

Kvasz László

Newton (anti)kartezianizmusa*

A kartezianus filozófiának kettős, közvetlen és közvetett hatása volt a következő nemzedékekre. *Közvetlen hatást* azokra a filozófusokra és tudósokra gyakorolt, akik kartezianusoknak tekintették magukat, és valamilyen módon továbbfejlesztették Descartes filozófiai vagy fizikai örökségét. E mellett a közvetlen kartezianizmus mellett létezett azonban egy *közvetett hatás* is azoknál a tudósoknál, akik ugyan nem tekintették magukat kartezianusoknak, de a kartezianus rendszer mégis meglehetősen erősen hatott rájuk. Írásomban ennek a közvetett kartezianizmusnak egy sajátos esetét kívánom elemezni – Newton esetét. Descartes Newton fizikájára tett közvetett hatásának megmutatása érdekében a következőképpen fogok érvelni:

1. A newtoni fizika néhány *alapelve* kartezianus eredetű.
2. A newtoni fizika által megoldott néhány *probléma* a kartezianus rendszerben gyökerezik.
3. A kölcsönhatás newtoni elméletének néhány *összetevője* kartezianus.

1. Kartezianus elvek a newtoni fizikában

A tudomány történeti fejlődéséről szóló különböző beszámolók szerzői a newtoni fizikát gyakran közvetlenül Galilei mozgáseméletével kapcsolják össze, és egyáltalán nem veszik figyelembe Descartes szerepét a fizika történetében. Galilei fizikája azonban legalább három tekintetben alapvetően különbözik a newtoni rendszertől:

- a) Galilei fizikájából hiányoznak *az egyetemes törvények*;
- b) Galilei fizikájából hiányzik a *kölcsönhatás* fogalma;
- c) Galilei fizikájából hiányzik bármiféle *ontológia*.

Érvelni lehet amellett, hogy a természet egyetemes törvénye, a testek közötti kölcsönhatás és a fizikai ontológia Descartes-tól eredő elgondolás. Azok a *speciális* törvények, amelyekkel a newtoni fizika leírta a természet rendszerét, természetesen nagyon különbözőek azoktól a törvényektől, amelyeket Descartes kívánt tulajdonítani e rendszernek. Ehhez hasonlóan az a *speciális* mód, ahogyan a newtoni tudomány leírta a testek közötti kölcsönhatásokat, nagyon különböző a kölcsönhatás kartezianus leírásától, végül az a *speciális* ontológia, amelyen a newtoni rendszer alapul, lényegileg különbözik a kartezianus ontológiától. Így sem azok a technikai részletek, sem az a mód, ahogyan Newton leírta az egyete-

* Első változata angol nyelvű előadásként hangzott el 2006. december 1-jén, az ELTE Bölcsészettudományi Karán *Cartesianism in Europe, Cartesianism in Hungary* címmel szervezett konferencián.

mes törvényeket, a testek közötti kölcsönhatásokat és a fizikai világegyetem ontológiáját, nem karteziánus jellegűek; *karteziánus azonban maga az elgondolás, hogy a tudománynak egyetemes törvényeket kell keresnie, hogy ezeknek a törvényeknek kölcsönhatásokat kell leírniuk, és hogy a kölcsönhatások e leírásának ontológiai alapja kell legyen.* Ez az oka annak, hogy a newtoniánusok és karteziánusok közötti minden ellentét dacára úgy vélem: a karteziánus filozófiának alapvető közvetett hatása volt a newtoni tudományra.

1.a Egyetemes törvények a fizikában

Ha a természet könyvében megírt és Galilei felfedezte bármely törvényt vesszük – például a szabadesés törvényét, az inga egyenlő idejű mozgásának törvényét vagy a lejtőn való mozgás törvényét –, úgy találjuk, hogy mindezen törvények *különös jelenségeket leíró törvények.* Galilei tudományában minden különös jelenségnek megvan a speciális törvénye, amely leírja ezt a jelenséget. A newtoni rendszer alaptörvényei viszont – mint a tehetetlenség, az erő, a hatás és kölcsönhatás törvénye – *egyetemes* törvények. Vehetjük a szabadon eső testet, az ingát vagy a lejtőn mozgó testet, a három newtoni törvény alkalmazható e jelenségek mindegyikére.

Úgy tűnik, hogy az első egyetemes törvény a fizikában a mozgásmennyiség megmaradásának törvénye, amelyet Descartes vezetett be. Ez a törvény nyilvánvalóan egyetemes, mert – mint a három newtoni törvény – alkalmazható a szabadon eső testre, az ingára, vagy a lejtőn csúszó testre. Tehát *abban, hogy egyetemes törvényeket használ föl a természet leírásában, a newtoni tudomány inkább karteziánus, mint galileánus.*

1.b A kölcsönhatás leírása

A Galilei felfedezte minden törvény másik érdekes közös vonása, hogy azok egyes, elszigetelt testek viselkedését írják le. A szabadesés törvénye egyetlen test esését írja le, hasonlóan az inga törvényéhez, amely egyetlen test periodikus mozgását írja le, és a lejtőn való haladás törvényéhez, amely szintén egyetlen test lecsúszását írja le. Így mondhatjuk, hogy Galilei fizikájából hiányzik *a kölcsönhatás fogalma.* Másrészt viszont az egész newtoni fizika alapvető törekvése volt *a testek közötti kölcsönhatás leírása* (természetesen az erő fogalmának használatával).

A testek közötti kölcsönhatás első elméleti leírását minden valószínűség szerint Descartes adta, amikor bevezette a kiterjedés és mozgás által megadható dinamikus állapot fogalmát, a kölcsönhatást pedig ennek az állapotnak az ütközés révén való megváltozásaként írta le. Tehát *a testek közötti kölcsönhatások leírásában a newtoni tudomány inkább karteziánus, mint galileánus.*

1.c Fizikai ontológia

Galilei tudományának harmadik jellemzője, hogy hiányzik belőle az ontológia minden formája. Galilei *tisztán fenomenológiai módon* kívánta kifejteni a tudományt. (A „fenomenológia” kifejezést nem a husserli értelemben használom,

hanem úgy, ahogyan az a fizikában megszokott.) Galilei tudományának törekvése egyszerűen az volt, hogy fölfedezze a jelenségben rejlő matematikai törvényszerűségeket. A tudománynak ezzel a meglehetősen „pozitívista” fogalmával ellentétben a newtoni fizika *világos (korpuszkuláris) ontológiával* rendelkezik.

Descartes volt az első, aki észrevette annak a szükségességét, hogy a fizikát ontológiai alapokra helyezzük, *elméleteinek kifejtett ontológiai alapokra építésében tehát a newtoni tudomány inkább karteziánus, mint galileánus.*

1.d Összefoglalás

Természetesen nem tagadhatjuk, hogy Newton elvetette a karteziánus természettörvényeket, a kölcsönhatás karteziánus leírását, valamint a karteziánus ontológiát, és így nem nevezhetjük karteziánusnak a szó közvetlen jelentésében. Sőt, e szigorú visszautasítások és tagadások antikarteziánusnak tüntetik fel. Mindemellett azonban Newton Descartes-nak köszönheti azt az elgondolást, hogy a természettörvényeknek egyetemeseeknek kell lenniük, hogy a testek közötti kölcsönhatásokat kell leírniuk, és hogy ezeknek a testeknek valamilyen ontológiai státusuk kell hogy legyen. Ezek az elgondolások alapvetően karteziánusak, és így mélyebb értelemben joggal mondhatjuk, hogy Newton karteziánus volt.

2. A newtoni rendszer karteziánus gyökerei

Az előző fejezetben láttuk, hogy a newtoni fizikában jelenlévő néhány alapelv karteziánus eredetű. E mellett az elég bizonytalan és általános értelem mellett, mely szerint a newtoni rendszer karteziánusként jellemezhető, a karteziánus örökség néhány jellegzetesebb hatására is rábukkanhatunk, ha alaposabban elemezzük a newtoni rendszert.

Bizonyos Descartes-hatást már Newton művének címén is láthatunk: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, amely utalás Descartes munkájára, a *Principia Philosophiae*-ra. Mintha Newton azt próbálná mondani a karteziánusoknak, hogy az elveket igenli ugyan, de a matematikaiakat, nem pedig a spekulatívakat; a filozófiát igenli ugyan, de a természetfilozófiát, nem pedig a *cogitóról* folytatott spekulációt. Ezekben az utalásokon kívül a két rendszer általános szerkezetében is vannak hasonlóságok. Newton rendszerében három mozgástörvény van, épp úgy, mint a karteziánus rendszerben, és a tehetetlenség törvénye Newton megfogalmazásában egyszerűen Descartes első két törvényének egyesítése. Mindemellett ezek inkább felszíni hasonlóságok, amelyek nem érintik a két rendszer tartalmát. Ha továbbmegyünk, és hátrahagyjuk ezeket a feltűnő hasonlóságokat, azt találjuk, hogy van egy pont, ahol a karteziánus rendszer sokkal erősebb hatást gyakorolt Newtonra, mégpedig az, hogy *a newtoni fizika által megoldott fő problémák karteziánus eredetűek.* Azért, hogy ezt megláthassuk, a karteziánus fizika fő hiányosságaira kell összpontosítanunk (ahogyan az előző fejezetben Galilei rendszerének fő hiányosságaira összpontosítottunk). A karteziánus rendszer hiányosságai a következők:

- a) *laza a kapcsolat a fenomenológiai és az ontológiai szint között;*
- b) *a mozgás leírása oksági szempontból nyitott;*
- c) *a kölcsönhatás nem kielégítő leírása.*

Ha ebből a perspektívából nézzük a newtoni rendszert, azt látjuk, hogy a newtoni tudomány fő teljesítményei ezekre a hiányosságokra adott válaszok vagy megoldások. (Hasonló módon ahhoz, ahogyan a karteziánus rendszer fő teljesítményei magyarázhatók Galilei rendszerének fő hiányosságaira adott válaszokként, illetve azok megoldásaként.)

2.a Az ontológia összekötése a jelenségekkel

A karteziánus rendszer első hiányossága az volt, hogy csupán laza kapcsolat volt benne a jelenségek és az azokról beszámoló magyarázó modellek között. Így például Descartes a nehézkedés jelenségét híres örvénymodelljével magyarázta. Posztulálta a finom anyag örvénylését, de nem adott kulcsot ahhoz, hogy az örvény sajátos aspektusait (sebességét, szerkezetét, irányát stb.) összefüggésbe hozzuk a nehézkedés jellemző tulajdonságaival (egyneműségével, irányával, folyamatosságával stb.) Nyilvánvalóan ez volt az elmélet egyik fő gyengesége, amely az egésznek spekulatív színezetet adott. Newton egyik fő módszertani elve ezzel szemben az, amit híres kijelentésében így fogalmaz meg: *Hypotheses non fingo*. E világosan antikarteziánus elv pontosan a karteziánus fizika magyarázó modelljei ellen irányul. A newtoni rendszer az ontológiai- és a jelenség-szintet matematikai keretben köti össze egymással, ez pedig megengedi, hogy a jelenség egyik aspektusából levezessük az ontológia megfelelő aspektusát és viszont. Így például Newton le tudta vezetni Kepler törvényeiből – amelyeket a jelenségek közé számított – az egyetemes tömegvonzás fordított négyzetes törvényét. De bármennyire is a newtoni rendszer nem-karteziánus aspektusa az ontológia és a jelenségek szoros összeköttetése, mégis válasznak tekinthető a karteziánus rendszer mély feszültségére – magyarázó modelljeinek megbízhatatlanságára –, így pedig közvetett értelemben mégis a newtoni rendszer karteziánus aspektusának tekinthetjük.

2.b Az oksági rés bezárása

A karteziánus rendszer másik alapvető hiányossága, hogy a mozgás leírása oksági tekintetben nyílt, és így például az elme oksági hatással lehet a testre: *egy fizikai folyamatot*, mint például a karom fölemelését, *okozhat egy nem-fizikai esemény*, ebben az esetben elhatározásom, hogy így teszek. Ez azt jelenti, hogy a mozgás descartes-i leírása oksági tekintetben nem zárt. Ez az oksági rés közeli kapcsolatban áll azzal a ténnyel, hogy Descartes szerint a sebesség skalármennyiség, azaz a mozgásirány megváltozása nem hat a mozgásmennyiség értékére. Következésképpen a mozgásmennyiség megmaradásának törvénye nem határozza meg a mozgásirány változásait, s így a karteziánus rendszerben rés támad, ahová az elme behatolhat.

Newton bezárta ezt a rést, amikor bevezette a sebesség mint vektormennyiség fogalmát, így a newtoni rendszerben a mozgás irányának minden változása

egyben a mozgásmennyiség változása is, amelyet erőknek (vagyis fizikai okoknak) kell okozniuk. Ha össze kívánjuk hasonlítani ebben a tekintetben a karteziánus és a newtoni rendszert, tekintsük a falnak ütött labdát. Descartes szerint, amikor a labda visszapattan a falról, sebessége nem változik, a labda csupán „irányultságát” változtatja meg, és ugyanazzal a sebességgel mozog visszafelé, így a mozgásmennyiségben nem történik változás. Ezzel ellentétben Newton szerint, amikor a labda visszapattan a falról, mozgásmennyiségének normál komponense az ellentettjére változik. Ez azt jelenti, hogy megváltozott a mozgásmennyiség, és így erők hatottak. Bár a sebesség mint vektormennyiség newtoni fogalma nem-karteziánus fogalom, Newton a karteziánus rendszer mély problémájának, oki nyíltságának megoldására vezette be, és így közvetett értelemben ez is a newtoni rendszer egyik karteziánus aspektusa.

2.c A kölcsönhatás determinisztikus leírása

Másik alapvető hiányossága a karteziánus rendszernek, hogy a mozgásmennyiség fogalmát az univerzumra mint egészre vezette be, így az magában foglalta a világegyetemben lévő összes test mozgását. Tényleges értékét ezért szigorúan véve lehetetlen volt kiszámítani. Így, bár Descartes azért vezette be ezt a fogalmat, hogy testek közötti kölcsönhatásokat írjon le, az mégsem alkalmazható egyetlen, az egész világegyetemnél kisebb konkrét állapotra sem. Ez természetesen gyakorlatilag használhatatlanná teszi a mozgásmennyiség megmaradásának törvényét. Igaz, hogy Descartes testek ütközésének a leírására használta törvényét, de minden leírása kontrafaktuális volt, hiszen a valóságban Descartes szerint minden test a finom anyag örvényébe merül, amely fölveszi a mozgásmennyiség egy részét. Tehát szigorú értelemben a mozgásmegmaradás törvénye csupán az egész világmindenségre áll a karteziánus rendszeren belül.

A mozgásmennyiség megmaradása ennél kisebb rendszerekben csak akkor vált megragadhatóvá, amikor Newton a mozgás elméletének háttérévé az üres teret tette meg. Így a karteziánusok finom anyagának kiküszöbölésével Newton lehetőséget adott *korlátozott mechanikai rendszerek leírására*, amihez új matematikai eszközt alkotott – a differenciálegyenleteket. Newton második törvénye talán az első differenciálegyenlet a történelemben. Természetesen a differenciálegyenlet fogalma, amely olyan matematikai eszköz, amely képes a zárt mechanikai rendszerek időbeli alakulásának a leírására, nem karteziánus fogalom. Azonban Newton azért vezette be a fizikába, hogy megoldja a karteziánus fizika mély belső feszültségét – képtelenségét a korlátozott mechanikai rendszerekben zajló kölcsönhatások leírására –, így közvetett értelemben ez is a newtoni rendszer egyik karteziánus aspektusa.

2.d Összefoglalás

Mindezek alapján elmondható, hogy a newtoni fizika talán legfontosabb teljesítménye is – a kölcsönhatások matematikai leírása oksági tekintetben zárt, korlátozott mechanikai rendszerben – a karteziánus rendszerben rejlő problémákra adott választ. Ezzel elérkeztünk a második értelméhez annak a kijelentés-

nek, hogy a newtoni fizika karteziánus. Bár a természetfilozófia newtoni rendszere nagyon különbözött a karteziánus rendszertől (és ezért sok történész antikarteziánusnak tekinti), Newton a karteziánus rendszer mély fogalmi problémáira és belső feszültségeire adott válaszként dolgozta ki a maga rendszerét.

3. A kölcsönhatás newtoni elméletének karteziánus összetevői

Az előző fejezetben utaltunk rá, hogy a kölcsönhatás Newton alkotta matematikai leírása a karteziánus fizika fogalmi problémáiban gyökerezik. Valóban, azt látjuk, hogy a Newton által saját elmélete felépítésére használt sok összetevő már a karteziánus rendszerben jelen volt, még ha ott más is volt a funkciója, mint a newtoni rendszerben. A következőkben három ilyen összetevőre összpontosítunk:

- a) a kölcsönhatás mint *mozgásmennyiség-átvitel* leírása;
- b) az *erő* fogalma;
- c) az elgondolás, hogy a mozgásmennyiség-átvitelt *erők irányítják*.

Szinte hihetetlen, de a newtoni rendszer e három alapvető összetevőjének mindegyike jelen van Descartes-nál. Descartes a kölcsönhatásról úgy gondolta, hogy az egy bizonyos mozgásmennyiség átvitele az egyik testről a másikra, a kölcsönhatásról szóló elméletében használta az erő fogalmát, és feltételezte, hogy a mozgásmennyiség átvitelét erők irányítják. Így Newton saját elmélete minden szükséges összetevőjét megtalálhatta Descartes-nál. Az a mód azonban, ahogyan ezek az összetevők a karteziánus és a newtoni rendszerben összeállnak, eléggé különböző: Newton e fogalmakat *kiszabadította* karteziánus összefüggéseikből, lényegileg *megváltoztatta*, majd igen különböző rendben *újraegyesítette* őket.

3.a A kölcsönhatás mint mozgásmennyiség-átvitel

A kölcsönhatás karteziánus fogalma a *harc* képzetén alapul, amelyen az előző állapotot (a nyugalmat, illetve a mozgást) fenntartani kívánó két tendencia ütközése értendő. A küzdelem eredménye az egyik tendencia győzelme a másik rovására. A kölcsönhatás paradigmátikus modellje Descartes-nál két test ütközése. Descartes szerint a nagyobb test meghatározza az ütközés kimenetelét, és így a két test további mozgását is. Ha a mozgó test a nagyobb, akkor az ütközés után mindkét test az eredeti mozgásirányban mozog majd tovább. Mindemellett a kölcsönhatás leírása *különválnak* a mozgás leírásától. A test egyenes vonalú egyenletes mozgást végez, amíg erre lehetősége van, amikor pedig ez a mozgás lehetetlenné válik, ütközés történik. Így a test mozgása egyenes vonalú egyenletes mozgások időszakaszaiból áll, amelyeket *egyedi események* választanak el egymástól – ütközések, amikor a test állapota megváltozik.

Vegyük *B* testet, amely V_B sebességgel mozog, és ütközik *C* nyugalomban lévő testtel, és tételezzük fel, hogy a mozgásban lévő test a nagyobb. Az ütközés előtt a teljes mozgásmennyiség összege BxV_B . Az ütközés után Descartes szerint

mindkét test olyan sebességgel mozog tovább, amelyet a mozgásmennyiség megmaradásának törvénye határoz meg, a következő módon:

$$V = \frac{B \times V_B}{B + C}$$

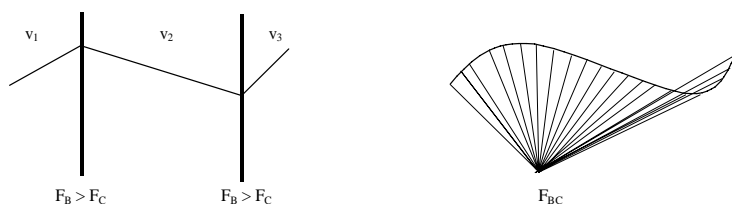
Látjuk, hogy az eredeti V_B sebességet itt megszoroztuk a

$$\frac{B}{B + C}$$

szorzóval, amely kisebb egynél. Ez azt jelenti, hogy B test lelassult, vagyis elveszítette eredeti mozgásmennyiségének bizonyos részét. Másrészt a nyugalomban lévő C test mozgásba kezdett, és így bizonyos mozgásmennyiségre tett szert. A két mennyiség egyenlő

$$\frac{C \times B \times V_B}{B + C} \text{ -vel.}$$

Így Descartes szerint a kölcsönhatás a kölcsönhatásban álló testek bizonyos mozgásmennyiségének cseréjében áll. Alapjában ugyanez áll a kölcsönhatás newtoni fogalmára, még ha Newton sok tekintetben meg is változtatta a kölcsönhatás karteziánus fogalmát.



A kölcsönhatás Descartes elképzelése szerint A kölcsönhatás Newton elképzelése szerint

Descartes-tal ellentétben Newton a kölcsönhatáson *együtműködést* értett. A kölcsönhatás folyamán a gyorsabb test felgyorsítja a lassúbb testet, ezzel egy időben pedig a lassúbb test lassítja a gyorsabbat. Az eredő mozgás kompromisszum, mindkét test mozgásának eredménye. Így az ütközés eredménye sem nem egyszerű visszapattanás az akadályról, sem nem a két test eggyé válása, hanem valami a kettő között. A második, talán még fontosabb változás, hogy a mozgás és a kölcsönhatás *egyidejűleg* történik, nem különülnek el egymástól, mint Descartes-nál. Newton szerint az erők állandóan hatnak, és hatásuk végigkíséri az egész mozgást. A harmadik változás, hogy a kölcsönhatás nem egyedi esemény, nem elszigetelt pillanatokban történik, mint Descartes-nál: Newton szerint egy test a másik testre *végtelenül kis dt* (vagy *o*) *időintervallumban* hat. Igaz, hogy Newton még mindig erőimpulzusokról beszél, de minden egyes konkrét számításában a határátmenetet veszi. Határesetben az impulzusok végtelenül sűrűek lesznek, és minden egyes impulzus nagysága infinitezimálisan kicsi lesz, végül folytonos képet kapunk, és ez a folytonos kép az, ami fontos, mert Newton minden relációt, amelyet számításaiban használ, csak erre a határesetre tart érvényesnek.

De mindezen változtatások dacára az alapelgondolás, hogy a kölcsönhatás egy bizonyos mozgásmennyiség átvitele az egyik testről a másikra, megőrződik, így a kölcsönhatás newtoni fogalma bizonyos értelemben mégis karteziánus.

3.b Az erő fogalma

A newtoni mozgáselmélet másik fontos, világosan karteziánus összetevője az erő fogalma. Galilei nem alkalmazott fizikájában ilyen elgondolást, mert úgy vélte, hogy okkult elképzelés az, amely szerint egy test képes egy másikra a távoból hatni. Az erőt Descartes vezette be a fizikába, szerepük a karteziánus rendszerben pedig az volt, hogy *megőrizték a test állapotát*. Nem a testek között hatnak, hanem inkább minden testet jelenbeli nyugalmi állapotához vagy egyenes vonalú mozgásához kötnek, így lefelé mutató nyilakkal ábrázolhatjuk őket. Csak az ütközés pillanatában játszanak szerepet, amikor meghatározzák az egyenes vonalú egyenletes mozgást végző test irányát és sebességét a következő időszakaszban. Vegyük ismét B mozgó testet, amely C álló testtel ütközik. Descartes így határozta meg a B mozgó test mozgatóerejét:

$$F_B = \frac{B^2 \times V_B}{B + C}$$

vagyis mint a B mozgó test nagyságának és az ütközés utáni közös sebességnek

$$V = \frac{B \times V_B}{B + C}$$

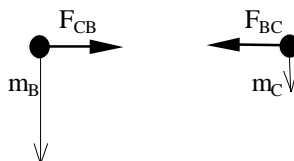
a szorzatát. Másrészt, C álló test ellenállóerejét így határozta meg:

$$F_C = \frac{C \times B \times V_B}{B + C}$$

vagyis mint C álló test nagysága és az ütközés utáni közös sebesség szorzatát. Attól függően, hogy e két erő közül melyik a nagyobb - az F_B mozgatóerő B testben, vagy az F_C ellenállóerő a C testben - a kölcsönhatás eredménye vagy az lesz, hogy B átadja mozgását C -nek, vagy az, hogy B egyszerűen vissz pattan, míg C megőrzi nyugalmi állapotát. Így *Descartes szerint egy test ereje magára a testre hat, és egyszerűen megőrzi annak mozgását vagy nyugalmi állapotát*.



Az erő Descartes elképzelése szerint



Az erő Newton elképzelése szerint

Newton szerint az erő az a valami, ami révén az egyik test a másikra hat, és annak állapotát változtatja meg. Az állapot megőrzésének szerepét, amelyet Descartes az erőknek tulajdonított, a newtoni rendszerben a tömegek játsszák.

Newton a tömeg fogalmának bevezetésével felszabadította az erőket abból a szerepből, hogy a testeket saját állapotukhoz kössék, és így megnyitotta a lehetőségét annak, hogy az erőknél új szerepet tulajdonítson – más testek állapotának a megváltoztatását. A newtoni erők a kölcsönhatás erői, amelyek a két testet összekötő vonal mentén hatnak.

Ám, dacára az erőfogalom meglehetősen radikális megváltoztatásának, maga az elgondolás, hogy az erőket kölcsönhatások leírásában használja, megint csak karteziánus. Így a kölcsönhatás newtoni elmélete tágabb értelemben karteziánus.

3.c Az erőfogalom és a mozgásmennyiség cseréje közötti viszony

Descartes szerint az ütközés eredménye attól függ, hogy melyik erő a nagyobb: B test mozgatóereje, vagy C test ellenállóereje. Az ütközést így a következő viszony határozza meg:

$$\frac{B^2 \times V_B}{B+C} > \frac{C \times B \times V_B}{B+C}$$

A bal oldalon álló mennyiség B test mozgatóereje, a jobb oldalon álló mennyiség pedig C test ellenállóereje. E mennyiségeknek ugyanaz a nevezőjük, és valójában az egyetlen különbség közöttük a testek nagysága, a többi mennyiség kioltja egymást. Így jutunk arra a karteziánus eredményre, hogy B mozgó test akkor és csak akkor nyeri meg a küzdelmet, ha $B > C$, vagyis ha B test nagyobb, mint C test.

Most látjuk, hogy miért tartotta úgy Descartes az ellentétes bizonyítékok dacára, hogy egy mozgó test a nyugvó testet csak akkor tudja mozgásba hozni, ha nagyobb annál. Ez szükségszerű következménye a képletnek. Amikor ez történik, B mozgó testnek át kell adnia mozgásmennyisége egy részét C nyugalomban lévő testnek azért, hogy megmozdítsa. Látjuk, hogy Descartes helyesen látta azt, hogy a kölcsönhatás bizonyos mozgásmennyiségnek az egyik testről a másik testre való átviteléből áll. Mindazonáltal *a karteziánus rendszerben a mozgás átmenete az egyik testről a másikra elvált az erők hatásától*. Az erők döntik el a küzdelem kimenetelét, eldöntik, hogy az eredmény a mozgó test visszapattanása vagy a két test együttes mozgása lesz-e, de semmilyen szerepet nem játszanak az egyik testről a másikra történő következő mozgásátvitelben, ezt az átvitelt csak a mozgásmennyiség megmaradásának törvénye irányítja. Descartes így két szinten ábrázolja a kölcsönhatást. Az első szint az erők küzdelméből áll, és a főnti képlet vezérli; a második szint a testek közötti mozgásátvitelből áll, és a mozgás-megmaradás törvénye vezérli; ám ezek a szintek elszigeteltek egymástól.

A kölcsönhatás kiterjesztése az egyszeri pillanatról a dt időintervallumra, illetve az erő mint a kölcsönhatás erőinek fogalma lehetővé tette Newton számára, hogy összekapcsolja az erők hatását a mozgásmennyiség-átvitellel. Descartes a mozgatóerőt így definiálta:

$$F_B = \frac{B^2 \times V_B}{B+C}$$

az ellenállóerőt pedig így:

$$F_c = \frac{C \times B \times V_B}{B + C}$$

Még ha e két definíció hasonlóknak látszik is (az erőt mindkét esetben a megfelelő test és az ütközés utáni közös sebesség határozza meg), figyelemre méltó *fogalmi konfliktus* rejlik bennük. Descartes a mozgatóerőt mozgásmennyiség-maradékként határozza meg, amely *B* testnél marad fenn az ütközés után, az ellenállóerőt pedig mozgásmennyiség-többletként, amelyet *C* test ér el az ütközés során, ezért úgy tűnik, mintha Descartes tétovázna az erők és mozgásmennyiségek összefüggésének két módja között.

Newton szerint ellenben az erő nem a mozgásmennyiség-maradékkal vagy a mozgásmennyiség-többlettel, hanem *a mozgásmennyiség-változás sebességével* egyenlő. Descartes nem érthette ezt az összefüggést, mert a kölcsönhatást pillanatnyi eseményként írta le, ezért a karteziánus rendszerben nincs mód arra, hogy bevezessük a mozgásmennyiség-változás sebességének a fogalmát. Látjuk az alapvető jelentőségét annak, hogy Newton beágyazta a mozgásmennyiség-átvitelt az idő folyásába, és így számára a kölcsönhatás nem egyedi esemény, hanem időbeli kiterjedése van. Ez teszi lehetővé, hogy összekössük az erőt a mozgásmennyiség-változás sebességével Newton második törvényében: $Fdt = dp$

Newton egyik alapvető eredménye tehát az volt, hogy összekötötte a mozgásmennyiség-változást az erőhatással. E tény fontosságát gyakran félreértik, és Newton második törvényét úgy tekintik, mint pusztán az erőfogalom definícióját. Így azonban az az alapvető fogalmi munka, amely mögötte van, homályban marad. Newton mind az erő, mind a mozgásmennyiség fogalmát mélyrehatóan megváltoztatta, és mindenekelőtt az egész kölcsönhatást az időfolyamatba ágyazta, hogy összekapcsolhassa egy erő hatását a mozgásmennyiség-változással.

3.d Összefoglalás

Láthattuk, hogy a kölcsönhatás newtoni elmélete ugyanazokból az összetevőkből áll, mint a karteziánus elmélet: úgy értelmezi a kölcsönhatást, mint *a mozgásmennyiség cseréjét*, a kölcsönhatás leírására *erőket alkalmaz*, és *összefüggésbe hozza ezeket az erőket a mozgásmennyiség változásaival*. Ám ezek az alkotórészek mindkét elméletben másként értendők.

Descartes számára a kölcsönhatás *egyedi* esemény, amely *küzdelem* formájában megy végbe. E küzdelmet erők, mégpedig a *tehetetlenségi erők* vezérlik, amelyek egyenlők a *maradék* vagy *átvitelt mozgásmennyiséggel*. Ezzel ellentétben Newton számára a kölcsönhatás *folytonos folyamat az együttműködés* formájában, amelyet *kölcsönható erők* vezérelnek, amelyek egyenlők *a mozgásmennyiség-átvitel sebességével*.

Mindazonáltal az, hogy a kölcsönhatás egész newtoni elmélete kifejehető a karteziánus háttéren, és minden alapvető pontján szembeállítható vele, világosan mutatja a newtoni és a karteziánus elmélet fogalmi közelségét. Nyilvánvaló, hogy ilyen összehasonlítás nem lenne lehetséges mondjuk a mozgás newtoni és Galilei-féle elmélete között. Ezért úgy vélem, hogy az *anti-* előképzőt a jelen írás címéből törölhetjük, és Newtont szakmailag pontosabb szóval a (reform)karteziánusok közé sorolhatjuk, dacára mindannak, ami a tudomány személyes, társadalmi vagy intézményes felszínén történt.

- Boros Gábor: *Descartes*. Áron Kiadó, Budapest, 1998.
- Cottingham, J. (ed.): *The Cambridge Companion to Descartes*. Cambridge University Press, New York, 1992.
- Descartes, R.: *Principles of Philosophy*. [Trans. by V. R. Miller and R. P. Miller]. Reidel, Dordrecht, 1983. [Első kiadás: 1644]
- Fauvel, J. (ed.): *Newtons Werk. Die Begründung der modernen Naturwissenschaft*. Birkhäuser, Basel, 1993.
- Gabbey, A.: Force and Inertia in the Seventeenth Century: Descartes and Newton. In Garber, D.: *Descartes' metaphysical physics*. The University of Chicago Press, Chicago, 1992.
- Gaukroger, S. (ed.): *Descartes, Philosophy, Mathematics and Physics*. The Harvester Press, Sussex, 1980.
- Herivel, J., *The Background to Newton's Principia*. The Clarendon Press, Oxford, 1965.
- Kvasz, L.: Galilean physics in light of Husserlian phenomenology. *Philosophia Naturalis*, 39, 2002/2, 209–233.
- Kvasz, L.: The Mathematization of Nature and Cartesian Physics. *Philosophia Naturalis*, 40, 2003/2, 157–182.
- Kvasz, L.: The Mathematization of Nature and Newtonian Physics. *Philosophia Naturalis*, 42, 2005/2, 183–211.
- Newton, I.: *The Principia* [A New Translation by I. Bernard Cohen and Anne Whitman, Preceded by A Guide to Newton's *Principia*]. University of California Press, Berkeley, 1999. [Első kiadás: 1687]
- Newton, I.: *Unpublished scientific papers of Isaac Newton*. [Ed. A. R. Hall and M. B. Hall] Cambridge, 1962.
- Westfall, R.S.: *Force in Newton's Physics*. Neale Watson, New York, 1971.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani Boros Gábornak az írásom elkészítése során nyújtott támogatásért és segítségért. Cikkem a VEGA 1/3621/06 számú, *Az egzakt tudományok történeti és filozófiai szempontból (Historical and philosophical aspects of exact disciplines)* című projektjének része.