



(2016. szeptember)

HIDEGBEN IJESZTŐBB VOLT AZ „UGATÁSA”, MINT A HARAPÁSA?

Az éghajlat változásával együtt átalakul az élővilág is. A környezeti nyomás korlátozhatja az ideális életkörülményeket, csökkentheti a prédaállatok számát, de akár kedvezőbb helyzetet is kialakíthat, ami lehetővé teszi a populáció felvirágzását. A földtörténet során nyomon követhető, hogyan változik a populáció, az egyedek mérete, a halálozási ráta, vagy a morfológia. Az ősmaradványok alapján a paleontológusok következtetnek az egykori klímára vagy fordított esetben arra, hogy a klímaváltozás hogyan hatott az egyes fajokra.

Néha azonban ezek a változások nem láthatók kívülről. Különösen igaz ez a fossziliákra, ahol sok adat már eleve hiányzik. Egy most megjelent tanulmányban a kaliforniai *La Brea* kátránytavakban talált kardfogú tigris, a *Smilodon fatalis* állkapcsának csontvastagságát vizsgálták annak kiderítésére, hogyan változott a harapási erőssége az idők során. A kátránytavak fossziliái mintegy 30 ezer évet ölelnek át, ami lehetővé teszi, hogy a több ezer példányon részletesen nyomon kövessék az ökológiai és környezeti változásokra bekövetkező válaszokat.

La Brea lelőhelyei természetes csapdaként működtek, amelyekbe több tízezer éven keresztül szivárgott a természetes aszfalt a mélyből, sőt szivárog még napjainkban is. Az állatok vakmerően megközelítették a kátránytavakat, vagy azért, mert tévesen víznek gondolták, vagy egyszerűen nem vették észre, amikor lehullott levelek és törmelékek borították a felszínét. A ragadós anyagban csapdába eső állatok gyorsan elpusztultak. Egyetlen hatalmas és izletes mamuttetem több tucatnyi ragadozót, vagy dögevőt vonzott a területre, akik nem észlelték, hogy a finom falatok csábítása a saját pusztulásukat okozza. Ennek köszönhető, hogy ezekben a természetes csapdákból jóval nagyobb a ragadozók aránya, mint a prédaállatoké.

A kihalt állatokról általában nehéz feladat új ismereteket összegyűjteni, különösen ha egy jól ismert fajról van szó. A kutatók összegezték, hogy mit lehet tudni a *Smilodon* táplálkozási szokásairól, állkapcsának erősségéről, és kidolgoztak egy módszert, hogy a csontvastagság mérésével jellemezzék az állapcsok erősségét. A kutatócsoport összesen 102 mintát vizsgált öt különböző kátránytóból, melyeknek a kora 13 000 és 40 000 év között változott. Mindegyik állapcsot átvilágították egy hordozható röntgenkészülékkel, és a röntgenfelvételeket használták az állapcsok különböző területeinek vastagságmérésére.

A kapott eredmények szerint a legfiatalabb, 13–14 ezer éves aszfaltgödör tartalmazta a legnagyobb és legrobustusabb *Smilodon* állapcsokat. Ez nem sokkal a 12 ezer évvel előttről bekövetkezett késő-pleisztocén megafauna kihalás előtt rakódott le, és arra utal, hogy közvetlenül a kihalási esemény előtt még egészséges és virágzó *Smilodon* populáció élt a területen. Ezeknek a példányoknak a nagyméretű állapcsa arra utal, hogy a klíma és a környezet alkalmas, vagy akár ideális lehetett a kardfogú tigriseknek, melyek képesek voltak nagyméretű prédaállatokat is fogyasztani.

A kisebb idősebb, 17–18,5 ezer éves gödör anyaga azonban már más képet mutat. Erre az időszakra esett ugyanis a legutolsó eljegesedés maximuma Észak-Amerikában. A *Smilodon* állapcsok esetében ezen a lelőhelyen mérték a legkisebb vastagságot az állapcsontokon. Ez pedig azt jelenti, hogy kisebb volt a harapásuk erőssége, így az ekkor élt kardfogúaknak puhább táplálékkal és kevésbé erős prédaállatokkal kellett beérniük az életben maradáshoz. A csontvastagság csökkenése a hiányos táplálkozással lehetett összefüggésben. A paleontológusok szerint a hidegebb hőmérséklet miatt ezek a példányok nagyobb környezeti nyomásnak voltak kitéve. A hideg miatt korlátozott volt a hozzáférhető növények mennyisége, ami befolyásolta az elsődleges fogyasztó növényevőket, és rajtuk keresztül a ragadozókat is. Az így fellépő táplálékhiány lassította a *Smilodon* kifejlődését, és lerontotta egészségi állapotát.

Mi a helyzet a kátránytavak többi ragadozójával? Például az óriásfarkas esetében is tapasztalható ilyen táplálkozási probléma? Bár hasonló állapcs vizsgálatokat egyelőre nem végeztek, de a kardfogúaknál és a farkasoknál általában ugyanolyanok a trendek. A 17–18,5 ezer éves kátránygödör adatai alapján erős szelektív nyomás nehezedett a farkasokra is, de azt túlélve nagyobbra növekedtek a 13–14 ezer éves minták idejére, kisebb fogkopás és kevesebb törés jellemezte őket a kihalás előtt. A tanulmány kiváló példát mutat arra, hogy a klíma és környezet megváltozása milyen morfológiai átalakulást okozhat egyes állatoknál. A kutatók reményei szerint eredményeik hozzájárulnak ahhoz is, hogy a jelenlegi környezeti változások miatt veszélyeztetett állatokat megvédjük a kihalástól.



(2016. szeptember 19.)

A REJTÉLYES SEJTOSZTÓDÁS NYOMÁBAN

A sejtosztódás folyamata tulajdonképpen az élet lényege: egy sejtből lesz kettő. E folyamat nélkül nincs növekedés, nincs sza-

porodás. Még a megtermékenyítést is ilyen osztódások előzik meg. Csak így jöhetnek létre az egyesülésre képes szülői sejtek, az ivarsejtek. Így működik ez a baktériumoknál és papucsállatkáknál is, és természetesen az emberi szervezetben is naponta számtalan sejtosztódás megy végbe. Am a folyamat sajnos nem mindig terv szerint zajlik. Ha az irányító mechanizmusban zavar keletkezik, akkor fordulhat elő, hogy a növekedés helyett burjánzás megy végbe, vagyis daganatok keletkeznek, aminek potenciálisan végzetes következményei lehetnek.

Ezért általában a genomban történt elváltozások felelősek. A genetikai kód károsodása a sejtanyagcsere zavarához vezet, ami egészen az ellenőrizetlen osztódásig fokozódhat. Előfordulhat, hogy mindezt csupán egyetlen gén felelős, többnyire azonban sokkal szerteágazóbb problémáról van szó. A ráksejtekben a mutációk túlnyomó többsége számos DNS-t érint. Ez többnyire azt jelenti, hogy a ráksejtek túl sok kromoszómával rendelkeznek, ami gyakorlatilag a genetikai információ túladagolása. A szakértők a hibás DNS-összetételt aneuploidianak (abnormális kromoszómaszám) nevezik.

A kromoszóma hiánya is idetartozik. Ebben az esetben a túladagolás ikertestvéréről van szó, mivel a sejtosztódás során mindkettő egyidejűleg jön létre. Amennyivel kevesebbet kap az egyik utódsejt, annyival több hiányzik a másikból. A kromoszómák helyes elosztását a természet egy elképesztő trükk segítségével biztosítja: az osztódási folyamatra való felkészülés során enzimek minden egyes DNS-szárlót másolatot készítenek. Az eredeti és a másolat egy úgynevezett centromerrel összekötve átmenetileg a sejt közepében marad.

A sejtosztódás következő szakaszaiban döntő szerepet játszik a rend. Kialakul az orsó, ami rugalmas rostok, a mikrotubulusok összetett szerkezete, és két irányító testecske, a centroszómák tartanak össze. Ezután kerül a mozgás a folyamatba. A mikrotubulusok elkezdik betolni a kromoszómákat a sejt közepébe. Hamarosan valamennyi genetikai egység felsorakozik a középvonal mentén. Néhány mikrotubulus időközben speciális fehérjeszerkezetek, a kinetokorok segítségével rákapcsolódik a kromoszómákra. A kinetokorok a további folyamatokban játszanak főszerepet.

A kinetokorok nem csupán egyfajta konnektorok a mikrotubulusok számára, hanem a megfelelő kapcsolódásban ellenőrző szerepet is betöltenek. Amikor a kromoszóma a sejt közepén felveszi a kívánt helyzetét, csak akkor köthető össze a centroszómán az orsóval. Aztán a sejtosztódás következő szakaszában a mikrotubulusok szétválasztják a kromoszómáparokat. Ha az egyik közülük nem pontosan közepén helyezkedik el, mindkét szál, mind az eredeti, mind a másolat egy utódsejtben köt ki, vagyis létrejön az aneuploidia. Ezért döntő jelentőségű a helyzetvezérlés a sikeres sejtosz-

tódáshoz. De hogyan működik az ellenőrzés? Kutatók ebben a folyamatban egy fehérjeképződményt, a terjedelmes nevű kromozómás utaskomplex-et, (angol rövidítése CPC) azonosították. A CPC négy különböző elemből áll, köztük az aurora-kináz-B enzimből.

Az ellenőrző funkció alapja egy egyszerű fizikai elv. Egy kromoszóma centromerével összekapcsolt mikrotubulus csak akkor van feszültség alatt, ha a DNS-egység pontosan a sejt közepén helyezkedik el. Ellenkező esetben a szál eléggé megereszkedik, petyhüdt lesz. A feszültségmérést a CPC végzi. Ha az eredmény nem megfelelő, akkor az aurora-kináz-B feloldja a kapcsolatot.

A teljes folyamat részletes működése még nem teljesen ismert. Korábbi feltételezésekkel szemben lehetséges például, hogy az aurora-kináz-B további CPC-komponens, a survivin nélkül is hatékony. A survivin a centromeren köti meg a CPC-t, pontosan ott, ahol a komplexum hozzáfér a kinetokorhoz. Az is lehetséges, hogy a CPC közvetlenül a kromozómán vagy a mikrotubulusokon köt ki és így teljesíti feladatát.

Christopher Campbell és bécsi kollégái a sejtosztódás ezen rejtélyét kutatják. Kutatásukhoz az egyszélű sütőélesztő szolgál modellként. Kutatásuknak van egy második célja is: ha kialakul egy rákos sejt, elindul egy különleges láncreakció. Kromozómáit ugyanis attól fogva mindig rosszul osztja el. Minden további sejtgeneráció ezzel újabb adag mutációt kap. Ez az állandó változás sajnos növeli a **daganat-utódsejtek** alkalmazkodóképességét és ezzel annak esélyét, hogy ellenállóvá váljanak a gyógyszerekkel szemben.

Felmerül a kérdés, hogy az ilyen aneuploid sejtek hogyan képesek a túlélésre. Mind a túl sok, mind a kevés genetikai anyag következménye kellene, hogy legyen az anyagcsere teljes felborulása. Hogyan történik ennek szabályozása, milyen ma még ismeretlen mechanizmus húzódik meg ez mögött? Campbell és csapata a következő néhány évben erre keresi a választ.



(2016. május 26.)

AZ IDŐJÁRÁS ÁLLÍTOTTA MEG A MONGOL INVÁZIÓT?

1241-ben a mongol hadak ázsiai és európai területek meghódítására indított hatalmas hadjáratuk közepén jártak és Batu serege 1242. elején egészen Magyarország nyugati feléig jutott el. Nem sokkal később azonban hirtelen visszavonták hadaikat, s ennek az okát a történészek máig nem tudták teljes körűen megmagyarázni. Most azonban egy új, részletes évgyűrű-vizsgálat alapján talán

pont kerül a rejtélyes történet végére. Az évgyűrűk azt sugallják, hogy az időjárás alakult olyan kedvezőtlenül, hogy a hadak az addigi legnyugatibb hódításukból hátrálni kényszerültek.

Sokáig a visszavonulás legvalószínűbb okának Ögödej nagykan 1241. decemberi halálát és az ezt követő kánválasztással járó zavaros politikai viszonyokat hitték (habár maga Batu nem tért vissza Mongóliába, hanem dél-országi területen maradt az Aranyhordával). Más elmélet szerint a várak és megerősített városok voltak túl nagy falatok a mongoloknak (miközben 1241-ben még villámgyorsan bevették a keleti országrész városait, erődtímeit), egy harmadik elmélet pedig azt feltételezte, hogy a legnyugatibb sztyeppterület, a magyar Alföld nem volt elég nagy ahhoz, hogy a hadakat ellássa legelővel. Az elméletek egyike sem vette figyelembe azonban a korabeli éghajlati adatokat. 1260-ban Hülegü perzsiai kán egy levelet küldött a francia királynak, IX. Lajosnak (a közös ellenség a mamelukok voltak a Szentföldön), amelyben leírta, hogy a környezeti-időjárás viszonyok miként befolyásolják a mongol hadvezetés döntéseit. Ez adta a kutatáshoz az egyik ötletet.

Ulf Büntgen paleoklimatológus (Svájci Szövetségi Kutatóintézet), és *Nicola Di Cosmo* történész (Princeton University) vizsgálataiból született tanulmány az 1242-es év közép-európai hőmérsékleti- és csapadékvizonyait, s ennek Batu hadaira kifejtett hatását tárja fel. A Kárpátok, az Osztrák-Alpok, valamint Magyarország keleti és nyugati területeiről származó fák évgyűrűi alapján összeállítottak egy, a mongol invázió éveinek időjárását részletesen bemutató adatsort. Az invázió idején 1238–41-ben az átlagosnál magasabb hőmérséklettel és kevesebb csapadékkal járó évek voltak, ezek kedveztek a hadak előrenyomulásának. 1242-re azonban a hőmérséklet hirtelen visszaesett és megnőtt a csapadék mennyisége. 1241–42 telén a Duna befagyott, így a mongolok átkelhetek a Dunántúlra, itt azonban hamar megtorpant a hadjárat, mivel a rendkívül csapadékos tavasz árvizek, belvizek tömegével egyszerűen lehetetlenné tette a lovas seregek közlekedését. A száraz sztyeppéhez szokott hadak egyszerre „vendégmarasztaló” sártenger közepén találták magukat s néhány város sikertelen ostromát követően tavasz végén dél-délkeleti irányban visszavonultak.

Di Cosmo szerint az évgyűrűk szolgáltatja, a korábbiaknál jóval részletesebb időjárás adatok még azokat a történészeket is meggyőzik, akik szkeptikusan tekintenek a történelmi események időjárás, éghajlati okaira.

Természetesen a korabeli időjárásról az európai források is megemlékeznek, azonban a részletes dendrokronológiai eredmények adnak csak valódi bizonyítékot

a rövid távú klímaingadozás és a mongol hadak visszavonulása közti helyi és időbeni egybeesésre. 1241-ben a hirtelen beköszöntő és igen zord tél a Duna befagyásával hiába segítette elő a hadak nyugati terjeszkedését (1242. január-február körül keltek át a Dunántúlra), a kora tavaszi hóolvadás és az ekkor érkező jelentős csapadék már meggátolta például az eleve mocsaras vidéken álló Székesfehérvár bevételét. Mindezek mellett a mongolok által elfoglalt területek részben elmenekült, részben pedig elpusztult lakossága sem volt képes kellő élelemmel ellátni a hadakat. Az 1241-ben elmaradt őszi betakarítás miatt nem voltak tartalékok, s a hideg, csapadékos tavasz 1242-ben a növények sarjadását is jelentősen visszafogta. Az időjárás anomália a Kárpát-medencét annak délkeleti része kivételével, Lengyelország déli vidékét, Szlovákia és Csehország majdnem teljes területét, és az Alpok keleti régióját érintette.

A korábbinál jóval csapadékosabb időszak 1242-től egészen 1246-ig tartott a környezetünkben (Európa távolabbi részein nem mutatkozott ilyen eltérés), mindemellett 1241 még az átlagnál melegebb éve után 1242 hirtelen lehűlése is egyértelmű az évgyűrűs adatokban. Az ország déli részén és a délkeletre fekvő területeken a nagy csapadék már nem mutatkozott meg, valószínűleg emiatt is választotta visszavonulási útválat a régiót Batu.

Ha a mongol sereg számára előnyös esztendő után hirtelen kedvezőtlenre fordult kárpát-medencei időjárás nem is az egyedüli ok lehetett, de mindenképpen fontos tényező volt a hadak visszavonulásában. A nagyobb léptékű, illetve hosszabb távú klímaingadozások történelmi hatásai mára már elfogadottak, de érdemes lehet az általánosságok mellett a helyi viszonyok alakulását is figyelembe venni egy-egy kevésbé értett esemény kapcsán. Az egyre bővülő paleoklimatológiai adatok ehhez sok segítséget nyújthatnak.



(2016. augusztus 12.)

ATOMHÁBORÚ VAGY NAPKITÖRÉS?

Amerikai hadtörténészek tanulmánya szerint a hidegháború legkeményebb időszakában, 1967. május 23-án kis híján súlyos katonai konfliktus robbant ki a Szovjetunió és az Egyesült Államok között. Az ok: egy szokatlanul erős napkitörés.

Aznap az USA mind a három, a ballisztikus rakéták közlekedésekor riasztást adó radarrendszere egyszerre lebénult. Az Alaszkába, Grönlandra és Nagy-Britanniába telepített radaroknak az Északi-sarkvidék felől közeledő szovjet rakétákat kellett figyelniük.

Az USA Légierőjénél feltételezték, hogy az oroszok szándékosan tették tönkre a radarokat, ezért elrendelték a nukleáris csapásmérő repülőgépek felszállását. A veszedelmes helyzet megelőzhető lett volna, ha időben rendelkezésre áll az űridőjárási előrejelzés.

Néhány nappal korábban már látható volt a Nap felszínén egy hatalmas napfoltcsoport, amelyben – amint azt sokfelé a világon több napfizikai obszervatóriumban is megfigyelték – május 23-án 18:40 világidőkor hatalmas napkitörés (fler) következett be, amelyből erős rádió- és röntgensugárzás is indult a Föld felé. Egy ilyen kitörés zavarokat okozhat a rádiótávközlésben, az elektromos hálózatban és a műholdak működésében. A heves napkitörések további következménye a sarki fény, amelyet

azokban a napokban még az Egyesült Államok déli részéről (Új-Mexikóból) is látni lehetett.

A helyzet végül szerencsére rendeződött. A Légierő cambridge-i kutatólaboratóriuma napmegfigyeléseiből és az időjárási adatokból a Légierő Időjárási Szolgálatánál – helyesen – arra következtettek, hogy a radarokat a szokatlanul erős naptevékenység, tehát az űridőjárási esemény bénította meg. Erről sikerült meggyőzniük az Észak-Amerikai Védelmi Parancsnokság (NORAD) és a Pentagon döntéshozóit, akik lefűjték a riadót.

Delores Knipp (Coloradói Egyetem), a Space Weather cikkének első szerzője szerint a következmények sokkal súlyosabbak lettek volna, ha az Egyesült Államok nem foglalkozott volna már az 1950-es évek óta a naptevékenység, az összefoglalóan űridőjá-

rásnak nevezett jelenségek folyamatos megfigyelésével. Az 1960-as évektől kezdve a Légierő Időjárási Szolgálatánál regisztrálták a napflereket és a koronális anyagkidobásokat, vagyis a legveszélyesebb űridőjárási eseményeket. Knipp és munkatársai szerint az 1967-es nagy napkitörés az elmúlt 80 év legjelentősebb ilyen eseménye volt. A történetek rávilágítanak az űridőjárási kutatások fontosságára, ami most, fél évszázaddal később, a rádiótávközlésre, mobiltelefonokra és műholdas navigációra épülő világunkban még nagyobb hangsúlyt kap.

A cikk alapjául szolgáló részletes tanulmányt a *Space Weather* című, referált folyóirat elfogadta közlésre. A tanulmány 11 szerzője közül ötven korábban a Légierőnél dolgoztak.

KÖNYVSZEMLE

HORVÁTH GÁBOR –FARKAS ALEXANDRA–KRISKA GYÖRGY:
A poláros fény környezetoptikai és biológiai vonatkozásai
(ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2016)

A látás mibenléte évezredek óta foglalkoztatta az embereket. Az ókori görögöktől több érdekes látásmélelet is maradt ránk. Ezek egyike az az érdekes elképzelés, hogy a szemből látósugarak indulnak ki. A fény mibenlétével, tulajdonságaival is először az ókori görögök foglalkoztak. A fénytörésre vonatkozó első mérések Ptolemaiosztól származnak, aki már a római korban élt, és a napközéppontú világkép leírása is tőle származik. Hosszú évszázadok múlva az iszlám tudósok foglalkoztak ismét behatóbban a fenti kérdésekkel, akik közül Alhazen a leghíresebb. Később a reneszánsz kor ismert tudósai az ő munkássága nyomán alakították tovább a fény mibenlétéről és tulajdonságairól való elképzeléseket. Newton korában vetődött fel az a kérdés, hogy a fény mi is lehet, részecskék sokasága, vagy inkább hullámjelenség, majd felfedezték a fény polarizációját, mellyel eljutottunk ismertetőnk könyvünk alaptémájához. A szerzők a poláros fény szerepét tették vizsgálatuk tárgyává a minket körülvevő világban. A könyvben leírtak egyik szép példáját mutatják napjaink interdiszciplináris kutatásainak. Ebben az esetben ez a fizika és a biológia kapcsolatában jelentkezik, melyhez környezeti vonatkozások is társulnak. A könyvben leírtak közel húsz év kutatómunkáját ölelik fel, több mint 500 hivatkozással, melyek között közel száz saját hivatkozás is található a témából a szerzők legkülönbözőbb helyeken megjelent korábbi cikkeire.

A könyv 5 fő fejezetből és egy 6. összefoglaló részből áll. Az *első* fejezetben a szerzők a fény polarizációját, annak mérési lehetőségeit

és az égbolt különböző polarizációs mintázatait ismertetik. Elméleti alapon következtettek az ismert három mintájára egy negyedik polarizálatlan pontra, melyet meg is határoztak „hőlégballoon vadászat” során.

A *második* rész a polarizációs fény érzékelésével foglalkozik. Ez emberi szem nem érzékeli a fény polarizációját, ellentétben több állat, például rovar igen. A szerzők bemutatják a rovarszem modelljét, majd kitérnek arra, hogy mire használhatják a rovarok a fény polarizációjának érzékelését, mint pl. vízfelület megtalálása. Majd több vizsgálatuk részleteit és eredményeit is bemutatják a témával kapcsolatban. A kísérleti leírások további érdekessége, hogy olyanokat is bemutatnak a szerzők, amelyek során nem teljesült a kiinduló hipotézis.

A *harmadik* fejezetben a fényszennyezés problémájára térnek ki a szerzők, mely fogalom az utóbbi években vált ismertté. Ezen belül is a poláros fényszennyezés témakörével foglalkoznak, melybe nemcsak a közvilágítás tartozik bele, hanem olyan mesterségesen előállított tárgyak sokasága, amikre első pillanatra nem is gondolna az ember. Ilyenek egyes sötét és csillogó felületek, mint például aszfalt utak, fekete autókrosszériák, fekete sírkövek, üveglapokkal díszített épületek, olajtavak, vízszintes napelemtáblák, fekete mezőgazdasági műanyag fóliák. Ugyanis az ezekről visszavert fény, a vízfelületekhez hasonló polározottsága következtében, képes a vízi rovarokat tömegesen magához vonzani, melyek rájuk rakják petéiket, azok pedig a kiszáradás miatt elpusztulnak. A szerzők saját kísérleteikre (számos terepi megfigyelés, különböző jellegű választásos tesztfelületek kihelyezése és az azokon csapódó élőlények összeszámlálása, polarizációs mérések) alapozva leírják azt is, hogy ezt miképp lehet elkülni.

A *negyedik* fejezetben arra mutatnak példát, hogy miként lehet a különböző használatokra veszélyes bögölyöket lineárisan poláros

fénnyel egy adott helyre csalogatni, melyek ez után valamilyen kémiai vagy mechanikai módszerrel elpusztíthatók.

Az *ötödik* fejezetben a szerzők arra tesznek kísérletet, hogy megpróbálják megmagyarázni, hogy miként voltak képesek a középkor elején a vikingek felhős időben is pontosan navigálni a tengeren. Ehhez érdekes modellkísérleteket is végeztek. Végül a *hatodik* záró rész az új ismereteknek egy sajátos összefoglalója.

A könyv külön érdekessége és érdeme a sok környezeti vonatkozású, az emberi kíváncsiságot kielégítő, de azért gyakorlatiorientált kutatás bemutatása azok elméleti háttérével együtt. Az egyes témákhoz tartozó kutatásai részletes leírásaival a szerzők egyben azt is bemutatják, hogy *miként működik a tudomány*, hogyan vetődnek fel a kutatási kérdések. Miként születnek meg a jelenségek magyarázatához a különböző elképzelések, hipotézisek, előzetes számítások, modellek, és ezeket miként lehet tesztelni, megtervezni, majd előállítani a vizsgálathoz a mérési berendezést, az adatgyűjtést megszervezni, a kapott adatokat kiértékelni, elemezni, majd a gyakorlatban alkalmazni. Sőt a kísérleti leírások némelyike, illetve azok egyszerűsített változata akár iskolai körülmények közt, vagy otthon el is végezhető, és a kapott eredmények összevethetőek a szerzők által kapottakkal. Ez is mutatja, hogy a tudomány ténylegesen emberi tevékenység, és mindenki által művelhető, legalább is azokban a témákban, amelyek nem igényelnek komolyabb berendezést, de persze kellő elméleti felkészültség után, mely e könyv lapjairól megszerezhető. Továbbá az is látható, hogy napjainkban is van mit kutatni, még közel sem ismerünk mindent, a tudomány nem lezárt rendszer. A téma sokszor az „utcanéver”, és érdemes érte lehajolni.

RADNÓTI KATALIN