

## A szabadesés törvényének felfedezéséhez vezető út

### The way to discovering the principle of freefall

BOGNÁR Gergely

Révai Miklós Gimnázium és Kollégium  
Győr, Jókai út. 21.

#### ABSTRACT

*It took nearly two thousand years for the principle of freefall to emerge because experience did not play an important role in the Aristotle worldview. The dogmas of christianity regarding creation set in motion the slow process by the end of which the aristotelian paradigm was replaced by modern physics, one of the most important elements of it was the recognition of the principle of freefall. The oppositionals of the process were not in the way of progress, they were not really satisfied with the description of the phenomena, they were trying to explore the deep-seated causes.*

#### KIVONAT

*A szabadesés törvényének megszületésére azért kellett közel kétezer évet várni, mert az arisztotelészi világgépben a tapasztalat nem játszott fontos szerepet. A kereszténység teremtéssel kapcsolatos dogmái indították el azt a lassú folyamatot, melynek végére az arisztotelészi paradigmát felváltotta az újkori fizika, ennek egyik legfontosabb eleme a szabadesés törvényének felismerése. A folyamat fékezői nem a haladás útjában álltak, valójában nem elégedtek meg a jelenségek leírásával, a mélyben húzódó okok feltárására törekedtek.*

**Kulcsszavak:** szabadesés törvénye, Arisztotelész, Galileo Galilei

A szabadesés törvénye kimondja, hogy a szabadon eső testek (ha a levegő ellenállása elhanyagolható mértékben fékezi azokat) a tömegüktől függetlenül azonos gyorsulással mozognak a föld felé. Egyszerűbben fogalmazva, az azonos magasságból egyszerre elejtett különböző tömegű testek egy időben érnek a talajra. E törvény Galileo Galilei nevéhez fűződik, a legendával ellentétben a reneszánsz tudós nem a pisai ferde toronyból leejtett golyókból következtetett e törvényre, hanem a lejtőn legördülő testek vizsgálatával igazolta előzetes hipotézisét. Kétezer évvel Galilei előtt Arisztotelész másként vélekedett a szabadesésről. A szabadon eső testek sebességét a testek tömegével vélte arányosnak, e felfogás szerint az azonos magasságból elejtett különböző tömegű testek közül a nehezebb éri el előbb a talajt. Visszatekintve szellemi kiskorúságnak tűnhet az Arisztotelésztől Galileiig húzódó kétezer éves út. Néhány egyszerű tapasztalat látszólag Arisztotelészt igazolja, például egy kavics és egy tollpihe zuhanása, ugyanakkor a kicsit is elmélyült vizsgálódás már más eredményre jut. Ha azonos méretű fadarabot és követ a kezünkből egyszerre engedünk el, az esési idejük között nem fogunk különbséget tapasztalni. Ráadásul, ha egy selyemkendőt vagy egy nagyobb levelet kis gombócba gyűrünk, az ily módon gyorsabban fog esni, annak ellenére, hogy a tömege nem változott. Nem beszélve egy nagy lúdtollról és a kicsiny kavicsról, ahol pont azt tapasztaljuk, hogy a nehezebb lúdtoll esik lassabban. A nyilvánvaló tapasztalatok mellett logikai ellentmondást is hordozott az arisztotelészi elmélet. Képzeljük el, hogy egy kőről úgy törünk le egy darabot, hogy azt könnyedén visszailleszthessük. A letört kis darab az arisztotelészi, ún. peripatetikus hagyomány szerint lassabban esne, mint a nagyobb darab. Ha visszaillesztjük, fékezni kellene a nagyobb követ, ugyanakkor a kő nehezebb lett a kis darabtól, tehát gyorsabban és nem lassabban kellene esnie. Az ellentmondás nyilvánvaló és a tapasztalati ellenőrzés sem

több egyszerű játéknál. Miért kellett kétezer évet várni, hogy az arisztotelészi fizika nyilvánvaló tévedését felváltja az igazság? A kérdés azért is fontos, mert a szabadesés törvényének felismerése a fizikátörténet kitüntetett pillanatainak egyike, egy fontos lépés az arisztotelészi és az újkori fizika paradigmaváltásában. Ha e törvény megszületésének körülményeit megértjük, közelebb kerülünk a fizika eredetének feltáráshoz is.

Első olvasatra azt gondolnánk, hogy Arisztotelész (i.e. 384-322) szabadesésről vallott nézetei a felületes, naiv tapasztalaton alapulnak, valójába ez egyáltalán nem igaz. Arisztotelészt nem a tapasztalat vezeti, amikor a szabadesésről elmélkedik, hanem korábban megfogalmazott mozgástanának egyértelmű következményei. Arisztotelész a mozgásokat négy külön csoportba sorolja: égi mozgások, élőlények mozgása, kényszerített mozgások és a természetes mozgások, utóbbiba tartozik a szabadesés is. A dolgok természetüknél fogva a Föld felé törekednek, a súlyosabb testek nagyobb mértékben, míg a könnyebbek kisebb mértékben. [1] Érdeemes észrevennünk, hogy e ponton Arisztotelész megsejt valamit a tömegvonzás törvényéből, valóban igaz, hogy a nehezebb testekre nagyobb gravitációs erő hat, de Arisztotelész e felfedezését már nem köti össze azzal, hogy a nehezebb testek mozgásához nagyobb erőre van szükség.

Arisztotelész számára a mozgás ellentmondásmentes értelmezése fontosabb, mint egy nehezen magyarázható, különböző körülmények között különböző eredményekre vezető tapasztalat. Ne felejtsük el, hogy Arisztotelész és a kor fizikájának fő problémája nem a tapasztalat értelmezése, hanem a mozgás ellentmondásmentes leírásának megalkotása. Arisztotelész e téren a legfontosabb szellemi csatákat az eleatákkal, Zénón paradoxonjaival vívta. Másfelől Arisztotelész elkülöníti az elméleti tudást a praktikustól. Utóbbi gyakorlati szempontból hasznos lehet, míg előbbi a dolgok megértésében, az okok feltárázásában játszik kulcsszerepet.[2] Egy kőműves tapasztalatai révén stabil falakat építhet anélkül, hogy a statika elemi szabályait ismerné. Valódi, az okokat is feltáró, a dolgok megértéséhez vezető ismeretekkel csak a képzett mérnök rendelkezik, még akkor is, ha utóbbinak praktikus ismeretei szerényebbek.

A kultúrtörténet mára kiválóan feltárta azt a szellemi hanyatlást, amit a Római Birodalom bukása eredményezett, és ezt követően Arisztotelész reneszánszát az arab kultúrában. Arisztotelész arab kommentátorai, Abu'l-Barakāt (1080-1164) szerény kivételétől eltekintve, a szabadesés törvényében nem jutottak előrébb. Az arab gondolkodás konzerválta az arisztotelészi nézeteket, még akkor is, amikor azok nyilvánvaló ellentmondásba kerültek a tapasztalattal. Az ellentmondást nem a szabadesés törvénye, hanem az arab csillagászok megfigyelései szolgáltatták, ezen megfigyelések ugyanis összeegyeztethetetlenek voltak az arisztotelészi fizikával. Az ellentmondás mégsem vezetett egy új paradigma felállításhoz. Averroës (1126-1198) logikai alapon védelmezi a peripatetikus hagyományt. Egy hipotézis, ha magyarázza is a tapasztalatot, nem feltétlenül tekinthető igaznak, mert hibás feltevésekből is magyarázható a valóság. Egy elmélet csak akkor tekinthető igazoltnak, ha alapjait beláttuk. A tapasztalati ellenőrzés csak megerősíti az elméletet. Egy ellentmondás a tapasztalattal még nem jelenti az elmélet teljes bukását, hiszen új, pontosabb megfigyelések felülírhatják a régebbi tapasztalatokat.[3]

Averroës szellemi öröksége áthagyományozódik a skolasztikára és a reneszánszra is. A peripatetikus hagyománnyal szemben a csillagászok bonyolult, egymásba ágyazott körmozgások segítségével pontosabb leírást adtak az égi mozgásokról. Feltevéseik igazolhatatlannak látszottak, ezért írta Aquinói Szent Tamás (1225-1274):

*„ A csillagászok által elképzelt feltételezések nem szükségszerűen igazak. Bár e feltételezések segítségével, úgy tűnik, képesek vagyunk megőrizni a jelenségeket, mégsem kell azt állítanunk, hogy igazak, mert lehetséges, hogy a csillagok általunk megfigyelt mozgása más módszerrel is leírható, amely módszer egyelőre ismeretlen előttünk.”*[4]

Az angyali doktor hasonlóan érvel Averroëshoz, és szemlélete uralkodó marad Descartesig (1596-1650). Az arisztotelészi fizikát leváltó új paradigma tapasztalati megalapozása lehetetlen. A tudománytörténet nem ezen az úton haladt. Az arisztotelészi fizikát nem a tapasztalati tények, hanem a keresztény dogmatika billenti ki uralkodó szerepéből. A keresztény teremtéstörténet és a világ semmiből teremtésének keresztény dogmája összeegyeztethetetlen a peripatetikus hagyománnyal. Az arisztotelészi fizikában a világ statikus, nincs kezdete és a mozdulatlan mozgató a fizikai világ része. Arisztotelész európai újramegjelenését követően nem véletlenül emeli a IV. lateráni zsinat (1214) ex tempore (vagyis véges idővel ezelőtt) és de nihilo (azaz semmiből) teremtés tanát a dogmák közé. E hittételek nagyon hamar az első századokban már kialakultak, és nem illeszthetők be a peripatetikus hagyományba. [5] Az arisztotelészi fizika és a kereszténység között feszülő ellentmondás vezeti Jean

Buridan (1301-1358) francia filozófust, a sorbonne-i egyetem tanárát a tehetetlenség törvényének megfogalmazásához:

*„Amikor Isten megteremtette a világot, tetszése szerint mozgatta az égitesteket; és ekképpen mozgatván őket, kezdő lökést adott nekik, mely azután továbbra is mozgásban tartotta ezeket anélkül, hogy Istennek mozgatnia kellett volna őket..”[6]*

Buridan a tehetetlenség törvénye mellett felismeri az impetus (lendület) fontosságát. A mozgások létrehozásában vagy felemésztésében a test tömegének és sebességének szorzatát kell figyelembe vennünk. Buridan fizikával kapcsolatos kijelentéseinek többsége ma is megállja a helyét. Az impetus elméletét alkalmazza a szabadesésre is, felismeri a levegő fékező hatását, de a jelenség pontosabb magyarázatát nem adja meg.

Az arisztotelészi hagyomány és a keresztény dogmák összeegyeztethetlensége életre hívja a sorbonne-i egyetem „fizika” iskoláját. Nicole D’ Oresme (1325-1383), Buridan tanítványa felveti a Föld forgásának lehetőségét, módosítja az arisztotelészi mozgásegyenletet, méghozzá úgy, hogy az a valóságban leggyakrabban előforduló sebességgel arányos fékező erő esetére helyesen adja meg a testek mozgását, és ami ezeknél is fontosabb, bevezeti a kvantitatív mennyiségeket a fizikában. A fejlődés a következő kétszáz évben lelassul. Néhány fontos probléma még megoldásra vár: A pillanatnyi sebesség mérése közvetlenül lehetetlen, erre legfeljebb a közepes sebességből lehetne következtetni, de a szabadesés oly kicsiny időközök mérését kívánná meg, hogy ez technikailag kivitelezhetetlen. Problémát jelent a változó mozgás fogalma és a gyorsulás is, és továbbra is él Szent Tamás tapasztalati hipotézisekre vonatkozó fenti tétele. A fordulatot Nicolaus Cusanus (1401-1464) filozófiája jelenti. Cusanus tagadja, hogy a dolgok valódi természete tapasztalati úton teljes egészében megismerhető lenne, ugyanakkor nem zárja ki annak a lehetőségét, hogy ezen az úton haladva közelebb kerüljünk, és „meg-megérintsük” az igazságot. A szabályos sokszög közelít a körhöz, a végtelenben el is éri, pontosan így közelít a tapasztalat a valóság megismeréséhez. A tapasztalati megismerést összekapcsolja a matematikai megismeréssel termékeny inspirációt nyújtva a természettudományok további fejlődéséhez. Cusanus a valódi megismerést mégsem a tapasztalatban, hanem az intellektusban látja, mely a megismerés egy magasabb szintje és képes az igazság megragadására.[7] A fizika történetében Cusanus szerepe két szempontból is fontos, egyfelől a megismerés folyamatába beemeli a matematikát, másfelől teret enged annak a mélyen természettudományos gondolatnak, hogy a világot közelítő módon is leírhatjuk a tapasztalat felől.

A tizenhatodik századra a szabadesés törvénye körvonalazódik. Giovanni Battista Benedetti (1530-1590) a fent felsorolt okok miatt méréseket nem végez, gondolakísérleteket viszont igen, melynek eredményeképpen nem a tömegre, hanem a sűrűsége mondja ki a szabadesés törvényét, talán mondanom sem kell, hogy tévesen.[8] Galileo Galilei (1564-1642) Benedetti nyomán fordul ismét a probléma felé.

Galilei egyáltalán nem mentes a filozófiai úton levezetett preconcepcióktól, valójában közelebb áll Arisztotelészhez, mint a cusanusi vagy a mai hagyományhoz. Jól példázza ezt a szabadesés törvényének felismerése is. Galilei egy helytelen gondolatmenettel kiokoskodik, hogy az egyenletesen változó mozgást az idő és nem a hely függvényében kell értelmezni. Elméletét igazolni és nem felállítani szeretné lejtős kísérleteivel. Kis hajlásszögű lejtőkön, vízórák segítségével méri a különböző utak megtételéhez szükséges időket. A mérési eredményeiben igazolva látja a hipotézisét, majd egy merész lépéssel a kis hajlásszögű lejtőt a derékszögig extrapolálja, és ezen keresztül felállítja a szabadesés törvényét. [9] Galilei célja nem egy új fizika felállítása, hanem a peripatetikus hagyomány hibáinak kijavítása. A szabadesés törvényéhez vezető úton Galilei nagyságát nem a törvény végső megfogalmazása adja, ez Buridan impetus-elmélete óta a levegőben lógott. Galilei mellékesen, okoskodásának igazolására használja a mérést, és ezzel utat mutat a megismerés új irányának.

Az Arisztotelésztől Galileiig húzódó kétezer éves út nem azért tartott oly sokáig, mert a kereszténység vallási dogmái fékeztek a haladást. Buridan és a párizsi iskola kapcsán láthattuk, hogy ennek pontosan az ellenkezője volt igaz. Valójában a kereszténység és a peripatetikus hagyomány összeegyeztethetlensége indította el a paradigmaváltást. [10] A reneszánsz tudós Galilei eredeti szándékával szemben tárgyalt kísérletei a megismerés fordulatát hozták. E folyamat az angol empirizmussal találkozva Newton munkásságában csúcsozódik ki. A tudomány eredményei valósággal megrészegítették a nyugati embert, ezért sokáig feledésbe merült a tisztán tapasztalati megismerés esendősége. Egészen a posztmodern tudományfilozófiáig kellett várni, hogy rádöbbenjünk, a megismerés ezen útja nem eredményezhet végső igazságot. Ugyanazon tények egymással ellentétes elméletekkel egyaránt értelmezhetők, és

sokszor önkényes, hogy melyiket választjuk. A tudománytörténetből mára kiderült, hogy a Galilei nyomán elindult új mechanika csak egy jó közelítésű leírása a kis sebességű makroszkopikus testeknek. A tizenkilencedik és huszadik század fordulójának felfedezései átírták a fizikát, és mi soha nem lehetünk biztosak abban, hogy új generációk, új kísérletei nem ismétlik meg a tudományos forradalmakat. A tudomány jól működik, segítségével embert juttattunk a Holdra, és száz vagy ezer kilométeres távolságokból tartunk videokonferenciákat. Az abszolút igazsághoz, a dolgok valódi okának megértéséhez mégsem kerülünk közelebb. Őszintén be kell ismernünk, a tudomány praktikus, gyakorlati tudást nyújt. A szabadesés törvényének felfedezésére és az újkori fizika megszületésére azért kellett oly sokat várni, mert a szellemtörténet óriásai, Arisztotelész, Averroës, Szent Tamás az abszolút igazságot keresték. Ha Cusanus középkori misztikában gyökerező új ismeretelmélete nem nyitja meg a tapasztalati megismerés útját, Galilei sem kezd bele kísérleteibe, és ki tudja a fizika miként fejlődött volna?

## IRODALOM

1. ARISZTOTELÉSZ 2010: *Physica*, L'Harmattan, VIII. könyv Budapest.
2. ARISZTOTELÉSZ 2002: *Metafizika*, Lectum KFT, I könyv Szeged.
3. DUHEM, Pierre 2005: *A jelenségek megőrzése*, Kairosz Kiadó, 61-83 o. Budapest.
4. Az idézetet átvettem: JÁKI SZ. L., 1991: *A természettudomány eredete* (Győr: Keresztény Értelmiségiek Szövetsége győri szervezetének kiadása) Győr.
5. MAY, GERHARD J. F 1978: *Schöpfung aus dem Nichts. Die Entstehung der Lehre von der creatio ex nihilo* (Berlin-New York: De Gruyter)
6. Az idézetet átvettem: DUHEM, Pierre 2005: *A jelenségek megőrzése*, Kairosz Kiadó, 97. o. Budapest.
7. CUSANUS, NICOLAUS 1999: *Tudós tudatlanság*, Kairosz Kiadó, Budapest.
8. SIMONYI Károly 2011: *A fizika kultúrtörténete*, Akadémiai Kiadó, 169. o. Budapest
9. SIMONYI Károly 2011: *A fizika kultúrtörténete*, Akadémiai Kiadó, 207-209. o. Budapest
10. JÁKI SZ. L 1990: *A tudomány megváltója*, Ecclesia, Budapest.