

KIRÓL NEVEZTÉK EL?

Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

Faraday törvényei Első rész

„Faraday csodálatos nagy mennyiségű fölfödései közül csak azok méltatására fogunk szorítkozni, melyek úgy feltűnő voltak –, mint roppant fontosságuknál fogva a többiek élén állanak. Idősoros rendben ezek a következők: 1) Folytonos mozgás létesítése elektromagnetismus által (1821). 2) Sok oly gáz folyósítása, melyeket addig állandóknak vélték (1823 és 1844). 3) Az elektrodinamikai inductio (1831). 4) Az elektrolytikai törvény (1833). 5) Az extra folyam (1835). 6) A circular-polarisatio létesítve magnetismus által (1846). 7) A diamagnetismus, és a testek magnetikus tulajdonsága.” – így írt Akin Károly fizikus Faradayról 1868-ban [1].*

„Faraday: a legnagyobb kísérletező” – írta Simonyi Károly [2], amivel teljesen egyetérthetünk. Faradayt mind a fizikusok, mind a kémikusok magukénak vallják. Nem is érdemes ezen vitázni, Faraday természettudósként mindkét terület óriása volt. Kémikusnak indult, mindig is foglalkozott kémiával, de a későbbiekben inkább a fizika fejlődésében játszott meghatározó szerepet. A közös terület az elektromosság volt. Az elektrolízis törvényei, amelyeket ma Faraday-törvényeknek hívunk, inkább a kémiához tartoznak. Kémiai analízis nélkül nem is ismerhette volna fel ezeket az alapvető összefüggéseket.

A Faraday-törvények

Michael Faraday (1791–1867) 1833-ban – amikor is sóoldadékokat és sóoldatokat elektrolizált – jutott arra a felismerésre, hogy különböző ionok kémiailag egyenértékű mennyiségeinek elektromos töltése egyenlő [4]. Eredményeit már 1834. januárjában publikálta is [5, 6].

Megállapította, hogy az elektrolízis folyamán kiválasztott (levált vagy fejlődött) anyagmennyiség (tömeg, m) az áthaladt töltéssel ($Q = I \times t$, ahol I az áramerősség és t az idő) arányos. (Ezt hívjuk ma Faraday első törvényének.) Ugyanilyen lényeges az a

* Akin Károly (Buda, 1830. január 15. – Fiume, 1893. október 31.) fizikus, kémikus, bölcsészdoktor. 1862-től jelennek meg cikkei kiemelkedő külföldi folyóiratokban (például *Philosophical Magazine*, *Annalen der Physik*, *Nature*) főként a lumineszcenciáról [3]. 1868-tól a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagja. Reformjavaslatai (kutatóintézetek létesítése, bankreform) miatt ellentétbe került az MTA vezetőivel és állami vezetőkkel. Külföldre távozott. Találmányainak megvalósításához nem volt tőkéje. A búcsúlevelében azt írta, hogy „hogy szomorú pénzügyi helyzete kergette a halálba”. (Pesti Hírlap, 1893. november 1). Ez az újság november 3-ai számában azt is írta róla, hogy „[a] híres vegyész, ki egy időben nagy szerepet játszott Angliában, az oxfordi egyetemen tanársegéd is volt, egészen elkopva, szegényesen jött ide” (Fiumébe).

compound fusible substances that are excluded from this class. I propose to call bodies of this, the decomposable class, *Electrolytes* (664.).

824. Then, again, the substances into which these divide, under the influence of the electric current, form an exceedingly important general class. They are combining bodies; are directly associated with the fundamental parts of the doctrine of chemical affinity; and have each a definite proportion, in which they are always evolved during electrolytic action. I have proposed to call these bodies generally *ions*, or particularly *anions* and *cations*, according as they appear at the *anode* or *cathode* (665.); and the numbers representing the proportions in which they are evolved *electro-chemical equivalents*. Thus hydrogen, oxygen, chlorine, iodine, lead, tin, are *ions*; the three former are *anions*, the two metals are *cations*, and 1, 8, 36, 125, 104, 58, are their *electro-chemical equivalents* nearly.

825. A summary of certain points already ascertained respecting *electrolytes*, *ions*, and *electro-chemical equivalents*, may be given in the following general form of propositions, without, I hope, including any serious error.

826. i. A single *ion*, i. e. one not in combination with another, will have no tendency to pass to either of the electrodes, and will be perfectly indifferent to the passing current, unless it be itself a compound of more elementary *ions*, and so subject to actual decomposition. Upon this fact is founded much of the proof adduced in favour of the new theory of electro-chemical decomposition, which I put forth in a former series of these Researches (518. &c.).

827. ii. If one *ion* be combined in right proportions (697.) with another strongly

* I mean here by voltaic electricity, merely electricity from a most abundant source, but having very small intensity.

1. ábra. Az új elnevezések és az elektrokémiai egyenértékek.

M. Faraday, VI. Experimental Researches in Electricity–Seventh series. Philosophical Transactions (1834) 124, 77–122 [5]

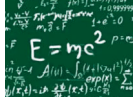
felismerése, hogy a különböző anyagokból (ionokból) azonos töltésmennyiség áthaladása esetén kiválasztott anyagmennyiségek úgy aránylanak egymáshoz, mint azok elektrokémiai egyenértékei (electro-chemical equivalent) (Faraday második törvénye) (1. ábra).

A Faraday-törvény két általánosabb törvényt, nevezetesen a tömegmegmaradást és a töltésmegmaradást foglalja magába, illetve ezekből következik.

Faraday rendkívül gondosan és pontosan dolgozott. Kísérleteiről részletes jegyzőkönyveket vezetett, ezekből értesülhetünk páratlan szorgalmáról is. Laborjegyzőkönyve szerint 1833. december 24-én és 26-án is dolgozott, csak karácsony napját töltötte pihenéssel.

Bámulatos, hogy milyen pontossággal tudta 1834-ben(!) az elektrokémiai egyenértékeket meghatározni (2. ábra), amelyből a relatív atom- és molekulatömegek közvetlenül adódnak.

Tudniillik elég sok a hibalehetőség. 100%-os áramhatásfokkal kell dolgozni, ami azt jelenti, hogy az összes töltés csak a vizsgálandó elektródreakcióra használandó fel. Nem lehet veszteség, nem folyhat, nem indulhat el párhuzamos elektródreakció. Pon-



ANIONS, CATIONS, AND ELECTRO-CHEMICAL EQUIVALENTS. 115			
Cations.			
Hydrogen	1	Tin	57.9
Potassium	39.2	Lead	103.5
Sodium	23.3	Iron	28
Lithium	10	Copper	31.6
Barium	68.7	Cadmium	55.8
Strontium	43.8	Cerium	46
Calcium	20.5	Cobalt	29.5
Magnesium	12.7	Nickel	29.5
Manganese	27.7	Antimony	64.6
Zinc	32.5	Bismuth	71
		Mercury	200
		Silver	108
		Platina	98.6
		Gold	(?)
		Ammonia	17
		Potassa	47.2
		Soda	31.3
		Lithia	18
		Baryta	76.7
		Strontia	51.8
		Lime	28.5
		Magnesia	20.7
		Alumina	(?)
		Protoxides generally.	
		Quinia	171.6
		Cinchona	160
		Morphia	290
		Vegeto-alkalies generally.	

847. TABLE OF IONS.			
Anions.			
Oxygen	8	Cyanogen	26
Chlorine	35.5	Sulphuric acid	40
Iodine	126	Selenic acid	64
Bromine	78.3	Nitric acid	54
Fluorine	18.7	Chloric acid	75.5
		Phosphoric acid	35.7
		Carbonic acid	22
		Boric acid	24
		Acetic acid	51
		Selenium (?)	
		Tartaric acid	66
		Citric acid	58
		Oxalic acid	36
		Sulphur (?)	16
		Sulpho-cyanogen	

2. ábra. Az ionok elektrokémiai egyenértékei. M. Faraday, VI. *Experimental Researches in Electricity—Seventh series.* *Philosophical Transactions (1834) 124, 77–122.* [5]

tosan kell tömeget mérni. A töltésmennyiség megfelelő meghatározása sem egyszerű feladat coulombmérterrel vagy az áram és az idő pontos mérésével. Stabilis áramforrásra van szükség, amit szintén saját magának kell megépíteni. Faraday első áramforrása a Volta-oszlop volt, például hét darab brit félpennys pénzérme és hét cinkkorong, valamint hat darab sóval átitatott papírt felhasználva úgy, hogy egy rézérme és egy cink korong közé tett egy sóoldattal átitatott papírt. „With this pile he decomposed sulphate of magnesia” (first letter to Abbott, 12 July 1812) [7].

Az áramforrás bekapcsolása után rövid ideig nem folyik elektrolízis, hanem az elektród kettős rétege töltődik fel. Mivel ehhez csak néhány 10 μC használódik el, nem okoz komoly hibát a töltésfelhasználás kiszámításában.

Ma a Faraday-törvényt következőképpen írhatjuk fel:

$$m = M \times Q / n \times F = M \times I \times t / n \times F, \quad (1)$$

ahol m a levált tömeg, M az atom(molekula)tömeg, Q az áthaladt töltés, n az elektródreakcióban részt vevő elektronok száma (töltésszám), ami gyakorta egyenlő a semlegesítődő ion töltésével (z_i) és F a Faraday-állandó. Tehát például a 2. ábrán látható értékeknél $z_i = +1$ a hidrogén-, a kálium- és a nátriumionoknál, tehát jó közelítéssel a ma is ismert atomtömeget kapjuk. A lítium-ionnál nagyobb az eltérés, aminek alapvető oka a Li kis atomtömege (a tömegmeghatározásnál nagyobb a hiba), a kiindulási anyag higroszkópos volta és a Li fém nagy reaktivitása. Kalcium és réz esetén $20,5 \times 2 = 41$ (40,078 g mol^{-1}), illetve $31,6 \times 2 = 63,2$ (63,546 g mol^{-1}) ma is egész jó meghatározásnak számítanak, mind ahogy a többi elemnél és vegyületnél is.

A Faraday-állandó, ami Faraday-nél az arányossági tényező volt az első törvényben, mai értéke [8, 9, 10]:

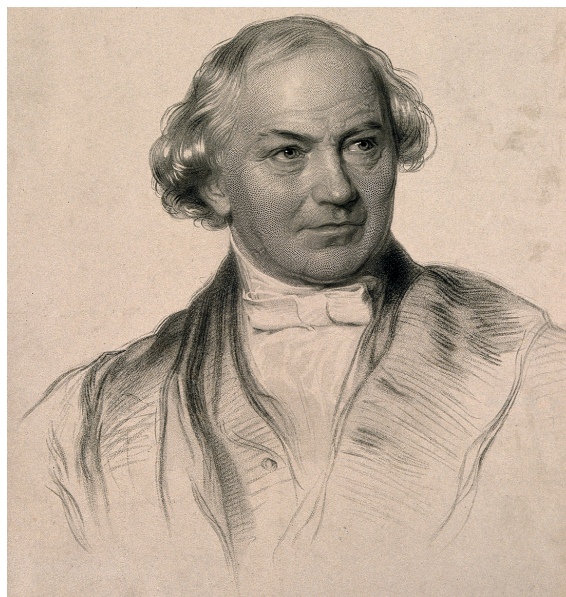
$$F = e \times N_A = 1,602176634 \times 10^{-19} \text{ C} \times 6,02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 9,64853321233100184 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1},$$

ahol e az elemi töltés és N_A az Avogadro-állandó.

Talán különös, hogy az állandók számértéke is állandóan változik. Ez az oximoron nemcsak az egyre pontosabb mérések miatt van, hanem a definíciókat is változtatják. A fenti értékeket az SI-egységek 2019-es újradefiniálása során vezették be, amikor az Avogadro-állandó értékét is rögzítették. A legnagyobb változást F értékében az atomtömegek (atomsúlyok) vonatkozási aljának változása hozta. 1960 óta a ^{12}C -höz viszonyítjuk a többi atomsúlyt. Előtte az ^{16}O játszotta ezt a szerepet. Sőt, abból is kétféle volt. A kémiai, amelyiknél az atomtömeget az oxigénizotópok termé-

zetben előforduló arányára vonatkoztatták ($F = 9,6487 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$), illetve a fizikai, amelyiknél az ^{16}O -izotóp volt a vonatkozási alap ($F = 9,6515 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$). Nem beszélve arról, hogy még korábban a ^1H is volt a vonatkozási alap. Mindazonáltal a 96500 $\text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$, amit gyakorta megtalálunk iskolai és műszaki könyvekben, alapvetően elegendő pontosságú számításra ad lehetőséget.

Faraday elektrokémiai vizsgálati eredményeiből arra a fontos következtetésre is jutott, hogy az elektromosság maga is atomos szerkezetű, és minden atom és molekula kapcsolatban áll az elektromosság atomjaival: „there is a certain absolute quantity of the electric power associated with each atom of matter” [5]. (Akkor még az elektromosság fluidumelmélete volt az elfogadott, a töltés mibenlétével nem foglalkoztak.) Faraday elektrokémiai módszere és a Faraday-törvények fontos szerepet játszottak az atomtömegek meghatározásában a 19. században.



3. ábra. William Whewell portréja metszeten (Wellcome Images)

Faradaynek köszönhetjük sok ma is használatos elektrokémiai kifejezésünket. Ilyen az elektród (electrode) a görög $\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\nu$ (borostyán) és $\omicron\delta\delta\varsigma$ (út) szóból. A nyelvészeti ügyeket William Whewell (1794–1866) polihisztor, természettudós, matematikus, filozófus, teológus stb. (3. ábra) cambridge-i professzorral tanácskozta meg [11]. Whewell tekintély volt ezen a területen, neki köszönhetők többek között a scientist (tudós), physicist (fizikus) szavak is. Ez azonban nemcsak nyelvészeti kérdés volt. Abban az időben ez elektro- és magnetosztatikából átvett pólus (pole) szó volt használatban. Faraday észrevette, hogy ha az elektródokat el-távolítja egymástól, a fenti területek meghatározó összefüggései (például a Coulomb-törvény) nem érvényesek. Ezért javasolt új szavakat és meghatározásokat: az elektródon kívül így született az anód, katód, elektrolyt, ion, anion, kation – azokra a felületekre, ahol a különböző reakciók végbemennek, a felbomló anyagra és azok különböző komponenseire [5, 6].

Faraday további kiemelkedő eredményei a kémia és a fizika területén

Faraday, mint Humphry Davy (1778–1829) laborasszisztense, kémikusként kezdte a pályáját: víz-, puskapor-, acélanalíziseket folytatott. Önálló munkája volt az égetett mész analízise, amit el-

ső publikációjában ismertetett. Szén-klór vegyületeket állított elő, klórhidrátokat tanulmányozott, majd ezekből állított elő cseppfolyós klórt. Ezután Davy cseppfolyósította a sósavat, Faraday pedig számos más gázt. Általában nekik tulajdonítják a gázok cseppfolyósításának érdemét, de az igazsághoz hozzátartozik, hogy Thomas Northmore (1766–1851) már évekkel korábban végrehajtott ilyen kísérletet, amiről ők nem tudtak.

Faraday bírósági szabadalmi szakértőként is dolgozott. Az egyik eset során a kőolaj-földgáz bomlástermékei között egy új hidrogén-szén vegyületet fedezett fel, amit ő „hydrogene bicarburet”-nek nevezett el, és aminek végleges nevét, a benzolt Eilhard Mitscherlich (1794–1863) 1834-ben adta. A Bunsen-éő első változatát is Faraday dolgozta ki, de egyre inkább az elektromosság és a mágnesesség vizsgálatával kezdett foglalkozni. 1831. augusztus 29-én felfedezte az **elektromágneses indukciót**. Azt észlelte, hogy egy mágneset egy dróthurkon vagy egy hurkot egy rögzített mágnes fölött átvezetve, akkor a drótban elektromos áram keletkezik. Azaz amikor egy mágneses mező időben változik, elektromos mezőt gerjeszt. Ez a felismerés lett minden elektromos motor, dinamók, generátorok) alapja. 1934-ben felfedezte az **önindukciót** vagyis azt, hogy ha egy vezetékben vagy tekercsben az áram erőssége változik, változik körülötte a fluxus, így feszültség indukálódik benne.

1836-ban alkotta meg a **Faraday-kalitkát**, amely egy helyiséget vagy eszközt körülvevő fémháló, és kizárja a külső elektromágneses hatást. Így árnyékolják a helyiségeket például rézhálót tartalmazó tapétával lehallgatás ellen; a mikrohullámú sütőt, hogy a mikrohullám ne tudjon kijönni; az érzékeny műszereket a laboratóriumokban; az MRI-készülékeket a kórházakban, amelyeket a rádióadások vagy bármilyen gyorsan változó elektromos vagy mágneses tér zavarhat, mert hasonló frekvencián működnek. De ilyen Faraday-kalitka a repülőgép teste vagy a gépjármű fémkarosszériája, ezért ezek belsejében biztonságban vagyunk a villámcsapástól.

Faraday szemléltette, hogy az elektromos töltések csak az elektromosan töltött vezető külső felületén vannak jelen, és a külső töltés semmilyen hatással sincs a vezető belsejére. Ez azért van, mert az azonos töltések taszítják egymást. Azt a tényt, hogy az elektromosság mindig a vezetők felületén helyezkedik el már Giovanni Battista Beccaria (1716–1781), a Torinói Egyetem fizikaprofesszora is leírta [Dell' elettricismo naturale ed artificiale, 1753].

1837-ben bevezette a **dielektromos állandó** fogalmát. 1838-ban leírta a negatív elektródnál látható sötét teret.

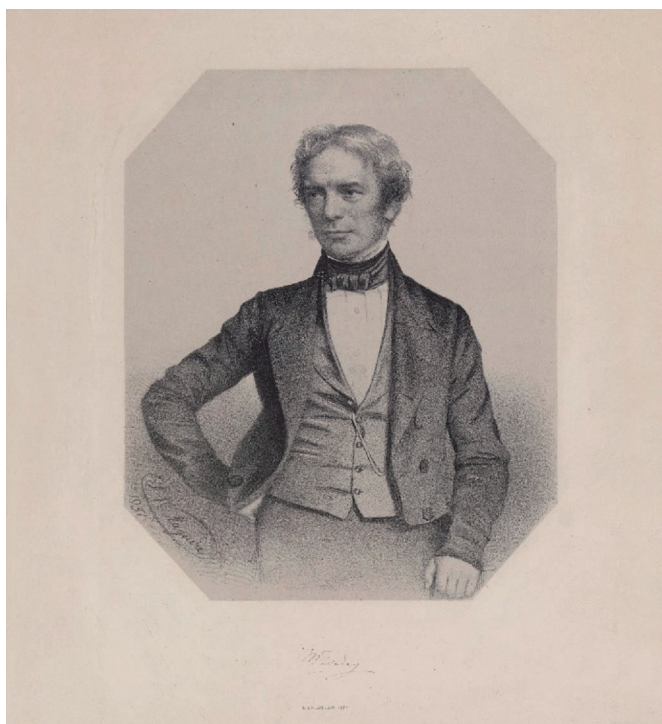
1845-ben felfedezte, hogy kölcsönhatás van a fény és a mágneses tér között. Ezt a jelenséget ma **Faraday-hatásnak** vagy **Faraday-rotációnak** hívjuk. Ez szolgált alapul az elektromágneses sugárzás elméletéhez. 1846-ban leírta a diamágnesességet; diamágnesesnek nevezte el azokat az anyagokat, amelyek taszítják a mágneses teret. 1854-ben kifejtette, hogy a kapacitások jelentős hatást gyakorolnak a jelsebesség nagyságára távvezetékben. Az SI-mértékegységrendszerben az elektromos kapacitás mértékegységét róla nevezték el faradnak. Jele: F, $F = C / V$, ahol V = volt, C = coulomb.

Faraday sok szacikket, de kevés könyvet írt [12]. Kiadott egy kémiai praktikumot „Chemical Manipulation, Being Instructions to Students in Chemistry” címmel (1827). A *Chemical History of a Candle* (1861) címet viselő könyvét mindenhol idézik, de ezt William Crookes állította össze Faraday Royal Institutionban tartott, fiataloknak szóló előadásai alapján. Szerencsére Faraday eredeti munkái hozzáférhetőek, mert gyűjteményüket számos nyelven és többször kiadták. Ugyanez vonatkozik széleskörű levelezésére is.

Faraday zseniális kísérletező volt, és fontos elméleti felismerései is voltak. Eredményeiből James Clerk Maxwell (1831–1879) – akivel szoros levelezési kapcsolatban volt – épített fel matematikai formába öntött elméletet.

Michael Faraday

Michael Faraday [Newington Butts (most a londoni Elephant and Castle district része), Southwark, Anglia, 1791. szeptember 22. – Hampton Court, Anglia, 1867. augusztus 25.] **(4. ábra)** édesapja, James Faraday kovács volt, édesanyja, Margaret falusi aszszony, akinek nem mindig sikerült elegendő ennyivalót biztosítani a négy gyereknek (Michael volt a harmadik), mert az apa sokat betegeskedett. Michael később sok szeretettel emlékezett édesanyjára. A család egy kis keresztény, vezetőjéről Sandemanianak nevezett szektához tartozott, amelynek elveit Faraday egész életében magáénak vallotta, bár idősebb korában elhagyta az egyházat [13, 14, 15, 16].



4. ábra. Michael Faraday könyvatos portréja 1851-ből.

Készítette: Thomas Herbert Maguire, (1821–1895) (Science History Institute)

Michael 1805-ben elszegődött tanoncnak George Riebau (1759–1835) könyvkötő és könyváruhoz annak Blandford Street-i üzletébe **(5. ábra)** [17, 18].

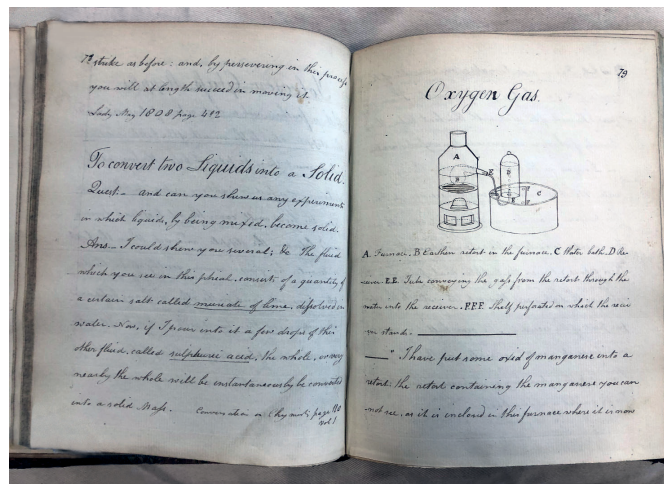
Napi tíz órát dolgozott, de emellett elolvasta és kijegyzetelte a kötésre beadott könyveket. 1908-ban bekötött magának egy könyvet üres lapokkal: ebbe jegyzetelt és írta le saját kísérleteit is. Kissé különös címet is adott a „könyvnek”: *The Philosophical Miscellany. being A collection of Notices, Occurrences [sic!], Events &c relating to the Arts and Sciences...* **(6. és 7. ábra)**.

Riebau egyik megrendelője, William Dance (1755–1840), a Royal Philharmonic Society igazgatója jegyeket adott neki Humphry Davy Royal Institutionban tartott kémiai előadásaira. Faraday az itt készített előadásokról készített jegyzeteit mutatta meg Davy-nak **(8. ábra)**, amikor felvételre jelentkezett nála Royal Institutionban.

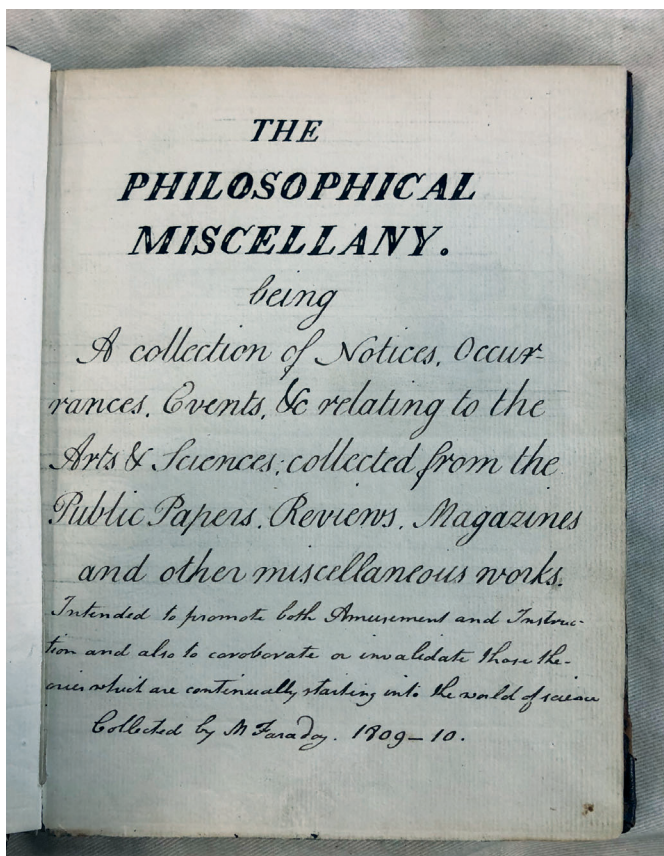
$$E = mc^2$$



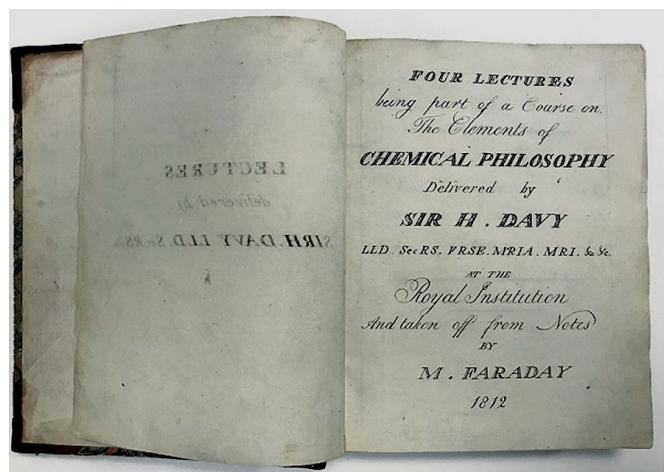
5. ábra. Faraday emléktáblája a Blandford Street-i házon, ahol tanonckodott (<https://openplaques.org/plaques/19> Plaque #19)



7. ábra. Faraday egyik kísérletének illusztrált leírása a Philosophical Miscellanyben



6. ábra. A „Philosophical Miscellany” címlapja Faraday írásával (The Institution of Engineering and Technology Archives)



8. ábra. Faraday jegyzetei Davy előadásairól

IRODALOM

- [1] Akin Károly, Faraday Mihály. Értekezések a Természettudományi Osztály köréből. (Szerk. Greguss Gyula) I. kötet X. szám, Pest, 1868.
- [2] Simonyi K., A fizika kultúrtörténete. Gondolat Kiadó, Budapest, 1981. 290–299.
- [3] Lente G., Fénykibocsátás kémiai reakciókban. Magyar Tudomány (2018) 179, 1132–1140.
- [4] Erdy-Grúz T., Schay G., Elméleti fizikai kémia, III. kötet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1962. 10.
- [5] Faraday M., VI. Experimental Researches in Electricity—Seventh series. §.11. On Electro-chemical Decomposition, continued. iv. On some general conditions of Electro-decomposition. v. On a new Measurer Volta-electricity. vi. On the primitive or secondary character bodies evolved in Electro-decomposition. vii. On the definite nature and extent of Electro-chemical Decompositions. §.13. On the absolute quan-

- tity of Electricity associated with the particles or atoms of Matter. Philosophical Transactions (1934) 124, 77–122.
- [6] Michael Faraday Az elektrokémiai bomlásról. Philosophical Transactions of the Royal Society, 1834. <http://www.kfki.hu/chemonet/>
- [7] The Tales of Benjamin Abbott: A Source for the Early Life of Michael Faraday, F. A. J. L. James, The British Journal for the History of Science (1992) 25, 229–240. <https://www.jstor.org/stable/4027300>
- [8] D. B. Newell, E. Tiesinga (eds.) (2019). The International System of Units (SI). NIST Special Publication 330. Gaithersburg, Maryland: National Institute of Standards and Technology. doi:10.6028/nist.sp.330-2019.
- [9] Le Système international d'unités [The International System of Units] 9th ed., International Bureau of Weights and Measures, 2019, ISBN 978-92-822-2272-0. (Kiegészítve 2022-ben.)
- [10] E. R. Cohen, T. Cvitas, J. G. Frey et al. (eds) IUPAC quantities, units and symbols in physical chemistry (3rd edition). 2007, III. Javítva és újrafelvétel 2008-ban, illetve 2011-ben.
- [11] R. E. Oesper, M. Speter, The Faraday–Whewell Correspondence Concerning Electro-Chemical Terms. The Scientific Monthly (1937) 45, 535–546.
- [12] Michael Faraday, Experimental Researches in Chemistry and Physics, facsimile reprint of the 1859 edition, with a foreword by Professor J. M. Thomas. London: Taylor and Francis, 1991. Pp. x+viii+499. ISBN 0-85066-841-7
- [13] F. A. J. L. James, Michael Faraday – the chemist. Education in Chemistry (1991) 128–130.
- [14] J. Tyndall, Faraday as a Discoverer. Longmans, Green, and Co., 1868. The Project Gutenberg EBook #1225, 2008.
- [15] H. Bence-Jones, The Life and Letters of Faraday. Longmans, Green, and Co. 1870.
- [16] G. Cantor, Michael Faraday: Sandemanian and Scientist. Macmillan, 1991.
- [17] B. C. Middleton, A History of English Craft Bookbinding Technique (4th edn.) Oak Knoll Press and The British Library, 1996.
- [18] A. Roberts, The Early Life of Michael Faraday. Journal of Society of Bookbinders (2018).

Folytatása következik