

változó is, hasznos döntési szempont lehet. Ráadásul kiküszöbölhető a biológiai anyagok tulajdonságainak kimagaslóan nagy szórása következtében fellépő bizonytalanság, ugyanis itt minden páciens esetén a beteg és egészséges szövetről is kapunk információt az ér különböző szakaszain végzett mérésekből. A roncsolódási folyamat mérése tehát egyénre szabható és kalibrálható.

A bemutatott módszer alkalmazhatósága ezen is túlmutat. Nagy alakváltozásokat mutató szerkezeten, például a ponyvák, jól azonosítható ponthálózat – egy felfestett rács csomópontjai – elmozdulásainak ismeretében az anyagtulajdonságok időbeli változása meghatározható, vagy azok ismeretében a terhek (szélteher) visszazámolhatók. ✱

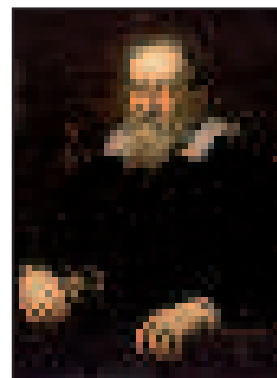
## Irodalom

- R. Nagy; Numerical assessment of mechanical parameters leading to aneurysm formation; In: Józsa János, Lovas Tamás, Németh Róbert (szerk.); Proceedings of the Conference of Junior Researchers in Civil Engineering 2012; Budapest, Magyarország 2012.06.19-2012.06.20, pp. 140-149, ISBN: 978-963-313-061-2.
- N. Sakalihasan, R. Limet, O.D. Defawe; Abdominal aortic aneurysm; The Lancet, Vol. 365, pp. 1577-89; 2005.
- M. L. Raghavan, D. A. Vorp, M. P. Federle, M. S. Makaroun, M. W. Webster; Wall stress distribution on three-dimensionally reconstructed models of human abdominal aortic aneurysm; Journal of Vascular Surgery, Vol. 31, pp. 760-769; 2000.
- J.A. Cottrell, T.J.R. Hughes, Y. Bazilevs; Isogeometric Analysis: Toward Integration of CAD and FEA; John Wiley & Sons; ISBN 978-0-470-74873-2; 2009.
- R. Nagy, Cs. Csobay-Novák, A. Lovas, P. Sótonyi, I. Bojtár; Towards Indirect In Vivo Measurement of Material Properties of Aortic Aneurysms: Determining the Displacement Field; in: E. Onate, X. Oliver, H. Antonio (szerk.); Proceedings of WCCM XI - ECCM V - ECFD VI, CIMNE, Barcelona, 2014.
- G. Bárdossy, G. Halász; Modeling blood flow in the arterial system; Periodica Polytechnica Vol. 55, 49-55; 2011.
- G. Závodszy, G. Paál; Numerical simulation of blood flow in large vessels during thrombus formation; In: Csernátó Zoltán (szerk.); V. Biomechanikai konferencia; Budapest, Magyarország, 2013.05.24-2013.05.25; pp. 1-10 Paper A-0061.
- G.A. Holzapfel, T.A. Gasser, R.W. Ogden; A new constitutive framework for arterial wall mechanics and a comparative study of material models; J. Elasticity; Vol. 61, 1-48; 2000.

# Egy mondat Platón és Planck között

## 450 éve született Galilei

SCHILLER RÓBERT



Nem arról a mondatról akarok írni. Amelyikről azt se tudjuk, elhangzott-e vagy sem. Amely legendával az utókor azt akarta helyreigazítani, amiről azt hitte, a lángész jellemének fogytékossága. Mégis mozog? Ne ezzel a kétes hitelű, keveset mondó anekdotával idézzük meg ma Galilei szellemét!

A mondat, amelyet idézek, Galilei utolsó, nagy művében, a *Discorsibus* olvasható. Ennek a könyvnek is párbeszéd a formája, hasonlóan a ptolemaioszi és a kopernikuszi rendszert ismertető, vitató és végül Kopernikusz igazát bizonyítani vélt *Dialogo*hoz. Tudjuk, a *Dialogo* vezetett a pörhöz, elítéltetéshez és a kopernikuszi kép kényszerű megtagadásához. Mindkét műben ugyanaz a három szereplő vitatkozik: Salviati, aki Galilei gondolatait és érveit fejti ki, Sagredo, aki rendre kételkedni látszik ugyan, de gondolkodásmódja közel esik Salviatiéhoz, végül Simplicio, az arisztotelészi filozófia és a köznapi józan ész képviselője. A *Discorsibus* négy fejezetre, a „vita négy napjára” osztozott a szerző. Az első két nap általános anyagelméleti fejtegetések mellett főként a testek töréséről, szilárdságáról szól. A harmadik és a negyedik nap a mozgás elméletét tárgyalja. Ez a felosztás azonban csak nagyon közelítőleg igaz. Elkerülhetetlen, a dialógus-forma miatt is, hogy már az első napon ne legyen szó olyan alapvető kérdésekről, mint az ingamozgás vagy a szabadesés; az öreg Galilei ebben a könyvben foglalja össze teljes fizikai világmépét (kivéve természetesen a Naprendszerre vonatkozót).

Simplicio a szabadesésről Arisztotelész kétezer éve kétely nélkül elfogadott véleményén van. „[...] a különböző súlyú testek különböző sebességgel mozognak, és sebességük aránya megegyezik súlyuk arányával, úgy, hogy ha például az egyik test tízszer nehezebb a másiknál, tízszeres lesz a sebessége is.” Salviati kétségbe vonja, hogy „Arisztotelész valaha is elvégezte volna a kísérletet annak igazolására, hogy ha két követ, amely közül az egyik

tízszer súlyosabb a másiknál, mondjuk, száz rőf magasságban egyszerre elengedünk, oly mértékben különbözne a sebességük, hogy mikor a nagyobbik földet ér, a kisebbik alig tett meg tízrőfnyi utat.” Sagredo, úgy mondja, ki is próbálta a dolgot, és az eredmény bizony cáfolta Arisztotelészt. Salviati viszont „a tapasztalati tények ismerete nélkül is” be tudja bizonyítani, hogy tévedés azt hinni, a súlyosabb test gyorsabban esik, mint a könnyebb: ha egy nagyobb követ összekötünk egy kisebbel, úgy az együttes tömegük nagyobb lesz, mint a nagyobbiké volt, tehát együtt gyorsabban kellene esniük, mint akár a gyorsabb nagy, akár a lassabb kicsi tenné külön-külön. Eszerint a lassú, kis kő hatására lenne a gyors kő még gyorsabb? A lassú gyorsítja a gyorsat? Salviati-Galilei tehát egy racionális megfontolás segítségével cáfolja Arisztotelészt, és ezt az eljárását láthatóan határozottabbnak tartja, mint a közvetlen kísérletet.

Simplicio azonban nem hagyja magát. Érvei csöppet sem üresek, mindennapos tapasztalatokat idéz fel. „Nehezem esik elhinni, hogy egy ólomcsepp ugyanolyan gyorsan zuhan, mint egy ágyúgolyó.” Ő, úgy látszik, el is végzett egy ilyenfajta kísérletet, és Salviati szerint bizonyára úgy találta, hogy százfőnyi magasságból leejtve egy száz font súlyú meg egy egy font súlyú vasgolyót, „a nagyobbik kétujjnyival megelőzi a kisebbiket”. De Arisztotelész szerint kilencvenkilenc rőffel kellene megelőznie!

Salviati elismeri, hogy a közegek: a levegő, a víz vagy a higany befolyásolják, és eltérő módon befolyásolják a testek esését. Aztán a testek alakja is számít, a nehéz aranyból készült nagyon vékony lemez szinte lebeg a levegőben. A kétujjnyi eltérés is ilyenfajta hatásokból származik. De kemény ellenfél a vitában: „Nem szeretném Simplicio úr, ha [...] a beszélgetést mellék-ösvényekre terelve belekapaszkodna valamelyik állításomba, amely csak hajszálnyi-

ra tér el az igazságtól, és e hajszál mögé akarná rejteni mások tévedését, amely oly vaskos, mint egy hajókötél.”

Erre a mondatra gondolva fogtam ebbe a cikkbe. Itt, ezen a vita dramaturgiája szerint fontos ponton, ahol a szerző szemmel láthatóan dühösnek, felháborodottnak ábrázolja önarckép-hősét, egy példán bemutatja, hogy mi módon kell a kutató elmének különbséget tennie az alapvető jelenségek és a járulékos, esetleges hatások között. De hát ez nem mindig könnyű! A mérések fél-

Galilei itt egyetlen dühös mondatban a természettudományos kutatás alapvető, azóta is érvényesnek tartott elvét fogalmazta meg. Az empiriát a rációnak kell felülbírálnia, önmagukban a puszta megfigyelések az igazságot soha nem tárhatják fel. Ezért kell gyakran a mérések esetlegességeitől, hibájától független gondolat kísérletek eszközhöz nyúlni. Ezt a modern tudomány is így tartja. Max Planck írja: „Nincs értelmetlenebb dolog, mint azt mondani, hogy egy gondolat kísérletnek csak annyiban van jelentősége,

is észre lehet venni; a szerző nem mindig következetes ebben a kérdésben. De ami a probléma lényegét illeti, a bizonyítás módját tőle tanulták meg a későbbi korok.

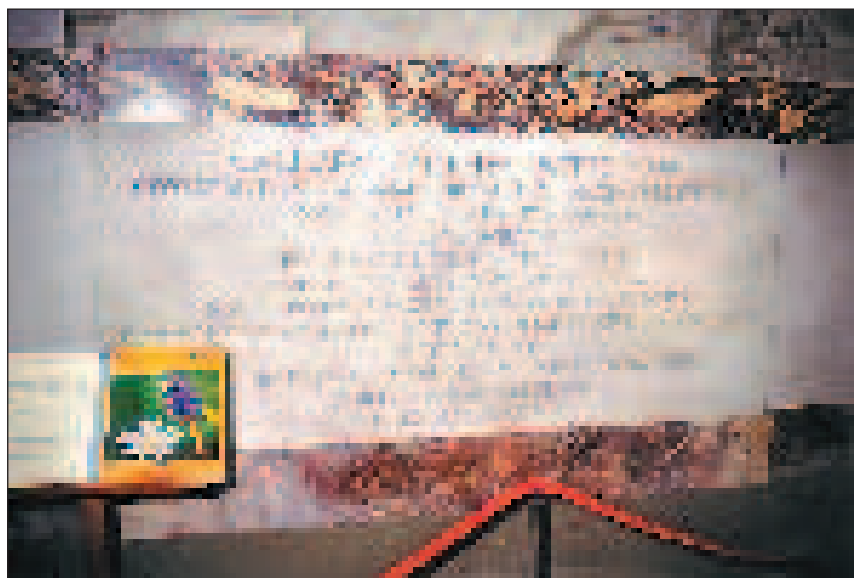
Simplicio köznapi szemlélete ugyanis hitetlenkedik. „A magam részéről soha nem fogom elhinni, hogy a vákuumban – ha ott egyáltalán létezik mozgás – a gyapjuszál ugyanolyan gyorsan mozogna, mint az ólomdarab.” (Legyünk őszinték, ha meg nem tanultuk volna, ha fizikaórán nem mutatták volna be a kísérletet, mi se hinnénk.) Salviati körültekintő válaszából látszik, az ellenvetést komolyan veszi. Hiszen vákuumot nem tud kísérleti úton létrehozni, a légszivattyút még nem ismeri. De mivel úgy találja, „hogy a különböző súlyú testek sebessége az egyre áthatolhatóbb közegekben egyre kevésbé különbözik, illetve még nagyon eltérő súlyok esetén is minden másnál ritkább – bár nem teljesen üres – közegben a sebességkülönbség olyan kicsi, hogy szinte megfigyelhetetlen, akkor véleményem szerint nagyon valószínű az a feltevés, hogy vákuumban pontosan megegyezne a sebességük.” A fokozatos közelítés, az extrapoláció gondolatával él – ezt használja hasonló helyzetben azóta is minden kísérleti kutató. Ő erkölcsös óvatossággal használja a módszert, az eredményt csak nagyon valószínűnek nevezi, nem biztosnak. Hiszen az igazi bizonyosságot mégis csak a közvetlen mérés adhatja.

Nem lehet a céloom, nem is volnék képes rá, hogy a Discorsi minden megállapítását elemezzem, és szét merjem válogatni Galilei mindig lángeszű megközelítéseit gyakori, néha saját gondolatainak is ellentmondó tévedéseitől. Mindennek könyvtárnyi az irodalma. Az én asztalomon Vekerdi László könyve áll kinyitva, az *Így él Galilei*, és az *Utószó*, amelyet ő írt a Discorsi magyar kiadásához. Örömmel olvasom a szövegeit, hálával gondolok emlékére. Magát a Galilei-művet ajánlanám persze elsősorban olvasásra; ez irodalomnak is gyönyörűség. Legszívesebben azt a tanácsát idézem, amelyet a méltó beszélgetőtársnak, Sagredonak adott: „Az értő kételkedés szelleme legyen Önnel.”

Velünk is, mindannyiunkkal. †

## Irodalom

- Galilei: Matematikai bizonyítások és érvelések (a Discorsi magyar kiadása), ford. Dávid Gábor, utószó: Vekerdi László, Európa, Budapest, 1986
- Platón: Állam, Platón összes művei II, ford. Szabó Miklós, Európa, Budapest, 1984
- Max Planck: Válogatott tanulmányok, ford. M. Zemplén Jolán stb. Gondolat, Budapest, 1982
- Vekerdi László: Így él Galilei, Typotex, Budapest, 1997



Virágunk Galilei sírján, Firenzében

revezethetik a megfigyelőt. Ezért lépett túl Salviati Sagredo, egyébként helyes megfigyelésén, és folyamodott racionális érveléshez a kísérlet elemzése helyett. (Közbevetőleg: írónak is milyen kiváló Galilei!)

A gondolat persze igazából nem új, Platónnál is olvashatunk már róla. Az Állam VII. könyvében mondja Szókratész: „A tarka csillagképeket az égen a maguk nemében a legszebbeknek és legtökéletesebbeknek tartjuk ugyan, de minthogy a látható világ tarkaságai, messze elmaradnak az igazi csillagoktól és azok mozgásaitól, amelyekben az igazi sebesség és lassúság az igazi számok szerint, az igazi egymás közti konstellációkban mozog, s egyben mozgat minden benne lévő; ezeket ugyanis csak értelemmel és gondolkodással lehet felfogni, szemmel nem.” És folytatja is: „Nos, a csillagászatot – akár a mértant – csak mint kérdésfeltevést alkalmazzuk, az égitesteket pedig békén hagyjuk, ha a csillagászatvaló helyes foglalkozás révén a lélekben rejlő természetes értelmet a haszontalanból hasznossá akarjuk tenni.” A kérdést, Szókratész szerint, ugyan a megfigyelés vagy a kísérlet teszi fel, a választ azonban csak „a lélekben rejlő természetes értelem”, a racionális gondolkodás adhatja meg.

amennyiben mérések útján bármikor megvalósítható. [...] A gondolat kísérletekkel a kutató szelleme a valóság mérőeszközök világa fölé emelkedik, ezek hozzásegítik hipotézisek alkotásához, kérdések megfogalmazásához, amelyeknek valóság kísérletekkel való igazolása új törvényszerű összefüggésekbe nyújt bepillantást, olyan összefüggésekbe is, amelyek a közvetlen mérés számára hozzáférhetetlenek. [...] Bizonyos, hogy a gondolat kísérlet absztrakció. Ez az absztrakció azonban a fizikus számára, legyen kísérleti vagy elméleti fizikus, a kutató munkában épp oly nélkülözhetetlen, mint az, hogy van reális külvilág.”

Galilei nem áll meg ott, hogy elutasítja az eltérést az elméleti várakozástól, mert hogy az a körülmények esetleges voltából származik. Fel kell tárnai az eltérés okát, meg kell becsülni, ha a nagyságát nem is lehet, legalább az irányát, tehát magyarázatot kell adni, elméletet kell alkotni a váltakozó körülmények hatására is. Fajsúlyról, közegellenállásról kell gondolkodnunk. Galilei magyarázatai gyakran nagyszerűek, de a mai olvasót néha mehökkentik. A közegellenállás csak mozgásban lévő testre hat, a fajsúlykülönbségek hatását nyugvó testeken