

Isaac Newton: „Nem találok ki hipotéziseket”

A gravitáció ezen tulajdonságainak okát azonban még nem tudtam levezetni a jelenségekből, *hipotéziseket pedig nem találok ki* [*hypotheses non fingo*]. Mindazt ugyanis, ami a jelenségekből nem levezethető, *hipotézisnek* kell hívni; és sem a metafizika, sem a fizika, sem a rejtett minőségek, sem a mechanika hipotéziseinek nincs helye a *kísérleti filozófiában*. Ebben a filozófiában a tételeket a jelenségekből vezetjük le, és indukción útján tesszük általánossá. Így váltak ismertté az áthatolhatatlanság, a mozgathatóság, a testek lendülete, a mozgások és a gravitáció törvényei. És elegendő, hogy a gravitáció valóban létezik, és az általunk kifejtett törvények szerint működik, valamint, hogy a tengerünk és az égitestek minden mozgásához elégséges.¹

A tudománytörténészek körében Newton talán legismertebb kijelentése a *hypotheses non fingo* rövid félmondata. A közismert frázis először a *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* második, 1713-as kiadásának *Általános magyarázatában* (*Scholium Generale*) jelent meg. Newtonnak ez a kijelentése hosszú időre normát jelentett a természettudományos kutatás számára, mint a spekulációktól mentes, ellenőrizhető és kísérletileg igazolható tudomány etalonja. Ezzel a megnyilatkozással Newton arra az eljárásra utal, amellyel matematikai formába önt olyan tételeket, amelyek alkalmasak a jelenségek leírására, de azok okait ismeretlenségük miatt nem határozza meg.

Ez a minimalista megfogalmazás és a mögötte rejlő filozófusi önfegyelem a későbbi tudományos publikációs gyakorlatnak is utat mutatott, noha maga Newton is nagy utat járt be, míg végül is e gyakorlat mellett döntött. Ráadásul

¹ „Rationem vero harum gravitatis proprietatum ex phaenomenis nondum potui deducere, et hypotheses non fingo. Quicquid enim ex phaenomenis non deducitur, *hypothesis* vocanda est; et hypotheses seu metaphysicae, seu physicae, seu qualitatum occultarum, seu mechanicae, in *philosophia experimentalis* locum non habent. In hac philosophia propositiones deducuntur ex phaenomenis, et redduntur generales per inductionem. Sic impenetrabilitas, mobilitas, et impetus corporum et leges motuum et gravitatis innotuerunt. Et satis est quod gravitas revera existat, et agat secundum leges a nobis expositas, et ad corporum caelestium et maris nostri motus omnes sufficiat.” (Newton 1726. 530. A magyar változatban az első kiemelés tőlem.)

a fentebb a kontextusából kiemelt mondat az adott szöveghelyen mindössze annak bevallása, hogy a szerző nem jutott el a gravitáció okának megragadásáig. Vagyis – mint látni fogjuk – nem általában a hipotézisek elvetéséről szól. Hogy pontosan miről, azt a továbbiakban igyekszem megmutatni. Bemutatom a mai mérvadó véleményeket Newton hipotéziseinek használatáról, illetve az attól való tartózkodásának vélt okairól. A vitában azoknak a véleményét szeretném erősíteni, akik a fogalomhasználat változásait nem a szerző taktikázásának tudják be, és nem is következtetlenségnek tartják. Véleményem szerint Newton tudatosan pontosította a hipotézisekről alkotott fogalmát, főleg, miután saját természetfilozófiáját kísérleti filozófiának minősítette. Az ebben a keretben pontosított kifejezéseihez pedig a továbbiakban maga is tartotta magát.

A bizonyosság igényével kijelenthető és a hipotetikus javaslatok között örökös feszültséget észlelünk Newton írásaiban. Élete során különbözőképpen használta a hipotéziseket, és hipotézisellenes hozzáállása idővel egyre inkább erősödött (Fehér 1977. 399). Azt is látjuk azonban, hogy Newton valójában egész életében élt feltételezésekkel, akár fényemissziós, akár gravitációs hipotézisére, akár optikai és mechanikai elméletére gondolunk, és ezzel az elkövetkező kétszáz évben mintát adott a tudományos elméletalkotáshoz (Fehér 1977. 398). A *hipotézisek* tehát mint tudományos felvetések tudományos munkájának részei voltak, még akkor is, ha ezeket néhol másképp nevezte. Műveinek első kiadásában még több *hipotézis* szerepel, majd az újabb kiadásokkal igyekszik azokat egyre jobban kigyomlálni vagy átnevezni (Fehér 1977. 396). Optikájának nem publikált kézírataiban látható, hogy olyan tételeket, amelyeket időnként *hipotézisként* használt, máskor *propozíciónak* nevezett és következtetett tételként mutatott be.

I. A HIPOTÉZIS SZÓ TERMINOLÓGIAI MEGVÁLTOZTATÁSA

Newton a *Principia* első kiadásában (1686/87) a harmadik könyvet kilenc *hipotézissel* indítja (Newton 1687. 402–404), úgy, hogy itt még nincs negatív előjele a terminusnak. A kilenc *hipotézist* a második kiadásban (1713/14) egyre csökkentette.² Fő művének első és második kiadása közötti időben a *hipotézisekből gondolkodási szabályok* (*regulae philosophandi*), illetve *jelenségek* (*phaenomena*) lettek,³

² Ugyanakkor az első kiadás 38. proposícióját is hipotézissé alakította a második kiadásban, így végső soron két hipotézist tartalmazott az új kiadás.

³ Nevezetesen az 1687-es kiadás első két *hipotéziséből* lesz a következő kiadásra az első három *gondolkodási szabály*, miután egy új szabályt is beiktatott, a fennmaradó hat (az 5., 6., 7., 8. és 9. számú h.) *hipotézise* pedig az új kiadásban öt (az 1., 3., 4., 5. és 6. j.) *jelenségként* jelenik meg. Az eredetileg 3. hipotézis, amely a testek bármely más testté való átalakulását engedte meg, teljesen kikerült a *Principiából*, a 4. hipotézis pedig, amely szerint a világegyetem középpontja nyugalomban van, a 1. számú hipotézissé vált az 1713-as kiadásban. A szétválasztás indokolt, hiszen az első három állítás általános alapelveket fogalmaz meg, a többi viszont

az *Opticks*-ban pedig *feltevések* (*query* = kérdés) formájában fogalmazta meg előző hipotéziseit. Végso soron a tudományos publikummal csak a kísérletezés eredményeit közli, a hozzá vezető esetlegesen hipotetikus utakat, vagy a kifejtés logikája szempontjából lényegtelen elemeket pedig mellőzi (Fehér 1977. 394).

Larry Laudan szerint a 17. század elején *hipotézisen* a bizonyítatlan *posztulátumokat*, *axiómákat* vagy bármely tudomány első *alapelveit* értették, úgy, ahogy az Arisztotelész és Eukleidész⁴ óta általános nézet volt (bővebben lásd Laudan 1970. 103–131). Valójában, ami a hipotézis „eukleidészi” fogalmát illeti, éppen annak hiánya az, ami a fogalom kontextusát adó terminusok értelmezésének problematikáját adja. Arisztotelész a *Második analitikában* (I/2) az alapállítások három fajtáját különíti el: az *axiómákat*, a *hipotéziseket* és a *definíciókat*. Ehhez képest az eukleidészi *Elemekben* – minden további magyarázat nélkül – *definíciókkal*, *axiómákkal* és *posztulátumokkal* találkozunk, miközben ez utóbbi kettő szétválasztásának értelmét már Arkhimédész is vitatta. Proklosz az *Elemekről* írott kommentárjában a *hipotézis–posztulátum–axióma* felosztást tulajdonítja mind Arisztotelésznek, mind Eukleidésznek, a jelek szerint mindkét esetben (részben) tévesen, miközben az eleve homályos arisztotelészi magyarázatot próbálja alkalmazni matematikai példákra támaszkodva. Mindez azt jelenti, hogy a *hipotézis* fogalma eredetileg is homályos volt, hiszen a legnagyobb antik szerzők megnyilatkozásai is ellentmondásosak.

A *hipotézis* szót a 17. században előszeretettel használták a Kopernikusz–Kepler-féle heliocentrikus elmélettel kapcsolatban abban az értelemben, hogy az az égi jelenségek *elfogadhatónak látszó magyarázata*. Itt tulajdonképpen a Galilei nyomán a jelenségek lefolyásában megfigyelhető törvényszerű összefüggések megfogalmazásáról volt szó, olyanokról, amelyeket, ha kísérletekkel nem is lehet alátámasztani, de a tapasztalatok nem is cáfolják. Newton egy ideig maga is ebben az értelemben használta a *hipotézis* kifejezést a *Principia* első kiadásában, ahol a hipotézisek azokat az általános elveket fogalmazzák meg, amelyekből – korolláriumok és lemmák bevezetésével – a naprendszer szerkezete kifejezhető (Fehér 1977. 401–402). Ezek alapján használhatta Newton a kifejezést a *Principia* első kiadásában mindenféle pejoratív él nélkül, és ezért láthatjuk azt is, hogy Newton néha felváltva használta a *hipotézis* és az *axióma* terminusokat. Mindez segít megmagyarázni, hogy Newton miért változtatta meg a *Principia* első kiadásának több *hipotézisét* is *gondolkodási szabályokká* (bővebben lásd Cohen 1969).

olyan megfigyelésekre és mérésekre hivatkozva tesz állításokat, mint a bolygók és holdak periodikus mozgásai és Kepler 3. törvényének érvényessége a rendelkezésre álló adatok alapján. A jelenségekről Newton megállapítja, hogy az égi testek is testek, az égi tünemények pedig jelenségek, így az égi testek is rendelkeznek a földi testek olyan lényegi tulajdonságaival, mint amilyen az áthatolhatatlanság, tehetetlenség és keménység.

⁴ Proklosz Eukleidész *Elemjeinek* magyarázatában princípiumok, azaz elvek alatt együttesen érti a definíciókat, posztulátumokat és axiómákat, tehát minden bizonyítást nem igénylő megállapítást. (Szabó 1983. 12.)

Ha Laudannek igaza is van, azt is látnunk kell, hogy Newton a *Principia* második, javított kiadásában a szakmai kritikák miatt korrigálja magát a *hipotézis* használati módját illetően. A szerkesztőjének, Roger Cotesnek írt levelében őszintén bevallja, mennyire szeretné elejét venni annak, hogy kritikusai ostobasággal vádolhassák, amiért nem ismeri el azokat a tévedéseit, amelyeket az első kiadásban vétett (Newton 2003. 92). Ezért megadja saját fogalomhasználatának pontosított változatát: „...a hipotézis szót itt én úgy használom, hogy csakis olyan kijelentést jelöljön, ami nem jelenségről szól, nem is jelenségből van levezetve, hanem minden kísérleti bizonyíték nélkül elgondolt vagy feltételezett” (Newton 2003. 91).

Newton az új kiadásában is fel van készülve a kritikákra, amelyeket előzőleg részben a hipotézis kifejezés használata váltott ki. Az első európai tudományos folyóirat, a *Journal des sçavans* névtelen szerzője már 1688-ban csípős kritikával illeti a *Principiát*, mondván, hogy a harmadik könyv (*A világ rendszeréről*) önkényes hipotéziseken alapul, amely így nem tekinthető a fizika tudomány igazi alapjainak.⁵ Ez a kritika persze a felszínes olvasásból is eredt, hiszen Newton hipotéziseknek nevezett kijelentései többségéhez olyan mérési adatokat csatolt, amelyekből egyértelmű volt, hogy a bolygók mozgásáról nemcsak képzelt feltételezései voltak, hanem valóságos mozgásokból indult ki. Nem csoda, ha a második kiadásban ezek a *hipotézisek jelenséggé* léptek elő. Ezért is fordít nagy figyelmet *Általános magyarázatában* arra, „hogy elejét vegyük a *hipotézis* szó használatában a kifogásoknak” (Newton 2003. 90), és ezért taglalja bővebben Cotes-hoz írott levelében, hogy miként értette a kifejezést a gravitáció kapcsán.

Itt kifejti, hogy amiként a geometriában sem használjuk a *hipotézis* fogalmát olyan tág értelemben, hogy abba beletartoznának az axiómák és posztulátumok, úgy a kísérleti filozófiában sem vehetjük olyan tág jelentésűnek, hogy az magában foglalja az olyan alapelveket vagy axiómákat, amilyenek az ő mozgástörvényei voltak (uo.). Egy viszonylag késői, 1715 körül írt jegyzete még érthetőbben fejti ki az axiómákról és hipotézisekről kialakított fogalmát és a kettejük közötti különbséget. Míg az előbbi a kísérletileg előállított jelenségekből levonható, univerzálisan pedig induktív érveléssel megalapozható állítás, addig a hipotézis nem vezethető le a jelenségekből indukció útján.⁶

Ez persze már régen nem az axióma arisztotelészi vagy eukleidészi fogalma, ahol a bizonyítás nélkül igaznak elfogadott elvre használták a kifejezést. Mert-hogy nemcsak a *hipotézis*, hanem az *axióma* fogalma is jelentésváltozáson ment keresztül. Amint Newton a természetből való levezetést kezdi hangsúlyozni, az *axiómák* azoknak az állításoknak a kategóriájában kapnak helyet, amelyeket a természetből vonhatunk ki, szemben a deduktív megerősítéssel. Innentől fogva Newtonnál az *axióma* fogalma a *jelenségekkel* kerül fontos összefüggésbe,

⁵ *Journal des sçavans*, vol. 16. (2 Aug. 1688) 237–238.

⁶ Hydrostatics, Optics, Sound and Heat (MS Add. 3970.13, folio 420r.)

tehát a kísérleti filozófiájának kontextusában új szerepet kap, miközben a hipotézis még egy szinttel alacsonyabb státuszba kerül. Így a hipotézisek már előfeltevésnek sem megfelelőek, hanem alaptalan feltevésekké (fikciókká) válnak, amelyeknek nincs kísérletekkel igazolható bizonyosságuk, ezért is kerül ki a kísérleti filozófia kontextusából (Fehér 1977. 403). Newton éterhipotézise gyakorlatilag ilyen volt, de Descartes örvényhipotézisét is azon az alapon támadta Cotes a *Principia* 2. kiadásának előszavában, hogy mivel kísérletileg nem igazolható, marad hát pusztán hipotézis.

Itt tehát látható, hogy Newton nem következtelen a két kiadás között, hanem második alkalommal javítja és pontosítja a hipotézis kifejezés használati módját. 1713-ban, amikor már sokkal geometrikusabb a *Principia* felépítése, erősen megkülönbözteti a *hipotéziseket* az alapelvektől, vagyis *axiómáktól*, ez utóbbiakon már kizárólag olyan tételeket értve, amelyekre – véleménye szerint – a geometriai axiómákhoz hasonlóan a jelenségekből következtethetünk, vagyis a megfigyelésekből való következtetés eredményei (Fehér 1977. 402). Szó szerint „mindazt ugyanis, ami a jelenségekből nem levezethető, *hipotézisnek* kell hívni”.⁷ Amint tehát Newton a matematikából ismert kifejezéseket a kísérleti filozófia kontextusában kezdi alkalmazni, máris módosul a kifejezések jelentése. Az *axióma* jelentése szűkül, a *hipotézis* pedig leminősül.

A tudománytörténészek egy része Newtont nemcsak következtelenséggel, hanem sokszor tudatos manipulációval is vádolja a *hipotéziseivel* és általában tudományos érveléseivel kapcsolatban. Abban pedig, hogy Newton a *hipotéziseket* átnevezi *propozíciókká*, sokan szintén manipulációs játékot látnak. Ebben az olvasatban Newton azért kereszteli át a *hipotéziseit*, hogy azok hipotézis voltát eltüntesse a kritikus szemek elől (Fehér 1977. 396). Javaslatom szerint viszont a figyelmes olvasással más eredményre is juthatunk.

Az első kiadás kilenc *hipotézise* közül az első kettő esetében nem álcázza a hipotézis jelleget, hanem inkább felminősíti a szóban forgó állításokat *hipotézisből gondolkodási elvekké*. Az átnevezés azt jelenti, hogy Newton ezeket az állításait egyszerű hipotéziseknél erősebbnek, mondhatni axiomatikusnak tartja. Öt hipotézis 1713-ra öt *jelenséggé* lép elő, mivel megfelel annak a minősítésnek, hogy jelenségekből vannak levezetve. Sőt Newton jelenségei többek pusztán megfigyelt eseményeknél. Tapasztalatilag megalapozott elméleti általánosítások, amelyeket a megfigyelésekből szűrt le. A *propozíció* kifejezés is erősebb állításra utal, mint a *hipotézis*, amely ebben az időben Newton tudományos módszerének keretén belül a legalsóbb szegmensbe kerül.

Bár az a kérdés, hogy a manipulációs vádak milyen alappal bírnak, egy másik tanulmány témája lehetne, a hipotézisek instabil használatával kapcsolatban úgy gondolom, hogy Newton problémája az egész korszak problémája. Miután

⁷ „Quicquid enim ex phaenomenis non deducitur, *hypothesis* vocanda est.” (Newton 1726. 530.)

senki sem pontosan ugyanazt érti *hipotézis* alatt, a viták során Newton is kénytelen újra és újra átgondolni, hogy ő mit ért a kifejezés alatt, és hogyan fogalmazhatna tisztábban és egyértelműbben. Mindenesetre Newton bizonytalansága éppen módszertani tudatosságát mutatja. A *hipotézis* fogalmának és a rokon fogalmaknak a bemutatott homályossága miatt Newtonnak komoly mozgástere van fogalomhasználata alakításához, azzal együtt, hogy a fogalomhasználat dinamikáját természetesen a polémiák alakították. Newton konceptuális és terminológiai lépései tudatosan átgondolt funkcióval bírtak a vitákban, miközben a saját – részben épp a viták által motivált – mindenkori állaspontját is tükrözték. Az utókor számára pedig nemcsak tudományos eredményei és a természetről szerzett ismeretei miatt méltó a tiszteletre, hanem a megismerés új fogalmi szerkezetét megteremtő, másrészt módszereiben is újat mutató munkája miatt is (Fehér 1977. 423).

II. NON FINGO

Newton az új *Principia* utószavában veti papírra először az írásunkban vizsgált nyilatkozatát. Ebből a mondatból a tudománytörténeteseket kétségkívül a *hipotézis* kifejezés jelentése foglalkoztatja leginkább, mivel ennek vizsgálata révén válnak láthatóvá a természetfilozófus módszertani döntései.⁸ Ugyanakkor fontos számolnunk azzal a lehetőséggel, hogy az *Általános magyarázat*ban megfogalmazott newtoni tartózkodás hangsúlya nem a *hipotéziseken*, hanem a *kitaláláson* van, azaz nem a *hypotheses*, hanem a *fingo* kifejezésen.

A *Principia* nehézkes latin szövege tudvalevőleg nem a nagyközönségnek szólt, hanem a latinul tudó értelmiségi körön belül is csak egy szűk rétegnek.⁹ A vulgáris nyelvre való lefordítás magával hozta a mű népszerűségét, ugyanakkor bizonyos kérdésekben zavart is okozott. A fordítás során a *fingo* igét, amely számos jelentésárnyalattal bír (pl. *megformál, kialakít, alkot, elképzel, kohol, költ, kitalál, elgondol, kigondol, fabrikál*), angolul különbözőképpen adták vissza. Először John Maxwell fordította le a teljes szöveget 1715-ben, miután a *Principia* második kiadásában először jelent meg az *Általános magyarázat*. Ő a szóban forgó igét a *form* (itt: *alkot, kialakít, megformál*) kifejezéssel adta vissza az *A Discourse concerning God* című munkájában (Maxwell 1715. 95–106), amit Newton minden valószínűség szerint láthatott. Francis Motte, aki az *Általános magyarázat* végző, a 3. *Principiá*ban közölt szövegének első hivatalos angol fordítását készítette el 1729-ben, tehát Newton halála után, a *fingo*-t a *frame* kifejezéssel fordította,

⁸ A hipotézis szerepének vizsgálata Newtonnál óriási irodalommal rendelkezik. Többek között Cohen, Koyré és McGuire kutatott sokat a témában.

⁹ Mivel Newton tisztában is volt műve nehézségével, az átlagolvasónak azt ajánlotta, hogy nyugodtan hagyja ki az 1. és 2. könyv olvasását. Sajnálatosan viszont mindezt csak a 3. könyv elején említi meg.

ami akkoriban¹⁰ a teória kontextusában egyértelműen pejoratív értelemmel bírt, mégpedig a *kreál* értelmében (Newton 1999. 589). Az is figyelemre méltó, hogy Marquise du Châtelet 1759-ben az *imagine*-nel közvetíti Newton szavait a francia közönségnek.¹¹ A kiadó a francia filozófusnő munkájával kapcsolatban azt ígéri, hogy tisztázó fordítása és kommentárja mind Motte angol, mind maga Newton tisztázatlan latin szövegét is érthetőbben adja vissza (Zinsser 2001. 227–245). A francia szövegben az *imagine* kifejezésnek is van a kontextusban ironikus felhangja, és leginkább *kitalál* jelentéssel adhatnánk vissza.

A *Principia* népszerűségének növekedésével angol nyelven a *fingo* igét egyre inkább a *feign*-nel adták vissza, a Cohen–Whitman-féle 1999-es, mérvadó fordítás óta pedig ez a kizárólagosan elfogadott angol megfelelő. Ez az ige egyértelműen a hamisság konnotációjával rendelkezik: *színlel, kohol költ, tettet*.¹² Hogy ez nem önkényes választás, hanem a szerző a *fingo* kifejezést valóban a *feign* értelmében értette, az számos bizonyítékkal alátámasztható.

Newton az 1704-ben kiadott *Opticks*-ben írt *feign* kifejezést az 1706-ban megjelent latin verzióban *confingere* kifejezéssel adja vissza.¹³ Newton tehát itt is azt akarta mondani, hogy *ne találjunk ki* semmiféle alaptalan hipotézist kutatásaink során. Newton nemcsak az *Opticks*-ben, hanem nagyszámú angolul írt kéziratában a *feign* igét használta, hogy kifejezze megvetését a hipotézisek használatával kapcsolatban. Azt is megfigyelhetjük, hogy amikor Newton nem latinul, hanem angolul jegyzetel, akkor gyakran használja a *feign* igét a *kitalál, kohol, költ* jelentésben tudományos összefüggésben és vallási tárgyú írásaiban is. A *Paradoxical Questions concerning the Morals & Actions of Athanasius & His Followers* című kéziratában például Newton Athanaszioszt szakadatlanul azzal vádolja, hogy hamis történeteket és híreket költött (*feigned*) és terjesztett ellenfeleiről, sőt leveleket hamisított (*feigned*) állításainak igazolására.¹⁴

Toni Vogel Carey szerint az erős negatív mellézköngével bíró *feign* fordítás valójában annak kísérlete, hogy eltereljük a figyelmet Newtonnak arról a következtetlenségéről, hogy éppen az idézett szövegekben is használ hipotéziseket, többek között az *Általános magyarázat* utolsó bekezdésében, mikor egy bizonyos gravitációs éterről elmélkedik.¹⁵ Szerinte nemcsak ez, hanem a II. könyvben

¹⁰ A mai angolban más értelme van, de a *Samuel Johnson's Dictionary* szerint (London, 1785) a *frame* jelentése: kitalálni, fabrikálni pl. egy történetet vagy egy hazugságot.

¹¹ Newton (par feu Madame la Marquise du Chastellet) 1759. II. 80.

¹² David Hume többször használja ebben az értelemben a kifejezést *Értekezés az emberi természetről* című művében.

¹³ A latin verzió eredetileg 20. *query*-jében szerepel az ige a hipotézissel együtt (Cohen 1962. 381).

¹⁴ Keynes Ms. 10, King's College, Cambridge, UK. Ebben a kéziratban Newton 17 feltevésben fogalmazza meg vádjait Athanasziosz ellen. Közülük 6-ban a *feign* igét használja, hogy kitalációval vádolja Athanaszioszt.

¹⁵ „Hozzá lehetne tenni még néhány dolgot egy bizonyos igen finom légnemű anyagról [*spiritu*], amely áthatol a tömör testeken, és azokban rejtőzik; melynek ereje és tevékenységei miatt a testek részecskéi kölcsönösen igen közelre vonzzák egymást, és amikor összeérnek,

megmaradt hipotézise is ellentmond annak, hogy Newton általánosságban tartózkodott a hipotézisek használatától. Véleményem szerint Carey-nek itt nincs igaza. Ha a szigorú ítéletet figyelmes olvasással váltjuk fel, akkor megérthetjük, hogy Newton a *hypotheses non fingo* alatt nyilvánvalóan nem azt értette, hogy soha nem használ hipotéziseket (Cohen–Whitman 1999. 275). A zavar inkább abból támad, hogy Newton mondatának az idők során populáris olvasata lett, sőt némelyek a teljes munkásságát ebben az egyszerű mondatban vélik összefoglalni, és így vált az utókor ítéletének nézőpontjából Newton inkonzisztenssé. De valójában Newton azt akarhatta mondani, hogy a gravitáció okát illetően nem bocsátkozik találgatásokba, és nem talál ki, azaz erőltet ki kényszeredetten megalapozatlan elképzeléseket.

III. MIÉRT NE TALÁLJUNK KI HIPOTÉZISEKET?

A tudománytörténészek egy része ma azt hangsúlyozza, hogy Newtonnak az volt a célja, hogy a szokásos hipotetikus-deduktivista hagyományhoz képest, amit még a Royal Society is követett, pontosabb és igényesebb módszert fejlesszen ki (Ducheyne 2012. 62). A hipotetikus következtetési módszer mindössze annyit jelentett, hogy egy elméleti állítás megerősítést nyer, ha az abból levont következtetéseket megfigyeléssel igazoljuk (Ducheyne 2012. 57). Azt viszont Newton elődei is mind tudták, hogy egy hipotézis nem biztos, hogy igaz, ha belőlük igaz, vagyis a tapasztalattal megegyező következtetést vonhatunk le. Newton ennél egy sokkal biztosabb eljárást szeretett volna alkalmazni.

A *Principia* két kiadása közötti változás kapcsán már láttuk, hogy Newtonnak a támadások következtében folyamatosan pontosítania kell a *hipotézis* kifejezés használati módját. Mindez színelméleti munkáiról is elmondható. Kutatásainak kezdetén úgy kezeli a hipotéziseket, mint a jelenségek megmagyarázására szolgáló előfeltevéseket, melyeknek bizonyossága kérdéses (Fehér 1977. 401). Az 1670-es években Oldenburggal folytatott levelezésében máshol van a hangsúly. Miután a jezsuita Ignace-Gaston Pardies Newtonnak *A fény és színek elmélete* kapcsán tett egyes állításait pusztá hipotéziseknek minősítette, Newton határozot-

összetapadnak; és az elektromos testek <ugyanezen anyag révén> nagyobb távolságokba hatnak, egyfelől taszítva, másfelől vonzva a szomszédos részecskéket; és <szintén emiatt> bocsátódik ki, verődik vissza, törik meg, hajlik el a fény, és melegíti fel a testeket; és <emiatt> ingerlődik minden érzék, és az élőlények tagjai <ennek révén> mozognak szándékuk szerint, mármint ennek a légnemű anyagnak a rezgései révén, melyek az idegek szilárd szálain keresztül az érzékek külső szerveiből az agyig és az agyból az izmokig terjednek tovább. De ezt nem lehet röviden kifejtetni; és nem is áll rendelkezésre olyan kísérletek elégséges mennyisége, amelyekkel e légnemű anyag működési törvényeit pontosan meg kell határozni és meg kell mutatni.” Erdei–Kutrovácz–Vassányi 2019. 111–112.

tan tiltakozik.¹⁶ Ennek ellenére nem veti el a hipotézisek használatát, hanem inkább meghatározza azok pontos helyét és alkalmazhatóságát a tudományos folyamatban. „A filozofálás legjobb és legbiztosabb módjának az tűnik, ha először gondosan tanulmányozzuk, majd kísérletileg megállapítjuk a dolgok tulajdonságait, s csak később alkotunk hipotéziseket azok megmagyarázására” (Newton 2003. 89). Eszerint a kísérleti filozófiában a hipotéziseknek a kutatásnak nem az elején, hanem azok végén lehet csak szerepük.

A hipotézisalkotás további szegmense a kauzalitás kérdése. Newton tudta, hogy a kísérletekkel alátámasztott állításoknak megvannak a maga korlátai, ezért már a Bentleynek írt 1693-as levelében is azt írta, hogy „...éppen a gravitáció oka az, amiről nem állítom, hogy tudni vélem, s még jó időbe telne, hogy fontolóra vegyem” (Newton 2003. 170). Az 1713-as *Általános magyarázat*ban pedig újra megismétli, hogy „A gravitáció ezen tulajdonságainak okát azonban még nem tudtam levezetni a jelenségekből, hipotéziseket pedig nem találok ki” (Erdei–Kutrovácz–Vassányi 2019. 111). Newton tehát különbséget tesz a jelenségekből levonható törvények és az okok feltárása között. A matematikai szabályszerűségek mikéntje leírható, de ha annak miértjét keressük, akkor az már a spekuláció és az önkényes hipotézisalkotás veszélyét rejti magában (Fehér 1977. 407). Az a válasz viszont, hogy a gravitáció oka a gravitációs erő, Newton számára az arisztotelianus felfogás elfogadását jelentette volna, amivel viszont e tekintetben már régen szakított.

Igaz, nem elhanyagolható tény, hogy végső okként Newton időnként, ha a publikum számára látens módon is, de Istent jelölte meg, s emiatt Newton kijelentései hamar a tervezési érvek palettájára kerültek, még ha ilyen szándéka közvetlenül nem is volt. A *regulae philosophandi* első pontjában megfogalmazta, hogy nem szabad a jelenségek megmagyarázásához szükséges és igaz okokon kívül egyéb okokat elfogadni a természetben. Ez alapján a *Commercium Epistolicum*ban Newton kísérletek híján még nem tudja eldönteni, hogy a gravitáció oka mechanikai-e.¹⁷ Az *Általános magyarázat*ban viszont már határozottabban fogalmaz, mind az égi mozgásokkal, mind a gravitációval kapcsolatban. A bolygómozgásokról azt mondja, hogy „mindezek a szabályos mozgások nem mechanikai okokból származnak”, s ezzel a Descartes által is képviselt mechanisztikus világképet utasítja vissza. Helyette arra voksol, hogy „A Nap, a bolygók és az üstökösök e nagyon kifinomult rendszere kizárólag egy értelmes és hatalmas lény megfontolt döntéséből és uralmából származhatott” (Erdei–Kutrovácz–Vassányi

¹⁶ A teljes levelezés ismeretében elmondhatjuk, hogy Pardies kielégítőnek találta Newton válaszait kérdéseire és visszavonult a vitától.

¹⁷ Az 1714-ben a Királyi Társaság által kiadott *Philosophical Transactions* című tudományos folyóiratban névtelenül megjelent cikkét és a benne tárgyalt módszertannal kapcsolatos véleményét már 1712-ben papírra vetette, valószínűsíthetően Leibniz ellen, de csak később jelent meg az angol tudományos lapban. Newton 1714. 173–224.

2019. 105). Ekkor már biztosnak veszi, hogy a gravitáció jelenségének nem lehet mechanikai oka, mert különben a vonzóerő a felülettel arányosan hatna.¹⁸

Ennek a kijelentésének viszont nem kicsiny volt a tétje, hiszen a *Principia* új kiadásakor Newton annak dacára írja le sorait, hogy Cotes az új kiadás előkészületei során éppen arra emlékezteti őt, hogy Leibniznek lehetőséget ad a támadásra azzal, hogy kihagyta a mechanikai okokat, és ezzel a vádak szerint a csodákra alapozott, illetve visszatért az okkult mennyiségekhez.

Maga Cotes, amint a *Principiához* írt előszavából tudjuk, a gravitációt nem tartotta okkult, azaz rejtett minőségnek – már csak azért sem, mert a gravitáció nyilvánvaló jelenség –, csupán a gravitáció okát, ami viszont nála is csak annyit jelent, mint Newtonnál, hogy az ok egyelőre ismeretlen előttünk (Janiak 2008. 91). Newton viszont nem tartott egy ismeretlen okot okkultnak. A *Commercium Epistolicum*ban vitatkozik Leibnizcel, aki szerint a természetben előforduló minden olyan törvény, amely Isten akarata, egyfajta okkult kvalitás lenne, ami nem tartozik a filozófiára. Newton kérdésekkel vitatkozik: vajon attól, hogy egy Isten erejéből, vagy mondjuk úgy, egy Ok tevékenységéből származó állandó és egyetemes természeti törvény jelenleg még ismeretlen előttünk, miért kellene azt csodának vagy okkult tulajdonságnak nevezni, vagy, ahogy Leibniz mondja, abszurdnak gondolni?

Természetesen a gravitációs ok meghatározásának lehetett volna egy másik útja a mechanikain kívül: az, hogy a gravitáció képességét az anyag lényegi részének tartsa, de ez számára igencsak elavult tudománynak számított, ahogy az már a Bentley-levelekből is kiderül (Newton 2003. 170). Ennek oka a III. gondolkodási szabályban rejlik, amely szerint csakis azok a tulajdonságok lényegiek, amelyek nem csökkenthetők és nem növelhetők (Newton 2003. 85–88). Így viszont, mint írja, „ezzel nem állítom, hogy a gravitáció a testek lényegéhez tartozik; a testek *vis insita*-ján egyszerűen azok *vis inertiae*-jét értem. Ez ugyanis megváltoztathatatlan. Nehézkedésük azonban csökken, amint távolodnak a Földtől.” (Newton 2003. 85.)

¹⁸ „Ez az erő mindenestre valami olyan okból ered, amely behatol egészen a Nap és a bolygók központjába, anélkül hogy csökkenne a hatóereje; s amely nem az érintett részecskék *felületeinek* kiterjedésével [*quantitate*] arányosan hat (ahogy a mechanikai okok szoktak működni), hanem a térbeli anyag [*materiae solidae*] mennyiségével arányosan” (*Általános magyarázat*). Ha tehát nem a felülettel arányos – amit a mechanikai érintkezésen alapuló magyarázat megkövetelne –, hanem az anyag mennyiségével (azaz a testek tömegével, és ezen keresztül a térfogattal: lásd a *Principia* I. könyvének 1. definícióját az anyag mennyiségéről), akkor ez is igazolja a távolható jellegét, hiszen így „be kell hatolnia” a lehetséges érintkezés felületén túl az anyag minden, többnyire közvetlenül elérhetetlen részecskéjéig (Erdei-Kutrovácz–Vassányi 2019. 110). Hasonló gondolatot fejteget az *Opticks* 28. *queryjében* is.

IV. A HIPOTÉZISEK HELYE A KÍSÉRLETI FILOZÓFIÁBAN

Ahogy már előzőleg említettük, a hipotézis, az axióma és egyéb tudományos szakkifejezések jelentése Newtonnál akkor változik igazán, amikor ezeket a matematikából átemelt fogalmakat a kísérleti filozófiájában kezdte el használni.

Miután Leibniz kritikát indított a gravitációs felfogással kapcsolatban a *Principia* első kiadása után, Newton megpróbálta megvédeni új művét filozófustársa kritikájától. Ezért természetfilozófiájáról egyre inkább mint *kísérleti filozófiáról* nyilatkozott, és valójában ebben az összefüggésben kezdte hangsúlyozni az olyan kifejezéseket is, mint a „jelenségek”, „a filozófiai gondolkodási szabályok”, „a jelenségekből való levezetés” és az „indukcióval való érvelés” (Shapiro 2004. 168–217), *Általános magyarázatában* ezen az alapon tiltakozik a gravitációt magyarázó hipotézis ellen: „ami a jelenségekből nem levezethető, *hipotézisnek* kell hívni; és sem a metafizika, sem a fizika, sem a rejtett minőségek, sem a mechanika hipotéziseinek nincs helye a *kísérleti filozófiában*” (Erdei–Kutrovácz–Vassányi 2019. 111).

Ha a hipotéziseknek nincs köztük a kísérletekhez, a természetfilozófiának viszont a jelenségekre kell alapozódniuk, azaz azokra a dolgokra, amelyek a külső vagy belső érzékeink számára megjelennek (Ducheyne 2012. 58), akkor máris érthetővé válik a filozófus dilemmája. Newton nem elveti a hipotézisek használatát, hanem fontos distinkciót tesz. Egyszerűen a filozófia különböző ágazatainak módszertanát nem kívánja összekeverni. Szándéka szerint a főleg mozgástörvényekről szóló főműve a kísérleti filozófia tudományához tartozik, aminek a módszereibe nem tartozik bele a hipotézis.¹⁹

Ezért van, hogy amíg *Általános magyarázatában* mellőzi a gravitáció kauzális magyarázatát, és azt állítja, hogy hipotéziseket nem állít fel, aközben az *Optika* 21. *queryjében* hajlandó spekulálni az éter lehetséges tulajdonságairól, éppen úgy, mint a Boyle-lal folytatott levelezésében. Miután a hipotézis a szabad gondolkodás és a kreativitás tere, nem arról van szó, hogy azt teljes mértékben mellőzzük, sőt más összefüggésben Newton kijelenti, hogy „soha semmi-féle felfedezés nem született merész feltevés nélkül” (idézi Selye 1967. 357). Ugyanakkor Newton gyakorlata az, hogy publikációban marginális helyen jelöljük azokat. Ez a módszer védekezés gyanánt is hasznos, hiszen Leibniz vádjaira éppen azzal válaszol, hogy *Commercium Epistolicumjában* élesen elválasztotta hipotéziseit valódi érveitől és ezt minden filozófustársától elvárta (Newton 1714. 173–224).

¹⁹ Janiak javaslata szerint úgy tűnik, hogy a hipotézisek a metafizikai alapelvek vagy nézetek különböző fajtáiból állnak, és így a hipotézisek kizárása a „kísérleti filozófiából” (vagy ma úgy mondanánk, hogy a „fizikából”), gyakorlatilag a fizika megkülönböztetését jelenti a metafizikától (Janiak 2008. 21).

Az a filozófia, amelyet Newton úr a *Principia* és az *Opticks* során követett, a kísérleti filozófia; és nem a kísérleti filozófia feladata a dolgoknak bármely további okait tanítani azon túlmenően, amit a kísérletek bizonyíthatnak. Ezt a filozófiát nem szabad olyan véleményekkel kitöltenünk, amelyeket a jelenségekből nem lehet bizonyítani. Ebben a filozófiában a hipotéziseknek nincs helye, kivéve abban az esetben, ha mint feltevéseket vagy kérdéseket kínáljuk fel őket a kísérletek általi megvizsgálásra. Ennek okán Newton úr az *Optikában* megkülönböztette azokat a dolgokat, amelyek kísérletek útján bizonyítást nyertek, azoktól, amelyek továbbra is bizonytalanok. Ezért is fogalmazta meg az utóbbiakat az *Optika* végén Kérdések [*Queries*] formájában.²⁰

Newton a továbbiakban arról panaszkodik, hogy az első német tudományos folyóirat, az *Acta Eruditorum* szerkesztői hogyan vezetik félre a német közönséget saját állításaival kapcsolatban, majd leszögezi, hogy közte és Leibniz között a legfőbb különbség valójában az, hogy másképp művelik a filozófiát. Míg az ő kísérleti filozófiája a jelenségekből levezethető érvelésen alapul – írja –, és állításaival megáll ott, ahol valami már nem bizonyítható a jelenségekből, addig Leibnizék mechanikai filozófiája olyan hipotézisekkel él, amelyeket nem tesznek a kísérleti vizsgálat tárgyává, hanem egyszerűen csak hinni kell bennük. Míg ő a kérdéseket kísérletek útján kívánja eldönteni, de éppen ezért nem dönt afelől, hogy például a gravitáció oka mechanikai-e vagy nem, addig Leibniz váltig állítja, hogy aki nem feltételez mechanikai okokat a gravitáció mögött, az csak egy örökké tartó csodában hihet. Leibniz vádjaival szemben értetlenségét fejezi ki: miért volna bűn megelégedni a bizonyos dolgokkal és elhagyni a bizonytalanokat? Vajon meg kell dönteni a kísérleti filozófiát azért, mert azt mondja, hogy nem állíthat többet, mint ami kísérletekkel bizonyítható, és mert szerinte nem tudunk bizonyos jelenségeket megmagyarázni mechanikai okokkal? „Bizonyára ez az ügy nagyobb körütekintést igényel” – fejezi be Newton (Newton 1714. 126).

A gravitáció okára így nem azért nem alkot hipotézist, mert eleve elítéli a hipotézisalkotást, hanem mert a kísérleti filozófia másra vállalkozik. Az 1675-ös fény- és színhipotézisében, valamint az *Opticks* végén található „Kérdésekben” is azt állította, hogy az „éterhez” hasonló entitásokról szóló állítások csak akkor engedélyezhetők, ha azokat empirikus bizonyítékok és egyéb adatok alátámasztják, de még ilyen állításokat is csak abban az esetben tett, amikor nem volt intellektuális elköteleződése egy hipotézise felé, és az szemmel láthatóan sokszor nem volt.

²⁰ „The Philosophy which Mr. Newton in his Principles and Optiques has pursued is Experimental; and it is not the Business of Experimental Philosophy to teach the Causes of things any further than they can be proved by Experiments. We are not to fill this Philosophy with Opinions which cannot be proved by Phenomena. In this Philosophy Hypotheses have no place, unless as Conjectures or Questions proposed to be examined by Experiments. For this Reason, Mr. Newton in his Optiques distinguished those things which were made certain by Experiments from those things which remained uncertain, and which he therefore proposed in the End of his Optiques in the Form of Queries.” (Newton 1714. 123.)

V. ÖSSZEFOGLALÁS

Newton hipotézis-használata az évek során változott, és bár folyton hangsúlyozta a hipotézisek másodlagos voltát, kutatási programjaiban fontos szerepet játszottak. A kezdeti tudományos viták következményeként a sebtében megírt *Principia* első kiadásában használt geometrikus fogalmait 27 évvel később pontosítja. A matematikai terminusokat kísérleti filozófiájában az empirikus kutatásban való helyzetüktől függően megváltoztatja. Így egyes hipotéziseket felértékel axiómákká, jelenségekké és propozíciókká, míg a maradék hipotéziseit indifferensé teszi. Ez a szigorú megkülönböztetés Newtonnak az előzőekhez képest sokkal tudatosabban kialakított módszertanába enged betekintést. Innentől fogva *hipotézis*nek hangsúlyozottan azt a javaslatot nevezte, amelyre nézve nem létezik független empirikus kutatás és bizonyíték, és amely gyakran már kauzális kérdésekről szól.

Ez nem azt jelentette, hogy Newton hipotézisei mögé bújva közvetlenül le is mondott volna javaslatainak kísérleti teszteléséről. Ellenkezőleg, Publikált és publikálatlan hipotézisei között a legfőbb különbség az, hogy nyilvánosságra hozott feltevéseivel egy jövőbeni kutatási program tervét előlegezte meg, míg a kauzális kérdésekről következetesen hallgatott a nagyközönség előtt. Éppen ilyen értelemben kell érteni a címünkben szereplő *hypotheses non fingo* kijelentést. A gravitáció okáról nyilatkozni csak hipotézis lenne, ezért kell megelégednünk annyival, hogy a gravitáció létezik, és annak mennyisége a newtoni matematikai képletbe foglalható.

A hipotézisalkotás olyan kutatás közbeni háttérmunka, amit azzal, ha nem publikálunk, elkerülhetők az állandó filozófiai viták. Ugyanakkor csak a minden alapot nélkülöző kitalációktól kell tartózkodni, egyrészt a kognitív folyamat hitelessége érdekében, másrészt azért, hogy Newton filozófiai eredményei publikált formában is bemutatathatókká váljanak. Amennyiben viszont a későbbi bizonyítás lehetősége fennáll, inspiráció gyanánt közölhetők, de szigorúan olyan marginalizált formában, mint például az Optika végére helyezett *queryk* vagy az *Általános magyarázat* utolsó bekezdésének bevallottan ki nem dolgozott felvetése. Ez a publikációs szerkesztési technika pedig híven igazodik Newtonnak ahhoz a kijelentéséhez is, hogy hipotéziseket a kísérleti kutatás végén kell megfogalmazni, semmi esetre sem az elején.

A tudománytörténészek által többé-kevésé felismert értelmezéseket én egy további aspektussal egészíteném ki, ami Newton vallási kézírataira vonatkozik. Az kimutatható, hogy Newton a vallási kérdésekben éppen úgy szeretné elkerülni a pusztá képzelgéseket, ahogy természetfilozófiájában. Ugyanakkor a tudományos hipotézisek egyik jótékony szerepe az volt, hogy a tudós kreatív gondolatainak helyet biztosított. Ennek az igénye Newton vallási kézírataiban szintén felmerül. A tudós talál arra módot, hogy a vallási axiómákként egyáltalán nem kezelhető ötleteit megfogalmazhassa, erről pedig óriási mennyiségű vallási kézírata tesz bizonyosságot.

IRODALOM

- Cohen, Bernard 1962. The First English Version of Newton's Hypotheses non fingo. *Isis*. 53/3. 379–388.
- Cohen, Bernard 1969. Hypotheses in Newton's Philosophy. *Boston Studies in the Philosophy of Science*. 5. 304–326.
- Ducheyne, Steffen 2012. *The Main Business of Natural Philosophy: Isaac Newton's Natural-Philosophical Methodology*. Dordrecht – Heidelberg – London – New York, Springer.
- Erdei Ildikó – Kutrovácz Gábor – Vassányi Miklós 2019. Isaac Newton: Általános Magyarázat – Forrásközlés bevezető tanulmánnyal. In Olay Csaba – Schmal Dániel (szerk.) *Értelem és érzelem az európai gondolkodásban*. Budapest, KRE – L'Harmattan. 99–112.
- Euklidész 1983. *Elemek*. Ford. Mayer Gyula. Szabó Árpád előszavával. Budapest, Gondolat.
- Illife, Rob 2017. *Priest of Nature: The Religious Worlds of Isaac Newton*. New York, Oxford University Press.
- Janiak, Andrew 2008. *Newton as Philosopher*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Johnson, Samuel 1785. *A Dictionary of the English Language*. London, J. F. and C. Rivington.
- Laudan, Larry 1970. Thomas Reid and the Newtonian Turn of British Methodological Thought. In Robert E. Butts – John W. Davis (szerk.) *The Methodological Heritage of Newton*. Toronto, University of Toronto Press. 103–131.
- Maxwell, John 1715. *A Discourse concerning God*. London, Printed for W. Taylor, at the Ship in Pater-Noster-Row; and J. Senex at the Globe in Salisbury-Court. 95–106.
- McGuire, J. A. 1995. *Tradition and Innovation: Newton's Metaphysics of Nature*. Dordrecht–Boston–London, Kluwer Academic Publishers.
- Newton, Isaac é. n. *Paradoxical Questions concerning the Morals & Actions of Athanasius and His Followers*. (Kézirat.) Keynes Ms. 10, King's College, Cambridge, UK.
- Newton, Isaac 1686. *Philosophiæ naturalis principia mathematica. S. Pepys Reg. Soc. Presses*. Londini: Juffu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Profiant Venales apud Sam. Smith ad infignia principis Walliæ in Coemiterio D. Pauli.
- Newton, Isaac 1714. An Account of the Book Entituled commercium Epistolicum Collinii Et Aliorum, De Analysi Promota. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 342/1714. 173–224.
- Newton, Isaac 1726. *Philosophiæ naturalis principia mathematica. Auctore Isaaco Newtono, Eq. Aur. Editio tertia aucta et emendata*. Henry Pemberton (szerk.) Londini Apud Guil. et Joh. Innys, Regiæ Societatis typographos. 526–530.
- Newton, Isaac 1726/1759. *Principes mathématiques de la philosophie naturelle, par feu Madame la Marquise du Chastellet*. A Paris, Chez Desaint et Saillant, rue S. Jean de Beauvais, Lambert, Imprimeur-Libraire, rue et à côté de la Comédie Française, au Parnasse. Volume 2, 174–180.
- Newton, Isaac 1977. *A világ rendszeréről és egyéb írások*. Válog., ford. és utószó Fehér Márta. Budapest, Magyar Helikon.
- Newton, Isaac 1962/1978. De Gravitatione et æquipondio fluidorum. In A. Rupert Hall – Marie Boas Hall (szerk.) *Unpublished Scientific Papers of Sir Isaac Newton: A Selection from the Portsmouth Collection in the University Library, Cambridge*. Cambridge, Cambridge University Press. 90–156.
- Newton, Isaac 1999. *The Principia: The Authoritative Translation: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Ford. I. Bernard Cohen – Anne Whitman – Julia Budenz. Berkeley, University of California Press.

- Newton, Isaac 2003. *Isaac Newton válogatott írásai*. Ropolyi László – Szegedi Péter (szerk). Budapest, Typotex.
- S. n. *Journal des sçavans*. Vol. 16. (2 Aug. 1688) 237–238.
- Selye János 1967. *Az álomtól a felfedezésig*. Budapest, Akadémiai.
- Shapiro, Allan E. 2004. Newton's 'Experimental Philosophy'. *Early Science and Medicine*. 9. 168–217.
- Zinsser, P. Judit 2001. Translating Newton's 'Principia': The Marquise du Châtelet's Revisions and Additions for a French Audience. *Notes and Records of the Royal Society of London*. 55/2. 227–245.