

ELŐSZÓ

Newton természetfilozófiai írásaihoz

Nehezen kezdhetnénk a természetfilozófusok munkáit közreadó köteteinket alkalmasabb szerzővel, mint Isaac Newton. Már sorozatunk címét is úgy nyertük, hogy egyetlen szót elhagytunk a tudomány története szempontjából legfontosabb művének címéből – reméljük, megbocsátja merészségünket. E megoldásra azért volt lehetőségünk, mert bizonyára maga a nagy angol tudós is egyetértene velünk abban, hogy munkássága vitán felül és tipikusan reprezentálja a természettudományoknak a filozófiával, a világnézettel való kapcsolatát. Saját bevallása szerint is természetfilozófus volt; amit csinált, az – sorozatunk Bevezetésének terminológiáját használva – szubsztantivista természetontológia, amely azonban nem nélkülözi az ismeretelméleti gondolatokat sem. Ezen túlmenően alapvetően ő jeleníti meg a klasszikus mechanika kuhni értelemben vett paradigmáját (mondhatjuk úgy is, hogy az első igazi tudományt), amely teljesen összhangban van a mechanisztikus világképpel, és ezáltal lényegesen megerősíti azt.

Mielőtt rátérnénk természetfilozófiai jelentőségű írásaira, röviden vázoljuk Newton életének eseményeit és munkásságát¹, annak érdekében, hogy az olvasó el tudja helyezni itt közölt munkáit a korban és az életműben. Newton élete az angol polgári forradalom időszakára esik. Polgárháború, a polgári forradalom győzelme, a király kivégzése, a köztár-

óság létrehozása, Cromwell diktatúrája, a Stuart restauráció, a dicsőséges forradalom, Nagy-Britannia létrejötte - ez mind Newton élete során történt és csak Angliában. Ezekben az eseményekben a különböző angol (továbbá skót és ír) társadalmi rétegek, valamint részben ezek képviselőiben vallási irányzatok (katolikusok, protestánsok, illetve ezek egymással is harcban álló csoportjai: anglikánok, kálvinisták, presbiteriánusok, independensek, puritánok) csaptak össze. A felsoroltak azonban csak a látványos politikai események, de már ezek is arra indítottak tudáscsodológusokat, hogy a politikai élet e dinamikájának tulajdonítsák azt a tényt, hogy Newton fő eredménye éppen a dinamika megalapozása (persze a fizikusok erre azt mondják, hogy mivel a statika már Arkhimédésznel készen volt, csak ez lehetett a soron következő feladat). Ha azonban szélesebb körűen és mélyebben megvizsgáljuk a kor társadalmi folyamatait, további kapcsolatokat fedezhetjük fel a tudománnyal.

A XVI. században kezdődik az a korszak, amelyben az ipari tömegtermelés súlypontja - miközben a céheket felváltották a manufaktúrák - Németországról és Olaszországról áttevődik Hollandiára és Angliára. Ugyanakkor a kereskedelmi szállítások zöme sem a Földközi- és a Balti-tengeren, hanem már az óceánokon zajlik. A manufaktúrákban továbbfejlesztették a középkori találmányokat, de nem ez a legfontosabb a változásokban. A manufaktúrában a munkamegosztás miatt specializálódnak a munkafolyamatok és a hozzájuk szükséges szerszámok, ezáltal a termelékenység lényegesen megnő. Ehhez azonban a különböző műveleteket is szoro-

san össze kellett kapcsolni, mérni kellett, szabványokat bevezetni, növelni kellett a munkafegyelmet. A manufaktúra maga olyan volt, mint egy gépezet – például egy óramű –: benne az alkatrészek, emberi tevékenységek pontosan összekapcsolódó egységet alkottak. A finomabb szerszámokat, mérőeszközöket és mellettük a rendszerességet, fegyelmet, szervezettséget, az egyre pontosabb mérésre törekvést stb. vehették át a tudósok a manufaktúráktól. Amit kaptak, azt azután továbbfejlesztve vissza is adták: a fizika fejlődése előkészítette a manufaktúrák gépesített gyárákká alakulását, ami a XVIII. századra következett be.

Ami Angliát illeti – anélkül, hogy belemennénk történelmének részleteibe –, emlékeztetünk arra, hogy a XVI. század folyamán a „bekerítések” révén megtörténik az eredeti tőkefelhalmozás, annak minden következményével együtt. E következmények közül az említett politikai és vallási harcok sem hagyták érintetlenül a korszak angol tudósait, de voltak olyan területek is, amelyek közvetlenebb módon befolyásolták a tudományos kutatás irányait. Anglia kereskedelmi, gazdasági és ennek folytán katonai érdekei például a tengeri hajózás erőteljes fejlesztését kívánták meg a XVII. század közepén. A kereskedelmi és hadiflotta hajóinak száma és mérete példátlan módon növekedett. Az egyre több és egyre értékesebb rakományokkal rendelkező hajók navigációs (helymeghatározási), kikötési és egyéb problémái arra ösztönözték a tudósokat, hogy csillagászati, árapály stb. jelenségekkel foglalkozzanak. Hasonló feladatokat hozott a bányászat fejlődése is. Newton csak látszólag élt (időnként) elefántcsont-

toronyban, valójában tudóstársaival együtt pontosan tisztában volt a kora társadalma előtt álló gazdasági, közlekedési, vallási stb. problémákkal, és kutatásai egy részét ezek megoldásának szentelte.² Igen jellemző a 60-as évek végén a külföldi utazásra készülő Francis Aston cambridge-i kollégájához, a Királyi Társaság későbbi titkárához írt tanácsainak következő részlete:

„... tanulmányoznia kell a nemzetek politikáját, jólétét és állami berendezéseit, [...] meg kell ismernie a lakosság különböző csoportjaira, a kereskedelemre és az egyes árucikkekre nehezedő adót; [...] tanulmányoznia kell [...] az útjába kerülő erődítményeket, [...] figyelje meg a hajók mechanizmusát és kormányzókészülékét; [...] a természeti kincseket, különösen a bányákat, a bányászati módszereket...”³

A gyakorlati élet tehát egyáltalán nem állt távol a későbbi Királyi Társaság tagjaitól és elnökétől. A leírásokból úgy tűnik, pénzverdei munkáját Newton például ugyanolyan odaadással végezte, mint mondjuk optikai kísérleteit. A csillagászathoz, a mechanikához való ilyen hozzáállás révén járultak hozzá Newton és társai a XVIII. század mezőgazdasági és különösen ipari forradalmához.

Világnézeti, tudományos, gazdasági és talán hétköznapi szempontból is a korszak jelképi erejű mechanikai szerkezete az óra, amelyet Newton kollégái, a holland Huygens (ingaóra) és az angol Hooke (rugós óra) tökéletesített olyan mérőeszközzé, hogy az a tudományos kutatásban, a hajózásban és a hétköz-

napi életben egyaránt használhatóvá lett, miközben hasonlóként (óraművilág) a kor egész világszemléletét is jellemezni tudja.⁴

* * *

Kötetünk írásainak szerzője, Isaac Newton 1643. január 4-én született az angliai Woolsthorpe faluban (a térképen fellelhető legközelebbi város Grantham). A koraszülött, igen kis súlyú gyermek túléléséhez nem sok remény fűztek, ennek ellenére később – az idegösszeroppanásokat nem számítva – fizikailag nagyjából egészségesen, hosszú életet élt. Nem túl gazdag földműves apja még a fiú születése előtt elhunyt, ezért Newton gyermekkorát nagyrészt rokonoknál – elsősorban nagyanyjánál – töltötte. A pszichológusok az idősebb Newton jellemének bizonyos vonásait és a nőkhöz való viszonyát (illetve annak hiányát) előszeretettel tulajdonítják annak, hogy anyja ugyan a látótávban lévő szomszéd faluba ment újra férjhez, mégis nagyon ritkán találkozott fiával. Newton tanulmányait faluja iskolájában kezdte, majd Granthamben folytatta. Eleinte nem volt jó tanuló, később (1653-ban) azonban – saját bevallása szerint egy iskolatársával való verekedés után, pusztán azért, hogy (miután társának fejét a falba verte) minden más területen is legyőzze – éltanulóvá vált. Szabadidejében mechanikai modelleket épített (például vízórát, vízikereket vagy a környékbéli új malom makettjét), és a gyógyszerész szállásadója által biztosított kis vegyi laboratóriumában kísérletezgetett. Granthamból – időközben másodszor is megözvegyült – anyja visszahívja, hogy segítsen a gazdálkodásban. Mint-

hogyan azonban a kamasz fiú nem annyira a mezőgazdaság, mint inkább a matematikai és tudományos könyvek iránt tanúsít érdeklődést, az anyai nagybácsi és a granthami iskolaigazgató közbenjárására anyja beleegyezik tanulmányainak folytatásába. Így kerül aztán 1661-ben a Cambridge-i Egyetem Szentháromság Kollégiumába (Trinity College) szolgadiákként (azaz tandíját munkával fizette meg). Eleinte itt sem hívja fel magára a figyelmet, később azonban felfedezi zsenialitását. 1665-ben szerzi meg a baccalaureatusi fokozatot, 1668-ban pedig magiszter lesz, ekkor már a kollégium tantestületének tagja. Egy évre rá tanára, Isaac Barrow átadja neki a Lucas professzorátust, ettől kezdve két évtizeden át (nem túl népszerű) matematikai és optikai előadásokat tart. Tudományos eredményeinek elismeréseként 1672-től a londoni Királyi Társaság (Royal Society) tagja. Az 1680-as évek végén az egyetem parlamenti képviselőjeként Londonba költözik, ettől kezdve egyre kevesebbet tud kutatással és tanítással foglalkozni. Később le is mond cambridge-i állásáról, annál is inkább, mert kinevezik az Állami Pénzverde őrének, majd igazgatójának. 1703-tól haláláig a Királyi Társaság elnöke. 1705-ben (Stuart) Anna királynő nemesi rangra emeli, legfőképpen a Pénzverdében végzett következetes és eredményes tevékenysége, a pénzhamisítás, valamint a korrupció elleni harca jutalmául. Pénzverdei munkáját még két évtizedig folytatja, miközben vezeti a Királyi Társaságot, és korábbi cambridge-i munkáinak kiadásával, illetve újrakiadásával foglalkozik. 1727. március 31-én hunyt el.

* * *

Newton tudományos munkássága 1664-ben kezdődik az egyetemen. A görbék érintője és a görbék által határolt területek kiszámításának az ókori görögök óta létező kérdésével foglalkozik. Az egyre kisebb felbontásokat végtelen sorok segítségével közelíti meg. Eredményeit *Elmélkedés a görbék kvadraturájáról* címmel 1665-ben leírja, de a mű csak 1704-ben jelenik meg (akkor már kibővített formában). Ugyancsak 1665-re tehető a binomiális tétel felfedezése is.

Ezután – első egyetemi fokozatának elnyerésekor – kitör a pestisjárvány, az egyetemet majdnem két évre bezárják, ebben az időszakban tehát teljes elszigeteltségben dolgozik tovább szülőfalujában. Folytatja megkezdett matematikai vizsgálódásait, amelyek közvetlenül elvezetnek a ma infinitezimális számításnak nevezett témakör, vagyis a végtelenül kicsiny változó mennyiségekkel való műveletek, a határértékek számításának viszonylag teljes feldolgozásához. A változó alapmennyiségeket Newton *fluensek*nek hívja, a változás változását, azaz a változás sebességét pedig *fluxiónak*. A fő példa a mozgó test által megtett út és a test sebessége. A feladat a *fluens*ből kiszámítani a *fluxiót* – a ma differenciálásnak nevezett műveletet 1665-ben „fedez fel” –, illetve a *fluxióból* a *fluenset* – ez az integrálás, Newton 1666-ban jön rá erre az eljárásra. Pár évvel később (1669–1671) néhány tanítványának és barátjának beszél munkájáról, sőt *A fluxiók és a végtelen sorok módszere* címmel le is írja eredményeit, de e munka csak halála után (1736-ban) jelenik meg.

A matematikai problémák mögött fizikai kérdések, elsősorban a mechanikai- és a bolygómozgás jelenségei rejtőznek. Ezzel kapcsolatos eredményei

- például a tömeg és erő fogalmának, a dinamika második és harmadik törvényének, valamint a gravitációs törvénynek a megfogalmazása - is ekkor születnek, de ezek lényegében egyáltalán nem kapnak nyilvánosságot, csak majd húsz évvel később foglalkozik újra e kérdésekkel és publikálja őket.

Ezekben a „csodás években” Newton jegyzetfüzetében számos természetfilozófiai problémával is foglalkozott, amelyeket *Filozófiai kérdések* címmel foglaltak össze. Ebben elmélkedik például Isten természetet tervező munkájáról, az anyag oszthatóságáról (korpuszkularizmus), a vákuumról, a helyről és időről, a természetes- és kényszermozgásokról, az égitestekről, a testek tulajdonságairól, a keletkezésről és elmúlásról, a négy elemről, az elektromos és mágneses jelenségekről, az örökmozgókról, a növényekről és ásványokról, az emlékezetéről, a képzeletről, a lélekről, az álmokról, az érzékelésről (különösen a látás fiziológiájáról).

Valószínűleg a legutolsónak említett témakör, Barrow hatása és a távcsőkészítés vágya vezette arra, hogy elméleti-matematikai vizsgálódásai mellett otthonában optikai kísérleteket is folytasson. Ezek közül talán a leghíresebb, hogy 1666-ban prizma segítségével a fehér fényt színekre bontotta fel. A színhibák miatt lehetetlennek tartotta jó minőségű lencsés távcsövek építését, ezért 1668-ban már ismét Cambridge-ben tükrös távcsövet készített (Newton-távcső). Amikor 1672-ben ennek javított változatát beküldte a Királyi Társaságnak, elismerték fizikusnak és tag vált belőle, anélkül hogy megjelent volna Londonban. A Társaságban 1673-ban olvasták fel a kísérletei összefoglalásul született *A fény és a színek új elmélete* című fel-

jegyzését. Hooke vitatta, hogy a fehér fény valóban színes sugarak összege lenne. Newton 1675-ben fedezi fel a róla elnevezett színes gyűrűket, amelyeket ma kifejezetten a hulláminterferenciának tulajdonítunk, ő azonban korpuszkuláris magyarázatot adott rá. A korpuszkuláris fényelméletet a XVIII. században részben Newton tekintélye tartotta fenn. Hooke-kal való vitájuk miatt azonban Newton abbahagyta optikai kutatásait, nem foglalkozott velük egészen a Hooke halála után megjelent *Optika* kiadásáig.

Newton 1668 körül kezdett alkímiai kísérleteket végezni, amelynek fő problémája iránti érdeklődését a már idézett Astonnak írt levele is tükrözi:

„Tudja meg, hogy ... nincs-e Magyarországon, Szlovákiában, Csehországban, Eylau város környékén vagy a csehországi hegyekben, Szilézia közelében olyan folyó, amelynek vize aranyat tartalmaz; lehetséges, hogy az arany fel van oldva valamely, a királyvízhez (aqua regis) hasonló maró vízben s az oldatot a bányákon keresztül-folyó patak magával sodorja. Létezik-e olyan titkos vagy nyíltan űzött eljárás mód, mely abban áll, hogy higanyt tesznek ezekbe a folyókba, s ott hagyják mindaddig, míg arannyal telítődik, azután pedig a higanyt ólommal kezelik, s így az arany megtisztul.”⁵

Csaknem három évtizednyi – aranycsinálásra törekvő – alkímiai munkásságát több ezer oldal kísérleti leírás, alkímiai gondolat, más alkímisták műveiből készült kivonat őrzi Newton kézírásával.

Az 1670-es években Newton élénk érdeklődést mu-

tat teológiai kérdések iránt. Régi és kortárs szerzők munkáit olvasva arra a meggyőződésre jut, hogy a kereszténység Jézus eredeti tanításaiból származik, lényegében ariánus lesz, s ezzel ellentétbe kerül a Szentháromság-tannal, az anglikán egyházzal.⁶ A konfliktus feloldásaként II. Károly rendeletet ad ki, amely szerint a Lucas-professzorok (máig érvényesen) nem kötelesek misézni (ami pedig eredetileg feladatuk volt).

1684-ben látogatást tesz nála a csillagász E. Halley, és ennek következményeként írja meg *A természetfilozófia matematikai alapjai* című korszakalkotó munkáját, amely 1687-ben jelent meg először. A mű javított második (1709) és harmadik (1726) kiadása is részben Newton felügyelete alatt készült.

Életének második felében már lényegében nem folytat új természettudományi kutatásokat. Adminisztratív jellegű feladatai, korábbi írásainak sajtó alá rendezése és élénk prioritásvitái⁷ mellett utolsó három évtizedében – talán kedvtelésként is – kronológiai vizsgálatokat végez. Arra a következtetésre jut, hogy az egyiptomiak, az asszírok, a babilóniaiak, a görögök és a latinok mind jelentősen eltúlozták történelmük időtartamát. Így például Trója elfoglalását Kr. e. 1183 helyett 965-re teszi, a spártai királyváltások időtartamát 33 helyett 20 évben határozza meg stb. Állításai alátámasztására nem csupán az ókori szerzőket használja fel érvként, hanem Hipparkhosztól kezdve végigszámolja a napéjegyenlőség időpontjának változásait is. Célja az Ótestamentum kronológiájához való közelítés. *Az ókori birodalmak kronológiájának módosítása* című műve egy évvel halála után jelenik meg. Ugyancsak halála után (1733-ban) jelent meg *Megjegyzések*

Dániel próféciáihoz és Szent János jelenéseire című munkája, aminek témája már 12 éves kora óta izgatta.⁸

Newton munkássága egyedülállóan fontos szerepet játszott a tudomány történetében: azt szokták mondani, hogy a klasszikus fizika megalapozásával ő teremtette meg a modern természettudományt.⁹ Olyan kísérletező fizikus volt, aki egyben a legnagyobb elméleti magasságokba is fel tudott emelkedni, miközben kialakította a tudományos kutatás hosszú távra érvényesnek tekintett módszerét. Általánosította és továbbfejlesztette az előtte elért eredményeket. A fizika csaknem az egész XVIII–XIX. században Newton programjának hatása alatt állt.¹⁰

* * *

A newtoni munkát már a kortársak forradalminak tartották (sőt, a tudományos forradalom fogalma pontosan ebben az időben keletkezett¹¹). Hogy pontosan honnan jön és mit is jelent a newtoni tudományos forradalom, az azonban ma is tudománytörténeti/tudományfilozófiai viták tárgya. Talán a leghagyományosabb és legszélesebbkörűen elfogadott nézet szerint Newton legfontosabb eredménye a szintézis. Elméletében egyesítette az elődök, tehát Galilei, Huygens és mások mechanikai mozgásokra vonatkozó részeredményeit. Ráadásul a földi mozgások e törvényszerűségeit egyesítette a Kopernikusz–Galilei–Tycho de Brahe–Kepler vonalról származó – a bolygómozgásokra vonatkozó – eredményekkel. Ezáltal egyesítette a földi és égi fizikát. Az ilyen felfogás természetesen szükségszerűvé teszi az előzmények – így az említett szerzők munkásságának – történeti áttekinté-

sét, a részeredmények rögzítését, magának Newtonnak a konkrét fizikai és csillagászati problémák megoldásában elért eredményeit, és végül a szintetikus elmélet leírását.¹² A halmozódó tudás e szemléletmód szerint szinte szükségszerűen vezet el az új, át-fogó elmélethez.

Egy másik lehetséges nézet szerint Newton újdonsága elsősorban módszerében – vagy I. B. Cohen¹³ kifejezésével: stílusában – lelhető fel. E felfogás hívei szerint ez a módszer korábban ismeretlen volt, és nagyobb hatást gyakorolt a kortársakra és követőkre, mint Newton elméletei. Lényege a matematika alkalmazása a fizikára, amely a következőképpen történik: Kiindulunk a fizikai létezők egy feltételezett halmazából és a természetben találhatóaknál egyszerűbb fizikai feltételekből, amelyek áttehetők a matematika területére. Erre a rendszerre alkalmazva a matematikai technikát, kapunk valamilyen eredményeket, amelyeket összehasonlítunk a megfigyelési és kísérleti adatokkal, az empirikus törvényekkel és szabályokkal. Ez rendszerint módosításokra vezet a kiinduló feltételekre vonatkozóan. Innen a folyamat ismétlődik, miközben újabb létezőket és feltételeket adunk hozzá az eredeti problémához, s ezáltal új következtetésekre jutunk. Növekszik a rendszerben résztvevők és fizikai tulajdonságaik száma. Az egyre kevésbé egyszerű és idealizált rendszer végül meg-egyezni látszik a valósággal. Körülbelül így rekonstruálható az a módszer, amely forradalminak bizonyult a newtoni életműben.

Egy harmadik nézet abból indul ki, hogy a tudomány fejlődése, eseményei külső (társadalmi, gazdasági, intézményi) tényezők következménye és ennek

megfelelően azt igyekszik bizonyítani, hogy Newton munkássága egyenesen következik a kor körülményeiből. Ezt az 1930-as évek elején megjelenő – és bizonyos értelemben még ma is létező – ún. *externalista*¹⁴ tudománytörténeti irányzatot a szovjet marxista, B. Heszszen *Newton Principiájának gazdasági és társadalmi gyökerei*¹⁵ című előadása provokálta ki. E felfogásnak megfelelően a szóbanforgó tudományos forradalmat a kor társadalmi változásából kell levezetni, a forradalom jellege megfelel az új társadalmi berendezkedés jellegének, a forradalom győzelme pedig szintén annak köszönhető, hogy a társadalom már készen áll annak befogadására. A tudomány- és tudásszociológiai, illetve szociálkonstruktivista irányzatok feladatuknak ezen összefüggések kidolgozását tekintik.¹⁶

Engedtessek meg, hogy – nem kétségbevonva a fenti három értelmezés lehetőségét, tehát nem azokkal szemben, hanem inkább azok mellett – egy természetfilozófiai könyvben mi pedig azt állítsuk: a forradalom lényege éppen a természetfilozófiában található meg. Ebből a szempontból két alapvető döntés születik a newtoni természetfilozófiában. Az első az arisztotelészi természetfilozófia elvetése, és a mechanikai természetkép elfogadtatása. Ez sem egyetlen csapásra következett be. Kopernikusz még tisztán arisztoteléanus alapon bírálja a ptolemaioszi rendszert, de Tycho de Brahe megfigyelései már cáfolják az égi világ változatlanságát, és kompromisszumosnak szánt modellje is inkább megkérdőjelezi az arisztotelészi kép egyedül lehetséges voltát, mintsem támogatná azt Kopernikusz ellenében. Kepler pedig úgy éri el eredményeit, hogy Arisztotelész helyett

Platónra és a neoplatonista gondolatokra támaszkodik. Bruno teológiai és természetfilozófiai gondolatai – ezek motivációival most nem foglalkozunk – radikálisan szakítanak a középkori világkép központi elemeivel. Más oldalról ugyanez mondható el Francis Bacon módszertani meggondolásairól, amelyek egyrészt támadták – többek között – az arisztotelészi dogmákat, másrészt bizonyos pozitív javaslatokat is tartalmaztak. Galilei távcsöves megfigyelései szintén Arisztotelész ellen szólnak, és az olasz tudós sok tekintetben tudatosan tagadja Arisztotelész egyes tanításait (másokat viszont megtart). Az ő tevékenységének azonban van egy másik – nem kevésbé fontos – oldala is, ez pedig a mechanikai problémák tanulmányozása, ahol világosan módszertanilag is szembekerül az ókori filozófussal, amennyiben többé nem a „miért” kérdésekre keresi a választ, hanem a „hogyan” leírására törekszik, bevonva ebbe a műveletbe a matematikát is. Descartes pedig szintén részese volt az új természetfilozófia kialakításának, ő volt az, aki – minden később tévesnek minősített elképzelése ellenére – az alak és mozgás szerinti leírás megkövetelésével (az úgynevezett kartéziánus fizikával) kitűzte a mechanisztikus programot, amit aztán Newton teljesít be. Az arisztotelészi természetfilozófiával való végső szakítás ugyanis Newton nevéhez fűződik, aki megszünteti például a földi és égi világ között különbséget, és nem alkalmaz teleológiai érvelést (legalábbis a *Principia* fizikai jellegű alapelveinél). Maga a mechanikai kép sem egyedül Newton alkotása, mondhatjuk hogy ebben a korban már nagyon „benne volt a levegőben” (emlékezzünk csak mondjuk Gassendi, Descartes, Hobbes, Galilei és

Boyle tevékenységére), előzményei pedig egészen Démokritoszig, Epikuroszig és Lucretius-ig nyúlnak vissza. Természetfilozófiai-fizikai rendszerré azonban Newton szervezte. E szerint a világ egymással kölcsönhatásban lévő (egymással ütköző, egymást taszító vagy vonzó) testekből áll, amelyek a közép-pontjaik között ható – matematikailag leírható – erők hatására mozognak. A legtöbb tudós elképzelése szerint a testek nagyon kicsi – és ezáltal láthatatlan – korpuszkulákból állnak. Sokak szerint ezek a részecskék tovább már nem oszthatók (atomisták). E testek csupán néhány (különböző szerzőknél különböző) alapvető tulajdonsággal rendelkeznek, a többi észlelt tulajdonság csak az észlelővel való kölcsönhatásban lép fel. E kép newtoni formája soha nem látott mennyiségű jelenség leírását, magyarázatát és előrejelzését tette lehetővé. Ezért vált viszonylag rövid idő alatt általánosan elfogadottá, beleértve a megfigyelések és a kísérletek egyetemes használatát a tudományban.

Ezzel a mechanikai képpel szoros összefüggésben született másik döntés a tudományt (az oksági leírást) elválasztja a természet hermetikus (okkult, mágikus, alkimista – vagyis nem az okokon, hanem a jeleken alapuló) megközelítésétől. Ezt a döntést azonban nem Newton hozta meg, hiszen ő a maga korában talán a legjobban ismerte az alkimista irodalmat, és egyike volt a legtöbb kísérletet elvégző alkimistáknak. Évtizedekig – a mechanikát érintő munkássága után is – intenzíven foglalkozott alkímiával, kereste a bölcsek követ. Úgy gondolta például, hogy az arany tisztítására használt antimon (aminek tiszta szemcséit – a latin kiskirály szóból –

regulusznak hívják) összefüggésben van az Oroszlán csillagképben található Regulus csillaggal. Mások nyomán azt is hitte, hogy az antimonban van egy láthatatlan szellem, amely „magnetikusan” kivonja a fémekből a bölcsek higanyát (ez a higanynak egy olyan hipotetikus változata, amelyben az összes fém – köztük az arany is – oldódna, és amely ezáltal közel hozná a bölcsek kövének előállítását).¹⁷ Úgy tűnik, az ilyen típusú gondolatokat is be tudta illeszteni természetfilozófiájába, oly módon, hogy az anyagi erők mellett feltételezte nem-anyagi erők létét is. A *Principia* első könyvében azonban ezek az erők nem szerepelnek, sőt az előszó első (a magyar fordításban első két) mondatában kifejezetten arról ír, hogy kortársaihoz hasonlóan ő is mellőzi a rejtett (valójában okkult) tulajdonságokra vonatkozó tanokat a matematika alkalmazásának érdekében.¹⁸ Így ezt a másik döntést a *Principiára* és az abban ismertett természetfilozófiai módszer sikerére támaszkodva az a tudós közösség hozta meg, amely eredményesen alkalmazta az okságot a természeti jelenségek leírásában.

A Newton által tökéletesített mechanikai világgép hosszú ideig uralkodott a tudományban. A tökéletesítés abban állt, hogy a korban általános természetfilozófiai felfogáshoz ő hozzáadta a róla elnevezett törvényeket, amelyekről úgy gondolták, hogy igazak egy abszolút vonatkoztatási rendszerben, amelyben minden test egyértelműen meghatározott hellyel, tömeggel és sebességgel rendelkezik. A testek determinisztikusan mozognak, minden jövőbeli (vagy múltbeli) állapotuk levezethető az adott pillanatra jellemző helyzetekből, mozgásokból és erőkből. E fel-

fogás végső kiteljesítése lesz majd a laplace-i világkép, amelyben a meghatározottság totális, és Istennek semmi helye sincs a világban. Newton a *Principia* előszavában megfogalmazott szándékainak pontosan megfelelték azok a törekvések, amelyek ugyanezt a szemléletet kívánták alkalmazni a csillagászatban és a mechanikán túl, az összes fizikai (elektromosság, mágnesesség, fény, hő), kémiai stb. jelenségcsoportra.

* * *

Amikor a kötetünkben szereplő írásokat összeválogattuk¹⁹, akkor kénytelenek voltunk nagyrészt a magyarul már megjelent Newton-írások részleteire hagyatkozni.²⁰ Ezen túlmenően azonban mindenképpen szerettünk volna legalább néhány olyan rövid szöveget bemutatni a magyar olvasóknak, amelyek – bár természetfilozófiai szempontból igen lényegesek – eddig nem jelentek meg magyarul. Köszönet értük Fehér Mártának, aki korábbi Newton-fordításai után vállalkozott ezeknek a szövegrészleteknek a lefordítására is.

Gyűjteményünk elejére a természetfilozófia módszerével foglalkozó írásokat válogattunk. Az első mindjárt a híres *Gondolkodási szabályok a filozófiában*, amelyet többször idéztek már a magyar nyelvű irodalomban is, de önállóan, teljes terjedelmében itt és most jelenik meg először Fehér Márta kitűnő fordításában. Az első két szabály hipotézisként szerepel a *Principia* első kiadása III. könyvének elején, és lényegében változatlanul kerül át a második kiadásba, de már „Regulae Philosophandi”-ként. A második kiadásban szereplő III. szabály viszont egyáltalán

nem egyezik meg az első kiadás azonos számozású hipotézisével. A IV. szabály pedig csak a harmadik kiadásban jelenik meg először.²¹

Az I-II. szabályok első ránézésre a népszerűen Occam borotvájának nevezett elv különböző alakjai, valójában inkább Arisztotelészt követik²², aki nagyjából a következőképpen fogalmazott: „hiábavaló több föltételezést alkalmazni, ha kevesebbrel is megmagyarázható valami”. A II. szabályban adott forma azonban alkalmas a közvetlen alkalmazásra a newtoni műben, nevezetesen ez teszi lehetővé, hogy összehozza nem csupán az „európai és amerikai kövek zuhanását”, hanem a szabadesést és a bolygómozgást is, azaz hogy végrehajtsa a földi és égi fizika már emlegetett egyesítését, szintézisét.

A legfontosabb valószínűleg a harmadik szabály, amely több gondolatot is tartalmaz. Egyrészt hozzászól a mechanikai természetfelfogás azon problémájához, hogy melyek a testek valódi tulajdonságai, amelyre az összes többi (látszólagos) tulajdonságuk redukálható, és amelyek viszont nem redukálhatók semmi másra. Már Galilei azt mondja, hogy az ízek, a szagok, a színek csupán nevek, és nem az objektumok tulajdonságai. Szerinte a határoltság, az alak, a viszonylagos méret, a térben és időben elfoglalt hely, a mozgási vagy nyugalmi állapot, a más testekkel való érintkezés (vagy annak hiánya) és a számosság a testek valódi tulajdonságai. A többi említett tulajdonságot, vagy például a hőt testünknek az anyag alkotórészeivel való kölcsönhatása okozza. Mint ismeretes, Descartes egyedül a kiterjedést (alakot, formát) – és bizonyos értelemben a mozgást – ismeri el a testek alapvető természeteként, még a súlyt és a

keménységet sem, nem beszélve az olyan tulajdonságokról, mint a szín stb. Szerinte minden ilyesmit a testek részecskéinek mozgásaiból lehet levezetni. Locke a szilárdságot, a kiterjedést, a formát, a mozgást vagy nyugalmat és a számosságot sorolta ide. Newton – amint ezt e szabályban olvashatjuk – a kiterjedést, a keménységet, az áthatolhatatlanságot, a mozgékonyságot és a tehetetlenséget jelölte meg valódi tulajdonságokként. Természetes módon merülhet fel a kérdés: vajon vannak-e kritériumok a valódi tulajdonságok elkülönítésére? Descartes szerint az érzékelt tulajdonságok megváltozhatnak – például a viaszéi, ha melegre tesszük –, csak azok lehetnek valódiak, amelyek változatlanok maradnak. Newton e szabályban a tapasztalatot tartja az egyetlen lehetséges kritériumnak, és ezt minősíthetjük az ebben a szabályban megfogalmazott második fontos gondolatának. Mivel a *Principia* első kiadásában a szabály nem szerepel, valószínűsíthető hogy Locke *Értekezés az emberi értelemről* című művének olvasása nyomán fogalmazódott meg²³, de a tapasztalati kritérium mellett Newton még Locke-nál is egyértelműbben foglal állást. Harmadrészt – az indukciós IV. szabállyal együtt – ez a szabály teszi lehetővé Newton számára, hogy ugyan a tapasztalatra alapozva, de mégis túllépjen azon; a természet feltételezett analogikusságára támaszkodva analogikus következtetéseket vonjon le a tapasztalat által hozzáférhetetlen területek (például a korpuszkulák világa) számára.²⁴ E szabályok sokáig hivatkozási alapul szolgáltak a természettudósok számára például arra, hogy ne foglalkozzanak alternatív elméleti konstrukciókkal, hanem mindaddig megtartsák az először felmerült

elméletet, ameddig annak komoly problémái nem támadnak.

A természetfilozófia módszeréről szóló szövegek sorában három olyan – magyarul először megjelenő, szintén Fehér Márta által fordított – levél(részlet) következik, amelyekben Newton a hipotézis-problémát tárgyalja. Talán a legtöbbit idézett (és ennek megfelelően a leginkább félreértett) Newton-szöveg a „Hypotheses non fingo”, azaz „Hipotéziseket nem találok ki”. Ez a három szó valójában a *Principia* második kiadásának III. könyve végéhez hozzáírt általános megjegyzésekben (Scholium Generale) szerepel a következő összefüggésben: „Valóban, még nem voltam képes levezetni a jelenségekből a gravitáció eme tulajdonságainak okát, hipotéziseket pedig nem találok ki.” Majd ezt követi a válogatásunkban II. számú – Cotes-nak írt – levél végén lévő latin magyarázó szöveg, amelynek többféle kéziratos változatát is fellelték²⁵. Véleményünk szerint Newtonnak ez a felfogása nagyjából megfelel Galileinek a következő idézetben olvasható ezirányú nézetével:

„Azt hiszem, nem ez a megfelelő időpont, hogy belebonyolódjunk annak vizsgálatába, mi okozza a természetes mozgások gyorsulását; egyébként az egyes filozófusok véleménye eltérő: vannak, akik arra vezetik vissza, hogy egyre közeledik a test a középponthoz; mások arra, hogy a közegnek egyre kevesebb része marad, amit szét kell választani; ismét mások a közeg bizonyos feszültségének tulajdonítják, szerintük ugyanis amikor a közeg a mozgó tárgy hátsó része mögött újra egyesül, állandóan nyomást gyakorol

rá; ezeket a fantazmagóriákat meg a többit megvizsgálhatnánk ugyan, de semmi különösebb hasznot nem remélhetünk tőlük. Szerzőnk egyelőre megelégszik annyival, hogy nyomon kövesse és kiderítse az olyan gyorsuló mozgás néhány tulajdonságát – függetlenül attól, mi a gyorsulás közvetlen oka...”²⁶

Vagyis Galilei és Newton – szemben Arisztotelésszel – nem a végső *miért*ek problémáját kívánták megoldani, hanem a *hogyan* kérdésre szerettek volna válaszolni. Természetesen a magyarázat más szintjén állnak: míg Galilei számára a gyorsulás oka már csak spekulatív módon volt megközelíthető, addig Newton ismerte ezt az okot, azaz a gravitációt, és számára már ennek az oknak az oka nem volt feltárható (a Newton idézetből kivehetően – esetleg csak ideiglenesen). A hipotézisekre vonatkozó newtoni szöveghelyek közlésével az a célunk, hogy az olvasó árnyaltabb képet alakíthasson ki ebben a témakörben.

Az Oldenburghoz, a Királyi Társaság akkori titkárához írt első idézett levélrészlet²⁷ sokkal korábbi eredetű, mint az előbbi híres mondat. A levél válaszként íródott *A fény és a színek elmélete* című munkát ért kritikára, amely G. Pardiestől származott, és amely Newton egyes megfigyeléseit hipotézisnek nevezte. Ezért jegyzi meg szerzőnk, hogy ő mindig a kísérletekből (tapasztalatokból) indul ki, nem pedig hipotézisekből. A munka további menetében már nem zárkózik el a feltevésektől, azonban ezt a két szintet – itt és további írásaiban is – élesen elhatárolja egymástól. Erre időnként a további szövegek bevezetésekor is fel fogjuk hívni a figyelmet. Szó nincs

azonban arról, hogy Newton ne használt volna hipotéziseket, sőt az éterről szóló elméletét főleg ezekre építette. Newton fényre vonatkozó kettős hozzáállásával kapcsolatban például Vavilov megállapítja:

„... a mennyiségi kísérleteket és a logikát a hipotetikus feltevések elképzelhető legkisebb önkényével egyesíti.

Egyébként Newton fénytani műveiben egyidejűleg a hipotézisek ragyogó mesterének bizonyult, aki ebben a művészetben kétségkívül legtöbb kortársát túlszárnyalta.”²⁸

A R. Cotes-hez, a *Principia* második kiadásának szerkesztőjéhez intézett másodikként és harmadikként közölt levelek²⁹ viszont talán még világosabban fogalmazták meg, hogy mi nem lehet hipotézis kérdése. Még az alapelveket is „a jelenségekből kell levezetni és indukciónal általánosítani”. Külön érdekesség, hogy a március 28-i levél középső kis bekezdésében Istent is ebbe a körbe vonja (a kísérleti filozófia területére).

A módszerről szóló szövegek közül az utolsó – Oldenburgnak küldött korai levélrészlet már nem a hipotézisek problémáját tárgyalja, hanem egyértelmű állásfoglalás a kísérleti módszer mellett. Ez is először jelenik meg magyarul Fehér Márta fordításában.

Kötetünk második részében a newtoni természetfilozófia alapelveit bemutató *Principiának* a Heinrich-féle kiadásban megjelent szövegét adjuk újra közre. Akárcsak a többi magyarul már korábban megjelent szöveg esetében, lényegében átvettük Heinrich jegy-

zetapparátusát is, legfeljebb néhány helyen töröltük a ma már feleslegesnek tűnő megjegyzéseket.

Newton mechanikában és égimechanikában elért eredményeinek közzétételét jelentős részben E. Halleynek köszönhetjük. Ő fordult az üstökösökkel, az ellipszispályákkal és a gravitációval kapcsolatos – előzetesen Hooke-kal is megtárgyalt – problémáival Newtonhoz. A legfőbb ilyen probléma az volt, hogy bár Hooke is feltételezte, az égitestek között távolságuk négyzetével fordítottan arányos hatás van, sőt maga Halley ezt Kepler harmadik törvényéből következtette ki, ennek ellenére Kepler első törvényét, vagyis hogy a bolygók ellipszispályán keringenek, nem tudták levezetni. Newton elmondta korábbi eredményeit, de nem találta meg a régi bizonyításait, ezért a csillagász biztatására nekilátott újra leírni gondolatait. Így most már nem kellett a kutatás logikáját követnie, hanem választhatta a kifejtés szempontjából optimális utat.

A természetfilozófia matematikai alapjai (Principia) 1687-ben jelent meg.³⁰ Mint a címből láthatjuk, a szerző a művet természetfilozófiai jellegűnek tartja. Ma már legtöbb részét inkább fizikának véljük, de tagadhatatlanul tartalmaz még most is természetfilozófiaiainak számító gondolatokat. Az előszóban Newton – mint már említettük – hitet tesz a matematika használatára mellett, és ezzel kizárja leírásából az okkult tulajdonságokat. A természetfilozófia feladatát abban határozza meg, hogy a (mozgás)jelenségekből következtessen az erőkre, majd a felismert erőket felhasználva más jelenségekhez is eljusson. Ehhez alkalmazni kell a megállapított általános törvényszerű-

ségeket is. Az erőket a középpontba állító módszert a szerző szerint nem csupán a mechanikában, hanem a természetleírás minden területén használni kellene. Mint már utaltunk rá, ennek a követelménynek a tudomány – és nemcsak a fizika – a következő két évszázadban megpróbált eleget tenni.

A mű meghatározásokkal (definíciókkal) kezdődik, amelyek tartalmazzák a klasszikus mechanika alapfogalmait, így a tömeg, a mozgásmennyiség, az erő, a gyorsulás, a középponti erő fogalmát. Az utánuk következő első magyarázó jegyzet szintén nagy hatással volt a természetfilozófiai nézetekre. Ebben Newton először azt írja, hogy az olyan fogalmak, mint idő, tér, hely, mozgás nem szorulnak meghatározásra, mert ezeket mindenki ismeri, majd mégis definiálja őket. A meghatározásokból kiderül, hogy az abszolút vonatkoztatási rendszerrel a háttérben szerzőnk a teret és az időt abszolútnak tekintette. Bár Leibniz támadta emiatt, a kortársak és a későbbi természettudós nemzedékek inkább Newtonra hallgattak. A fizikában majd csak Mach lesz az, aki utat nyit a tér és idő relativitásának (a filozófiában Hegel ezt jóval előbb megtette). Newton azt a kérdést is felteszi, hogy vajon a mozgás maga is abszolút-e, és a híres vödör-kísérlet alapján igennel válaszol.

Ezután következnek az axiómák, vagyis a három mozgástörvény (a Newton-törvények) – a tehetetlenség törvénye, az erő és a gyorsulás arányosságának törvénye, valamint a hatás-ellenhatás törvénye, továbbá néhány származékos tétel. Az axiómákat és tételeket szintén magyarázó jegyzetek kísérik, majd következik a testek mozgásáról szóló rész tételekkel

és geometriai jellegű segédtetelekkel, magyarázó jegyzetekkel. A bizonyítások a műben nem a Newton által kidolgozott fluxióos módszerrel (infinitezimális számítással) történnek – mivel ez nem volt még ismert a kortársak előtt –, hanem geometriai módon. Kötetünk nem tartalmazza, de megemlíjtük, hogy a *Principia* második része a testek anyagi közegben való (közegellenállásos) mozgását tárgyalja, a harmadik részben pedig megadja az általános tömegvonzás törvényét, amelyből kiindulva magyarázza az égitestek (bolygók, holdjaik, üstökösök) mozgását és a földi nehézkedést. Az egész rendszer a kinematikai leírásról áttér a dinamikai magyarázatra. Ennek keretében megmagyarázza a Kepler-törvényeket, a Hold speciális mozgásait, a precesszió jelenségét, a Föld (sarkoknál lapult) alakját, az árapály jelenséget; előrevetíti a mesterséges holdak lehetőségét.

A *Principia* axiómarendszere és annak rendkívüli eredményessége egy olyan világképet sugall, amelyben minden összetehető kiszámítható mechanikai mozgásokból. A mérések által adottak számunkra a testek, a rájuk ható erők, és a matematikai idealizáció révén létrejött newtoni mechanika megmondja nekünk, mit kell csinálnunk a továbbiakban, hogy meg tudjuk állapítani, a testek merre tartanak, hol lesznek egy adott későbbi időpontban. Minden tökéletesen meghatározott és megjósolható. Az erő ugyanis a newtoni dinamikában oka a mozgásnak; mindennek oka van, minden kauzális-determinisztikus kapcsolatban van a környezetével. Mindez természetesen az említett abszolút térben és időben, mint a testektől független tartályokban történik.

A *Principia* analitikus-mechanikai módszere nem csupán a tudás arisztotelészi formája felett győzedelmeskedett, hanem az esetleg felmerült más típusú felfogások ellenében is. Gondolunk itt például az alkímia már jelzett módszerére, amely inkább a „jelek”-re, rejtett (nem kauzális) összefüggésekre és a számiszticizmusra támaszkodott – bizonyos szempontból szintén megszüntetve az égi és földi világ szétválasztottságát. De ugyanígy járt a talán még inkább fizikai alternatívát jelentő Leibniz-féle mechanika, amely a newtonival szemben a relatív tér-idő és mozgás, valamint az „eleven erő” megmaradásának álláspontjára helyezkedett.

A *Principia* világképe – éppen a sikeresség miatt – elterjedt, mintegy két évszázadon keresztül általános szemléletmód volt a fizikában. Newton utódai tovább pontosítják az általa megadott fogalmakat, finomítják a matematikai apparátust, az elmélet gyakorlatterepévé változtatják a környezeti mozgásokat és a bolygórendszert. Hasonlóan járnak el a nem mechanikai és gravitációs jellegű problémák esetében, és nemcsak a fizikában, hanem a tudományos kutatás többi területén is. A kor tudósai tehát mindent mechanikai szerkezetként fogtak fel, mindenre közvetlen mechanikai magyarázatot kívántak adni. E felfogás lehet, hogy ma túlzónak tűnik, de feltétlenül megvoltak a maga előnyei. Egyrészt e szemléletmód konkrét eredményekkel járhatott a tudományokban (például elektrosztatika), másrészt általában is biztatást jelentett a kutatások számára, hiszen ez a nézőpont alapvetően optimista a megismerés lehetőségét illetően, ugyanis szerinte minden leírható és megérthető.

A *Principia* a természettudósokon kívül rendkívüli hatást gyakorolt a filozófusokra, így elsősorban Newton barátjára, Locke-ra és rajta keresztül az egész angol empiricizmusra (Berkeley, Hume), majd később Kantra is; sőt az inkább racionalista Spinozára, aki etikáját „more geometrico”, azaz axiomatikusan fejti ki; Voltaire-re és rajta keresztül az egész francia felvilágosodásra (Lamettrie, Holbach és a többiek) is. Az általa igazolt mechanisztikus szemléletmód még ma is hétköznapi világfelfogásunk egyik lényeges elemét adja.

Válogatásunk harmadik részében a newtoni természetfilozófia és Isten viszonyával foglalkozó Bentley-leveleket³¹ adjuk újra közre Heinrich László kötetéből, Fehér Márta fordításában. Az itt közölt gondolatok egy részét Newton később belevette a *Principia* második kiadásának végére írt általános megjegyzésekbe (érdekes, hogy ugyanakkor – talán Leibniz kritikájának hatására³² – az Istenre való hivatkozást kivette a főszövegből), majd pedig az *Optika* 1717-es kiadásának utolsó részében szereplő 28. és 31. problémába.

Robert Boyle végrendeletében 50 fontot szánt egy évente 8 prédikációból álló sorozatra arról, hogy a tudomány miként támogatja a kereszténységet az ateistákkal, deistákkal, pogányokkal, zsidókkal és mohamedánokkal szemben. Richard Bentley tiszteletes volt az első, aki Boyle halála után ilyen prédikációsorozatot tartott *Az ateizmus cáfolata* címmel, felhasználva Newton *Principiáját*. Úgy érezte, hogy a newtoni munka – a világ megtervezésére való utalással – bizonyítékot szolgáltat az isteni gondviselésre. Az utolsó két előadása előtt fordult a problémával Newtonhoz, ennek eredményeként született a négy

levél. Később Bentley volt az, aki a *Principia* második kiadását javasolta, és összehozta Newtonot Coteszal, aki azt sajtó alá rendezte.

Maguk a levelek önmagukért beszélnek, kevés kommentárt kívánnak. Az első levél rögzíti legvilágosabban Newton álláspontját az alapvető kérdésben: a Naprendszer tulajdonságai egy Isteni Lény – vagy ahogy a szerző különböző funkciói alapján nevezi, egy Erő, egy Ok, a Rendszer Alkotója, egy Akarat, a bölcs Megfontolás, Választás – után kiáltanak, aki ráadásul jártas kell legyen a mechanikában és a geometriában. A második levélben Newton kioktatja Bentleyt a végtelen és a gravitációs erő felfogásával kapcsolatban. Utóbbi problémára kicsit részletesebben visszatér a harmadik levélben. Tiltakozik az ellen, hogy a gravitációt távolhatásként fogjuk fel. Ez azért érdekes, mert a Newton-értékelések szokványos fordulata, hogy míg Descartes csak közelhatásokat tudott elképzelni, addig az angol fizikus – a descartes-i kép más vonatkozásait megtartva, de ezt és az (első levélben is szereplő) örvény-hipotézist elvetve – bevezeti a fizikába a távolhatást. Newton látszólag nyitva hagyja a kérdést, valójában azzal, hogy felveti a gravitáció nem anyagi voltát, felkínál egy választ. Ahogy teológiai és egyéb – életében publikálatlan³³ – írásaiból, vagy akár a *Principia* második kiadásának végén levő általános megjegyzéseiből tudjuk, szerinte Isten mindenütt, mindenhol és teljes aktivitásával jelen van, így aztán gondoskodni tud a testek mozgatásáról is. Ez a megoldás feltehetőleg Newton számos követőjének nem tetszett, ezért terjedt el a távolhatáson alapuló felfogás. A negyedik levél kissé más

megfogalmazásokkal az első levél fő mondanivalóját ismétli meg.

Megjegyezzük még, hogy a newtoni szövegekből egy olyan statikus világrendszer képe körvonalazódik, amelynek stabilitását Isten biztosítja. Newton úgy gondolja, hogy a bolygók surlódás révén veszítenek energiájukból, ezáltal a Naprendszer nem maradhatna állandó szerkezetű, ha Isten nem avatkozna közbe, és nem állítaná helyre az eredeti viszonyokat. Emiatt a felfogás miatt nem szerepel a *Principiában* még a mechanikai energia megmaradása sem. Ez is egy olyan pont, ahol Leibniz „eleven erő” elmélete alternatívát jelenthetett volna Newtonnal szemben.

Válogatásunk negyedik részében egyes sajátos természetfilozófiai problémákkal kapcsolatos Newton-szövegeket adunk közre. Elsőként az éterről szóló *Különféle tanulmányaimban a fény tulajdonságairól mondottak magyarázatára szolgáló hipotézis* című Oldenburghoz írt levelének – amelyet felolvastak a Királyi Társaság ülésein – első felét (kihagyva néhány szakmai részletet). A szöveget és a jegyzeteket Fehér Márta korábbi kötetéből vettük át. Mint az a címből is kitűnik, ebben a tanulmányban Newton egyáltalán nem tartóztatja meg magát a hipotézisek felállításában, és ezt teljesen tudatosan teszi. Szándéka az, hogy kifejtсен egy éter-elméletet, szembeállítva azt Descartes és Hooke éter-felfogásaival. Konceptiójának lényege, hogy elfogadja az éter létezését, amelynek tulajdonságait elsősorban analógiákon keresztül ragadja meg. Ennek segítségével magyarázza a ma elektromos megosztásnak nevezett jelenséget. Akárcsak az említett fizikusok, az étert ő is rezgő közeg-

nek tartja. Azt gondolja, hogy az éter képes behatolni – noha csak változóan kisebb sűrűségben – a különböző anyagok pórusaiba. E feltevés segítségével számos jelenséget – köztük az életjelenségek egy részét – próbál megmagyarázni. Hooke-kal ellentétben azonban a fényt nem tartja éterrezgésnek, azaz hullámmozgásnak, hanem inkább amellettt érvel, hogy a fény a fénylő testek által kibocsátott korpuszculákból áll, amelyek kölcsönhatásba kerülnek az éterrel. E hipotézis alapján magyarázza a fény visszaverődését, törését, az átlátszóságot és átlátszatlanságot, a színeket.

A második problémakört az *Optika* egy kis részletének bemutatásával érzékeltetjük. Newton *Optikájának* első kiadása 1704-ben jelent meg³⁴, mégpedig már nem latin, hanem angol nyelven (bár két évvel később Newton kívánságára Clarke kiadta latinul is). Szerkezete nagyon hasonló a *Principia* szerkezetéhez: meghatározásokkal és axiómákkal kezdődik, majd tételekkel folytatódik. A könyv későbbi részeiben tételek, megfigyelések váltják egymást, végül problémákkal fejeződik be. Az eredetileg 16 problémát tartalmazó utolsó részt a latin kiadásban a szerző kiegészíti még 7 – az éterrel kapcsolatos – kérdéssel. Ezek azután megjelennek az 1717-es második angol kiadásban, kibővítve még további 8 problémával. A korabeli olvasó számára a *Principia* előkészítette a terepet, az axiomatikus szerkezet már nem volt meglepő, és sokan várakozással tekintettek a mű fizikai és természetfilozófiai tartalma elé is. Az *Optika* sikere azonban nem olyan átütő, mint a mechanikáról szóló műé, annak ellenére, hogy jelentős része – a nehezebb matematikai apparátus hiánya miatt – sokkal

szélesebb olvasóközönség számára hozzáférhető, mint az előbbi. A benne lévő optikai ismeretek (megfigyelések, kísérletek és elméleti állítások), természetfilozófiai felfogása és a korpuszkuláris szemlélet tagadhatatlanul nagy hatással volt a kortársakra, de nem volt annyira kritikán felüli alkotás, mint a *Principia*. Bizonyos állításait már megjelenése előtt, majd persze utána is vitatták. Hatása pedig – szerzője megmaradó tekintélye, és annak dacára, hogy a hullámelmélet továbbfejlesztői (Young és elődei) bizonyos vonatkozásokban pont az *Optikán* nevelkedtek³⁵ – egyenes arányban csökkent a fény hullámtermészetét alátámasztó bizonyítékok szaporodásával. A XIX. század elejétől már nem számít hivatkozási alapnak.

Az *Optika* első könyve tárgyalja a fény visszaverődését és törését, a képalkotást, a prizma által előállított színeképet, a színes fény tulajdonságait, a fehér fény összetett voltát – mindezt az említett meghatározásokra és axiómákra alapozva, a sok kísérleti adatot felsorakoztatva. A második könyv nagyrészt a színek keletkezéséről szól, és sokkal inkább hipotéziseket tartalmaz, mintsem bizonyítottan igaz állításokat, annak ellenére, hogy az első könyvet a szerző a következő mondattal vezeti be: „Ebben a könyvben nem az a célom, hogy a fény tulajdonságait feltevésekkel magyarázzam meg, hanem hogy ezeket ésszerűen leírjam és kísérletekkel alátámasszam.”³⁶ A harmadik könyv megfigyelésekkel és kísérletekkel kezdődik, majd áttér a problémákra, ahol már messze nem csak optikai, hanem más fizikai és filozófiai kérdések vetődnek fel, és megint a hipotézisek dominálnak.

A Heinrich-kötetből lábjegyzetekkel együtt átvett néhány sor³⁷ a képalkotásról szóló VII. axiómát kö-

veti, és tulajdonképpen csak egy példa az alaptételre. Ez a példa – ahogyan néhány más, magyarul meg nem jelent szöveghely is – azonban azt tükrözi, hogy Newton az érzékelés oksági elméletének híve. Leírásából kitűnik, hogy az érzékelés forrása a külvilágban van, de a bennünk lévő kép nem azonos a tárgyával. Az is valószínűsíthető, hogy Locke felfogásának mintájára megkülönbözteti az elsődleges és másodlagos minőségeket.

A harmadik problémakör a gravitáció és a Naprendszer erre épülő szerkezete, valamint jelenségei. Ezt a *Principia* III. könyvének jóval szakmaibb jellegű leírása helyett, annak korábbi és főleg népszerűbben megírt változatából vett bőszeges részletek képviselik válogatásunkban. A szöveget és a jegyzeteket a Fehér-kötetből vettük át. A műben lévő eredmények keletkezéséről már szoltunk, most csupán emlékeztetünk a tartalomra. Az írás az égi mozgásokról alkotott nézetek rövid áttekintésével kezdődik, de már a 3. pontban közös nevezőre hozza az elhagyott testeket és a bolygók pályáit. Ezután kezd el a gravitációról beszélni, több különböző esetre megemlítve, hogy az fordítottan arányos a távolság négyzetével. Erre a harmadik Kepler-törvény alapján hivatkozik. A továbbiakban részletesen kifejti, hogy ez az erő minden esetben hat, nemcsak az égitestek között, hanem a Föld felszínén is, mégha két kisebb földi test között rendkívüli kicsinysége miatt nem is mutatható ki (22. pont). Ezután a tömegvonzás és a Kepler-törvények alapján vázolja a Naprendszer szerkezetét. A Hold mozgásának leírása után (amely részeket kihagytuk kötetünkéből) rátér az árapály-jelenség általános és részletes magyarázatára (38. ponttól). A probléma

newtoni tárgyalása elméleti és gyakorlati szempontból egyaránt jelentős újdonság. Végül az üstökösökről szóló részekből idézünk (az 58. ponttól). Newton bebizonyította (lásd 72. ponttól), hogy az üstökösök ugyanúgy eleget tesznek a Kepler-törvényeknek, akár a bolygók, csak jóval elnyújtottabb ellipszis vagy parabola a pályájuk. A földi mozgások mellett tulajdonképpen ez a másik legfontosabb terület, amelyen megvalósította a *Principia* bevezetőjében felvázolt módszert: a jelenségekből kikövetkeztetett egy erőt, majd az így nyert eredményeket alkalmazta egy másik területre. Az üstökösök Newton előtt nem csupán a laikusok számára voltak rejtélyesek, hanem a csillagászok szemében is. A probléma megoldása ezért rendkívüli módon emelte Newton tekintélyét. Ha végigolvassuk az itt közölt részeket, akkor világossá válik előttünk, hogy az alapp probléma – a pályamozgás – megoldása után Newton számára megnyílt az út, hogy az egész jelenséget (a csóvát stb.) megfossza minden miszticizmusától és részletes mechanikai magyarázatot adjon. A rettegett üstökösök közös csillagászati jelenséggé váltak.

Utolsó szövegrészletünk visszatér az éterhez, amely ezúttal mégiscsak magyarázatul próbál szolgálni a gravitációra. Természetesen megint csak egy hipotézisről van szó, amely nincs alátámasztva megfelelő kísérleti adatokkal. Newton Robert Boyle-hoz írt leveléből³⁸ a Fehér-kötet alapján idézünk. A levél elején a szerző leírja az éter már ismert tulajdonságait, vagyis hogy ez egy olyan a levegőnél finomabb szubsztancia, amely rugalmas, képes összehúzódni és tágulni, behatol a testek pórusaiba. Sűrűségét nem hirtelen, hanem fokozatosan változtatja a testek ha-

tárán. Newton ezután rátér arra, hogy mi történik az étérrel, ha két test közeledik egymáshoz, és ez a változás hogyan hat vissza a testek mozgására. Ezen a módon sokféle jelenséget próbál megmagyarázni, majd a levél végén rájön, hogy a földi gravitációt is értelmezheti így. Végül azonban azt állítja, hogy magától sosem jutott volna eszébe effajta sejtésekkel foglalkozni, ha Boyle fel nem bátorítja rá.

* * *

Reméljük, hogy kötetünk hozzá fog járulni Newton olvasottságának növekedéséhez. Azt szeretnénk, hogy az újabb és újabb generációk ne csak másodkézből – eltorzítva – jussanak hozzá a nagy tudós gondolataihoz. Szándékaink szerint válogatásunk lehetővé teszi az olvasó számára, hogy megismerkedjen Newton érdeklődési területeivel, problémáival és természet-filozófiai nézeteivel.

Szegedi Péter

JEGYZETEK

- ¹ Akit bővebben is érdekel, annak a következő – Newton életével, munkásságával, korával foglalkozó – magyar nyelvű könyveket tudjuk ajánlani: P. Strathern: *Newton*. 2001, Elektra; Sz. I. Vavilov: *Newton*. Budapest, 1948, Szikra; Vekerdi L.: *Így élt Newton*. Budapest, 1977, Móra. A legismertebb tudományos igényű életrajz: R. S. Westfall:

Never at Rest: a Biography of Isaac Newton. Cambridge, 1980, Cambridge University Press.

² A probléma részletesebb kifejtését lásd R. K. Merton: Tudomány és gazdaság a XVII. század Angliájában. In: Válogatás Róbert K. Merton tudásszociológiai és tudományszociológiai írásaiból. *Szociológiai Füzetek*, 12. Budapest, 1976, OM MLOF.

³ Idézi: Vavilov: *Newton*. 28. o.

⁴ Az óra szerepét és a történeti korszak egyéb vonatkozásait (ideológiai, politikai élet stb.), valamint ezeknek a newtoni tudománnyal, annak fogadtatásával kapcsolatos összefüggéseit részletesen elemzi: G. Freudenthal: *Atom and Individual in the Age of Newton. On the Genesis of the Mechanistic World View*. Dordrecht, 1986, Reidel.

⁵ Idézi: Vavilov: *Newton*. 29. o.

⁶ Newton vallási nézeteiről lásd például F. E. Manuel: *The Religion of Isaac Newton*. Oxford, 1974, Clarendon.

⁷ Leibnizzel folytatott vitájáról lásd A. R. Hall: *Philosophers at War: the quarrel between Newton and Leibniz*. Cambridge, 1980, Cambridge University Press.

⁸ Newton teológiai nézeteiről lásd: H. McLachlan: *Sir Isaac Newton: The Theological Manuscripts*. Liverpool, 1950, Liverpool University Press; D. Castillejo: *The Expanding Force in Newton's Cosmos; as shown in his unpublished papers*. Madrid, 1981, Ediciones de Arte y Bibliofilia.

⁹ Ennek megfelelően a vele foglalkozó tudománytörténeti és tudományfilozófiai irodalom szinte felmérhetetlen. P. and R. Wallis: *Newton and Newtoniana 1672-1975. A Bibliography*. Folkestone, 1977, Dawson – sok ezer címszót sorol fel, és a „Newton-ipar” e bibliográfiája megjelenése óta sem hagyott alább. A többi jegyzetben hivatkozott irodalomon kívül itt csupán néhány fontosabbnak ítélt művet tudunk megemlíteni: Ph. Bricker and R. I. G. Hughes (eds.): *Philosophical Perspectives on Newtonian Science*. Cambridge, Mass., 1990, MIT Press; A. Koyré: *Newtonian Studies*. Cambridge, Mass., 1965, Harvard University Press;

E. McMullin: *Newton on Matter and Activity*. Notre Dame, 1978, University of Notre Dame; R. Palter (ed.): *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton 1666–1996*. Cambridge, Mass., 1970, MIT Press.

- ¹⁰ A kortárs Leibniz után – aki a Freudenthal könyvében leírt módon vereséget szenvedett a vitában – a következő fizikus, aki részletesen és kritikai módon elemezte a newtoni elméletet, E. Mach volt az 1883-ban megjelent *Die Mechanik in Ihrer Entwicklung Historisch-Kritisch Dargestellt* című művében: *The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of Its Development*. 6th ed. LaSalle, Ill., 1960, Open Court.
- ¹¹ I. B. Cohen: *The Newtonian Revolution with Illustrations of the Transformation of Scientific Ideas*. Cambridge, 1980, Cambridge University Press. 4., 45. o.
- ¹² Csak egyetlen példa e folyamat végigvitelére, főleg az erő fogalmára összpontosítva: R. S. Westfall: *Force in Newton's Physics. The science of dynamics in the seventeenth century*. London, 1971, Macdonald.
- ¹³ Ebben a bekezdésben az ő *The Newtonian Revolution...* című könyvében található – bizonyos szempontból tipikus – meg gondolatát vázoljuk.
- ¹⁴ Ebben az összefüggésben a hagyományos nézet *internalizmusnak* nevezhető, mert nem hajlandó külső tényezőkkel számolni, hanem a tudomány belső (szellemi) összefüggéseiből kívánja levezetni – esetünkben például – a newtoni (vagy Koyrénál inkább a galileánus) forradalmat.
- ¹⁵ B. Hessen: The Social and Economic Roots of Newton's 'Principia'. In: *Science at the Crossroads. Papers presented to the International Congress of the History of Science and Technology (held in London from June 29th to July 3rd, 1931) by the Delegates of the U.S.S.R.* 2. kiadás. London, 1971, Frank Cass.
- ¹⁶ Ezen az úton halad például a már említett R. Merton és G. Freudenthal. Az általános összefüggések felmutatá-

sán – amit Hessen előadása is reprezentál – túl, az utóbbi időben előtérbe került egyes konkrét tudományos tartalmak vizsgálata is. Erre egy példa – Newton harmadik törvényének elemzésével – a következő cikk: Ropolyi L.: Az egyenlőség eszméje Newton harmadik törvényében. In: Forrai G. – Margitay T. (szerk.): *Tudomány és történet*. Budapest, 2002, Typotex.

¹⁷ A. Gabbey: Newton and natural philosophy. In: *Companion to the History of Modern Science*. 2. kiadás. London, 1996, Routledge.

¹⁸ Fehér Márta kimutatja, hogy egy másfajta matematika (lényegében a számmisztika) alkalmazható a hermetizmus esetében is: The 17th Century Crossroads of the Mathematisation of Nature. In: M. Fehér: *Changing Tools: case studies in the history of scientific methodology*. Budapest, 1995, Akadémiai. A tanulmány részletesen elemzi az itt említett alternatívát.

¹⁹ A válogatásban nagy segítséget nyújtott: H. S. Trayer (ed.): *Newton's Philosophy of Nature. Selections from His Writings*. 4. kiadás. New York, 1974, Hafner.

²⁰ Newton munkáiból meglehetősen kevés jelent meg magyarul: I. Newton: *A világ rendszeréről és egyéb írások*. Budapest, 1977, Magyar Helikon; I. Newton: *A Principiából és az Optikából. Levelek Richard Bentleyhez*. Bukarest, 1981, Kriterion. Az első kötetet Fehér Márta fordította, válogatta és látta el utószóval. A válogatás néhány színelméleti tanulmányt, egy Robert Boyle-hoz írt levelet, a *Principia* harmadik könyvének egy korai változatát (*A világ rendszeréről* címmel) és négy Richard Bentleyhez írt levelet tartalmaz. A második kötetet Heinrich László fordította, válogatta és látta el bevezető tanulmánnyal. A válogatás a *Principia* első könyvének elejét és az *Optika* elejét tartalmazza, továbbá átveszi Fehér Márta kötetéből a Bentley-leveleket.

²¹ I. B. Cohen: *Introduction to Newton's "Principia"*. Cambridge, 1971, Cambridge University Press; J. W. Herivel:

The Background to Newton's "Principia". A study of Newton's dynamical researches in the years 1664-84. Oxford, 1965, Clarendon.

- ²² William Ockham (Occam) ugyanis a XIV. században a magyarázó elvekkel való tudományos takarékoságot a nominalizmus melletti érvként használta.
- ²³ M. Tamny: Atomism and the mechanical philosophy. In: *Companion to the History of Modern Science.*
- ²⁴ Az analógia szerepét Newton munkásságában bővebben elemzi Fehér Márta: Utószó. In: *Newton: A világ rendszeréről...* 413. skk. o.
- ²⁵ Cohen: *Introduction...* 241. skk. o.
- ²⁶ G. Galilei: *Matematikai érvelések és bizonyítások két új tudományág, a mechanika és a mozgások köréből.* Budapest, 1986, Európa. 183. o.
- ²⁷ Az Oldenburg-levelek eredeti forrása: *Isaaci Newtoni Opera quae exstant Omnia. Commentariis illustrabat Samuel Horsley.* 5 vols. London, 1779-85. Közli még: H. W. Turnbull (ed.): *The Correspondence of Isaac Newton.* Cambridge, 1959, Cambridge University Press.
- ²⁸ Vavilov: *Newton.* 114. o.
- ²⁹ A Cotes-hoz írt levelek forrása: J. Edleston: *Correspondence of Sir Isaac Newton and Professor Cotes.* Including letters of other eminent men. London, 1850.
- ³⁰ Az egyik legteljesebb, különböző szövegváltozatokat tartalmazó kiadás: A. Koyré and I. B. Cohen (eds.): *Isaac Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. The Third Edition (1726) with variant readings.* Cambridge, Mass., 1972, Harvard University Press.
- ³¹ A Bentley-levelek eredeti forrása: *Four Letters from Sir Isaaci Newton to Doctor Bentley, containing some Arguments in Proof of Deity.* London, 1756.
- ³² Cohen: *Introduction...* 152. skk. o.
- ³³ A. R. Hall and M. B. Hall (eds.): *Unpublished scientific papers of Isaac Newton.* Cambridge, 1962, Cambridge University Press.

- ³⁴ Az itt szereplő Heinrich-féle fordítás a következő kötet alapján történt: Isaac Newton: *Optics, or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflexions and Colours of Light*. Bruxelles, 1966, Culture et Civilisation. Ez a londoni 1704-es kiadás hasonmása.
- ³⁵ I. B. Cohen: Preface to Newton: *Optics*, xli-xliv. o.
- ³⁶ Newton: *A Principiából és az Optikából...* 101. o.
- ³⁷ Uo. 114. o.
- ³⁸ A levél eredeti forrása a *The Works of the Honourable Robert Boyle* (London, 1744) című kötet, de szerepel az *Isaac Newtoni Opera quae exstant Omnia...*-ban is.