

FEJEZETEK A MATEMATIKA KULTÚRTÖRTÉNETÉBŐL, DOLGOZAT

OLIVER HEAVISIDE, AZ "ELFELEDETT GÉNIUSZ"

Írta: Unger Tamás István

B.Sc. szakos matematika hallgató

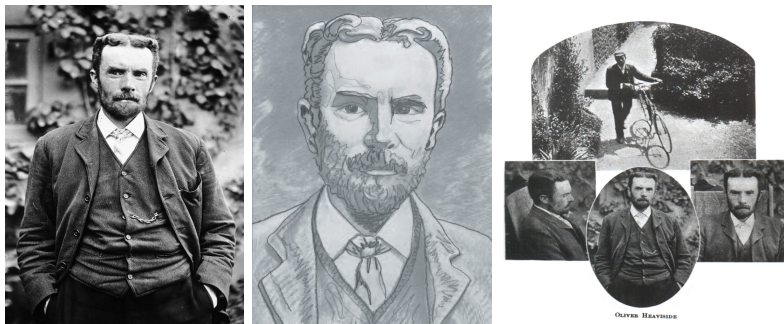
ungert@maxwell.sze.hu, <http://maxwell.sze.hu/~ungert>

MOTTÓ. *"Mathematics is of two kinds, Rigorous and Physical. The former is Narrow: the latter Bold and Broad. To have to stop to formulate rigorous demonstrations would put a stop to most physico-mathematical inquiries. Am I to refuse to eat because I do not fully understand the mechanism of digestion?"*
Oliver Heaviside

1. Bevezetés, motivációk

Máig tisztán emlékszem az első egyetemi előadásra, melyen hét és fél évvel ezelőtt alapszakos villamosmérnök-hallgatóként vettem részt. Az alig százfős előadóba szervezett villamosságtanon – az informatikus hallgatókkal együtt – lehettünk vagy száznegyvenen, hallgatók ültek a padokban, a lépcsőkön és a földön, de már-már úgy tűnt, hogy a plafonon is. A kurzusvezető egyetemi tanárt – későbbi kétszeres konzulensemét és szakmai mentoromat – Kuczmann Miklósnak hívják, a mérnökhallgatók pedig abban az időben közismerten előbb tanulták meg a nevét, minthogy először találkoztak volna vele.

Tőle és pontosan ekkor, életem első egyetemi előadásán hallottam először egy angol villamosmérnökről, aki szabadidejében a matematika eszközkészletével hozott áttörő erejű forradalmat a mérnöki- és fizikatudományokba úgy, hogy neve szinte teljesen a feledésbe merült. Oliver Heaviside-ről van szó, akinek lenyűgöző, páratlan szellemi teljesítménye méltatlanul kevés figyelmet kapott és kap mind a mai napig, noha élete és munkássága alapján ennél sokkal többet érdemelne.



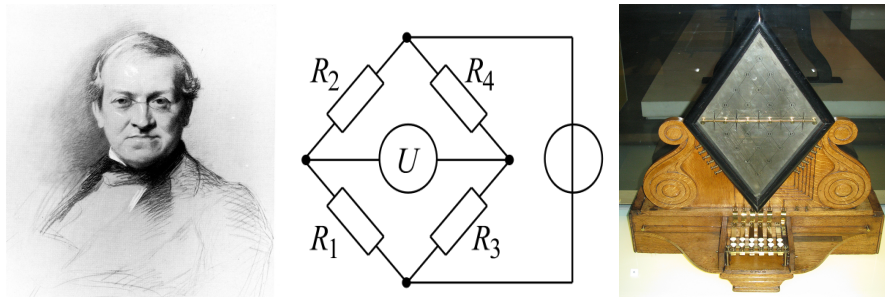
1. ábra. Oliver Heaviside [1], [2], [3]

Most pedig abban a szerencsés helyzetben vagyok, hogy ezzel a dolgozattal, történetének és teljesítményének elsődlegesen a matematikai aspektusát érintve tisztelgethetek Oliver Heaviside nagysága előtt. Módfellett hálás feladat és téma, az biztos.

2. Korai évek

Oliver Heaviside 1850. május tizennyolcadikán született a nem túl előkelő észak-londoni Camden Townban. Thomas nevű édesapja tapasztalt fametsző, míg Rachel nevű édesanyja nevelőnő volt, aki egy kis iskolát igazgatott a szomszédbeli gyermekek számára. A család éveken keresztül mélyszegénységben élt, Oliver pedig egy korai, súlyos lefolyású skarlátláznak köszönhetően szinte teljesen elvesztette hallását, melyből csak később, tizenéves korában sikerült felépülnie [5]. Egy kisebb örökségnek köszönhetően a Heaviside-családnak lehetősége nyílt rá, hogy Camden Town egy jobb részére költözzenek, így Oliver élete is javulásnak indult. Bár tanulmányaival jól haladt a helyi gimnáziumban, szülei a folyamatos pénzhány és nélkülözés miatt nem tudták tovább taníttatni fiukat, így tanulmányainak "hivatalos része" tizenhat éves korában véget ért.

Oliver kivételes adottságain túl azzal is büszkélkedhetett, hogy az édesanyja testvérének férjeként családjában tudhatta a Kings College London fizikaprofesszorát, Charles Wheatstone-t, akinek a nevéhez többek között a rezisztenciamezésre alkalmazott Wheatstone-híd tökéletesítése kapcsolódik (kevesen tudják, de a Wheatstone-hidat eredetileg Samuel Hunter Christie találta fel 1833-ban), valamint egyike volt az elektromos távíró feltalálójának is.



2. ábra. Charles Wheatstone [6], a Wheatstone-híd [7] és a távíró [8]

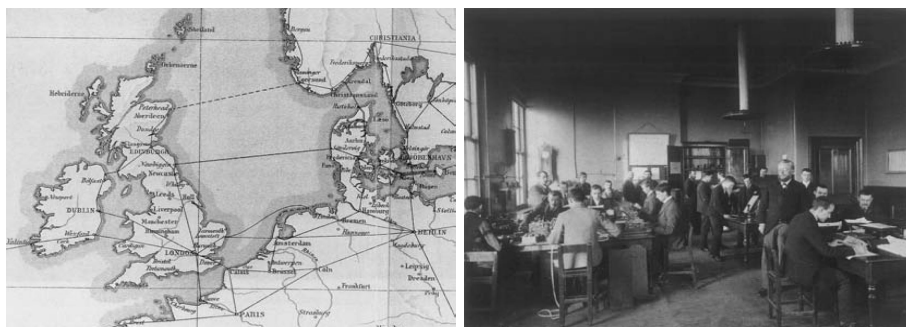
Wheatstone nemcsak átlagon felüli szakember volt, de szíven viselte a szegénységben tengődő Heaviside-testvérek sorsát is. Charles, Oliver bátyja a Wheatstone által feltalált angol harmonika szakértőjévé vált, később pedig hangszerboltokat nyitott Torquay-ben és Paignton-ban, míg Oliver másik testvére, Arthur beszállt a távíró-bizniszbe, később pedig a brit posta távírórendszerének mérnökévé vált. Oliver az iskola befejezése után Arthur mellé szegődött segédmunkásként, majd 1868-ban munkát kapott az Északi-tenger mélyén Newcastle és Dánia között frissen lefektetett angol-dán távíróvezetékénél.

A távírótechnika az 1860-as évek végén óriási növekedésnek indult. Elképesztő távolságú összeköttetések (Dél-Amerika, India, Ausztrália és Kína) létesültek, és ezen összeköttetések mindegyikét brit cégek építették, birtokolták és üzemeltették. Nem is csoda, hogy a teljes brit villamosmérnök-társadalmat a

távírótechnika tartotta lázban, szinte az összes szakember ezzel a területtel kezdett el foglalkozni, a témakörrel kapcsolatos mérési és jeltovábbítási problémák pedig Oliver Heaviside érdeklődését is felkeltették.

3. Az első sikerek

Heaviside 1873-ban publikálta első, a Wheatstone-híd pontosságának javításáról szóló cikkét a *Philosophical Magazine* c. folyóiratban [5], amely cikk felkeltette az akkori leghíresebb, elektromossággal foglalkozó brit fizikus, William Thomson figyelmét. Thomson a cikk publikálását követően személyesen is meglátogatta Heaviside-ot, hogy gratulálhasson neki. Ez a feljegyzések szerint sokat jelentett a szerény, visszahúzódo, szegény körülmények között élő Heaviside-nak, aki így kicsit növelhette önbecsülését. Heaviside elküldte a cikket John Clerk Maxwell-nek is, aki a *Treatise on Electricity and Magnetism* c. művében hivatkozott is rá.



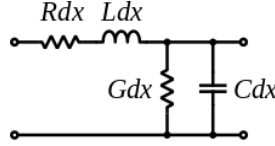
3. ábra. A gerincösszeköttetések 1869-ben és a vállalat irodája Newcastle-ben [9]

Heaviside mindeközben elismert szakembere volt az angol-dán távíróvezetéknek, habár kissé barátságtalannak tartották, valamint többször visszautasított olyan feladatokat is, melyeket saját szakértelméhez mérve méltatlannak, lealacsonyítónak talált. Ezen indokok, valamint folyamatos betegeskedése miatt végül 1874 májusában kilépett a vállalattól és 24 évesen visszaköltözött a szüleihez Londonba. "Klasszikus" munkát soha többé nem vállalt el, minden idejét villamosságtani problémák megoldására fordította, melyhez anyagi segítséget Arthur testvérétől kapott. Munkáját visszavonultan, a szülei vendégszobájában végezte, klasszikus kapcsolata a külvilággal – a munkáin kívül – nem volt [4].

4. A telegráf-egyenletek

A távvezetékeken kialakuló áram és feszültség idő- és helyfüggvényét leíró egyenletek mai formáját Oliver Heaviside-nak köszönhetjük. Heaviside 1855-ben vizsgálni kezdte Thomson távvezeték-elméletét, amely a vezeték rezisztív és kapacitív tulajdonságainak dominanciájára építkezett. Thomson egyenletei a távvezetéken kialakuló feszültséget és áramot egyszerű diffúziós jelenséggként kezelték. Heaviside az 1874-ben és 1881-ben a *Philosophical Magazine*-ban, valamint a *Journal of the Society of Telegraph Engineers* folyóiratokban megjelent munkáiban kiegészítette Thomson elméletét az áramszivárgással és az önindukcióval,

így megalkotta és matematikai eszközkészlettel leírta a távvezeték elosztott paraméterű modelljét. Ennek lényege, hogy a távvezeték anyagi tulajdonságaiból adódó relatív rezisztencia, kapacitás és induktivitás függvényében a feszültség és az áram hullámként viselkedve halad, visszaverődik és oszcillál a vezeték mentén [5].



4. ábra. Heaviside távvezeték-modellje

Heaviside a távvezeték minden egyes infinitezimálisan kicsi dx szakaszát a 4. ábrán látható koncentrált paraméterű hálózattal írta le. Erre a szakaszra felírva a Kirchhoff-féle csomóponti és huroktörvényt Heaviside a következő differenciálegyenleteket kapta:

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -Gdxu - Cdx \frac{\partial u}{\partial t}, \quad \frac{\partial u}{\partial x} = -Rdx i - Ldx \frac{\partial i}{\partial t}, \quad (1)$$

ahol $u = u(t, x)$ a feszültség, $i = i(t, x)$ pedig az áram idő- és helyfüggvényét jelöli. Szinuszos gerjesztés mellett az egyenletek megoldása rendkívül szemléletes, melyet maga Heaviside is megmutatott. A két egyenletből levezette az áramra és a feszültségre adódó Helmholtz-típusú egyenleteket:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - \gamma^2 U = 0, \quad \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} - \gamma^2 I = 0, \quad (2)$$

ahol γ terjedési együttható, amely kizárólag a gerjesztés frekvenciájától és a távvezeték anyagparamétereitől függ. Ezen Helmholtz-típusú egyenletek a feszültségre és az áramra is egy két-két komponensből (haladó- és reflektált hullám) álló összefüggést adnak, amely x távolságnak exponenciális függvénye.

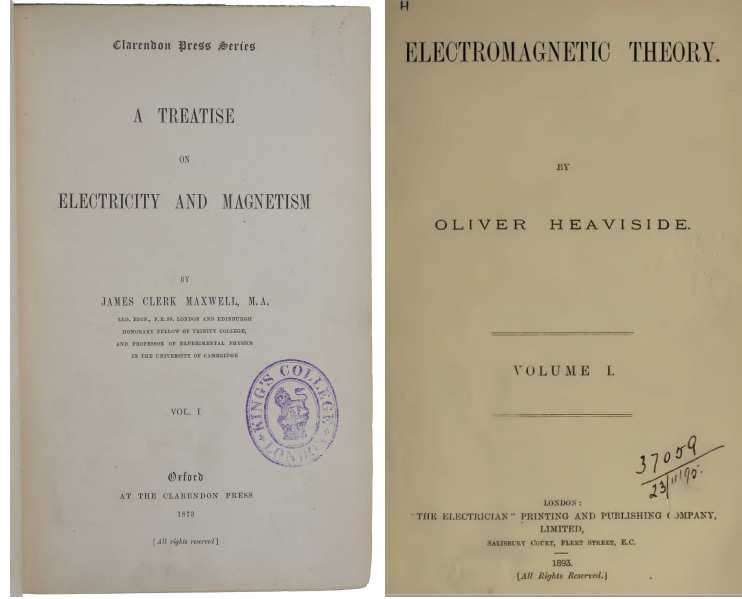
Heaviside nemcsak új fizikai megközelítést kínált a távvezetékek leírására, de a matematika eszközkészletével egyszerű esetekben analitikusan, összetettebb problémák esetén pedig numerikusan megoldható differenciálegyenleteket írt fel, melyek kiállták az idő próbáját. Napjainkban is mérnökök milliói használják őket nap mint nap anélkül, hogy tudnák, kinek köszönhetik azokat.

5. Maxwell útján a vektoranalízisig

1882 körül Heaviside elfordult a lineáris hálózatelmélettől és elkezdett foglalkozni az elektromágneses hullámok fizikájával [5]. Bár saját elmondása szerint már 1873-ban, a megjelenésekor olvasta Maxwell *Treatise* c. munkáját, egészen addig nem értette meg, amíg ő maga újra nem írta azt.

Maxwell először 1864-ben publikálta együtt, összefoglalva az elektromos és mágneses Gauss-, a Faraday-Lenz- és az Ampère-törvényt. A törvényeket leíró egyenletek többségét Descartes-féle koordinátarendszerben írta fel, amely húsz darab hosszú és bonyolult összefüggést eredményezett. Maxwell a William Rowan Hamilton által 1843-ban bevezetett kvaternionokat alkalmazta a matematikai leíráshoz. Ezen kvaternionok – leegyszerűsítve – egy három vektor- és

egy skalárkomponensből álló algebrai elemek, melyek a megfelelő műveletekkel egy zérusosztómentes, nemkommutatív gyűrűt alkotnak [11]. Kezdetben Heaviside is ezzel az algebrai struktúrával igyekezett boldogulni, de hamar "a fizika logikájával ellentétesnek, természetellenesnek" találta azt. Azt mondta: *"Végül elvettem a kvaternionokat és megtartottam a tiszta skalárokat és vektorokat, hogy a továbbiakban az 1883-ban általam publikált egyszerű vektorális algebrát alkalmazhassam."*



5. ábra. Maxwell [12] és Heaviside műveinek [10] borítója

A skalár- és vektorszorzat, valamint a gradiens, divergencia és rotáció operátorok bevezetésével 1884-85 között Heaviside egy egyszerű, mégis forradalmi matematikai eszközkészletet alkotott meg az elektromágneses tér leírására, amely segítségével Maxwell eredetileg húsz egyenletből álló rendszerét a ma is ismert és használt négy egyenletté egyszerűsítette le. Az egyenletek differenciális alakja:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (3)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (4)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0, \quad (5)$$

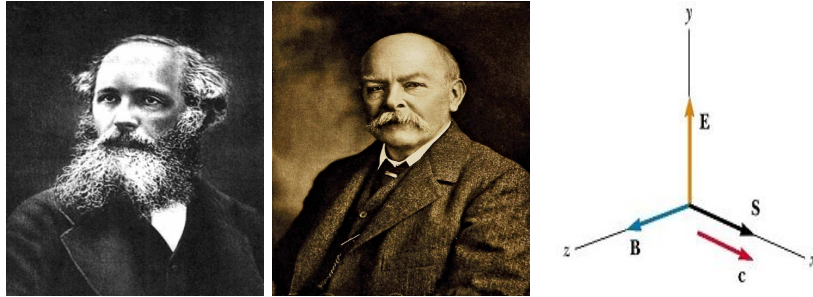
$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho. \quad (6)$$

Bár az egyenleteket Maxwell-egyenletekként ismerjük és használjuk, ténykérdés, hogy Heaviside eredményei nélkül Maxwell munkája nem, vagy csak nagyon nehezen lett volna alkalmazható a gyakorlatban. További érdekesség, hogy egy amerikai fizikus, J. Willard Gibbs néhány évvel korábban Heaviside-éhez rendkívül hasonló utat járt be a vektoranalízis témakörében, eredményeit mégis csak Heaviside után, később publikálta. A jelöléseket tekintve Gibbs és

Heaviside formalizmusa némileg eltért ugyan egymástól (például Gibbs volt az, aki bevezette a $\cdot$ és $\times$ jelöléseket a vektor- és skalárszorzatra), de a gondolatmenetük mögött meghúzódó elméleti megközelítés kísértetiesen hasonlított egymásra [5]. Gibbs és Heaviside egyébként szoros szövetségben, kvázi bajtársként harcoltak az 1890-es évek elején a "vektoristák" és a "kvaternionisták" között zajló küzdelemben, világos, hogy az előbbieket támogatta. Ma már látjuk, hogy sikerrel.

6. Az áramló energia

Heaviside 1884-ben magyarázatot és matematikai formulát is adott az elektromágneses energia áramlására. Ez komoly előrelépés volt Maxwell munkájához képest, aki a $\vec{H}$ mágneses és $\vec{E}$ elektromos térerősségvektorok segítségével formulákat adott arra, hogy miként oszlik el az energia a térben, de nem adott magyarázatot arra, hogy az miként terjed tovább.



6. ábra. Maxwell [13], Poynting [14] és a Poynting-vektor [15]

Heaviside téma iránti érdeklődése adott volt. A távvezetékkel kapcsolatban szerzett tapasztalatai alapján úgy látta, hogy a távírótechnika elsődlegesen az elektromágneses energia tiszta, torzítatlan módon történő továbbításáról szól egy hosszú vezeték mentén, ezért beleásta magát Maxwell *Treatise* c. munkájának vonatkozó részébe, hogy magyarázatot adjon az energia terjedésének módjára. Bonyolult levezetések és Maxwell gondolatainak újraértelmezése árán meglepően egyszerű eredményre jutott:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}, \quad (7)$$

azaz az energiaáramlás a tér egy pontjában a két térerősségvektor vektoriális szorzataként adódik, következésképpen a három vektor egymásra ortogonális. Az így eredményül kapott $\vec{S}$ vektor mégsem Heaviside, hanem egy másik brit fizikus, John Henry Poynting nevét őrzi, aki Heaviside-al egyidőben, de tőle teljesen függetlenül jutott azonos eredményre.

7. Az utolsó évek

1889 őszén Heaviside és idősödő, betegeskedő szülei Londonból Paigntonba költöztek, ahol testvére egyik hangszerüzletének felső szintjén húzták meg magukat. Heaviside ebben az időben is aktívan tevékenykedett, nemcsak az elektro-

mágnesesség témakörében adott ki munkákat, de ekkor született matematikai publikációi lényegében megalapozták azt, amit ma vektoranalízisnek nevezünk.

Komoly vitát váltott ki a matematikusok körében a Heaviside által 1880 és 1887 között kifejlesztett operációs kalkulus, amely módszerrel egyszerű algebrai egyenletek módjára lehetett differenciálegyenleteket megoldani. A módszer – mivel Heaviside levezetései matematikailag nem voltak kellően szigorúak – eleinte komoly ellenállásba ütközött. Heaviside – válaszul a kritikákra – a következőt mondta: *"A matematika kísérleti tudomány, ahol a definíciók nem elsőnek, hanem csak később jönnek."* Szintén a kritikákkal kapcsolatban hangozott el a dolgozatom mottója is.

Heaviside életének utolsó éveiben súlyos mentális és egyéb egészségügyi problémákkal küzdött, 1925 elejére pedig visszafordíthatatlanul katasztrofális egészségi állapotba került, végül 1925 február harmadikán hunyt el.

A paigntoni temetőben helyezték végső nyugalomra a szülei mellé, közös sírba. Munkájával nemcsak a villamosmérnöki tudományok, hanem a matematika tudományterülete is felbecsülhetetlen mértékben gazdagodott. Nevét mégsem őrzi se híres állandó, se híres egyenlet, igaz, a jel- és rendszerelmélet fontos függvényét, az egységugrás-függvényt gyakran Heaviside-függvényként is emlegetjük.



7. ábra. Heaviside sírja [16]

Heaviside hatalmas szakmai tudása és kivételes képességei ellenére sem tudott kitörni a mélyszegénységből. Elképzelni sem lehet, csak találgathatunk, mire jutott volna, ha munkája mellett nem kellett volna folyamatos egzisztenciális és egészségügyi problémákkal küzdenie. Ennek ellenére, vagy inkább ezek miatt is a legnagyobbak között a helye.

Hivatkozások

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Oliver_Heaviside#/media/File:Oheaviside.jpg (utolsó látogatás: 2019. február 11.)
- [2] <http://www.imageimageyou.org/2015/06/oliver-heaviside/> (utolsó látogatás: 2019. február 11.)
- [3] <https://www.flickr.com/photos/smithsonian/2550982215/in/photostream/> (utolsó látogatás: 2019. február 11.)
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Oliver_Heaviside (utolsó látogatás: 2019. február 11.)
- [5] Bruce J. Hunt. *Oliver Heaviside: A first-rate oddity*. Phys. Today 65(11), 48 (2012).
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Wheatstone (utolsó látogatás: 2019. február 12.)
- [7] <https://www.quora.com/In-a-wheatstone-bridge-circuit-Q-3-ohms-R-4-ohms-and-S-6-ohms-What-is-the-resistance-p-required-to-balance-the-bridge> (utolsó látogatás: 2019. február 12.)
- [8] https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_telegraph (utolsó látogatás: 2019. február 12.)
- [9] B. Mahon. *Oliver Heaviside: Maverick mastermind of electricity*. IET History of Technology Series 36, 2009.
- [10] O. Heaviside. *Electromagnetic Theory*. Volume I., "The Electrician" Printing and Publishing Company, 1983.
- [11] [https://en.wikipedia.org/wiki/Domain_\(ring_theory\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Domain_(ring_theory)) (utolsó látogatás: 2019. február 12.)
- [12] <http://www.aproged.pt/biblioteca/MaxwellI.pdf> (utolsó látogatás: 2019. február 12.)
- [13] <https://www.biographyonline.net/scientists/james-maxwell.html> (utolsó látogatás: 2019. február 13.)
- [14] <https://www.britannica.com/biography/John-Henry-Poynting> (utolsó látogatás: 2019. február 13.)
- [15] <https://www.kshitij-iitjee.com/intensity-of-electromagnetic-waves/> (utolsó látogatás: 2019. február 13.)
- [16] <http://devongravesview.blogspot.com/2007/06/oliver-heaviside.html> (utolsó látogatás: 2019. február 13.)