

Kistüttösi Gyula

Descartes ütközési törvényeinek deduktív levezetései

BEVEZETÉS

A tudományos tudás történetének mai felfogása révén előtérbe került az elfeledett, elbukott, meghaladott tudományos elméletek vizsgálata, belső összefüggéseik megértése. Ebből a szempontból Descartes munkássága mindenképpen kiemelt figyelemre tarthat számot, mert jóllehet őt magát úgy ismerik, mint a modern tudomány egyik megalapítóját, természettudományára szinte sehol sem találunk hivatkozásokat. Kuhn alapján azt mondhatjuk, hogy mint vesztés paradigmat, teljesen törölték a tudományos szakirodalomból.

Írásomban szeretném bemutatni a mechanikai filozófia alapját, az a priori fizikát, törvényeit, fogalmait és összefüggéseit, valamint felhívni a figyelmet Descartes elméletének koherenciájára, illetve néhány, a mai fizikai szemléletből eredő félreértésre. A newtoni alapokon nyugvó fizika fogalmait felhasználva csak egy torz tükrön keresztül vagyunk képesek szemlélni a descartes-i elméletet. A látszólag azonos fogalmak nem minden esetben ugyanazok, és más az ontológiai kiindulópont is. Ilyen eltérések esetén sokkal helyesebb eljárás, ha a kérdéses elmélet belső összefüggéseiből indulunk ki, és a hiányzó kapcsolatokat az adott elméleten *belül* keressük meg. Nem célom tehát, hogy a karteziánus és a newtoni mechanikát összehasonlítsam, egyiket a másik fogalmaival értelmezsem. Nem használom fel kritikátlanul Newton ontológiai alapfeltevéseit, igyekszem elkerülni, hogy a newtoni értelemben vett tapasztalatot tekintsem mérvadónak a descartes-i elmélet rekonstrukciójánál. Sokakkal ellentétben nem tartom helyesnek, hogy egy módszertani szempontból olyan tudatos szerzőnél, amilyen Descartes, a tudományos elmélet belső inkonzisztenciája esetén a szerző tévedésére hivatkozzunk, és megpróbáljuk állításait kiigazítani vagy átértelmezni, esetleg kidolgozatlanok beállítani.

A következőkben azokat a premisszákat, előfeltevéseket, szemléletmódokat keresem, amelyek ahhoz szükségesek, hogy a descartes-i elméletet a lehető legkonzisztensebbnek értelmezhessek. Célom az, hogy a descartes-i szövegek, különösen a karteziánus tudomány összefoglaló műve, *A filozófia alapelvei* szoros értelmezésével egy logikailag konzisztens elméletet rekonstruáljak úgy, hogy a lehető legszigorúbban támaszkodok a descartes-i szövegek állításaira, és a nyitva hagyott kérdésekre kizárólag az általuk megengedett interpretációkkal keresem a választ.

A DESCARTES-I FIZIKA KRITIKÁI

Descartes fizikájával szemben a szakirodalom számos kritikát fogalmazott meg. Ezek a kritikák általában összetettek, egyszerre fogalmaznak meg több hiányosságot is. Nézzük a fontosabbakat!

Kritika 1: Azonos, homogén anyaggal vákuummentesen kitöltött térben nem értelmezhető a testek eltérő sűrűsége. Descartes-nál nincs is kidolgozva sűrűsége vonatkozó magyarázat. Így a descartes-i mechanika nincs összhangban azzal a tapasztalattal, hogy azonos kiterjedésű testek nehezebbnek vagy könnyebbnek bizonyulnak.

Kritika 2: Az ütközési törvények ellentétesek a tapasztalattal. Descartes azt állítja ugyan, hogy nem a megfigyelésekből (empirikusan) vezette le az ütközési törvényeket, ezek némelyike mégis nyilvánvalóan ellentétes az ütközések során megfigyelhető jelenségekkel. Nincs tehát meghatározva, hogy hol érvényesek az ütközési törvények, illetve mi a szerepük.

Kritika 3: Descartes az ütközési törvények megfogalmazása során ellentmondott saját korábbi álláspontjának, illetve fizikája egyéb részeinek.¹

Kritika 4: Az ütközési törvények deduktív levezetése során Descartes ad hoc hipotéziseket alkalmazott.

Kritika 5: Az ütközési törvények nem teljeskörűen kidolgozottak. Nincsenek meghatározva az ütközéseket befolyásoló tényezők, a bonyolultabb testek ütközései, csak egy egyszerűsített modell esetei (két ideális test ütközése).

Ezek a kritikák három fő állítás köré csoportosíthatók. Szerintük a descartes-i elmélet 1. empirikusan nem sikeres, 2. fogalmilag szegényes és kidolgozatlan, 3. logikailag hibás és nem kellően megalapozott következtetéseket tartalmaz. Ha azonban valóban tudományosan akarunk eljárni, az első két kritikai szempontot el kell utasítanunk. Kezdetben a newtoni elmélet (és Kuhn alapján egyetlen elmélet) sem volt képes magyarázatot adni a jelenségek széles körére, és fogalmai, szabályai is csak hosszú idő alatt érték el ma ismert formájukat. Igazságtalan egy „paradigmajelöltön” a felbukkanásakor számon kérni azokat a részletes megoldásokat, amelyeket majd csak a tudományos kutatás normál szakaszában dolgoznak ki.²

A kritikák harmadik nagy csoportja talán még igazságtalanabb. Egy szerzőt jóindulatúan értelmezve csak akkor jelenthetjük ki határozottan, hogy logikai levezetése hibás, illetve nem kellően megalapozott (főként ha ő maga határozottan utal arra, hogy kizárólag deduktív úton jutott el következtetéseéhez), ha a levezetésben hibát, vagy a következtetésekben ellentmondást találunk. Az, hogy a levezetést nem sikerült rekonstruálni, nem jogosít fel bennünket erre. A következőkben bemutatom, hogy *az ütközési törvényeket le lehet vezetni a kételyből kiindulva, kizárólag a descartes-i módszer deduktív szabályai szerint. Nincs szükség sem egyszerűsítésekre, sem ad hoc hipotézisekre.* Az így kapott ütközési törvényekre minden bonyolultabb (például nem egyenes vonalú) ütközés visszavezethető.

¹ „R4 and R6: Descartes gave two different versions of these rules, and one can only speculate about the source of the inconsistency in the two versions.” (CLARKE 1991, 116.)

² Kvasz László kimutatta, hogy Newton elmélete felhasználta a karteziánus fizika egyes részeit, például az erő fogalmát, a kölcsönhatást a mozgásmennyiség-átvitel leírására, illetve Descartes azon gondolatát, hogy a mozgásmennyiség-átvitelt erők irányítják (KVASZ 2007b).

ELŐZETES MEGFONTOLÁSOK

SŰRŰSÉG

A newtoni fogalmakból eredő félreértések egyike a sűrűséggel kapcsolatos.³ Descartesnak hibájául róják fel, hogy fizikája nem tisztán és világosan – vagy még inkább részletesen – kifejtett. Kritikusai szerint hiányzik nála az anyag és a tömeg, a tömeg és a súly elkülönítése. Általában az anyag kiterjedés általi meghatározottságáról beszél, ezért nem tudja értelmezni a sűrűség fogalmát. Úgy vélik, hogy ezt a problémát maga Descartes is érzékelte, és sikertelenül próbált rá megoldást találni, mivel a vákuum tagadása és az anyag végtelen oszthatóságának elmélete nem magyarázhatja a világ változatos jelenségeit előidéző részecskék tulajdonságait (lásd CLARKE 1991, 112). Úgy vélem ezért, hogy mielőtt az a priori fizikát elemeznénk, érdemes tisztázni, milyen megoldást ad Descartes a testek eltérő sűrűségének kérdésére. Hagyományos értelemben a sűrűséget a test tömegének és térfogatának hányadosaként kapjuk. Az atomokból álló testek tömege az egyes atomok tömegének összege, térfogata pedig az atomok és a köztük lévő vákuum térfogatának összessége. Ha egy test sűrűbb, az azt jelenti, hogy adott térfogatában nagyobb hányadot foglalnak el az atomok, és kisebbet a vákuum, mint egy másik, kisebb sűrűségű testben.

Mivel Descartes nem ismeri el a vákuum létezését, fizikájának elemzése során problémát okozhat, hogy miként képes megmagyarázni a sűrűséget a homogén anyaggal vákuummentesen kitöltött térben. Ehhez *A filozófia alapelveinek sűrűséggel foglalkozó pontjai* sem igazán adnak segítséget (lásd DESCARTES 1996a, II. rész, 6–7. pont). Nem tartom jónak a Clarke által vázolt megoldást, amely szerint a gyorsabban vagy lassabban mozgó részecskék eltérő mértékű teret foglalnak el, mert ekkor meg kell engedni a vákuumot. Ennek további következménye lenne, hogy mivel vannak tömörebb és kevésbé tömör testek, a testben lévő anyag mennyisége nemcsak a test térfogatával, hanem a szilárdságával is arányos volna.⁴ A legnagyobb gond ezzel az elképzeléssel azonban az, hogy valójában a newtoni sűrűségfogalmat csempészi be a rendszerbe.

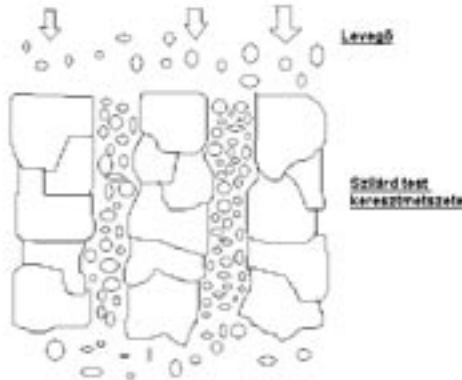
Más utat javaslok. A descartes-i hipotézis ki nem mondott – és gyakran tudomásul nem vett – következményeként (pontosabban előzményeként) meg kell különböztetnünk a mikrojelenségeket a makrojelenségektől, illetve a mikroszkopikus testeket – amelyek a jelenségek változatosságáért valójában felelősek, és a fizikai törvények közvetlenül vonatkoznak rájuk – az érzéki tapasztalat révén érzékelhető makroszkopikus testektől. Boros Gábor így ír erről: „Ott azonban, ahol a tényleges gyakorlatot alapelvekre próbálják visszavezetni, a mechanika igen szigorú tudományának kezdeményei bontakoznak ki. A kiindulópontot a mozgásnak, és pedig alapvetően a metafizikailag nem feltétlenül igazi atomokként értelmezett, szabad szemmel nem látható testrészecskék mozgásának egyfajta geometriai idealításban tekintett törvényszerűségeinek vizsgálata alkotja, ahol is az eredményeket az aritmetika nyelvén töreksze-

³Lásd például D. M. Clarke álláspontját: „In the absence of well-defined theoretical concepts, it is inevitable that the apparent clarity of Cartesian science masks deep conceptual confusions which only come to light on close inspection. Thus, Descartes does not distinguish clearly between matter and mass, nor between the mass and weight of a body. He notoriously defines matter in terms of extension, which seems to preclude any distinction between more or less dense bodies.” (CLARKE 1991, 112.)

⁴„It is possible for a very small particle of matter to occupy more or less space (to have a greater or smaller extension) by moving more or less fast within a determinate place. If it is objected that there must be a vacuum in such a place to permit movement, Descartes could respond that since the space is occupied by the particle of matter, there is no sense in describing the particle's immediate environment as a vacuum.” (CLARKE 1991, 112.)

nek megfogalmazni” (BOROS 2003, 12), illetve: „Valamely jelenség magyarázata akkor mechanikai, ha a mechanikára támaszkodik, azaz ha a makroszkopikus eseményeket a mikroszkopikus mozgások törvényszerűségeinek a segítségével magyarázza, [...]” (i. m. 38). A természet alaptörvényei ezekre a kicsiny testekre fognak vonatkozni, és csak áttételesen a makroszkopikus testekre. Tehát amikor a testek eltérőnek tapasztalt sűrűségéről beszélünk, akkor egy érzékszervi tapasztalatot írunk le, egy makroszintű jelenséget, amit a mikrojelenségekkel kell magyarázni.

Vegyük a világ magyarázatára adott descartes-i hipotézist, ahol a második elem részecskéi alkotják a gázokat, míg a szemmel érzékelhető szilárd testek a harmadik elem részecskéiből állnak össze. Mindkét elem részecskéi között az első elem részecskéi töltik ki a réseket. Tételezzük fel, hogy az első elem részecskéi képesek a harmadik elem részecskéi közti járatokban akadálytalanul, sűrűdéstől és mindenféle ellenállástól mentesen közlekedni, ki-be mozogni. Ha meglöknek közülük egy szélsőt, az csak a járatokban elhelyezkedő első elem részecskéinek adja tovább a mozgását, és végül vagy a túlsó oldalon fog egy részecskét kilökní, vagy megnövekszik a testen belül az első elem részecskéinek mennyisége (a test kitágul), de magára a test mozgására nem lesz hatással.



I. ábra. Szilárd testet érő hatás (például gravitáció). A harmadik elem részecskéi az alakjuk miatt bonyolult kölcsönhatások sorozatában adják át egymásnak a legszélsőt ért hatást. Ezzel szemben a köztük lévő résekben lévő első elem részecskéi az egyik oldalról jövő hatást „átviszik” a testen, anélkül, hogy a test viselkedését megváltoztatnák

Tegyük fel továbbá, hogy a testre ható gravitációt is csak a harmadik elem részecskéi érő hatások okozzák. Ekkor a test „tömege” a testben lévő harmadik elem részecskéinek összes térfogatával lesz arányos. A makroszkopikus test térfogata viszont nagyobb, mint a harmadik elem részecskéinek össztérfogata, mégpedig a benne lévő első elem részecskéinek össztérfogatával. *A filozófia alapelvei* II. részének 6–7. pontja szerint a sűrítés és a ritkítás a harmadik elem részecskéi közt lévő első elem részecskéi mennyiségének (térfogatának) változtatása. Ezen a módon értelmezhetünk egy descartes-i sűrűségfogalmat, mint a testben lévő harmadik elem térfogatának és a test össztérfogatának hányadosát. Ez összecseng Descartes tömörségről alkotott véleményével is: „This apparently is what Descartes had in mind when he defined solidity thus: 'By solidity, in this context, I understand the quantity of matter of the third element [...] compared to its bulk and surface area'.” (CLARKE 1991, 112.) Téves tehát az a kriti-

ka, hogy a mechanikus filozófia nem képes megkülönböztetni a tapasztalatban eltérő súlyúnak érzett testeket. Mivel a tapasztalat csak a makroszinttel vethető össze, csupán az összetett testek esetében van értelme a sűrűségnek vagy a tömörségnek, ott, ahol azt az a priori fizika értelmezi is.

Milyen következményekkel jár, ha elfogadjuk a fenti értelmezést? Milyen lehet az a priori fizika, ha a fenti sűrűségértelmezés következik belőle? Az alábbi állítások (PR1–3) a világot felépítő elemekről alkotott descartes-i hipotézis szükséges előfeltevései.

PR1: A mikroszkopikus testek (az első, második, harmadik elem részecskéi) tökéletesen tömör, homogén, azonos sűrűségű, merev testek. A belőlük képződő makroszkopikus testek ellenben rugalmasak, változó „sűrűségűek” és nem homogének.

PR2: A descartes-i mozgástörvények a mikroszkopikus részecskékre vonatkoznak.

PR3: A PR1-ből következően a descartes-i mozgástörvényekben szereplő mozgásmennyiség számításakor (tökéletesen tömör, állandó „fajsúlyú” „(ős)anyag” esetén) a test tömegét helyettesíthetjük a térfogatával (vö. $m = V \cdot \rho$ ahol $\rho =$ állandó, az eredeti ősanagra jellemző érték).

A MOZGÓ TESTEK GYŰRŰJE

Ha az a priori fizikát koherens, deduktív elméletként szeretnénk rekonstruálni, fontos felismernünk azokat a tételeket, amelyek az elmélet egyes részeit összekapcsolják. Az egyik ilyen kapcsoló tétel a mozgó testek gyűrűjének tétele, ami egyrészt megmagyarázza, miként lehetséges a mozgás a vákuummentesen kitöltött térben, másrészt viszont maga is előzetes tételekre, az ütközési törvényekre támaszkodik.

Az elmélet ugyanis nem problémamentes, ha a newtoni rendszerben próbáljuk elképzelni. Elképzelhető egy végtelen nagy, az egész világot átfogó gyűrű, amikor a testek a mozgást egyenes vonalban adják át, vagy egy kisebb, lokális gyűrű. A részecskék véletlenszerű ütközését és rendezetlen mozgását a második változat tenné lehetővé, de a testek egyenes vonalú mozgásra törekvése és a lendület-megmaradásról alkotott mai fogalmaink, úgy tűnik, kizárják ezt a lehetőséget, mert a lökeshullám a newtoni fizika törvényei alapján egyenesen terjed. Ha egy egyenes vonalban mozgó test ütközik, és lendületét (vö. a descartes-i mozgásmennyiséggel) átadja másik testeknek, akkor az ütközés után mozgásban levő testek lendületvektorai – az eredeti vektorral párhuzamos – komponenseinek összege megegyezik azzal, a merőleges komponensek eredője pedig nulla. Nincs esély arra, hogy a mozgó testek gyűrűje kialakulhasson, nincs olyan hatás, ami a mozgás irányát megfordítaná (lásd a gyűrű visszatérő ágát).

PR4: Ahhoz tehát, hogy a vákuummentes térben létrejöhessen egy lokális gyűrű, s ezáltal a véletlenszerű mozgás, kell egy mechanizmus, ami a mozgás irányát megfordítja. Ezt azoknak a törvényeknek kell biztosítaniuk, amelyek a testek mozgását meghatározzák, azaz az ütközési törvényeknek.

A PRIORI LEVEZETETT TERMÉSZETI TÖRVÉNYEK

A MEGISMERÉS A PRIORI ALAPELVEI

A szakirodalom kimerítően tárgyalja Descartes gondolatmenetét, amelynek során eljut a kételytől Isten létezésének és a test–lélek dualitásának belátásához. A következők-

ben ezért csupán röviden összefoglalom *A filozófia alapelveiben* követett gondolatmenetet, anélkül, hogy a levezetés logikai helyessége mellett állást foglalnék.

Descartes tudományfilozófiája első alapelveként leszögezi: saját létezésem az egyetlen dolog, amiben nem kételkedhetek, mert miközben kételkedem, létezniem kell (DESCARTES 1996a, I. rész, 7. pont).⁵ Descartes úgy véli, hogy saját lelkünk létéről annak gondolkodási tevékenysége által lehet bizonyosságunk, de más lelkekről és testi dolgokról ezen a módon már nem.

Ahhoz, hogy a világról mint teremtett dologról bármiféle állítást tehessünk, előzetesen tudással kell rendelkezünk Istenről, arról, aki ezt teremtette. *A filozófia alapelveiben* Descartes Isten létezését úgy igazolja, hogy mivel létezik elménkben egy magunknál tökéletesebb, mindentudó és mindenható lény ideája, és az elme nem lenne képes magától egy önmagánál tökéletesebb fogalom elképzelésére (i. m. I. rész, 14., 20. pont), ezért Isten – az, akinek ezt az ideát belé kellett helyeznie – „van vagy létezik” (második alapelv). További érv található *A filozófia alapelveiben* I. részének 18. pontjában.

Isten több szerepet játszik a világban: 1. teremtője, 2. a működési törvényekkel a világ rendjének fenntartója,⁶ és 3. az igazság garanciája. A természeti törvények létezésének az a biztosítéka, hogy Isten a dolgokat csak úgy rendezhette el, ahogy az a legtökéletesebb, és ettől a működtetés során sem térhet el. Ebből következően azonos esetben, azonos premisszák fennállása esetén a következménynek minden esetben ugyanannak kell lennie. A világot így a kauzalitás révén a természeti törvények szabályozzák.

Descartes az elmén kívül eső világot az eddigiekre támaszkodva építi fel (lásd DESCARTES 1996a, I. rész, 47. ponttól). Megismétli, hogy a gondolkodás tárgyai lehetnek kiterjedéssel bíró dolgok (testek) vagy csak a gondolkodásban létező, kiterjedéssel nem rendelkező dolgok. Az előbbiek tulajdonsága a kiterjedés és az oszthatóság, az utóbbiaké a gondolkodás, és egyik sem részesedhet a másik tulajdonságából. A test Descartes értelmezésében hosszúságban, szélességben és mélységben kiterjedt szubsztancia (geometriai megközelítés az a priori belátások alapján). Harmadik alapelvként kimondja, hogy a test természetét kizárólag a kiterjedés alkotja (i. m. II. rész 4., 9. pont). Az alapelvhez több kiegészítés és pontosítás is tartozik, amelyeket Descartes ugyanott indokol is:

1. Nincs vákuum (i. m. II. rész, 16–19. pont). 2. Nincsenek atomok mint tovább nem osztható részecskék, az anyag a végtelenségig (határtalanul⁷) osztható. 3. A világ kiterjedése határtalan (értsd: a hossz, szélesség és mélység szerinti kiterjedés, azaz maga a tér). 4. Mivel minden kiterjedt testnek egyetlen valós tulajdonsága van, nevezetesen a kiterjedése, ami minden testben szükségszerűen ugyanaz (hisz a kiterjedés csak egyféle lehet), a világot ugyanaz az anyag alkotja. „Egyazon anyagból épül fel a föld és az ég [...]” (i. m. II. rész, 22. pont).

A két utolsó megállapításból megfogalmazhatunk egy további előfeltételt:

PR5: Nincs kitüntetett test, irány és pont (i. m. II. rész, 13., 31. pont).

A világban előforduló jelenségeknek és a testek eltérő tulajdonságainak oka csupán az, hogy a kiterjedt anyag eltérő részekre osztható, és ezek a részek képesek külön-külön, egymástól függetlenül mozogni (vö. a mozgás méret, alak, sebesség és sebesség általi meghatározottságával, illetve a hipotézissel a világ keletkezéséről).

⁵ Lásd ehhez Hartl Péter tanulmányát (HARTL 2007).

⁶ Vö. G. C. Hatfield elméletével: Isten aktív részese a mozgásnak és az ütközéseknek, tevékenysége helyettesíti az erő dinamikai fogalmát, és az ütközési törvények csak leírják, de nem magyarázzák az ütközési jelenségeket (HATFIELD 1998).

⁷ Lásd Descartes különbségtételét a végtelen és a határtalan között (i. m. 1996a, I. rész, 26–27. pont).

NEGYEDIK ALAPELV

Isten a mozgás első oka, és a világ mozgásmennyisége állandó (i. m. II. rész, 36. pont). Descartes nem indokolja különösebben azt az állítását, hogy Isten a világba annak teremtésével egy időben behelyezte a mozgást és a nyugalmat is. Természetesen miután belátta, hogy semmiből nem lehet semmi (i. m. I. rész, 75. pont), kétségtelemmé vált számára, hogy csakis Isten lehet a mozgás első oka. A mozgásmennyiség állandóságát itt a következőképpen magyarázza: Istenben nemcsak az a tökéletesség, hogy „természete változhatatlan”, hanem hogy „cselekvésmódját soha nem változtatja meg” (i. m. II. rész, 36. pont). Ha tehát Isten egyszer adott mennyiségű mozgást adott az anyagnak, akkor az „állandóság” isteni attribútuma megköveteli, hogy a továbbiakban is azonos mennyiséget tartson fenn belőle. Henry More-nak írt levelében egy további indoklást találunk: „A mozgató erő maga az Isten ereje, fenntartva pontosan annyi mozgást az anyagban, amennyit a teremtés első pillanatában neki adott. És a teremtett anyagban az erő annak létformája. De ez valamelyest felül áll a hétköznapi gondolkodásunkon. Nem akartam ezzel foglalkozni írásaimban, nehogy úgy tűnjön, azokkal értek egyet, akik szerint Isten egy az anyaggal.”⁸

A TERMÉSZET ALAPTÖRVÉNYEI

Isten állandóságából és tökéletességéből következik, hogy bizonyos helyzetekben mindig ugyanúgy cselekszik, ezért az ember jogosult természeti törvények felállítására, amelyeknek igazaknak kell lenniük. Ezeket a természeti törvényeket a priori dedukcióval kapjuk. Így elmondható, hogy a mozgás elsődleges oka Isten, a másodlagos pedig a mozgástörvények által megszabott szükségszerűség. Az a priori elvekből Descartes három természeti törvényt vezet le.

Első természeti törvény (TTV1)

„Minden dolog megmarad abban az állapotban, amelyben van, amíg semmi nem változtatja meg [...]” (DESCARTES 1996a, II. rész, 37., illetve 43. pont.)

Miután Isten a világot mozgásba hozta, már csak a természeti törvények által megszabott módon avatkozik bele a működésébe. A lélek és a test elkülönülése miatt a lélek nem képes a testekre hatni,⁹ tehát az anyagi világban csakis a testek képesek hatást kifejteni. Ha egy test állapota (mozgásmennyisége) képes volna önmagától megváltozni, a világban lévő összes mozgásmennyiség nem maradhatna állandó (vagy csak nagyon bonyolult mechanizmusok révén, amelyek szintén feltételeznének valamilyen összefüggést, pontosabban hatást a testek között).

Második természeti törvény (TTV2)

„[...] valamennyi mozgó test egyenes vonalban igyekszik folytatni a mozgását.” (DESCARTES 1996a, II. rész, 39. pont.)

⁸ Kvasz László fordítása (KVASZ 2007a, 62). Az eredeti szöveget lásd GUEROULT 1980.

⁹ Ennek némileg ellentmond Descartes-nak a tobozmirigy szerepével kapcsolatos elmélete *A lélek szenvedélyeiben* (DESCARTES 1994).

A korábbi filozófusok többségével ellentétben, akik a körmozgást helyezték előtérbe, Descartes a második természeti törvényben azt állítja, hogy a mozgás alapvetően egyenes vonalú. Ezt több megfontolás együttesen támasztja alá. Az első, hogy mivel a descartes-i univerzumban (térben) nincs kitüntetett pont,¹⁰ ebből következik, hogy nincs olyan pont, ami az általános körmozgás természetes középpontja lehetne (lásd PR5-öt). A másik, hogy amíg az arisztotelészi világegyetem zárt, véges világ volt, véges kiterjedéssel, addig a Nicolaus Cusanussal kezdődő (és Newtonnál betetőződő) folyamat¹¹ eredményeként a descartes-i világ már végtelen kiterjedésűvé vált. Maga Descartes a következőképpen fogalmaz: „Azt is tudjuk, hogy ennek a világnak, vagy a világegyetemet alkotó kiterjedt anyagnak, egyáltalán nincsenek határai. Mert bárhová akarnánk is őket a képzeletünkkel helyezni, képzelhetnénk még azon a helyen túl is határtalanul kiterjedt tereket, amelyeket nem csupán képzelünk, hanem csakugyan olyanoknak fogunk fel, mint amilyeneknek képzeljük, olyanképpen, hogy a terek egy határtalanul kiterjedt testet foglalnak magukban.” (I. m. II. rész, 21. pont.) Nincs többé semmi, ami a magára hagyott test mozgását körpályára kényszeríthetné, vagy egyenes vonalú mozgását korlátozhatná.

PR6: A testek nem tudják kikerülni egymást, ezért a hátsó test nem lehet gyorsabb az előtte haladónál. (Vö. a TTV2-vel: minden test egyenes vonalban igyekszik folytatni mozgását, illetve két test egyszerre nem lehet ugyanazon a helyen.¹²)

Harmadik természeti törvény (TTV3)

A harmadik törvény két részből áll, és egyenes folyományai lesznek a későbbiekben tárgyalt ütközési törvények. Descartes kritikussai leginkább ezt a törvényt támadják, azt állítva, hogy ad hoc kiegészítéseket tartalmaz annak érdekében, hogy az ütközési törvények levezethetők legyenek belőle.¹³

TTV3/1: Ha egy test nála erősebbel találkozik, nem veszít semmit a mozgásából.

Ez annak az ütközésnek az esete, amikor egy test egy másikkal mint „merek fallal” ütközve mozgásmennyiségét (a descartes-i értelemben vett mozgásmennyiségét) nem, csak mozgása irányát változtatja meg. „Visszapattan”, vagy Descartes terminológiájával „elveszíti [...] a determináltságát” (DESCARTES 1996a, II. rész, 40. pont). A mozgásirány megváltozása szükségszerű, az ütközés ugyanis vagy azért történt, mert az erősebb test szembe jött, vagy mert a gyengébb utolérte azt. A sebessége vagy ellentétes, vagy azonos, de nagyobb, mint az erősebb testé, tehát vagy „át kellene mennie rajta”, vagy „ki kellene kerülnie”. Ez nem lehetséges (vö. PR6-tal), ezért irányt kell változtatnia (vissza kell fordulnia).

TTV3/2: Ha egy test nála gyengébbel találkozik, mozgása egy részét átadja neki.

Mivel a teljesen azonos mozgásmennyiségű testek ütközését leszámítva mindig egy kisebb és egy nagyobb mozgásmennyiségű test ütközik, a TTV3/2-ben vizsgált eset azonosnak tűnik a TTV3/1 esetével. A különbség az, hogy a TTV3/1 az irány, a

¹⁰ Vö. *A filozófia alapelvei* II. részének 13. pontjával és a III. rész 46. pontjától kezdődően a világ teremtésének hipotézisével (már nem a priori). (DESCARTES 1996a, 2005.)

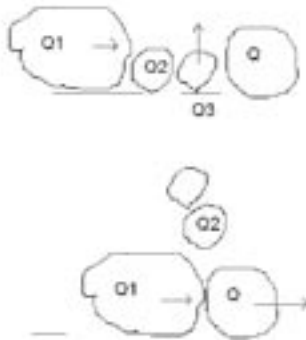
¹¹ Lásd ehhez Koyré tanulmányát (KOYRÉ 1957).

¹² Vö. *A filozófia alapelvei* II. rész, 10–15. pont megfontolásaival (DESCARTES 1996a).

¹³ „It is evident that Descartes has recourse to a specific interpretation of L3 when confronted with his choice, and he formulates this interpretation in the letter to Clerselier. If the force of one body can only predominate over that of another by losing more than a half of its own force, then it is reflected instead with its quantity of motion unchanged. Once this corollary is added to L3 it is possible to derive the impact rules from the Cartesian laws of nature.” (CLARKE 1991, 119.)

TTV3/2 pedig a mozgásmennyiség változását írja le. A nagyobb mozgásmennyiségű test akkor ad át mozgásmennyiséget a kisebbnek, ha fel kell gyorsítania azt egy közös sebességre (mivel itt sem tudják kikerülni egymást).

Ahhoz, hogy a TTV3 deduktív levezetését beláthassuk, vissza kell térnünk a mozgó testek gyűrűjének elméletéhez. Képzeld el a mozgó testeknek egy végtelen nagy gyűrűjét. Tegyük fel, hogy a mozgó test akadálytalanul tud haladni egy homogén közegben (például a csillagok közt, vagy a levegőben, vagy valamely más, „ritka” közegben). Ekkor mozgása a descartes-i természeti törvények és az ütközési törvények értelmében egyenes vonalú lesz, a mozgó testek gyűrűje átszeli a világegyetemet, és úgy tér vissza önmagába (vö.: a végtelen átmérőjű kör a kerületén egyenes). Minden test egyenes vonalban tolja el az előtte lévőket.



2. ábra. A mozgó testek gyűrűjének kialakulása

A mechanikus filozófiában azonban nem csak ekkora gyűrűk vannak. Létrejöhetnek lokális gyűrűk is, ha a test (Q_3) egyenes vonalú mozgásának útjába olyan test kerül, amelyik nála nagyobb (Q). Tegyük fel, hogy Q_3 adott v sebességgel ds távolságra elmozdul. Mozgásmennyisége Q_3v . Ezt a távolságot csak akkor képes megtenni, ha van hozzá elegendő helye, azaz Q -nak is ds távolsággal kell elmozdulnia, ugyanannyi idő alatt. Csakhogy ebben az esetben ennek (Q) a mozgásmennyisége már nagyobb lenne, mint amit az első képes vele közölni ($Q_3v < Qv$, mivel $Q_3 < Q$, és ds arányos a sebességgel), ezért egyenes vonalban nem képes elmozdulni, tehát jogos Descartes azon megállapítása a harmadik természeti törvényben, hogy a determináltságát kell elveszítenie (i. m. II. rész, 40. pont). Még egy lehetősége lenne, nevezetesen hogy az alakját változtatja meg, azonban ez tökéletesen merev, tömör testek esetén nem lehetséges. Maga Descartes is figyelembe veszi ezt a lehetőséget a mozgó testek gyűrűjének kialakulását elemezve, de ő makroszkopikus testekre, pontosabban mikroszkopikus testek csoportjára alkalmazza (i. m. II. rész, 33. pont).

Mivel a nagyobb test nyugalmi állapotát a kisebb, mozgó test nem képes megváltoztatni, pontosabban nem tudja bevonni az általa generált mozgó testek gyűrűjébe, csak akkor jön létre a mozgás, ha más utat keres, azaz elfordul. A mozgó testek gyűrűjének változatos kialakulási formái között kell tehát megkeresni a különféle ütközések alap típusait. Egy test a mozgása során mindaddig egyenesen halad, amíg egy magánál nagyobbval nem találkozik. Mozgása során mindig egy magánál nem nagyobb testet tol maga előtt, ami szintén egy magánál nem nagyobbat és így tovább (2. ábra, Q_1 – Q_3).

Ha egy nagyobb test (Q) kerül az útjukba, a kisebb testek elfordulnak, és az utánuk következő, egyre nagyobb testek ütköznek neki. Mindaddig, amíg kisebbek nála, azok is elfordulnak, majd amikor egy nagyobb ér oda (Q_1), a nyugvót mozgásba hozva egy új gyűrűt alakít ki.

A TTV3 két része tehát a sebesség irányának és nagyságának változását is szabályozza. Ugyanakkor figyelembe kell venni azt is, hogy Descartes mechanikájában a mozgásmennyiség átadásának szabályai eltérnek a mai fizika lendület-megmárási törvényeitől.

PR7: A nagyobb mozgásmennyiségű test a kisebbel ütközve megtartja mozgásirányát, de bizonyos esetekben átad valamennyit a mozgásmennyiségéből. A kisebb test ezzel szemben mindig megtartja mozgásmennyiségét, de megváltoztathatja mozgása irányát.

ÜTKÖZÉSI TÖRVÉNYEK. VALÓBAN DEDUKTÍV TÖRVÉNYEK?

Descartes levezetése eddig a pontig még könnyen követhető. Most azonban megfogalmazódik a kérdés: miért kell a priori vizsgálni a testek ütközéseit, amikor kísérletekkel jól modellezhetők? Ráadásul az a priori ütközési törvényekkel, amelyeket a harmadik természeti törvényből vezet le, teljesen ellentmond a hétköznapi tapasztalatnak.¹⁴

Elsőre úgy tűnik, hogy az ütközési törvények inkább ad hoc hipotézisek, mint szilárd logikai koncepció eredményei.¹⁵ Azt hihetnénk, azért olyanok, amilyenek, mert a vákuummentes mozgáshoz feltétlenül szükséges mozgó testek gyűrűje csak ilyen feltételek mellett alakulhat ki. De az is elképzelhető, hogy Descartes valóban dedukcióval jutott el a természeti törvényektől az ütközési törvényekhez, és a mozgó testek gyűrűjének elve ezek folyománya, nem pedig prekoncepciója. Ennek belátásához azonban a valódi, a descartes-i elméletbe kell behelyezkednünk. Ha megengedjük, hogy a mai fizikai paradigma entitásai tévútra vigyenek bennünket, s ha a newtoni paradigmába akarjuk illeszteni és makroszkopikus testekre kívánjuk alkalmazni a descartes-i fizikát, akkor valóban kénytelenek vagyunk új entitásokat bevezetni a magyarázathoz.¹⁶ Ezek azonban nem a descartes-i fizika entitásai, és szükségszerűen hamis eredményre vezetnek a mozgástörvények értelmezésénél.¹⁷

¹⁴ Így véli D. M. Clarke is: „Since Descartes implies that these rules are derived from the three 'laws of nature' of the *Principia*, and because the rules themselves appear to be evidently counter-experiential, two problems arise in attempting to understand the significance of these rules for Descartes's science: how does Descartes deduce the rules from the laws of nature, and what extent are the rules compelling evidence that Descartes's scientific method is non-empirical?” (CLARKE 1991, 110.). Ez a véleménye Edward Slowiknak is: „Astoundingly, Descartes claims that a smaller body, regardless of its speed, can never move a larger stationary body. Leaving aside the obvious point that this rule is overwhelmingly disconfirmed by experience, the fourth collision rule demonstrates nicely the scalar nature of speed, as well as the primary importance of the quantity of motion, in Cartesian dynamics.” (SLOWIK 2002, 48.)

¹⁵ Clarke például – annak ellenére, hogy Descartes határozottan az ellenkezőjét állítja – kijelenti: „A number of commentators have suggested that the rules cannot be derived from the laws without introducing some auxiliary hypothesis or principles [...]” (CLARKE 1991, 111.)

¹⁶ Ezt teszi például Clarke: motive force – impressed force (i. m. 114).

¹⁷ Lásd például Clarke megállapítását, mely szerint kétszer nagyobb test mozgásához nem kétszer akkora erő kell, mert a felület nem arányosan változik, és vele az ellenállás sem. A mozgás és a mozgató erő (mozgásmennyiség) közti viszonyban szerepet kap a közegellenállás is. Ebből arra következtet, hogy Descartes – annak ellenére, hogy állítólag deduktív levezetéssel kapta az ütközési törvényeket – nem dolgozta ki, miként befolyásolja az ütközést a méret, a felület, a közegellenállás és a sebesség. Úgy véli, Descartes csupán annyit mond, hogy azt a méret (vö. mikroszinten a kiterjedés), a felület (vö. mikroszinten az alak) és a sebesség határozza meg. (I. m. 113–114.)

Helyesebb, ha Descartes gondolkodását próbáljuk követni. A következőkben az ütközési törvények egy lehetséges deduktív levezetését adom. Nem állítom, hogy Descartes feltétlenül így okoskodott volna, de bizonyítom, hogy a descartes-i szövegek alapján lehetséges az ütközési törvények „deduktív” levezetése, és az így kapott rendszer a newtoni fizikával legalább részben, a tapasztalattal pedig az adott korban elvárható szinten konzisztens. A levezetés során alkalmazom azt a Descartes által is ajánlott módszert, hogy ahol a direkt levezetés problémásnak tűnik, ott vegyük számba a lehetséges alternatív megoldásokat, és kizárással csökkentjük számukat egyre.

Ezekben a törvényekben Descartes a párhuzamosan haladó testek ütközéseit vizsgálja, mivel megállapította,¹⁸ hogy minden mozgás felbontható egymásra merőleges összetevőkre. Ez nem egyszerűsítés, amint kritikusai vélik,¹⁹ hanem egy bizonyított tétel felhasználása a levezetések során.

PR8: Mozgás és nyugalom egyenértékű. Mivel a mozgás kizárólag relatív, egy mozgó test mozgásmennyisége nem nagyobb egy azonos kiterjedésű nyugalomban levő test mozgásmennyiségénél (vö. DESCARTES 1996a, II. rész, 26., 28., 29. pont).

Első ütközési törvény (ÜTV1)

Azonos nagyságú és sebességű (ezáltal azonos mozgásmennyiségű) testek ütközésekor mindkét test visszaverődik, és ellenkező irányban, változatlan sebességgel folytatja útját. Descartes értelmezésében nem tartozik a mozgáshoz, hogy a test hogyan viszonyul más testekhez (amíg nem találkozik velük), ezért a mozgás iránya sem tartozik szorosan a mozgáshoz, s az irány megváltozása nem érinti a test descartes-i értelemben vett mozgásmennyiségét (i. m. I. rész, 41. pont).

Jelölje a mozgásmennyiséget „MM”, a kiterjedést „Q”, a sebességet pedig „v”. Az ütközési törvényről az alábbiakat állíthatjuk:

$$Q_1 = Q_2 = Q, v_1 = v_2 = v.$$

Előtte	$MM_1 = Qv$	$MM_2 = Qv$
Utána	$MM_1 = Qv$	$MM_2 = Qv$

I. táblázat. ÜTV1

¹⁸ Vö. *A filozófia alapelvei* II. részének 32. pontjával és ábrájával (DESCARTES 1996a, 90).

¹⁹ „Since Descartes’s physics was much too undeveloped to consider all these factors in his theory of colliding bodies, he proposes the construction of an ideal situation in which two perfectly hard bodies collide, without interference from other bodies or the medium in which they move.” (CLARKE 1991, 114.) Vagy: „It was precisely because of the admitted complexity of real collisions that Descartes proposed the consideration of an ideal situation in which elasticity, viscosity of the medium, and another relevant factors would be eliminated from calculations.” (I. m. 120.) Továbbá: „A strict boundary is imposed upon their range, however, since the rules only describe the direct collisions between two bodies traveling along the same straight line.” (SLOWIK 2002, 48.)

A lehetséges mozgásirányokat az ütközés után a 2. táblázatban foglaltam össze:

	1. test	2. test	Megjegyzés: Descartes általában „B”-vel jelöli az első, „C”-vel a második testet.
Előtte	→	← (→)	A testek mozgásiránya az ütközés előtt. A két test egymás felé mozog (vagy az 1. utoléri a 2.-at).
Utána			A testek lehetséges mozgásirányai az ütközés után:
1.	→	←	Továbbra is egymás felé mozognak.
2.	→	→	Az 1. test eredeti mozgásirányába mozog mindkettő.
3.	→	0	A 2. áll, az 1. pedig továbbra is a 2. irányába mozog.
4.	←	←	A 2. test eredeti mozgásirányába mozog mindkettő.
5.	←	→	Mindkettő az eredeti irányával ellentétesen mozog, távolodnak egymástól.
6.	←	0	A 2. test áll, az 1. távolodik tőle.
7.	0	→	Az 1. test áll, a 2. távolodik tőle.
8.	0	←	Az 1. áll, a 2. pedig továbbra is az 1. irányába mozog.
9.	0	0	Mindkét test nyugalomban van.

2. táblázat. Lehetséges mozgásirányok az ütközés után

A 2. táblázat 1. esete semmilyen ütközés után sem lehetséges, mert akkor a testeknek ki kellett volna „kerülniük” egymást. Hasonló ok miatt a 3. és a 8. eset sem lehetséges (vö. a TTV2-vel, illetve PR6-tal). A 9. esetben a mozgásmennyiség az ütközés után nulla lenne, ezért ez sem fordulhat elő. A továbbiakban tehát elegendő a többi esetet vizsgálni.

Az első ütközési törvény esetén a testek mozgásmennyisége nem változik (mivel nem „nagyobb” egyiké sem), és ütközés után csak az ellentétes irányú mozgás lehetséges (5. eset). A 2. és 4. esetben szükség volna az egyik irány kitüntetésére, ezt azonban Descartes tagadja. A 6. és 7. esetben az egyik test nyugalomban maradna, a másik vinné tovább az összes mozgásmennyiséget. Ebben az esetben ismét szükség volna az egyik test, illetve az egyik irány kitüntetésére (vö. PR5-tel).

Második ütközési törvény (ÜTV2)

Azonos sebességű, eltérő kiterjedésű testek ütközésekor a kisebb test (Q_2) visszaverődik, és a továbbiakban a két test együtt halad.

$$Q_1 > Q_2$$

Előtte	$MM_1 = Q_1 v_1$	$MM_2 = Q_2 v_2$
Utána	$MM_1 = Q_1 v_1$	$MM_2 = Q_2 v_2$

3. táblázat. ÜTV2

A lehetséges mozgásirányok az ütközés után szintén a 2. táblázatban feltüntetettek lehetnek. A PR7 miatt a 4. és 5. eset nem lehetséges, mert a kisebb mozgásmennyiségű test nem képes megfordítani a nagyobbat. A 6. és 7. eset az előző ütközési törvénynél említett megfontolások miatt nem lehetséges. Csak a 2. eset maradt. Mivel a testek sebessége azonos, együtt haladnak tovább a nagyobb test kezdeti mozgásának irányában.

Harmadik ütközési törvény (ÜTV3)

Azonos kiterjedésű, de eltérő sebességű testek ütközésekor a lassúbb test visszaverődik, és egyidejűleg megkapja a két test sebességkülönbségének a felét, így a nagyobb test eredeti mozgásának irányában, csökkent (a két eredeti sebesség közötti) sebességgel együtt haladnak tovább.

$$Q_1 = Q_2 = Q, v_1 > v_2$$

Előtte	$MM_1 = Qv_1$	$MM_2 = Qv_2$
Utána	$MM_1 = Q(v_1 + v_2) / 2$	$MM_2 = Q(v_1 + v_2) / 2$

4. táblázat. ÜTV3

Az előzővel teljesen azonos megfontolásból itt is csak a 2. táblázat 2. esete lehetséges, azaz a nagyobb test kezdeti mozgásirányának megfelelően fognak haladni az ütközés után. Mivel a gyorsabb nem tudja a lassúbat kikerülni (vö. a TTV2-vel, illetve PR6-tal), pontosan annyit veszít a sebességéből, hogy együtt haladjanak. Azonos kiterjedés esetén ez a törvényben meghatározott arányú.

Negyedik ütközési törvény (ÜTV4)

Ha a nagyobb test nyugalomban van, akkor a kisebb test, függetlenül sebessége nagyságától, visszaverődik róla. Azaz a nyugalomban lévő nagyobb testek „merev falként” viselkednek.

$$Q_2 > Q_1, v_1 > v_2 = 0$$

Előtte	$MM_1 = Q_1v_1$	$MM_2 = Q_2v_2 = 0$
Utána	$MM_1 = Q_1v_1$	$MM_2 = Q_2v_2 = 0$

5. táblázat. ÜTV4

A TTV3/1-ből és PR7-ből következik, hogy a kisebb test visszaverődik. A TTV3/2 alapján a nagyobb, nyugvó test átadhatja ugyan mozgásmennyisége egy részét, de esetünkben ez nulla. Be kell látnunk, hogy a negyedik ütközési törvény a harmadik természeti törvény első részéből deduktív módon következik, ha azt elfogadtuk, más, további magyarázatot nem igényel.²⁰

²⁰Vö. azzal, hogy D. M. Clarke szerint Descartes úgy érvel, hogy B-nek a mozgásmennyisége több mint felét át kellene adnia C-nek, és ez ellentétes a TTV3-mal (CLARKE 1991, 117–118).

Ötödik ütközési törvény (ÜTV5)

Ha a nyugalomban lévő test kisebb, mint a mozgó, akkor az ütközés után a két test a nagyobbik eredeti mozgásának irányában együttesen fog haladni, és a nagyobb test eredeti mozgásmennyiségének kiterjedéssel arányos részét átadja.

$$Q_1 > Q_2, v_1 > v_2 = 0$$

Előtte	$MM_1 = Q_1 v_1$	$MM_2 = Q_2 v_2 = 0$
Utána	$MM_1 = Q_1 v_1 (Q_1 / (Q_1 + Q_2))$	$MM_2 = Q_1 v_1 (Q_2 / (Q_1 + Q_2))$

6. táblázat. ÜTV5

Ez a törvény egyenes folyománya a második és harmadik ütközési törvénynek. Az első testnek mind a kiterjedése, mind a sebessége nagyobb.²¹

Hatodik ütközési törvény (ÜTV6)

Azonos kiterjedésű testek ütközése esetén, ha az egyik mozgó, a másik pedig nyugalomban volt, az ütközés során a mozgó test visszaverődik, és eredeti sebessége háromnegyedét megtartva ellenkező irányba fog mozogni, míg a kezdetben nyugalomban lévő test az eredeti mozgással azonos irányba fog megindulni, az eredeti sebesség negyedével.

$$Q_1 = Q_2 = Q, v_1 > v_2 = 0$$

Előtte	$MM_1 = Q v_1$	$MM_2 = Q v_2 = 0$
Utána	$MM_1 = (3Q v_1) / 4$	$MM_2 = (Q v_1) / 4$

7. táblázat. ÜTV6

Elsőre nehéznek tűnik megérteni, miért ezeket az arányokat adta meg Descartes. Ha a mai fizika vektormennyiségeivel próbáljuk meg felírni, akkor ráadásul ki sem jön az eredmény. Célszerűbb abból kiindulni, hogy a mozgásmennyiség Descartes-nál nem függ az iránytól, nem vektoriális mennyiség (DESCARTES 1996a, II. rész, 41. pont). Próbáljuk az ütköző testeket két részre bontani, a negyedik és az ötödik ütközési törvényt alkalmazva. Legyen

$$\begin{aligned} Q_{11} &= (Q_1/2) - k \\ Q_{12} &= (Q_1/2) + k, \text{ ahol } k \text{ egy végtelen kicsiny mennyiség} \\ Q_1 &= Q_{11} + Q_{12} \\ v_1 &> 0 \\ Q_{21} &= Q_{22} = Q_2/2 \\ v_2 &= 0 \\ Q_1 &= Q_2 = Q \end{aligned}$$

²¹ Felesleges tehát Clarke érvelése a C-nek átadandó mozgásmennyiség arányáról. Az ötödik ütközési törvény deduktív módon levezethető, minden egyéb megfontolás nélkül (lásd i. m. 118).

Előtte	$MM_{11} = Q_{11}v_1$	$MM_{21} = Q_{21}v_2 = 0$
Előtte	$MM_{12} = Q_{12}v_1$	$MM_{22} = Q_{22}v_2 = 0$
ÖSSZESEN		
Előtte	$MM_1 = Qv_1$	$MM_2 = Qv_2 = 0$

8. táblázat. Ütközés előtti mozgásmennyiségek módosított felírása

Mivel $Q_{11} < Q_{21}$, az ütközés a negyedik ütközési törvény szerint megy végbe, és mert $Q_{12} > Q_{22}$, így közöttük az ötödik ütközési törvény szerint.

Utána	$MM_{11} = Q_{11}v_1$	$MM_{21} = Q_{21}v_2 = 0$
	←	0
Utána	$MM_{12} = (Q_{12}v_1)/2$	$MM_{22} = (Q_{22}v_1)/2$
	→	→
Összesen		
Utána	$MM_1 = (3Qv_1)/4$	$MM_2 = (Qv_1)/4$
	←	→

9. táblázat. Ütközés utáni mozgásmennyiségek és irányok

Amit feltétlenül be kell látni: mivel az iránynak nincs szerepe a mozgásmennyiség szempontjából, szemben a vektoriális alapú mai gondolkodással, az első test „két felének” eltérő irányú mozgásmennyisége összeadható, sőt a descartes-i fizikában össze kell adni őket.

Most már csak a lehetséges mozgásirányok megadása szükséges. A második test az ötödik ütközési törvény szerint csak egy irányba indulhat, vagy pedig maradhat egy helyben (ha a sebessége az ütközés után nulla; vö. az ÜTV4-gyel). Mivel azonban a mozgásmennyisége nagyobb, mint nulla, kénytelen a törvényben meghatározott irányban elindulni. Az első test mozgásáról azt mondhatjuk, hogy a test első felének a negyedik ütközési törvény szerint kapott mozgásmennyisége nagyobb, mint a másik feléé, amit az az ötödik ütközési törvény szerint kapott, és vele ellentétes irányú, ezért a test visszafelé fog mozogni, a hatodik ütközési törvényben megadott módon. Így nemcsak a törvényben meghatározott ütközés utáni mozgásmennyiségeket sikerült belátnunk,²² hanem a megadott mozgási irányokat is.

A fentiekben bemutatott kettéosztásos módszer persze logikai szempontból nem tekinthető teljesen hibátlannak. Ehhez bizonyítani kellene a test kettéosztásának jogoságát, valamint hogy a részek külön-külön vizsgált viselkedése összegezhető. Ez azonban már egy tágabb problémakörhöz, az individualizáció problémájához vezet, amit itt nem fogok elemezni.

Hetedik ütközési törvény (ÜTV7)

Az utolsó ütközési törvény az előzőeknél összetettebb, az azonos irányba mozgó testek ütközéseit elemzi. Három, a sebességek és a kiterjedések arányától függő esete van. Az ütközés ki nem mondott előfeltétele, hogy a hátsó test gyorsabb az elől haladónál.

²²Vö. Clarke megállapításával: „This is a limiting case of the conditions which obtain in applying R4 and R5. ... If B and C have the same quantity of matter the result of impact is the mean of the two previous cases.” (Uo.)

ÜTV7/1: Ha a hátsó test nagyobb vagy kisebb, de mozgásmennyisége (értsd: kiterjedés × sebesség) nagyobb, mint az elsőé, akkor a két test közös sebességgel fog tovább mozogni, és a hátsó test átadja mozgásmennyiségének kiterjedéssel arányos részét.²³

$$Q_1 > Q_2, \text{ vagy } Q_1 < Q_2, \text{ de } MM_1 = Q_1 v_1 > MM_2 = Q_2 v_2$$

Előtte	$MM_1 = Q_1 v_1$	$MM_2 = Q_2 v_2$
Utána	$MM_1 = Q_1 v'$	$MM_2 = Q_2 v'$

10. táblázat. ÜTV7/1

Mivel

$$v_1' = v_2' = v' \text{ (sebesség az ütközés után)}$$

$$MM_1 + MM_2 = MM_1' + MM_2' = (Q_1 + Q_2)v',$$

ebből következik, hogy

$$v' = (Q_1 v_1 + Q_2 v_2) / (Q_1 + Q_2).$$

A nagyobb mozgásmennyiségű test (a hátsó) megtartotta eredeti determinációját, de mivel nem volt képes kikerülni az előtte lévőt, saját (új, ütközés utáni) sebességére gyorsította. Az indoklás megegyezik a második, harmadik és ötödik ütközési törvényével.

ÜTV7/2: Ha az első test nagyobb, és mozgásmennyisége is nagyobb,²⁴ mint a hátsó testé, akkor a hátsó test visszaverődik.

$$Q_1 < Q_2, \text{ és } MM_1 < MM_2, \text{ de } v_1 > v_2$$

Előtte	$MM_1 = Q_1 v_1$	$MM_2 = Q_2 v_2$
Utána	$MM_1 = Q_1 v_1$	$MM_2 = Q_2 v_2$

11. táblázat. ÜTV7/2

Elsőként azt kell belátni, hogy a hátsó, kisebb kiterjedésű és mozgásmennyiségű test nem képes megváltoztatni a nagyobb, elől haladó test mozgásmennyiségét és irányát (TTV3/1, PR7). Az elől haladó testnek (Q_2) tehát változatlan irányban és sebességgel kell továbbhaladnia. A hátsó test (Q_1) mozgásmennyisége nem tud megváltozni (nem tud mozgásmennyiséget átadni a nagyobb testnek), s kiterjedése és sebességének a nagysága sem fog megváltozni ($MM = Qv$), tehát továbbra is gyorsabb lesz az elől haladó testnél (Q_2). Kikerülni nem tudja (PR6), tehát nem marad más lehetősége, mint eredeti sebességével visszafelé haladni.

²³ Meg kell említenem, hogy ez az én értelmezésem. Descartes *A filozófia alapelvei* II. részének 52. pontjában így fogalmaz: „Tudniillik nemcsak akkor nem szabad B-nek soha visszaverődnie, hanem meg kell löknie C-t, átadva neki sebessége egy részét, amikor C kisebb B-nél, hanem akkor sem, amikor nagyobb, feltéve, hogy az, amivel C nagysága meghaladja B nagyságát, kisebb, mint az, amivel B sebessége meghaladja C sebességét.” Azaz ha a két test nagyságának különbsége kisebb, mint a sebességek *különbsége*. El kell gondolkodni azon, hogy a sebességek és nagyságok (kiterjedés) arányának a különbségét, vagy az abszolút különbségeket tekintjük mérvadónak (DESCARTES 1996a).

²⁴ Ez ismét az én értelmezésem. Descartes így ír: „[...] amivel C nagysága meghaladja B nagyságát, nagyobb, mint az, amivel B sebessége meghaladja C sebességét, akkor B-nek vissza kell verődnie, anélkül, hogy valami is közölne a mozgásából C-vel” (i. m. II. rész, 52. pont).

ÜTV7/3: Ha a mozgásmennyiségek azonosak,²⁵ akkor a hátsó, kisebb test visszaverődik, de mozgásmennyiségének egy bizonyos részét átadja az első, nagyobb testnek, és az ütközés után a két test ellenkező irányba mozog. Descartes megfogalmazása elég határozatlan: „[...] akkor ez utóbbi testnek át kell adnia mozgása egy részét a másiknak, és vissza kell verődnie a maradékkal” (i. m. II. rész, 52. pont). Descartes nem határozza meg azt, hogy mozgásmennyiségének mekkora hányadát kell átadnia, és máshol sem található erre utalás. Clarke emiatt is véli úgy, hogy az a priori fizika kidolgozatlan.²⁶

Mivel ez a pont Descartes-nál valóban nem jól definiált, nem nagyon lehet rá deduktív magyarázatot adni. Ám ettől még lehetséges egy olyan levezetés kidolgozása, amely az a priori fizika ezen részének egy plauzibilis értelmezését eredményezi. Tétélezzük fel, hogy Descartes nem követett el hibát, és nem hagyta ki az ütközés során átadott mozgásmennyiség-hányad meghatározását. A testek kiterjedése az ütközés során nem változik. Az ütközés utáni új sebességek meghatározására alkalmazzuk az ÜTV6 levezetésekor használt kettéosztásos módszert ($Q_1/2 - k$ és $Q_1/2 + k$). Az ütközések utáni sebességekre a következő értékeket kapjuk:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &< Q_2 \\
 Q_{11} &= (Q_1/2) - k \\
 Q_{12} &= (Q_1/2) + k, \text{ ahol } k \text{ egy végtelen kicsiny mennyiség} \\
 Q_1 &= Q_{11} + Q_{12} \\
 Q_{21} &= Q_{22} = Q_2/2 \\
 v_1 &> v_2 \\
 MM &= MM_1 = Q_1 v_1 = MM_2 = Q_2 v_2 \\
 MM/2 &= MM_{11} = MM_{12} = MM_{21} = MM_{22}
 \end{aligned}$$

Előtte	$MM/2 = Q_{11} v_1$	$MM/2 = Q_{21} v_2$
Előtte	$MM/2 = Q_{12} v_1$	$MM/2 = Q_{22} v_2$
Összesen		
Előtte	$MM = Q_1 v_1$	$MM = Q_2 v_2$

12. táblázat. Ütközés előtti mozgásmennyiségek módosított felírása

Mivel $Q_{11} < Q_{21}$, az ütközés az ÜTV7/2 szerint megy végbe (Q_{11} visszaverődik), és mert $Q_{12} > Q_{22}$, így közöttük az ÜTV7/1 szerint (közös sebességgel haladnak tovább).

²⁵ Descartes-nál: „Végül pedig, amikor a C-ben lévő nagyságtöbblet teljesen egyenlő a B-ben lévő sebesség-többséggel, [...]” (i. m., II rész, 52. pont).

²⁶ „The third part of R7 is unsatisfactory because it gives no measure for the amount of motion transferred from B to C.” (CLARKE 1991, 118.)

Utána	$MM_{11} = MM/2 = Q_{11}v_1$	$MM_{21} = MM/2 = Q_{21}v_2$
	←	→
Utána	$MM_{12} = Q_{12}(Q_{12}v_1 + Q_{22}v_2)/(Q_{12} + Q_{22})$	$MM_{22} = (Q_{22}v_1)/2$
	→	→
Összesen		
Utána	$MM_1 = Q_1(v_1 + ((Q_1v_1 + Q_2v_2)/(Q_1 + Q_2)))/2$	$MM_2 = Q_2(v_2 + ((Q_1v_1 + Q_2v_2)/(Q_1 + Q_2)))/2$
	←	→

13. táblázat. Ütközés utáni mozgásmennyiségek és irányok

Azaz az ütközés utáni sebességek a következők:

$$v_1' = (v_1 + ((Q_1v_1 + Q_2v_2)/(Q_1 + Q_2)))/2,$$

$$v_2' = (v_2 + ((Q_1v_1 + Q_2v_2)/(Q_1 + Q_2)))/2.$$

Mivel $v_2' < v_1'$, az is bizonyítást nyer, hogy miért kell a hátsó testnek visszafelé mozognia (nem tud kerülni; vö. PR6-tal). Egy ilyen értelmezés elfogadása esetén nincs szükség további spekulációkra, s vélelmezhető e törvény Descartes általi deduktív levezetése is.²⁷

ÖSSZEFOGLALÁS

Beláttuk, hogy a mikroszkopikus és makroszkopikus szint megkülönböztetése révén a sűrűség fogalma értelmezhetővé válik a descartes-i fizikában, ebből kiindulva pedig lehetőség nyílik az a priori fizika descartes-i módszertannak megfelelő deduktív levezetésére. Descartes joggal hihette, hogy a „cogito”-ból úgy jutunk el a mozgástörvényekig, hogy sehol nem kell logikai engedményt tennünk. Ezt bizonyítja, hogy a descartes-i értelemben teljes egészében racionális fizika rekonstruálható úgy, hogy nincs szükség ad hoc hipotézisekre. Mindenképpen szükséges azonban, hogy feladjuk a mai fizika által belénk nevelt előfeltevéseinket, és belehelyezkedjünk a descartes-i entitások világába. Ha ez sikerül, akkor az is láthatóvá válik, hogy Descartes fizikai törvényei nem ellentétesek a tapasztalattal sem, jóllehet közvetlenül nem ellenőrizhetők.

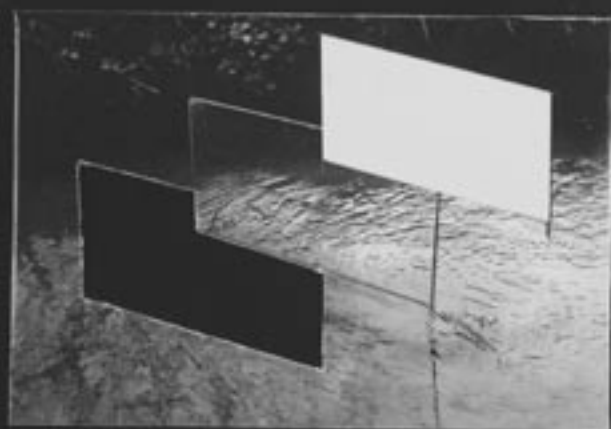
Ebből a nézőpontból a karteziánus fizikával szemben megfogalmazott kritikák is átértékelődnek. Nem állítom, hogy a descartes-i elmélet hibátlan és ellentmondásmentes. Mint minden elméletben, itt is található ellentmondások, hibás logikai lépések. Látható azonban, hogy a kritikák részben megalapozatlanok, részben tévedésen alapulnak, részben pedig az eltérő szemléletből és a descartes-i ontológia meg nem értéséből fakadnak.

Kijelenthető az is, hogy az a priori fizika teljes, konzisztens elmélet, amelyet érdemes tovább vizsgálni, hogy látható legyen, miként akart Descartes, mint XVII. századi tudós, választ adni kora tudományos kérdéseire.

²⁷ Felesleges az igazolásra egyéb indokot keresni, mint például: „The justification of this part of R7 is apparently derived from two sources. On the one hand, it conforms to our experience of such collisions. On the other, it represents a limiting case between R7a and R7b, [...]” (uo.).

IRODALOM

- BOROS Gábor 1998. *René Descartes*. Budapest: Áron.
- BOROS Gábor 2003. *A mozgástörvényektől Isten értelmi szeretetéig*. Budapest: Áron.
- CLARKE, Desmond M. 1991. The Impact Rules of Descartes's Physics. In Georges J. D. Moyal (ed.): *René Descartes. Critical Assessments*. London: Routledge, 110–122.
- DESCARTES, René 1965. *Die Prinzipien der Philosophie*. Ford.: Artur Buchenau. Berlin: Akademie-Verlag.
- DESCARTES, René 1992. *Értekezés a módszerről*. Ford.: Szemere Samu, átdolg.: Boros Gábor. Budapest: Ikon.
- DESCARTES, René 1994. *A lélek szenvedélyei*. Ford.: Dékány András. Szeged: Ictus.
- DESCARTES, René 1996a. *A filozófia alapelvei*. Ford.: Dékány András. Budapest: Osiris.
- DESCARTES, René. 1996b. *Principia Philosophiae*. In *Œuvres de Descartes*, VIII/1. Ed.: Charles Adam – Paul Tannery. Paris: Jacques Vrin. [AT]
- DESCARTES, René 2005. *Die Prinzipien der Philosophie*. Latin–német kiadás. Ford.: Christian Wohlers. Hamburg: Felix Meiner.
- GARBER, Daniel 1998. Descartes's Method and the Role of Experiment. In John Cottingham (ed.): *Descartes*. Oxford: Oxford University Press, 234–258.
- GUEROUT, Martial 1980. The Metaphysics and Physics of Force in Descartes. In Stephen Gaukroger (ed.): *Descartes: Philosophy, Mathematics and Physics*. Sussex: The Harvester Press, 196–230.
- HARTL Péter 2007. Ego cogito, ergo sum. *Kellék* 32, 17–36.
- HATFIELD, Gary C. 1998. Force (God) in Descartes' Physics. In John Cottingham (ed.): *Descartes*. Oxford: Oxford University Press, 281–310.
- KENNY, Anthony 1995. *Descartes: A Study of His Philosophy*. Bristol: Thoemmes Press.
- KOYRÉ, Alexander 1957. *From the Closed World to the Infinite Universe*. Baltimore: The John Hopkins University Press.
- KVASZ László 2007a. Az ókori világ fölnyitása és a modern tudomány születése. In Gaál Botond – Végh László (szerk.): *A tudományos gondolkodás nyitottsága*. Debrecen: DRHE Hatvani István Teológiai Kutató Központ, 61–82.
- KVASZ László 2007b. Newton (anti)kartzianizmusa. *Kellék* 32, 83–93.
- LARMORE, Charles 1980. Descartes' Empirical Epistemology. In Stephen Gaukroger (ed.): *Descartes: Philosophy, Mathematics and Physics*. Sussex: The Harvester Press, 6–22.
- SLOWIK, Edward 2002. *Cartesian Spacetime*. London: Kluwer Academic Publishers.



- tabacchini - II

- 1981 -

Tabacchini - II