipróbált tudományos modellek. Bár érdemes megjegyezni, hogy a tudományoktatásban ez szintén problematizált terület, és az újabb szerzők nem tekintik feltétlenül javulásnak vagy tökéletesedésnek a tanuló-szakértő váltás kognitív folyamatát (Wiser, Carey 1983, 295)⁶. Paul Harris *Trusting What You're Told: How Children Learn from Others* című könyve elején így fogalmaz: „le kell tennünk arról az elképzelésről, hogy a gyerekek folyamatosan haladnak az objektivitás és a megvilágosodás felé” (Harris 2002, 4).⁷

A fenti okokból kétségtelennek tűnik, hogy „a tanulási folyamat nem tudja egy az egyben megismételni a történelmi folyamatot” (Nersessian 1989a, 164). Azonban mégiscsak vannak jelentős párhuzamok a két fajta változás közt. Mind a történelmi, mind az iskolai helyzetben van olyan alkalom, amikor jelentősen átstrukturálódnak a fogalmi hálózatok és a magyarázati modellek. E fogalmi átstrukturálódásnak a természete, a fogalmak változása és lecserélődése pedig mutathat hasonlóságokat, amelyeket a történelmi esetben elemezve, az iskolai

⁶ “The present focus on testimony, by contrast, implies that cognitive development may or may not proceed toward greater objective truth.” (Harris, Koenig 2006, 516).

⁷ We need to abandon the idea that children steadily move toward objectivity and enlightenment.

helyzetre nézve releváns belátásokhoz juthatunk. Az érvelések, amelyeket a múltbéli tudós a kortársai meggyőzésére, a tanár pedig a diákok oktatásakor alkalmaz, egészen hasonlóak lehetnek. És végül, ahogy Susan Carey fogalmaz, "lehet, hogy a gyermek elmélete nem felel meg egyetlen történelmileg elfogadott felnőtt elméletnek sem, de annak, amit inkommenzurabilitás alatt értünk, és annak, amit erre vonatkozó bizonyítéknak tekintünk, azonosnak kell lennie, ha a „theory-theory”-ban hordoz bármi értéket." (Carey 2009, 366)⁸ (A theory-theory a science learningen belüli egyik befolyásos elmélet, amelyről alább esik részletesen szó).

Történetileg érzékeny science learning elméletek

Nancy Nersessian éppen ezekből az érvekből indult ki, amikor – már a 80-as évektől kezdve – vizuálisan kidolgozott fogalmi térképeket készített, amelyek különféle – történeti vagy oktatási – fogalmi struktúrák összehasonlítására voltak alkalmasak. Nersessian legszívesebben vizsgált témái a mozgásemélet (az inertia és az impetus elve) a késő-középkori tudósoknál majd Galileinél és Newtonnál, de esettanulmányaiiban Faraday és Maxwell is visszatérő szereplők. A fogalmi változásokban elválasztja egymástól azokat a helyzeteket, amikor valóban változás történik (mozgás, vákuum, űr) azoktól, amikor egy új, addig nem létezőt konstruálnak (erő, gravitáció) (Nersessian 1989a és 1989b).

⁸ „The child’s theory may not correspond to any historically held adult theory, but what is meant by incommensurability, and what counts as evidence for it, had better be the same if the theory-theory is to have any merit.”

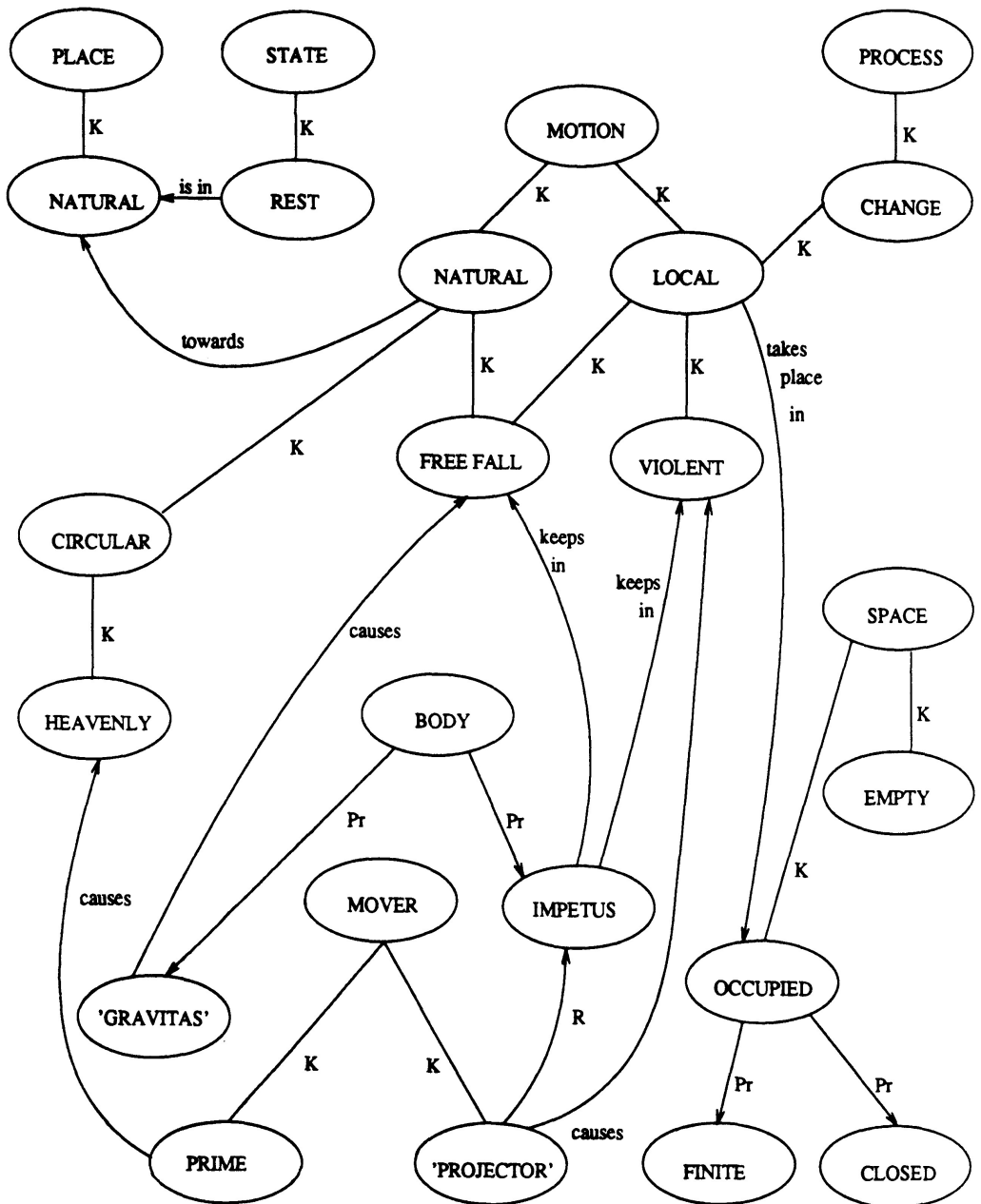


Fig. 1. Partial conceptual structure of the medieval theory of motion.

Fogalmi térkép a középkori mozgásméletről, Nersassian 1989a, 171.

A témánk szempontjából legérdekesebb mondanivalója a történeti kutatás oktatási implikációival kapcsolatos. Arra hoz példákat ugyanis, hogy a

tudománytörténeti elemzés segíthet abban, hogy a diákok számára meggyőző érvekkel vezessünk be egy-egy számukra nehezen befogadható szakfogalmat. Az tudományoktatás általános tapasztalata, hogy a diákok „prekonceptiói”, oktatást megelőző fogalmai rendkívül ellenállóak a tantermi helyzetben. Ennek megértéséhez az vezet, ha belátjuk, hogy csakúgy mint a történeti helyzetben, az oktatási szituációban teljesen új fogalmi rendszerek cserélődnek le. A diáknak nem pusztán egy új definíciót kell megtanulnia, hanem egy teljes fogalmi struktúrát, egy új ontológiát kell megértenie és elsajátítania. Ebben az új struktúrában azonban jellemző, hogy ugyanazok a szavak fordulnak elő, mint a diák régi, „naiv” fogalmi struktúrájában. Az oktatónak figyelemmel kell lennie arra, hogy a tanóra során már ismert, de más jelentéstartalmat hordozó terminusoknak ad új jelentést (mint például a „mozgás,” „erő,” vagy a „természetes”). Ha tudatosan felhívja a figyelmet a diák naiv elméletébe illeszkedő, és a tankönyvi fogalom azonos néven nevezett, de más jelentésű fogalmainak különbségeire, hatékonyabban tud oktatni. Ezt belátva a diák sokat tapasztalt ellenállása és értetlensége az új elmélettel szemben már nem is annyira meglepő, mindenesetre emlékeztet a paradigmaváltások során a régi tudományban szocializálódott kortársak intellektuális ellenállására (Nersessian 1989a, hasonló érveket fogalmaz meg: Wiser, Carey 1983).

Nersessian továbbmegy az implikációk kifejtésében. Véleménye szerint abban is segíthet a történeti esemény elemzése, hogy az új fogalmi struktúrában érvelő tanár produktívabb lesz, ha a „tudományos prekonceptiók”-ban hívő gyerekek meggyőzésére, ontológiájuk lecserélésére nem az igazolás, hanem a felfedezés érvrendszerét használja. Esetükben a matematikai levezetés korrektsége nem fog fogalmi átalakuláshoz vezetni, annál inkább az az érvelés, amit a valós tudós a régi elméletben hívő kortársak meggyőzésére alkalmazott. Galilei, amikor a kortársait próbálta meggyőzni az új mozgáselméletéről, valójában maga is egy oktatási szituációban volt. Az általa használt analógiás érvek, idealizációk, határeset elemzések és gondolat kísérletek hatékonyan alkalmazhatók a diákok új

belátásokra való vezetésében.

Amikor a hagyományos oktatási modellt követő tanár megtanítja a tömeg, a hő, vagy a lendület tankönyvi definícióját, arról feledkezik meg, hogy ezek a diákok számára már ismerős, és gyakran használt fogalmak, de más értelemben, és teljesen más fogalmi háló részeként, mint ahogy a tanórán elvárja tőlük. Hogy a fizikadolgozatban miért kell máshogy használni őket, mint a gyerekjátékok mindennapjai során, arról a felfedezés érvrendszere meggyőzőbben fog hangozni, mint az igazolás érvei.

Végül pedig mindezzel összhangban Nersessian félrevezetőnek tartja és ellenzi a laborgyakorlatot mint didaktikai eszközt. A méréseket végző diák számára a labor azt a logikai-empirikus tudományképet közvetíti, amely szerint a fizikai elmélet az adatokból való puszta indukció útján születik, és elfedi a fogalmak születésének, változásainak, olykor radikális átalakulásainak kérdését. Márpedig, szól az érv, ha a tanulók intellektuális ellenállását le akarjuk győzni, sokkal nagyobb hangsúlyt kell tenni a fogalmak születésének kérdésére.

Nersessian programja tehát, hogy minden esetben egy következetes kognitív-történeti elemzésre van szükség, és egy olyan közös kognitív modell kidolgozására, amely segítségével a történeti és a tantermi fogalmi struktúrák egyaránt elemezhetők (Nersessian 1989a, 1992).

Susan Carey és a vele olykor együtt publikáló Marianne Wisser hasonló úton haladnak. Ők is azt hangsúlyozzák, hogy az egymást leváltó fogalmak gyakran teljesen más elméletekhez tartoznak, és ezért a megtanításukban nem a definíciók segítenek. Az oktatási cél inkább az, hogy egy új elméletben, egy új hitrendszerben helyezzük el őket (Wisser 1995). A gyermeki tanulás során egymást követő elméleteket hasonlóképp koherens és teljes – egymással többé vagy kevésbé összemérhető – rendszereknek tekintik, mint Thomas Kuhn és Stephen Toulmin a tudománytörténet egymást követő paradigmáit (Wisser 1995). Carey és Wisser hasonlóan alapos tudománytörténeti elemzéseket végez, mint Nersessian. Visszatérő esettanulmányaik közé tartozik Kepler Newton előkészítő

mozgáselmélete, a flogiszton elméletről az oxigén elméletre való váltás, és Maxwell elektromágneses elméletének születése mellett a firenzei „kísérletezők” hőelmélete. A „kísérletezők” kora 17. századi tudósok voltak a firenzei akadémián, akik a hő természetével foglalkoztak, és még nem különböztették meg azt a hőmérsékletet, amit a modern fizika intenzív, nem összeadódó mennyiségnek tart, és (többek közt) Celsius fokban mér, attól a hőmennyiségtől, amely az energia egy formája, extenzív mennyiségnek tartjuk, és kalóriában mérjük. A megkülönböztetés előtt csupán „melegség” létezett, amely a melegebb testtől a hidegebb felé áramlott. Ez az úgynevezett forrás-befogadó modell, amelyben valami vagy forrás (a melegebb tárgy), vagy befogadó (a hűvösebb), amit pedig átadnak egymásnak, az a melegség. A hideg ebben az elképzelésben nem átadható. Ez a meg nem különböztetés, valamint a modern fizika hőmennyiség koncepciójának és a termikus egyensúly fogalmának hiánya sokban emlékeztet a kisiskolások prekonceptiójára, de talán sok felnőttársunk tanóra által alig érintett köznap fizikájára is. Amikor ez az egységes hőfogalom szétválk hőmérsékletre és hőmennyiségre, az mind az iskolai, mind a történeti helyzetben egy teljes fogalomháló lecserélődésével jár együtt (Wiser, Carey 1983, Wiser 1995).

Susan Carey egy gyorsan klasszikussá váló, alapos könyvet szentelt a fogalmak születésének és változásainak *The Origin of Concepts* címmel (Carey 2009). Ebben egy teljes tipológiát ismerttet részletesen (amelynek alapjait negyedszázaddal korábban Marianne Wiserral együtt dolgozta ki: Wiser, Carey 1983):

1. Létrehozás: korábban nem létező (és nem is reprezentálható) fogalmak létrehozása, mint a kvark vagy a spin.
2. Szétválasztás: ami Arisztotelésznél a sebesség, az később szétválk átlag és pillanatnyi sebességre; ami a firenzei „kísérletezőknél” a hő, az a 18. században Joseph Blacknél megkülönböztetődik, mint hő és hőmérséklet.
3. Összeolvadás: a newtoni gravitációs és tehetetlenségi tömeg egyetlen einsteini

kategóriává olvad össze; Galilei feladja a természetes és mesterséges mozgás arisztotelészi megkülönböztetését; a folyadékok, szilárd anyagok és gázok a fizikatörténet egy adott pontján egy egységes anyagfogalommá olvadnak össze.

4. Váltás tulajdonságról relációra: Newton előtt a súly egy tárgy tulajdonsága, míg a newtoni mechanikában a tárgyak közötti reláció lesz.

Carey és Wisser úgy tartja, a fogalmi változások során egymást váltó elméletek nagy, egész, és koherens magyarázó rendszerek, egymásra következésükben pedig inkommenzurábilisek – amely fogalom használatában a késői Kuhn és Kitcher gyenge inkommenzurábilis fogalmához nyúlnak vissza. A terület egy másik meghatározó kutatója, Carol Smith ezt az inkommenzurábilist megvilágítandó arra kéri olvasóját, képzelje el, amint az iskolás gyereket így oktatjuk: "Az anyag mindaz, aminek súlya van és ami helyet tölt ki." Ezt a mondatot, amelyet a későbbi fogalmi rendszerben gondolkodók igaznak tartanak, nem lehet a gyermek korábbi rendszerében kifejezni, mert az nem ismeri sem az anyag, sem a súly (sűrűségtől megkülönböztetett), sem a tér elfoglalásának fogalmát (abban az értelemben, hogy egy bizonyos euklideszi koordinátákban meghatározott helyet tölt be). A korábbi fogalmi rendszer hívei, ha a tőlük telhető legjobb módon értelmezik ezt a mondatot, hamisnak tartanak, mivel nyilvánvaló példákat ismernek olyan fizikailag valós tárgyakra, amelyek valamilyen anyagból készültek, és amelyekről úgy vélik, hogy nem nyomnak semmit (Carey 2009, 409, Wisser, Smith 2016).

Az a meggyőződés, hogy a természettudomány alapjait elsajátító diák fogalmi változási jelentősek és a legkevésbé sem magától értetődőek, közös minden science learninggel foglalkozó szakember közt. Azonban az, hogy az egymást követő fogalmak koherens elméletekbe rendeződnek-e, és ezek az elméletek aztán teljes egészében váltják-e egymást, már vita tárgya. Az eddigiekben idézett Carey és Wisser a széles körben elterjedt theory-theory híve, amely szerint a tanuló gondolkodásában teljes, viszonylag koherens elméletek váltják egymást az oktatás során, és az ún. naív, kezdeti fogalmak legalább annyira illeszkednek egy

szélesebb elméleti kontextusba, mint a későbbi, tudományos fogalmak.

A theory-theoryval szemben azonban az Andrea diSessa nevével fémjelzett „Knowledge in pieces” elképzelés sokkal fragmentáltabb folyamatként írja le ugyanezt a jelenséget (diSessa 1988). A két megközelítés közti eltérést jól ragadja meg az elnevezés különbsége. A theory-theory komplex, és önmagában értelmes elméletnek tekinti a tanuló oktatást megelőző, naiv tudásállapotát is, amelyet aztán egy nehezen megragadható intellektuális lépés eredményeképp felvált egy másik komplex és következetes elmélet, a tankönyvé. Ennek a lépésnek a magyarázatához a szerzők Quine bootstrapping elgondolását használják. Ennek lényege, hogy a tanuló (vagy a történelmi szereplő) az új elméletet először néhány régi fogalom segítségével érti meg, amely egyfajta place holder a következő fogalmi szintre való fejlődés folyamatában, de ez az új elmélet elsajátításának a végére lecserélődik. Azaz a tanuló szinte önmagát húzza fel a régi elmélet szintjéről az új szintjére. Így lehet megmagyarázni, hogy az egymást követő, és egymással lokális összemérhetetlenségben (a késői Kuhn és Kitcher fogalmait használva) álló elméletek közt hogyan lehetséges az átmenet (Carey 2009, 365-371). A theory-theory szerzői tehát diszkontinuusnak gondolják a fogalmi rendszerek egymásba alakulásának történetét. Ezek az átalakulások történhetnek bármely tudomány területén, így a matematika (hogyan konstruálja a gyerek a 0-t, a tört számokat, a végtelent) vagy a fizika (sűrűség és súly, hőmérséklet és hőmennyiség szétválasztása, anyag nélküli létezők, pl. az árnyék megmagyarázása) területén.

A "Knowledge in piece"s ezzel szemben nem feltételezi, hogy a diáknak teljes és koherens elméletei vannak a világról, sőt azt sem, hogy két véletlenszerűen kiválasztott diáknak ugyanolyan tudomány-előtti elképzelése volna mondjuk a fizikáról (diSessa 1988 és 2017). Azonban az elméletnél kisebb léptékű elemeket azonosíthatóknak és elemezhetőnek vél, amelyek gyakran egészen hasonlóak a különféle tanulók életében. diSessa és követői számára a fogalmi rendszerek változása nem olyan, mint egy kuhni paradigmaváltás, hanem egy fokozatos

folyamat, amelyben az egyes részletek kisebb léptékben cserélődnek (diSessa 2017).

Részben következik a két megközelítés különbségéből, hogy a theory-theory képviselői sokkal programszerűbben fordulnak a tudománytörténethez, mint a "Knowledge in pieces" követői (bár az utóbbira is van példa: diSessa 1982). A szaktudományok múltjában hasonló módon elemezhető theory-kat, elméleteket azonosítanak, mint a tanuló egymást követő tudásállapotaiban, és – amint a bevezető idézetekben olvastuk – a történelemben egymást követő elméletek közti átmenet elemzését relevánsnak tartják az oktatás során egymást követő tudásállapotok átmeneteinek elemzéséhez.

A két tudományterület oda-vissza hat egymásra. Nersessian egy közös kognitív modell kidolgozását javasolta a tudományos tudás elsajátításának, a tudománytörténeti felfedezésnek és a tanulási folyamatnak a megragadására. Ennek célja, hogy a tudományos gondolkodást kognitív elméletekkel rekonstruálja. Ez a megközelítés képes megragadni a fogalmi változások dinamikus és történeti jellegét. Ő és követői számos kognitív-történeti esettanulmányt dolgoztak ki, amelyek közt egyaránt szerepel Newton mozgáselmélete, Darwin evolúciós elmélete, Kepler analógiás érvelése a bolygók keringési sebességéről, a firenzei akadémia forrás-befogadó hőelmélete, Maxwell elektromágnesességgel kapcsolatos felfedezései, és más hasonló, meghatározó tudománytörténeti példák (Nersessian 1992, Carey 2009, 419).

A tudománytörténet tehát az elmúlt négy évtizedben meghatározó szerepet játszott a science learning diszciplinájának formálódásában. De mi a helyzet a másik irányban? Nersessian, Carey és a többiek azzal érvelnek, a pszichológia egyszer már gyakorolt meghatározó hatást a tudománytörténet-tudományfilozófia kettősére, gondoljunk csak arra, hogy a Gestalt pszichológia, a kacsanyúl analógia mennyire központi szerepet játszott Thomas Kuhn paradigmák közti átmenet értelmezésében. De – folytatják az érvelést – sajnálatos, hogy amikor a tudományfilozófia kinyúlt a pszichológia felé, hogy onnan inspirációt merítsen,

éppen a Gestalt pszichológia volt elérhető és domináns, mert ez félrevitte az akkoriban formálódó HPS (History and Philosophy of Science) tudományát. Most azonban már sokkal jobb eszközökkel rendelkezik a pszichológia, a tudománytörténeti szakmának érdemes volna tehát ismét körülnéznie ezen a területen, hogy eszközt merítsen saját elemzéseire (Nersessian 1992).

Esettanulmányok

Az alábbiakban két esettanulmány segítségével igyekszem megmutatni, mennyire kínálja magát a science learning elemzési kerete a tudománytörténet egyes fordulatainak elemzéséhez. Nersessiannal, Carey-vel és a többiekkel szemben magam nem annyira a nagy tudósok híres felfedezéseit, hanem kisebb léptékű, kevésbé ismert, de legalább ennyire meghatározó tudománytörténeti példákat elemzek.

1. A fokhagyma-mágnes antipátia

Tudománytörténészek köreiből közismert az a stabil, évszázadokon keresztül kitartó (lényegében Plutarkhosztól Rabelais-ig) szöveghagyomány, amely szerint a mágnes elveszíti vonzóerejét, ha fokhagymával dörzsölik. Ez a számunkra meglepő meggyőződés ráadásul nem egy olyan állítás, amelyet a későantik, középkori és kora-újkorai természetfilozófusok bizonyítani kívántak, hanem éppen hogy „bizonyítékként” használták az antipátiák elméletéhez, amely szerint bizonyos természeti létezők szimpátiában, mások pedig antipátiában állnak egymással szemben. Ahogy a dörzsölt borostyán vonzza a tárgyakat, de ezt a képességét elveszti, ha olajjal nedvesítjük, a mágnes vonzza a fémet, kivéve, ha fokhagymával dörzsöljük. Egy kellően erős világnézet (a szimpátiák és antipátiák elmélete), egy még erősebb szöveghagyomány (klasszikus szerzők sora), és – bármilyen furcsa – gyakorlati tesztek konfirmálták a mágnes-fokhagyma ellentétet.

A téma egyik kutatója, Daryn Lehoux számos forrás vizsgálata során úgy érvelt, ez a „bizonyíték” csak a kora újkorban veszítette el a státuszát, amikor a világ

általánosan elfogadott ontológiája, a tudósok világképe átalakult: a mágnest és a fokhagymát már nem tekintették antipátia-szimpátia keretei közt értelmezhetőnek, hanem az egyiket a fémten, a másikat a konyha kontextusába utalták. A dolgok akkor bizonyulnak nem létezőnek, az elméletek pedig hamisnak, és a maguktól értetődő dolgok akkor változnak meg, amikor egy új világkép osztályozási rendszerén belül megváltozik a státuszuk. Lehoux a trópus fogalmát használja a jelenség értelmezéséhez, és azt írja, a mágnes-fokhagyma ellentét szimpátia/antipátia elmélet melletti érvek trópusa, nem egy magyarázandó jelenség, hanem példa egy nagyobb elméletre, amit meg kell magyarázni, A trópus mélyen beágyazódik egy adott fogalmi kontextusba, és úgy viselkedik, mint ahogy egy "tény" szokott (Lehoux 2003).

Mindez egészen addig tartott, míg a 16. században Giambattista della Porta és William Gilbert – kísérletekre hivatkozva – elválasztja a fokhagyma-mágnes történetet az antipátia elméletétől. Új ontológiai és osztályozási környezetben rekontextualizálják: már nem az antipátia a vizsgált jelenség, hanem egy új entitás: a mágnes ereje.

Daryn Lehoux (Alexandre Koyré és Thomas Kuhn nyomdokain haladva) a 16. században végbemenő fogalmi változást holisztikus változásként írja le, hasonlóan ahhoz, ahogyan a theory-theory a természettudományos tanulók fogalmi változását ábrázolja.

De nem ez az egyetlen lehetséges megközelítés. Egy 2020-as cikkben Christoph Sander a mágnes fokhagyma történetben bekövetkező fogalmi változást sokkal fokozatosabb és szétagoltabb folyamatként írja le. Hasonlóképp, mint ahogy a "Knowledge in pieces" megközelítés a természettudományos tanulók fogalmi változását ábrázolja. Sander Lehoux-hoz képest jelentősen nagyobb mennyiségű szerzőt vizsgál, és kimutatja, a történetben szó sem volt hirtelen taxonómiai szakadásról. A különös gondolatnak már eleve a keletkezése is egy félreolvasáson alapszik, Plinius szövegének félreértése lehet a felelős a teljes szöveghagyományért: a latinban az *alio* másik követ jelent, míg az *allio*

fokhagymát. De Plinius idejében az ortográfiai standardok még nem voltak erősek, lehet, hogy maga az eredeti szöveg is hosszú l-el íródott, pedig fokhagymáról nem is kívánt beszélni, csupán a mágneshoz képest egy másik, mágnességét éppen elvesztő körül.

Akárhogyan is keletkezett az elképzelés, a szöveghagyományban négy alhagyomány azonosítható: akik a fokhagyma-mágnes ellentétet egyszerűen megismélik, akik magyarázzák, akik analógiaként használják, és akik cáfolják.

A megismétlés kevéssé elemezhető, azonban meglehetősen gyakori, ahogy Sander számos forráson keresztül megmutatja.

A magyarázat maga is számos alettre bomlik szét. A természetfilozófia különböző szerzői közt akad olyan, aki szerint a fokhagyma megváltoztatja a mágnes anyagának összetételét. Mások szerint az egész jelenséget nem lehet megfigyelni, hacsak a mágnest nem helyezük kecskevérbe egy egész napra. Van aki úgy érvel, a hő általában erősíti a vonzást, de a forró fokhagyma elveszi ezt, mert kiiktatja a melegebb részeket (mindez azonban nem történik meg, ha a fokhagyma hideg). Megint más szerint a fokhagyma elveszi a mágnes hatását, de az ecet visszaadja. Van, aki szerint talán a mágnes érzékeny lelke elalszik, megint más szerint talán az egyiptomi fokhagyma más, esteleg többféle mágnes létezik, és a régebbiek érzékenyek a fokhagymára. És végül, talán a mágnes a (meleg/hideg, nedves/száraz) temperamentuma miatt képes a vonzerőre, de a fokhagyma ezt megzavarja. Science learning szakemberek számára aranybánya lehet ez a szöveghagyomány, a természetfilozófusok és egyéb könyvszerzők magyarázati stratégiái ugyanis emlékeztetnek arra, ahogy a gyerekek érvelnek, amikor arra kérik őket, hogy fejtsék ki, miért hisznek egy bizonyos „tévhitben”.

Aki a történelem során nem magyarázta, hanem valami más bizonyítására analógiaként használta a témát, az – miként Lehoux is érvelt – nem látta szükségét a mágnes-fokhagyma ellentét tesztelésének. Végül pedig, a negyedik stratégia, a cáfolat sem volt olyan tiszta, mint amilyenek korábban tűnt, a meggyőződésnek véget vető 16. századi Della Porta például meglehetősen

következetlen, egyik művében cáfolja, másikban egyetértőleg idézi a fokhagyma-mágnes ellentétet.

Sander megmutatta, hogy a recepció sokféle volt, korántsem csak egyetlen hagyomány azonosítható. És ennek a hagyomány hálózatnak az átalakulása is sokkal fragmentáltabb, fokozatosabb folyamat volt, mint ahogy Lehoux megmutatta, és mint ahogy a theory-theory képviselői egyfajta elméletek közti paradigmaváltásként értelmezik a tudománytörténeti eseteket.

2. Meztelen növények

Nézzünk most egy másik esettanulmányt!

A tizenhatodik századi botanikusok számára komoly fejtörést okoztak a meztelen növények (ahogy ők hívták: *herbae nudaae*). Érdemes-e egyáltalán velük foglalkozni, hogy kéne őket leírni, és végső soron osztályozni – mindez tisztázatlan volt, és sok vitát szült.

Ezeket a növényeket természetesen nem valamiféle „felöltözött” növényekkel szemben hívtak meztelennek. A meztelen számukra olyan fajtát jelentett, amelynek nincs leírása a közforgalomban lévő klasszikus botanikai szövegekben, elsősorban Dioszkoridész (ca. Kr. u 40-Kr u. 90) könyveiben. Márpedig, ha az ókori szakértő nem tud róla, kérdéses, hogy valóban létezik-e. A kérdést különös mértékben kifeszítették a földrajzi felfedezések, az amerikai kontinensről ugyanis egymás után érkeztek a leírások – és olykor maguk a növények is – amelyek teljesen ismeretlenek voltak a Dioszkoridészen nevelkedett szakértők számára.

Bár a meztelen növények problémája a tudománytörténet mellékes fejezetének tűnhet, valójában a tudományfejlődés legfontosabb kérdéseit érintette. Szembekerült egymással ugyanis az írott hagyomány kínálta tudás a személyes megfigyeléssel, és mindez kitette az asztalra az ókori szerzők hiányosságait. Közben a népi bölcsességgel szembeni ellenségességet, de legalábbis ambivalenciát is újra kellett gondolni, hiszen gyakran éppen a gyakorló füvesasszonyoktól származtak a megalapozottnak bizonyuló új ismeretek. A meztelen növények osztályozási feladata kikényszerített egy korábban ismeretlen

együttműködést az új világ őslakosaival, és általában a nem-akadémiai közegben élő tanulatlan emberekkel, és ez a kezdetben kényszerű együttműködés hatást gyakorolt a modern tudomány kialakulására.

Az átalakulás ezen évszázadának botanikusai korántsem követtek egységes stratégiát az új növények megítélésében. Lassan jutottak el a klasszikus forrásokban nem szereplő növények létezésének teljes tagadásától, az óvatos elfogadásáig. Volt, aki amellet érvelt, hogy az új növények valójában csupán a régről ismertek változatai, és lehetőség szerint a botanikai kézikönyvek hátsó részébe számúzták őket. Mások behatóbb tanulmányozásba kezdtek, de a leírásban egyelőre nem adtak neki latin nevet, csak a megszokott népi (például német) elnevezésén hivatkoztak rá. Később ezt lefordították latinra és görögre, és azon módszerek szerint írták le, amelyeket Dioszkoridész, Theophraszosz és Galénosz meghatározott. Mások analógiákat használtak a leírásban, és közben szaporodtak előbb a fordítókat, majd magukat az ókori szerzőket hibáztató kritikák. A meztelen növények lassan és fokozatosan polgárjogot nyertek a botanika aggasztóan növekvő társadalmában.

Az Amerikából érkezett növények különösen zavarba hozták a szerzőket. Először mesebeli és kissé túl színes leírásokat adtak róluk, ezzel is hangsúlyozva az új világ ellenséges, sőt ördögi jellegét. Majd igyekeztek megfeleltetni ezeket a növényeket a már ismerteknek, így például a paprikát egyfajta kardamomnak osztályozták.

Mínt hogy megbízható szöveges leírás nem állt rendelkezésre, a szerzők kénytelenek voltak kiterjedt megfigyeléseket folytatni, hogy az új növény érzékszervi tulajdonságait, gyógyító hatását, természetes élőhelyét meghatározzák. Így a klasszikus szerzők hiányosságai végső soron elősegítették a személyes megfigyelés térnyerését.

Az új megfigyelések és leírások különösen aktuálissá tették a képi megjelenítés lehetőségét. A mai, gazdagon illusztrált tankönyveken felnöve meglepőnek tűnhet, de a korai botanikusok ellenségesek voltak a szövegeket kiegészítő

vizuális eszközökkel szemben: úgy érveltek, hogy az egyetlen állapot kimerevítő kép nem tudja megragadni a növényt a maga változatosságában, nem tudja visszaadni a tapintását, szagát és ízét, sőt a színeit sem, így lényegében nem segíti a növény megismerését. Ráadásul eltereli az olvasó figyelmét, és egyébként is szükségtelenül drágává teszi a könyv előállítását.

Miközben a botanika tudománya fokozatosan elszakadt a klasszikus szerzőktől, és a megfigyelésen alapuló személyes tapasztalat vált a növényteni ismeretek meghatározó forrásává, fokozatosan a képek is elfoglalták méltó helyüket a biológiai könyvekben, de ez már egy másik történet.

Következtetések

Témánk szempontjából mind a két esetben az a fontos, hogy a források alapján korántsem lehet alátámasztani, hogy egységes és koherens elméletek váltanak fel egymást. Minél többféle szerzőt és forrást olvasunk, minél közelebb kerülünk a tudománytörténeti helyzethez, annál fokozatosabbnak és töredezettebbnek tűnik az átmenet, amelynek során a szerzők a klasszikus forrásokról leválva felépítették azt az új fogalmi rendszert, amelybe a mágnesek, a fokhagymák és a meztelen növények beilleszkedtek. Sem a hirtelen elméletváltást, sem a korai elméletek következetes koherenciáját nem sikerül dokumentálnunk. Másfelől, míg a "Knowledge in pieces" fokozatossága a tudománytörténész számára legalább olyan reálisnak, ha nem reálisabbnak tűnik, mint a theory-theory szerzők radikálisabb és egyszerűbb elméletváltása, el kell ismerni, hogy az utóbbiak jobban ragadják meg az egymást követő elméletek drasztikus különbözőségét.

Bárhogyan is, Nersessian, Carey és a többiek programja, amely a tudománytörténészek számára a fogalmi változások kognitív elemzését javasolja, határozottan relevánsnak tűnik. Itt az ideje, hogy a tudománytörténet ismét kinyújtsa csápjait a pszichológia, konkrétan a science learning diszciplínája irányába, és ne csupán kínáljon inspirációt a rokon tudomány szakértőinek,

hanem maga is fogadjon tőlük.

Irodalom

Amin, Tamer; Olivia Levrini (szerk.) 2018. *Converging Perspectives on Conceptual Change: Mapping an Emerging Paradigm in the Learning Sciences*. London: Routledge.

Carey, Susan. 2009. *The Origin of Concepts*. Oxford: Oxford University Press.

Čermáková, Lucie; Jana Černá. 2018. Naked in the Old and the New World: Differences and Analogies in Descriptions of European and American herbaria in the Sixteenth Century. *Journal of the History of Biology* 51(1): 69-106.

diSessa, Andrea. 1982. Unlearning Aristotelian Physics: A Study of Knowledge-Based Learning. *Cognitive Science* 6, 37-75.

diSessa, Andrea. 1988. Knowledge in Pieces. In Forman G.; P Pufall szerk. *Constructivism in the Computer Age*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Publishers.

diSessa, Andrea. 2017. Conceptual Change in a Microcosm: Comparative Analysis of a Learning Event. *Human Development* 60: 1-37.

Harris, Paul L. 2002. *Trusting What You're Told: How Children Learn from Others*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Harris, Paul; Melissa Koenig 2006. *Trust in Testimony: How Children Learn*

About Science and Religion. *Child Development* 77(3): 505-24.

Lehoux, Daryn. 2003. Tropes, Facts, and Empiricism. *Perspectives on Science* 11(3): 326–345.

Nersessian, Nancy J. 1989a. Conceptual change in science and science education. *Synthese* 80(1): 163-183.

Nersessian, Nancy J; Resnick LB. 1989b Comparing historical and intuitive explanations of motion: Does “naive physics” have a structure. In *Proceedings of the Eleventh Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 412-420.

Nersessian, Nancy J. 1992. How Do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science. In R. Giere & H. Feigl (szerk.). *Cognitive Models of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press. 3-45.

Sander, Christoph. 2020. Magnets and Garlic: an Enduring Antipathy in Early Modern Science, *Intellectual History Review* 30(4): 523-560.

Wiser, Marianne. 1995. Use of history of science to understand and remedy students’ misconceptions about heat and temperature. In D. Perkins, J. Schwartz, M. West, and M. Wiske (szerk.). *Software goes to school: Teaching for understanding with new technologies*, 23–38. Oxford: Oxford University Press.

Wiser, Marianne; Carol L. Smith. 2016. How Is Conceptual Change Possible? Insights from Science Education. In David Barner; Andrew Scott Baron (szerk.) *Core Knowledge and Conceptual Change*. Oxford: Oxford University Press.

Wiser, Marianne; Susan Carey. 1983. When heat and temperature were one. In Dedre Gentner and Albert L. Stevens (szerk.). *Mental Models*, 267–297. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.