

SCHEURING ISTVÁN

HOGYAN MŰKÖDIK A TERMÉSZETTUDOMÁNY, ÉS MIÉRT TANÍTSUK EZT A KÖZÉPISKOLÁBAN?

A VILÁGKÉPEKTŐL A MÓDSZERIG

Amióta ember él a Földön, meg akarta magyarázni a körülötte lévő világ működését. Ennek a váagnak a legősibb kifejeződése a mitológiák megalkotása. Természetesen a kezdetekről nagyon keveset tudunk, de bármily velünk élő, ősi életmódot folytató vadászó, gyűjtögető népcsoportot is vizsgálunk, azt találjuk, hogy mitológiai alakok veszik őket körül, megszbáják a Nap és a Hold járását, uralják a csillagokat, hatnak a vadászszerencsére, befolyással vannak az időjárásra, stb. Úgy tűnik tehát, hogy az ember mindig is magyarázatot keresett a csillagos égbolton látottakra. Talán éppen azért, mert a csillagok, a Nap, a Hold olyan természeti jelenségek, melyeket mindenki látott és ismert, de közvetlen fizikai tapasztalata nem volt velük kapcsolatban. Egy fa levelét vagy néha egy zebracsikót meg lehetett fogni, a csillagokat soha. Mivel elődeink életét elsősorban az őket körülvevő ehető és/vagy veszélyes élőlények határozták meg, talán az is elég természetes, hogy a távoli égi jelenségeket is különböző képzeletbeli élőlényekkel hozták kapcsolatba. Az ókori nagy kultúrák hiedelemrendszere is istenekkel népesítette be az eget (1. ábra), a szabadon gondolkodó és praktikus görögök tértek le először erről az útról.



1. ábra. A levegő istene Shu, más istenek segítségével tartja Nut-ot, az ég istenét. Látjuk is a csillagokat a testén. Alattuk Geb, a Föld fekszik. https://en.wikipedia.org/wiki/Egyptian_mythology

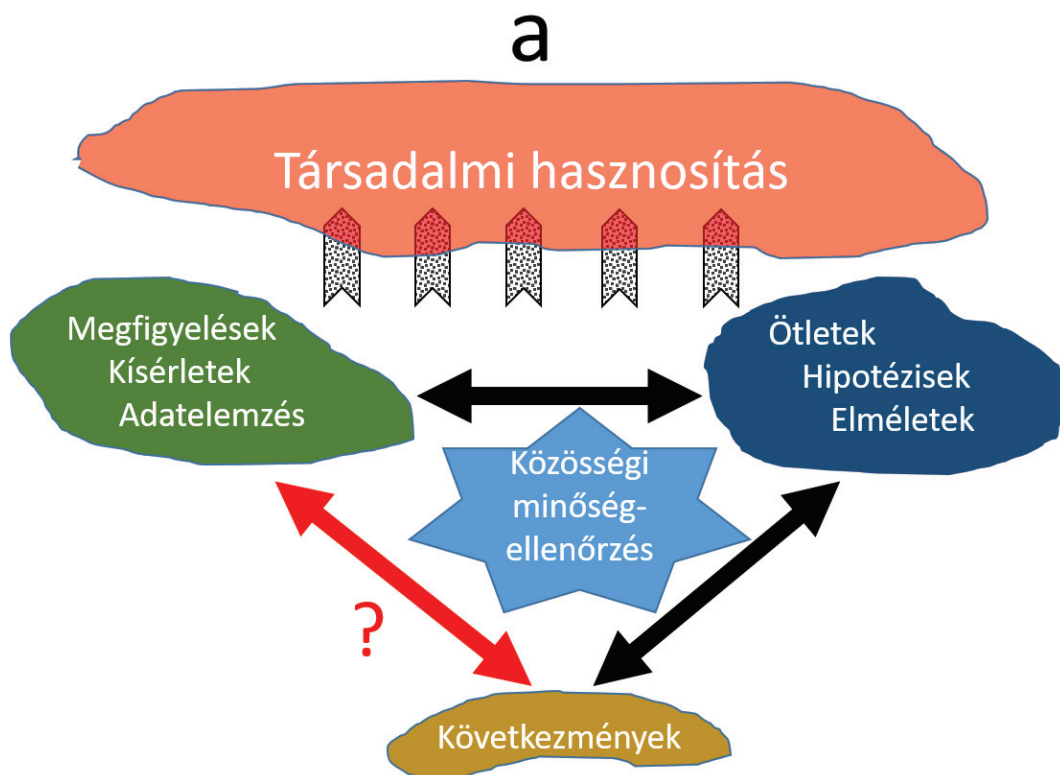
A görög filozófusok isteni segítség nélküli, természettudományos magyarázatokat javasoltak a bolygók, a csillagos égbolt és az egész világegyetem értelmezésére. Részletesebben szót ejthetnénk itt Anaximandrosz végtelen világegyeteméről, melynek közepén a lapos Föld van, vagy Arisztarkosz naprendszerét is részletezhetnénk, hiszen az ő elképzelése szerint a Nap van a bolygórendszer középpontjában, ám ők sokkal kisebb nyomot hagytak az európai gondolkodásra és világképre, mint Platón, Arisztotelész és Ptolemaiosz. Platón a megismerés legfontosabb elemének a bölcséletet tartotta. Mivel a

gömb a legszimmetrikusabb test, így a bolygók gömbök, mondta Platon. A legszimmetrikusabb pálya a kör, így körpályán mozognak, továbbá a Földet semmi nem mozgatja, ezért a Föld nyugalomban van, és minden bolygó, valamint a Nap is körülötte kering. Bizony, a megfigyelések már az ókorban sem támasztották teljesen alá Platon modelljét, ezért Ptolemaiosz a körök köré újabb és újabb köröket vezetett be. De a magyarázat, valljuk be, logikus volt, ráadásul minket helyezett a középpontba és nyugalmat, biztonságot adott. A keresztény egyházak támogatták is az elképzelést, hiszen világgépükkel összhangban volt.

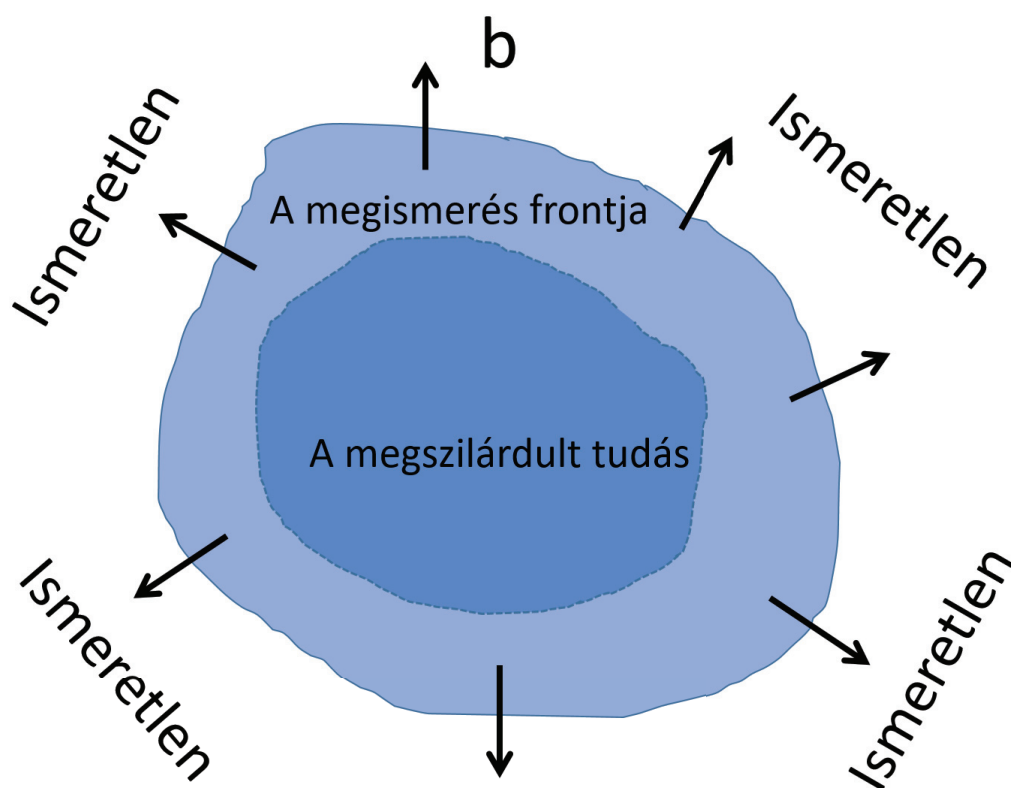
Platon, Arisztotelész és Ptolemaiosz módszere sok évszázadra meghatározta, hogy hogyan közelítsenek a természettudományos problémákhoz. Ha egy természeti jelenséget értelmezni akarsz, akkor elsősorban a nagy elődökre támaszkodj (Platon, Arisztotelész), és használd a logikus gondolkodás eszközét, de természetesen magyarázatod összhangban kell legyen a Bibliában olvashatókkal (hiszen az a kinyilatkoztatás könyve). Ám a XV. századtól kezdve ez a megközelítés egyre kevésbé volt kielégítő.

Jelentősen leegyszerűsítve ezt a folyamatot, és Galileit mint nagy elődöt kihagyva, talán mégis mondhatjuk, hogy a modern természettudományos módszer születése Ticho Brache, Johannes Kepler és Isaac Newton nevéhez kapcsolható. Brache elképesztő pontos és rendszerezett megfigyelésekkel térképezte fel a bolygók mozgását. Adatait Kepler, korábbi asszisztense elemezte, aminek alapján először megállapította, hogy a bolygók ellipszis pályán mozognak a Nap körül, azaz nem a „tökéletes” körpályán a Föld körül, ahogy Ptolemaiosz gondolta és tanította. Kepler az adatokból nagyon pontos megállapításokat tudott tenni a bolygók mozgására, ezek az ún. Kepler-törvények. (Ismertetésüket most kihagyom, aki már nem emlékszik rájuk, azoknak javaslom, hogy nézzék meg például a Wikipédián.) És ekkor jött Newton, a következő zseniális tudós, aki matematikai módszerek segítségével megmutatta, hogy a megfigyeléseken alapuló Kepler-törvények egyenes következményei az általa megalkotott tömegvonzási törvénynek. Vajon mi ennek a páratlan sikernek a kulcsa? Mindenképpen kiemelkedő képességű tudósokra volt szükség, de emellett a sikerhez kellett egy hatékony módszer. Ha továbbra is csupán az antik szerzők könyveit bújták volna, vagy nem foglalkoztak volna a megfigyelések eredményeivel, akkor soha nem fejtik meg a bolygók mozgásának rejtélyét. De ha nem törekedtek volna jól meghatározott fogalmakkal leírni az ismereteiket és ebből matematikai összefüggéseket kovácsolni, akkor sem lett volna esély a sikerre.

A jó módszer, ami azóta is a természettudományos gondolkodásmód alapja, a következő: a természeti jelenségeket megfigyeljük, méréseket hajtunk végre, adatokat gyűjtünk, kísérletezünk. A megfigyelések leírásához és értelmezéséhez fogalmakat vezetünk be. A vizsgált fogalmak (mennyiségek) között tapasztalt összefüggésekből a jelenséget magyarázó ötleteket fogalmazzunk meg, hipotéziseket állítunk fel. Ezután megvizsgáljuk, hogy a hipotézis valóban összhangban van-e a megfigyeléssel és esetleg más korábbi megfigyelésekkel, kísérletekkel. Ha igen, akkor örülünk, és végiggondoljuk, hogy hipotézisünknek milyen további következményei vannak. Ennek ellenőrzésére további megfigyeléseket, kísérleteket tervezünk. Az azokból származó eredmények fényében módosítjuk, vagy akár teljesen el is vetjük korábbi hipotézisünket (2. a ábra). És így tovább, folyton ellenőrizve a tudásunkat, egyre messzebb, egyre mélyebbre látunk, és egyre biztosabb talajon állunk (2. b ábra).



| 2. a ábra



| 2. b ábra

2. ábra: A tudományos megismerés módszertana. a) A megismerés egy folyamatos iterációs folyamat, aminek a működését a szakemberek közössége folyamatosan ellenőrzi. b) A folyamat eredményeként fokozatosan megszilárduló és szélesedő tudásunk van a természet működéséről, miközben a tudomány a megismerés frontját igyekszik tágítani.

Természetesen ebben a megismerési folyamatban, még egy szűk részterület esetén is, ma már sok száz vagy ezer szakember együttesen vesz részt. Egy részük a kísérlet tervezésében, mások a kísérletből nyert adatok kiértékelésében, megint mások az eredmények értékelésében és a hipotézisek megalkotásában játszanak döntő szerepet. Ami igen fontos, hogy az egész megismerési ciklus teljesen átláthatóan, a tudományos közösség folyamatos ellenőrzése mellett megy végbe (2. a ábra). Ezért, ha egy okfejtés, egy matematikai levezetés vagy egy kísérleti összeállítás hibás, az előbb-utóbb kiderül. A tudományos közösség különösen körültekintő akkor, ha a vélt felfedezés nagy jelentőségű tudományos eredménynek tűnik. Csak egyetlen példát említek. 2011-ben a részecskefizikusokat az ún. OPERA-kísérlet egy eredménye tartotta lázban. A csoport mérései alapján a tau neutrínó egy hajszállal gyorsabban terjed vákuumban, mint a fény. Ez az eredmény nem összeegyeztethető a speciális relativitáselmélettel, így nyilván, ha a mérés jó, akkor radikális változást okoz a fizikáról alkotott tudományos képben. Persze nagy volt az izgalom a szakmai körökben, ám a speciális relativitáselmélet jóslatait rengetegszer igazolták már, ezért sokkal valószínűbbnek tűnt, hogy ez a mérés a hibás, annak ellenére, hogy hatalmas apparátussal, a szakma legjobbjai hajtották végre a kísérletet. És a szakemberek el is kezdték módszeresen keresni a hibát, és idővel meg is találták azt. Csupán egyetlen optikai kábel csatlakozója nem volt jól becsavarva, ez okozta azt a parányi sebességkülönbséget a mérésben.

Sok kutatás célja, hogy az eredményeket közvetlenül lehessen hasznosítani: legyen az alma ízesebb és kevésbé romlandó, bírjon ki több újratöltést az akkumulátor, egyenletesebben fejtse ki a hatását a gyógyszer. Ám a legtöbb esetben, főleg az alapkutatások esetében, a társadalmi hasznosítás csak úgy mellékesen adódik, legtöbbször sokkal később, mint maguk a jelentős természettudományos felfedezések megszülettek (2. a ábra). Ki gondolta volna a genetika hajnalán, hogy ellenálló génmódosított élelmiszereket lehet majd előállítani a XXI. században, vagy hogy a kvantummechanikai alaptörvények a félvezetőkön keresztül az okostelefonokig fognak elvezetni? Egy anekdota szerint Michael Faraday egyszer az angol felsőházban kísérletes bemutatót tartott. A kísérlet közben, amikor éppen az elektromos áram mágneses tulajdonságait mutatta be, az egyik képviselő (mások szerint maga Viktória királynő) így kiáltott fel: Na de mire jó ez, kedves Faraday? Mire Faraday: Mire jó egy újszülött, képviselő Úr (Felség)? Meglátják az urak, előbb-utóbb adót fognak szedni az általam felfedezett jelenségek alapján.

Hogy a természet működésének a feltárására ez a módszer hatékony, azt bizonyítja az elmúlt 2-300 év tudományos technikai fejlődése. Valóban egyre pontosabban és egyre mélyebben értjük azt, hogy hogyan működik a világ körülöttünk. Sőt

ezt a tudást fel is használjuk, hogy egyre biztonságosabban és kényelmesebben éljünk. Nem tagadható, hogy részben ez a technológiai fejlődés vezetett oda, hogy a klímaváltozás miatt vélhetően az emberi civilizáció legnagyobb kihívása előtt állunk. De ez igazán messze vezetne.

MIÉRT BESZÉLJÜNK ERRŐL AZ ISKOLÁBAN?

Az a tapasztalatom, hogy még a biológus szakos hallgatóknak a többsége sincs tisztában azzal, hogy az a hivatás, amit művelni fog, milyen játékszabályok alapján működik, és miért így működik, és miért kell így működtetni. Véleményem szerint a középiskolai természettudományos oktatás egyik kiemelt feladata kellene legyen ennek a gondolkodásmódnak az elsajátítása. A *kritikus gondolkodásra neveljük a diákjainkat* jelszó ebben az esetben üres, sőt félrevezető. Hiszen azt kell megértse a diák, hogy a Newton-axiómákkal, a darwini evolúcióelmélettel vagy a Pauli-féle kizárási elvvel kapcsolatban ne legyünk kritikusak, mert ezen törvények, elméletek, elvek igazság voltát, érvényességi körét korábban milliányi esetben igazolták. Kritikusak, körültekintőek éppen az új felfedezésekkel kapcsolatban kell legyünk, de minden esetben követve a természettudományos gondolkodás módszertanát. Kritikusak azokkal szemben legyünk, akik e módszert nem értik, nem fogadják el és így tesznek kritikus megállapításokat a természettudományról vagy fogalmazznak meg „forradalmian új” összefüggéseket.

MŰKÖDÉSI ZAVAROK A TUDOMÁNYBAN

Ha a természettudományos gondolkodás ennyire letisztult, ennyire óvatosan épít be új ismereteket, akkor miért hallunk elég sokat értelmetlen kutatásokról, komolynak tűnő folyóiratokban megjelent kétes eredményekről, visszavont cikkekről, sőt csalásokról is? Ennek számos oka van. Az első, hogy amivel hírolvasóként találkozunk, az mindig a botrányos, érdekes. Évente durván 2 millió (!) tudományos cikk jelenik meg, ebből ezernyi értelmetlen és hibás, annak ellenére, hogy előtte szakemberek ellenőrzik. Emberek vagyunk, az ellenőrzés nem mindig tökéletes, ez megesik. Sajnos a tudósok nagyon erős publikációs kényszer alatt dolgoznak. Munkájukat a publikációk száma, az azokra kapott idézések és az újság presztízse határozza meg. Ennek következménye, hogy egyre több a felületes és túlzó állításokat megfogalmazó cikk, és sajnos esetenként a csalás is. Aztán ott vannak az úgynevezett predátor újságok, ahol pénzért szinte bármit meg lehet jelentetni. Komoly tudós kerül ki ezek az újságok, de egy gyanútlan laikust könnyen félrevezethetik az ilyen lapokban olvasott „felfedezések”. Szóval a megismerés frontvonalán, ahol mi, tudósok, dolgozunk, a korábban leírt mechanizmus bizony zűrzavarosan működik. Óvatosnak kell lenni.



| Fotó: <https://www.freepik.com>

MÉGIS HIGGYÜNK A TUDOMÁNYBAN

Szóval óvatosan kell bánni az új eredményekkel, mert bár értjük, hogy hogyan is kellene működni a jó tudománynak, a valóságban nem mindig ez történik. Viszont ha egy nagyon fontos kérdéstről van szó, például a COVID-19 elleni oltások hatékonyságáról és biztonságáról, akkor a 2. ábrán bemutatott masinéria nagy sebességgel és hatékonyan kezd el működni, aminek eredményeként rendkívül gyorsan kigyomlálódnak a pontatlanságok, tévedések. Így találnak rá a szakemberek a biztonságos oltásokra, hatékonyabb kezelésekre. Legyünk őszinték, mi, akik nem vagyunk sem virológusok, sem immunológusok, sem szakemberek a statisztikában, nem tudjuk megítélni, hogy az adott oltás mennyire hatékony, de ha az Imperial College London első számú szakértője az adatok elemzése alapján egyértelműen állítja, hogy az adott oltóanyag több mint 90%-os hatékonysággal megakadályozza a súlyos szövődményeket, akkor bízhatunk benne, hogy ez így van. Mindenki ellenőrizheti, hogy mi alapján állítja ezt, és bizony sok száz ellenérdekelte szakember ellenőrizni is fogja. Ha hibát találnak, azt azonnal jelzik is.

Nem azért hiszünk egy-egy természettudományos eredményben, mert értjük minden részletében, hanem mert tudjuk, hogy az eredményre a módszert következetesen alkalmazva jutottak, így nagy baj nem lehet (vagy gyorsan kiderül, ha mégis az van).

ÁLTUDOMÁNYOK

A tudomány működésének belső zavarai mellett az is nehezíti a tisztánlátást, hogy ömlik ránk a rengeteg téves információ, hamis hír. Az áltudományos butaságok szabadon terjednek az interneten, és pontosan a szenzációkra és a nehézségek könnyű, gyors megoldására vágyók figyelmét keresik. Aki érti, mert esetleg diákként megértették vele, hogy hogyan működik a természettudomány, az nem fog sok hitelt adni az olyan videóknak, melyek úgy kezdődnek, hogy: a tudósok titkolni igyekeznek egy nógrádi javasasszony egyszerű módszerét, amivel gerincserves betegeit napok alatt meggyógyítják. Hiszen a nógrádi javasasszony módszere semmiféle próbáját nem állta ki a természettudományos megismerési folyamatnak. Ráadásul valami összeesküvést sejtető, titkolódzó tudósokról beszélni teljes képtelenség. Tegyük fel, hogy a tudósok egy csoportja nagyon szeretné, hogy egy új eredmény ne jelenjen meg, mert ez nagyban rontaná a hitelüket, akár a bevételeiket is. Ez még nem elképzelhetetlen. Igen ám, de a többi tudós éppen abban érdekelt, hogy valami jobbat fedezzen fel, mint amit most éppen a legjobb megoldásnak tartunk. Minden igyekezete azon lesz, hogy megmutassa, van jobb, hatékonyabb, olcsóbb. Beküldi a kísérletekkel, matematikai számításokkal, stb. alátámasztott új felfedezését egy szaklaphoz, ahol a pártatlan bírálók lelkesen támogatják az új eredmények megjelenését. Ezt ezután mindenki olvashatja a lapban. A jobb megoldásokat nem lehet eltitkolni.

Az igazság az, hogy az áltudományokat nem olyan könnyű felismerni, ha tudománynak álcázzák magukat. Vegyünk egy kitalált, de jellemző példát: Dr. XY, aki a honlapon látható dokumentummal igazoltan a ZW egyetemen szerzett állatorvosi diplomát, állítja, hogy az emberek, sőt a szarvasmarhák is képesek a gondolatátvitelre. Szakkifejezésekkel tarkított, korábbi publikációkra és saját kísérleteire hivatkozva hosszan leírja, hogy ki, mikor, milyen körülmények között mutatta ki ezt a jelenséget. Tegyük fel, hogy nem tudjuk, hogy a gondolatátvitel lehetőségét (pl. én gondolok egy számra 1 és 100 között, és egy velem semmilyen kapcsolatban nem lévő másik ember az 1/100-nál lényegesen nagyobb eséllyel meg tudja mondani, hogy melyik számra gondoltam) a múlt évezred közepétől kezdve számos, jól tervezett kísérletben megvizsgálták, és minden esetben negatív eredményre jutottak. Ha gondosan utánajárunk, akkor kiderül, hogy a nevezett Dr., bár valóban állatorvos, soha egyetlen szakcikket sem írt, csupán az interneten terjeszti áltudományos gondolatait. Az általa idézett cikkek is hasonlóan megbízhatatlan forrásból származnak, parapszichológiai szervezetek kiadványai, ismeretlen háttérű honlapokról szerzett információk. Dr. XY egyetlen, az elképzelésének ellentmondó eredményt nem sorol fel, esetenként nem definiált gyanús fogalmakat használ. És természetesen Dr. XY kísérletei sem voltak soha a kritikai ellenőrzés alá vetve, sőt leírva sincsenek pontosan. Dr. XY nem hajlandó a tudományos megismerés körforgó masinériájába belépni. Amit csinál, áltudomány. Ahogy Karl Popper nagyszerű tudományfilozófus tömören fogalmazta: „Az áltudomány megerősítéseket keres, a tudomány pedig cáfolatokat.” Igen, éppen a tudomány masinériája az, ami a cáfolatok keresésével szilárdítja meg a tudás magját, és szélesíti a tudás frontját.

Diákjainknak ezzel a hozzáállással kell megismerni a természetet. Csak akkor tudnak eligazodni a világban, ha van természettudományos alpműveltségük, és az áltudományokat el tudják különíteni a tudománytól. A műveltség pedig a gazdag, kiteljesedett élet alappillére.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- A Berkeley egyetem oldala a tudományos megismerés mikéntjéről: url: <https://undsci.berkeley.edu/understanding-science-101/what-is-science/> (Letöltés ideje: 2023.02.22.)
- Brumfiel, G. (2012): Neutrinos not faster than light. *Nature*, url: <https://doi.org/10.1038/nature.2012.10249> (Letöltés ideje: 2023.02.22.)
- Faraday anekdotája: url: <https://www.bbvaopenmind.com/en/science/leading-figures/faraday-the-apprentice-who-popularized-electricity/> (Letöltés ideje: 2023.02.20.)
- Koestler, Arthur (2007): *Alvajárók*. Budapest, Európa Könyvkiadó.
- R. Popper, Karl (1997): *A tudományos kutatás logikája*. Budapest, Európa Könyvkiadó.
- Simonyi Károly (1986): *A fizika kultúrtörténete*. Budapest, Gondolat Kiadó.
- Tél Tamás (2012): *Milyen tudomány a fizika? Amit minden középiskolásnak tudnia kellene*. Természet Világa, 2012 december, CLXXVII–CLXXXIII.