

Jubileum

HERMANN VON HELMHOLTZ SZÜLETÉSÉNEK 200. ÉVFORDULÓJÁRA ON THE 200TH ANNIVERSARY OF HERMANN VON HELMHOLTZ'S BIRTH

Martinás Katalin

a fizikai tudományok kandidátusa, ny. egyetemi docens,
Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Atomfizikai Tanszék
kati.martinas@gmail.com

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány a 200 éve született Hermann Helmholtzra emlékezik. Ő volt talán az utolsó nagy tudós, akinek munkássága Arisztotelész és Leibniz hagyományai szerint átfogta az összes tudományt, valamint a filozófiát és a művészeteket.

ABSTRACT

This article commemorates Hermann Helmholtz, born 200 years ago. He was perhaps the last great scientist whose work spanned all the sciences, as well as philosophy and the arts, in the tradition of Aristotle and Leibniz.



Hermann von Helmholtz
(Wikipédia, közkincs)

Kulcsszavak: energiamegmaradás, fiziológia, nem-euklideszi geometria, empirizmus

Keywords: energy conservation, physiology, non-Euclidean geometry, empirism

BEVEZETÉS

Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz 1821. augusztus 31-én született a poroszországi Potsdamban. Édesanyja, Caroline Penn a Pennsylvániát megalapító William Penn leszármazottja. Édesapja, Ferdinand Helmholtz a potsdami gimnáziumban nyelveket és filozófiát oktatott.

A 200 évvel ezelőtt született Hermann Ludwig von Helmholtzot kortársai a tudomány fejedelmének tekintették. 1877-ben a nem angol tudósok közül elsőként kapta meg a *Nature* „Tudományos értékeink” díját, amely a Nobel-díj elődjének is tekinthető. Ebből az alkalomból Helmholtz méltatását James Clerk Maxwell így kezdte: „A szolgálatok, melyeket Helmholtz a matematikának, physikának, physiologiának, psychológiának és aesthetikának tett, ismeretesek e különféle tudományok minden egyes művelője előtt. Mindazok, kik e tudományok közül egyik vagy másikban kitűnő polczra emelkedtek, rendszerint az által érdemelték ki a hírnevet, hogy egész figyelmöket kizárólag annak az egy tudománynak szentelik vala. Ritkaság, hogy különböző tudományok művelői az egyikben szerzett ügyességeket a másakra is akarván alkalmazni, mindenikben érdemeket szerezhessenek maguknak.” (L[echner], 1888)

Hetvenedik születésnapja világraszóló ünnepség volt. Helmholtz személyes életrajzának is tekinthető pohárköszöntőjét a *Természettudományi Közlöny* is közölte: „Az elmúlt év folyamában, legutóbb pedig születésem 70-ik évfordulójának ünnepelése alkalmával, engem soha nem remélt mértékben halmoztak el kitüntetésekkel, s a tisztelet és jóakarat bizonyítékaival. Saját uralkodóm, Ő felsége, a német császár, államtisztviselőinek legmagasabb rangfokozatába emelt, Svéd- és Olaszország királya, előbbi fejedelmem, Baden nagyhercege, a Francia köztársaság elnöke, mellemet nagy keresztekkel díszítették fel; sok akadémia, és pedig nemcsak tudományos, hanem művészeti is, fakultások és tudós társaságok, szétszórva a földön Tomszktól Melbourneig, okleveleket és szépen díszített üdvözlőiratokat küldöttek, hogy kifejezzék elismerésüket és köszönetüket tudományos törekvéseimért, részben oly szavakkal, melyeket nem olvashatok pironkodás nélkül. Szülővárosom, Potsdam, díszpolgárává választott. Mindezekhez számtalan egyén, tudományos és személyes barátaim, tanítványaim és ismeretlenek csatlakoznak, a kik szerencse kívánataikat telegráf vagy levél útján küldötték.” (Helmholtz, 1893)

Napjainkban neves intézetek, továbbá a Holdon és a Marson egy-egy kráter őrzi a nevét. A budapesti Állatorvostudományi Egyetem C-épületének bejárata felett Helmholtz Zsolnay-porcelánból készült portrédomborműve látható. A Berlin-Brandenburgi Tudományos Akadémia 1891-ben Helmholtzról elnevezett díjat alapított, amelynek első kitüntetettje maga Helmholtz volt. Külön öröm, hogy a Helmholtz-érmét 2020-ban Somorjai Gábor, a Magyar Tudományos Akadémia tiszteleti tagja, a Kaliforniai Egyetem (Berkeley) professzora kapta életművéért.

Helmholtz neve Magyarországon is ismert volt, és nem csupán tudományos körökben. Amikor Kosztolányi Dezső a *Budapesti Napló*-ban (1906) nekrológot írt Ludwig Boltzmannról, akkor Helmholtzhoz hasonlította őt. Helmholtz századik születésnapjáról a *Természettudományi Közlöny* mellett a *Nyugat* is megemlékezett 1921-ben (Grósz, 1921; Beke, 2005). Hírneve csupán az I. világháború után fakult meg. A 20. század második felétől emlékét már szinte csak az egyes diszciplínákba integrálódott eredményei őrzi. A fizikusok zöme csak a fizikai

eredményeit ismeri. 150. születésnapja már nem is számított fontos eseménynek. David Cahan 2018-ban egy 927 oldalas Helmholtz-életrajzt jelentetett meg, és az erről írt recenziók között van olyan is, amelynek szerzője megkérdőjelezi magának a terjedelmes könyvnek a létjogosultságát is. Steven Shapin (Franklin L. Ford Research Professor of the History of Science, Harvard University) 2019-ben egy meglehetősen provokatív kritikát írt „A (majdnem) minden tudósa” címmel. Ebben korunk tudósainak uralkodó véleményét fogalmazta meg, amely szerint Helmholtz nem volt kiemelkedő tudós, csak egy nagy teljesítményű polihisztor, aki nem érdemel meg egy ilyen terjedelmes kötetet.

Születésének bicentenáriuma lehetővé teszi, hogy kijelentsük: Helmholtz nemcsak egy kiemelkedő polihisztor volt, hanem alapjaiban változtatta meg a fizikát. A nagy német természettudós valódi jelentősége alighanem abban keresendő, hogy egyesítette a német filozófia leibnizi természettudományos eszméit¹ és a newtoni fizika matematikai eredményeit. Helmholtz összekapcsolta a matematika nélküli filozófiát a filozófia nélküli matematikával. Empirizmus paradigmaváltásnak is tekinthető. Meggyőződése szerint a fizika feladata az univerzális természettörvények megtalálása. A helmholtzi energiamegmaradás ennek megvalósulása.

Helmholtz a természet tudósa volt. A megismerés vágya, a megértés öröme vezérelte munkásságát. Számára a kutatómunka jutalmát nem az elismerés, hanem a felismerés jelentette. A kutatóknak szóló tanácsa így hangzik: „A világ, mely nem igen hisz ideális indító okokban, ez érzelmet híválynak nevezi. Van azonban döntő ismertető jel a két érzület megkülönböztetésére. Tedd fel a kérdést, vajjon közönyös-e reád nézve, sajátodnak ismerik-e el kutatásaid elért eredményeit, vagy sem, ha e kérdés megoldása nincs többé külső haszonra való tekintethez kötve.” (Helmholtz, 1893)

Munkamódszere további magyarázatot ad a sikereire. A kutatói siker titka Helmholtz szerint: „Csak ha az észlelő tárgyába, hogy úgy mondjam, egészen belecsimpajkozik [!], s ha minden gondolatát s minden érdekeltségét reá fordítja, annyira, hogy attól heteken, hónapokon, sőt egész éveken át sem tud megválni, s nem is válik addig meg, míg azt minden részleteivel együtt nem ismeri, s míg mindazon eredmények helyességéről meg nem győződött, melyekhez az idő szerint jutni lehetett: csak akkor fog munkája kétségbevonhatatlan és maradandó becsesl bérni.” (URL1)

Helmholtz egyszerre volt jó anatómus, fiziológus, kísérleti fizikus, elméleti fizikus, matematikus és filozófus. Közel kétszáz munkájának zömét ma is idézik, használják az egyes szakterületek.

¹ Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) szerint a fizikában természettörvény az erők megmaradása. Ez nem a mai erőfogalom. A 18. század elején a kontinensen a leibnizi fizika hódított, de a 19. századra gyakorlatilag eltűnt a fizikából, csak a német filozófiában élt tovább. A 19. századra maradt az erő fogalmának objektív meghatározása.

Családjának anyagi helyzete miatt Helmholtz nem lehetett fizikushallgató, hanem katonai ösztöndíjasként a Medizinisch-chirurgisches Friedrich-Wilhelm-Institutban tanult. Nagy hatással volt rá professzora, Johannes Müller, aki még vitalista volt, de *A fiziológia elemei* könyvében már a fizika és kémia fontosságát hangsúlyozta.

HELMHOLTZ, A KATONAORVOS (1843–1848)

A fiziológia és anatómia területén 1842-ben szerzett doktori címével Helmholtz 1843-ban a potsdami királyi huszárezred sebész alorvosa lett, mivel egyetemi ösztöndíjának feltétele egy nyolcéves katonai szolgálat teljesítése volt. A szolgálat mellett a saját és Heinrich Gustav Magnus laboratóriumában is dolgozott. Az izommunka hőtermelését vizsgálta.

1845-ben főleg fiatal orvosok Emil du Bois (szintén Müller tanítványa) vezetésével megalapították a Berlini Fizikai Társaságot, amelyből a Német Fizikai Társaság alakult. Az akkor huszonhat éves orvos a társulat előadásán ismertette az energiamegmaradás törvényét 1847-ben.

Napjainkban az energiamegmaradás törvényét mindenki elfogadja. A fizikátörténet több tudóst is számontart az energiamegmaradás felfedezőjeként. Leggyakrabban Robert Mayer (1841) nevét említik. Helmholtz az utolsó a sorban, és inkább csak a tudománytörténeti munkákban szerepel. Ha azt tekintjük felfedezőnek, akinek munkája alapján a tudós társadalom elfogadta a törvényt, akkor mégis Helmholtz az energiamegmaradás törvényének felismerője.

Visszaemlékezéseiben Helmholtz így írja le az eredmény megszületését: „A fiziológusok akkor Stahl magyarázatát fogadták el, mely szerint az élő testben ugyan szereinek és anyagainak fizikai és kémiai erői a hatók, de ezen erők hatását egy benne lakó élő lélek vagy életerő meg bírja akasztani és fel bírja szabadítani, [...] Egyetemi tanulmányaim utolsó évében jöttem végre reá, hogy Stahl elmélete minden élő testnek a perpetuum mobile természetét tulajdonítja. Az ez utóbbira vonatkozó vitatkozásokat meg kikutattam és átvizsgáltam Bernoulli Dániel, D’Alembert és más, múlt századbeli matematikusok munkáit. Így reáakadtam e kérdésre: »Milyen vonatkozásoknak kell a különböző természeti erők között fennállaniok, hogy a perpetuum mobile általában lehetetlen legyen?« és továbbá »tényleg fennállnak-e e vonatkozások?« Az erő megmaradásáról írt könyvecskémbe nem volt más szándékom, mint a fiziológusok érdekében a tényeknek kritikai vizsgálatát és rendezését nyújtani. Teljesen el voltam rá készülve, hogy a szakértők végre is azt fogják mondani: »Mindezt nagyon jól ismerjük. Mit gondolt ez a fiatal orvos, hogy szükségesnek látta ezt nekünk oly részletesen kifejteni?« Csodálkozásomra a fizika tekintélyei, kikkel érintkezhettem, a dolgot egészen másként fogták fel. Hajlandók voltak a törvény

helyességét tagadni, s a Hegel természetbölcselete ellen folytatott küzdelem hevesességében dolgozatomat ábrándos spekulációnak nyilvánítani.” (Helmholtz, 1874)

Meglepődve olvassuk e sorokat. Helmholtz attól félt, hogy egy, már közismert eredményt ismertet. Ez a félelme érthetővé válik, ha elolvassuk az írását. Már kidolgozott gondolatokat, fizikai eredményeket foglalt össze, és általánosított csupán. Gondolatmenete röviden így foglalható össze:

- Tapasztalataink alapján nem létezik *perpetuum mobile*, azaz olyan gép, amely mechanikai energiát állítana elő a semmiből. 1775-ben a Francia Akadémia deklarálta is, hogy nem fogad el olyan tanulmányokat, amelyek a *perpetuum mobile* készítésével foglalkoznak (Schaffer, 1995).
- Megmutatta, hogy a természettörvény, a *perpetuum mobile* lehetetlensége úgy is megfogalmazható, hogy létezik egy absztrakt, objektíven meghatározható mennyiség, amelyet ma energiának nevezünk, és az energia megmarad, azaz minden folyamatra, változásra igaz, hogy a teljes energia mennyisége nem változik. Ebben Sadi Carnot munkáját általánosította. Helmholtz nem a Carnot-féle híres körfolyamatot használta, amely a termodinamika II. főtételének megalapozásához vezet, hanem csak az alapgondolatot, amelyet az apa, Lazare Carnot dolgozott ki. Nem létezhet olyan körfolyamat, amelynek egyetlen hatása a mechanikai munka előállítására lenne.
- Megmutatta, hogy az energia megmaradása teljesül a különböző fizikai, kémiai és biológiai folyamatokra.

Helmholtz a visszaemlékezéseiben az előadásának rossz fogadtatására is kitért. Valójában már az előadása is sikeres volt. Johann Christian Poggendorf, az *Annalen der Physik* szerkesztője ugyan elutasította a dolgozat közlését, azzal az indoklással, hogy túlzottan elméleti, azonban a cikk már három hét múlva megjelent Georg Reimer kiadásában. Ezután nagyon gyorsan nőtt Helmholtz népszerűsége. Sikerének egyik fontos jele, hogy 1848-ban Alexander von Humboldt is közbenjárta érdekében a katonaságnál, hogy mentsék fel a további szolgálat alól. Így lett a sebészorvosból az anatómia előadója a Berlieni Művészeti Akadémián. 1849-ben pedig megkapta a fiziológia docense kinevezést a Königsbergi Porosz Egyetemen.

Helmholtz munkája alapján az angol tudományos elittel Lord Kelvin ismertette meg az energia fogalmát és az energiamegmaradás törvényét. Megjegyezzük, hogy Kelvin nyomán lett elfogadott az energia elnevezés. 1850-ben Robert Mayer – akihez a fizikátörténet az energiamegmaradás törvényét köti – felkereste Helmholtzt, és bemutatta neki korábbi munkáit. Ettől kezdve Robert Mayer elsőbbségét elismerve ismertette saját tételét, annak ellenére, hogy korábban nem is ismerte Mayer eredményeit, és a két munka a sok közös vonás ellenére lényegesen különbözött is. Míg Mayer Leibniz alapján feltételezte a megmaradó „erő” léte-

zését, addig Helmholtz bemutatta, hogy a mechanikai perpetuum mobile lehetlensége megköveteli egy objektívan meghatározható megmaradó „erő” létezését. Ez az oka, hogy Mayer munkáját csak Helmholtz eredményei után fogadták el.

HELMHOLTZ, A FIZIOLÓGUS – KÖNIGSBERG–BONN–HEIDELBERG (1849–1871)

Fiziológiai eredményei mai mércével több Nobel-díjat is érdemelnének. Forradalmasította a szemészetet, az audiológiát, az idegfiziológiát. A kísérleti pszichológia megalapítójának is őt tekintik.

Első kiemelkedő sikere a szemfenéktükör megalkotása volt. Ezzel a forradalmian új eszközzel közvetlenül, beavatkozás nélkül vizsgálhatták a retinát, ami a központi idegrendszer része (Helmholtz, 1851). Nem ő volt az első, hiszen Charles Babbage – akit a mechanikus számológép feltalálójaként tart számon a tudomány- és technikatörténet – már 1823-ban elkészített egy hasonló berendezést, de ő nem publikálta. A szemorvosok Helmholtz készülékét használhatták először. A felfedezés centenáriuma az *Orvosi Hetilap* ismertette a felfedezéshez vezető lépéseket, és az írásból bepillantást nyerhetünk Helmholtz munkamódszerébe: „1850 téli szemeszterében hallgatóinak az érzékszervek élettanát adta elő s amikor az optikai részhez érkezve, a szemlencse szerepéről és működéséről magyarázott, kezdett érlelődni benne a szemtükör eszméje. Hozzákezdett a gondolat megvalósításához. »Ha a sikerről elméletileg eleve meggyőződve nem lettem volna, sohasem bírtam volna ki türelemmel. Már nyolc nap múlva azonban abban a szerencsés helyzetben voltam, hogy elsőnek láthattam tisztán magam előtt az eleven emberi ideghártyát.«” (Bíró, 1951)

Helmholtznak két nagy problémát kellett megoldania, amíg a szemtükör megvalósításáig eljutott. Először a szemfenéket meg kellett világítania, majd egy lencsével biztosította, hogy a kép a megfigyelőnél keletkezzen. Fiziológiai optikai kézikönyve (Helmholtz, 1867) a látás megértése és a szemészet alapja lett. Moszkvában 1935-ben Helmholtz nevét vette fel a Szemészeti Intézet.

Az idegimpulzus terjedési sebességéről azt hitték, hogy mérhetetlenül gyors. 1852-ben elkészítette az akkori idők legnagyobb felbontású időmérőjét, és azzal az eredmény 50 m/s lett. Ezt a munkáját sokan a kísérleti pszichológia születésének is tekintik.

1863-ban jelent meg a hangérzetekről mint a zeneelmélet fiziológiai alapjáról szóló műve (Helmholtz, 1863). A mű tartalma a fül anatómiájától kezdve az összhangzattanig terjed. Tartalmazza az anatómiai, fiziológiai, fizikai és esztétikai aspektusokat. Theodore Steinway több szabadalmat is benyújtott Helmholtz munkássága alapján. Most a müncheni Deutsches Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technikben van kiállítva a Steinway cég hálából Helmholtznak ajándékozott zongorája. Maga Helmholtz is jól zongorázott, ami

segített összekapcsolni munkásságában a fizikát, a fiziológiát és a zenét. Felesége, Anna baráti viszonyban volt Richard Wagner feleségével, Cosima Wagnerrel (Liszt Ferenc lányával). Így Helmholtz és Wagner között is jó volt a kapcsolat. Wagner verset is írt Helmholtzról:

„Grau wäre alle Theorie?
Dagegen sag' ich, Freund, mit Stolz:
uns wird zum Klang die Harmonie,
fügt sich zum Helm ein edles Holz.”
(Wagner, 1911, XI/385.)

HELMHOLTZ, A FIZIKUS, BERLIN (1871–1894)

Helmholtz 1871-ben lett hivatalosan fizikus a berlini Humboldt Egyetem fizikaprofesszoraként. Fizikával azonban már előtte is folyamatosan foglalkozott, és a fizika szinte minden területén találkozunk a nevét viselő tétellel, fogalommal, eszközzel. Fontos eredményei születtek a termodinamikában (Helmholtz-potenciál), az áramlástanban (Helmholtz-örvények) és a Helmholtz-mágnes ma is alapvető eszköz a homogén mágneses tér előállításához.

Intellektuális kíváncsiságára példa, ahogyan az energiamegmaradási törvény alkalmazásaként a Nap korát meghatározta (Helmholtz, 1854). A kor ismeretei alapján feltételezte, hogy „az energia a Nap zsugorodásából származik”. Eredménye 30 millió év lett a Nap korára. Ma a csillagászok Kelvin–Helmholtz-időskálaként hivatkoznak erre.

Kevésbé ismert a szerepe az elektromágnesesség elméletének kifejlesztésében. A Maxwell-egyenletek 1864-ben készen voltak már, ám az elkövetkező húsz évben – Heinrich Hertz sikeres kísérleteiig – kevés figyelmet keltettek. Az elmélet és a kísérlet is nehéz volt, és kevés haszonnal kecsegtetett (Füstöss, 2008). Helmholtz bátorította munkatársait, hogy foglalkozzanak James Clerk Maxwell elméletével, és tanítványának, Hertznek ő javasolta azt a kutatási témát, amely végül az elektromágneses sugárzás felfedezéséhez vezetett.

Történeti érdekesség, hogy az elektron felfedezése is az ő nevéhez köthető. Helmholtz mondta ki először, hogy az elektron részecske. Elektromos atomnak nevezte, és meghatározta az elemi töltést (Helmholtz, 1881).

HELMHOLTZ MINT FILOZÓFUS

Meghatározó jelentőségű a filozófiai-geometriai munkássága. A geometriai axiómákról írott művének alap gondolatát minden fizikus ismeri, de kevésbé közismert annak eredete. Az akkori uralkodó vélemény szerint a térszemlélet apriorisztikus, vagyis minden tapasztalat előtt való. A nemeuklideszi geometriák

megjelenése ezt megkérdőjelezte. Helmholtzot a látás problémája indította el a geometriai axiómák eredetének vizsgálatára. Szerinte minden érzetben tapasztalati és ismereti elemek vannak (Helmholtz, 1868). A szemeinkben megjelenő ingerekből a tapasztalataink alapján alakul ki a térszemléletünk. Feltette a kérdést, hogy elképzelhető-e olyan tapasztalati elem, amely egészen más axiómákra és így egészen más geometriára vezet. Képzeljünk a sík helyett valamilyen felületet, például egy golyó felületét. És képzeljünk olyan lapos, értelmes lényeket, akik e felületen laknak, és arról, ami azon kívül van, nem szerezhetnek tudomást. Belátható, hogy más geometriai axiómaik lesznek és más geometriai térszemléletük. Megemlítjük, hogy Helmholtz az egyik forrása Edwin Abbott *Sík föld* című sci-fi-jének (Abbott, 1982; URL3), amely egy kétdimenziós világot ábrázolva mutatja be a viktoriánus kor visszasságait.

HELMHOLTZ ÉS A MAGYAROK

Helmholtz munkásságát magyar tudományos körökben is jól ismerték, és eredményei elismeréseként a német tudóst 1872-ben a Magyar Tudományos Akadémia tiszteleti tagjává választották.

König Gyula (1849–1913), a világhírű matematikus eleinte orvosnak készült, és Heidelbergben Helmholtz tanítványa volt. Visszaemlékezései szerint Helmholtz biztatására kezdett hozzá egy – a kísérletezést és elméleti tájékozottságot egyaránt igénylő – vizsgálathoz: az idegműködés sebességét, vagyis az érzéki behatástól a tudatos cselekvésig szükséges időtartamot kutatta, valamint azt, hogy külső tényezők (például az alkohol) miként befolyásolják ezt. Kutatásainak eredményeit a bécsi akadémia értesítőjében közölte (URL4). Donáth Gyula (1849–1944) ideggyógyász, egyetemi tanár, az MTA tagja 1884-ben Helmholtz laboratóriumában is dolgozott (Kapronczay, 2004).

Több Eötvös-életrajzban is szerepel, hogy Eötvös Loránd Heidelbergben Helmholtz tanítványa lett volna, ez azonban valószínűleg tévedés. Igaz, egyidejűleg voltak jelen, de Helmholtz ott a fiziológia professzora volt. Eötvös Loránd az apjával folytatott levelezésében sem említi Helmholtz nevét (URL5). A kapcsolat mégis említést érdemel: Helmholtz népszerű előadásai Eötvös Loránd fordításában jelentek meg a *Természettudományi Közönyben*. A ma is élvezetes írások – amelyekből megismerhetjük a fizika szépségeit – kényelmesen hozzáférhetőek (URL2).

HELMHOLTZ ÖRÖKSÉGE

Helmholtz szinte minden tudományterületen maradandó nyomot hagyott. A tudományszervezés sem kivétel ez alól. A tudományos kutatás szabadságának fontosságát hangsúlyozta: „...a tudomány emberei mintegy szervezett hadsereget

képeznek, mely az összes nemzet javára és többnyire annak megbízása folytán és költségein azon ismereteket gyarapítani törekszik, melyek az ipar, gazdagság s az élet kellemének fokozására, valamint a politikai szervezet s az egyesek erkölcsi fejlődésének javítására szolgálhatnak. [...] A ki tudományt keresve, közvetlen gyakorlati hasznot hajhász, az csaknem biztos lehet, hogy hiába fárad.” (Helmholtz, 1862) Az alap- és az alkalmazott kutatásnak más a hajtóereje. Elveinek gyakorlati megvalósításaként barátjával, Werner Siemensszel együtt létrehozták az alkalmazott fizikai kutatóintézetet, amelynek haláláig igazgatója volt.

A legnagyobb érdemét mégis ritkán említik: ugyanis ő az, aki bevezette az energia mai fogalmát (a nevet Lord Kelvin adta), és elfogadtatta az energiamegmaradás törvényét a tudományos közösséggel, ezzel paradigmaváltást idézve elő a tudományos életben. Érdemes lenne a mára már elfelejtett módszerét visszahozni a tudományos közéletbe és az oktatásba.

A 20. században a relativitáselmélet és kvantummechanika megszületésével a fizika kettévált: klasszikus és modern fizikára. A helmholtzi megközelítés utat mutat a fizika egységének megtalálásához.

IRODALOM

- Abbott, E. A. (1982): *Síkföld.* (ford. Gálvölgyi J.) Budapest: Kozmosz Könyvek, <https://mek.oszk.hu/01900/01984/html/>
- Beke M. (2005): Helmholtz. *Ponticulus Hungaricus*, IX, 9, https://www.ponticulus.hu/rovatok/hidverok/nyugat_1921-19.html
- Bíró I. (1951): A szenttükör centenáriuma. *Orvosi Hetilap*, 31, 985–988. <http://real-j.mtak.hu/11208/7/650.1951.08.05.pdf>
- Cahan, D. (2018): *Helmholtz: A Life in Science.* The University of Chicago Press
- Carnot, L. (1803): *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement.* Paris: Jean-François-Pierre Deterville, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k58231868.texteImag>
- Füstöss L. (2008): Maxwell elmélete Magyarországon. In: Füstöss L.: *A maxwelli elektromosság és magyarországi fogadtatása. Egy korszakos felismerés a XIX. század fizikájából.* (Magyar Tudománytörténeti Szemle Könyvtára 73) 55–135. <http://real.mtak.hu/18300/>
- Grósz E. (1921): Helmholtz emlékére. *Természettudományi Közlöny*, 53, 771–774. <http://real-j.mtak.hu/6617/>
- Helmholtz, H. (1851): Beschreibung eines Augen-Spiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge. In: Engelking, E.: *Dokumente zur Erfindung des Augenspiegels.* Berlin, 9–39. <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb10861264?page=5>
- Helmholtz, H. (1854): *Wechselwirkung der Naturkräfte und die darauf bezüglichen neuesten Ermittlungen der Physik.* Königsberg: Verlag von Gräfe & Unzer, <https://edoc.hu-berlin.de/handle/18452/967>
- Helmholtz, H. (1862): Über das Verhältnis der Naturwissenschaften zur Gesamtheit der Wissenschaften. Heidelberg, reprint: *Physikalische Blätter*, 1950, 4, 145–152. DOI: 10.1002/phbl.19500060401, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/phbl.19500060401>
- Helmholtz, H. (1863): *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik.* Braunschweig, https://imslp.org/wiki/File:PMLP184676-Helmholtz,_Die_Lehre_von_den_Tonempfindungen,_4.Aufl._1877.pdf

- Helmholtz, H. (1867): *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig: Leopold Voss, <https://wellcomecollection.org/works/pb7v7uvr>
- Helmholtz, H. (1868): On the Facts Underlying Geometry. In: Cohen, R. S. – Elkana, Y. (eds.) (1977): *Hermann Helmholtz, Epistemological Writings*. Reidel, 39–71.
- Helmholtz, H. (1874): Az erő megmaradásáról. In: *Népszerű tudományos előadások*. Budapest: Pesti Könyvnyomda Részvénytársaság, <http://real-eod.mtak.hu/7921/>
- Helmholtz, H. (1881): *The Modern Development of Faraday's Conception of Electricity*. The Faraday Lecture, Chemical Society, London, <https://www.jstor.org/stable/pdf/2900641.pdf>
- Helmholtz, H. (1893): Helmholtz pohárköszöntője. 1891. november 2-ikán hetvenedik születésnapjának ünnepén. (ford. Csmezz J.) *Természettudományi Közöny*, 25, 2, 73–82. http://real-j.mtak.hu/6588/1/TermtudKozl_1893.pdf
- Kapronczay K. (2004): *Magyar orvoséletrajzi lexikon*. (közrem. Tóth M.) Budapest: Mundus Magyar Egyetemi Kiadó
- Kosztolányi D. (1906): A gondolkodás halottja. *Budapesti Napló*, 1906. szeptember 15. <https://mek.oszk.hu/06300/06360/06360.htm#60>
- L[echner] Gy[ula] (1877): Helmholtz tudományos jellemzése. (Clerk Maxwell) *Természettudományi Közöny*, 9, 10, 361–368. http://real-j.mtak.hu/6572/1/TermtudKozl_1877.pdf
- Schaffer, S. (1995): The Show That Never Ends: Perpetual Motion in the Early Eighteenth Century. *The British Journal for the History of Science*, 28, 2, 157–189. https://canvas.harvard.edu/files/855105/download?download_frd=1&verifier=TtgwsM4yGS3kqkwDU76yRTTsXDBX3QLUuBMCPX6
- Shapin, S. (2019): A Theorist of (Not Quite) Everything. *New York Review of Books*, 66, 15, 10 October 2019. 29–31. <https://www.nybooks.com/articles/2019/10/10/helmholtz-theorist-not-quite-everything/>
- Wagner, R. (1911): An Helmholtz. In: *Sämtliche Schriften und Dichtungen*. 5. Auf. Leipzig: Breitkopf & Härtel
- URL1: Hermann Helmholtz: *A természettudományok czélfjáról és haladásairól*. 358–389. http://leporollak.hu/tudomany/helmholc/HH_TTCEL.HTM
- URL2: Helmholtz H.: *Népszerű tudományos előadások*. <http://leporollak.hu/tudomany/helmholc/HELMHOLC.HTM>
- URL3: Banchoff, T. F.: *From Flatland to Hypergraphics: Interacting with Higher Dimensions*. <https://www.math.brown.edu/tbanchof/abbott/Flatland/ISR> (letöltve: 2021. március 15.)
- URL4: König Gyula *életútja*. <https://www.arcanum.hu/hu/online-kiadvanyok/MuMaTu-a-mult-magyar-tudosai-1/konig-gyula-38C9/konig-gyula-eletutja-38D2/> (letöltve: 2021. január 21.)
- URL5: Eötvös Loránd és Eötvös József levelezése: <https://mek.oszk.hu/02000/02054/html/eotlj.html> (letöltve: 2021. január 21.)