



KIRÓL NEVEZTÉK EL?

Inzelt György

■ ELTE Fizikai Kémiai Tanszék

A Kirchhoff-törvények, Kirchhoff sugárzási törvénye, Bunsen–Kirchhoff-spektroszkóp

Kirchhoffot fizikusként tartjuk számon, és a Kirchhoff-törvényeket is a fizikai tanulmányaink során tanuljuk. Mindazonáltal egy fizikokémikus is gyakorta dolgozik bonyolult áramkörökkel, hálózatokkal, amikor is az áram, a feszültség és az ellenállások számításához elengedhetetlen ezeknek a törvényeknek az ismerete és alkalmazása. Egy másik fontos szempontunk pedig az, hogy fizikaprofesszorként szorosan együttműködött a kémikusprofesszor Bunsennel, ami később hihetetlen gyümölcsözőnek bizonyult a kémiában is. Főleg kettőjük miatt lett Heidelberg 1854 és 1874 között a kémikusok és a fizikusok zarándokhelye, ahová egyetemi hallgatóként, doktoranduszként minden országból érkeztek olyan tanítványok, akikből később a világ (D. I. Mengyelejev, G. Lippmann, H. Kamerlingh Onnes) és többek között hazánk (Than Károly, Lengyel Béla, Wartha Vince, Ilosvay Lajos, Eötvös Loránd – a vegyészek inkább Bunsennel dolgoztak) vezető kutatói lettek.

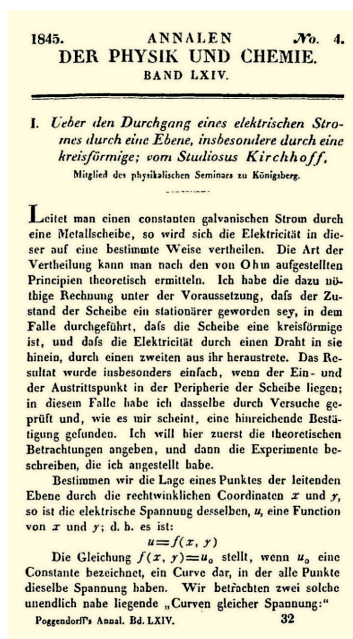
Megjegyzendő, hogy Helmholtz is itt tanított 1858 és 1871 között fiziológiaprofesszorként, de egyre inkább már a fizika felé fordult, és fizikakurzust is tartott. Kirchhoff más alapvető összefüggéseket is levezetett, ezek közül talán a legjelentősebb a róla elnevezett sugárzási törvény. Ezért az áramkörtörvényei mellett ezzel fogunk még foglalkozni.

A Kirchhoff-törvények

Azokat a törvényeket, amelyeket egyszerűen csak Kirchhoff-törvényeknek hívunk, 1845-ben, 21 évesen (!) még mint a königsbergi Albertus Egyetem hallgatója publikálta (1. ábra). A törvények alapvetően Georg Simon Ohm az áram folyását leíró elméletét általánosítják.

Kirchhoff I. törvénye

Elágazó áramköröknél az elágazásnál (az ún. csomópontnál) nincs töltésfelhalmozódás, tehát a csomópontba befolyó áramok



1. ábra. A Kirchhoff-törvényeket ismertető cikk első lapja

összege megegyezik a feszültségesések összegével.

Egy huroknál

$$E_g = E_{R1} + E_{R2},$$

ahol E_g a feszültségforrás.

Ezek alapján minden csomópontra és hurokra felírható a megfelelő összefüggés, és az ismeretlen áram, feszültség vagy ellenállás kiszámítható a nem aktív elemekre (ellenállásokra) felhasználva az Ohm-törvényt ($E = I \times R$).

összege megegyezik az onnan elfolyó áramok összegével. A csomópont elektromos potenciálja egy másik csomóponthoz képest mérhető. Ennek értéke függ az összekötő elem ellenállásának értékétől (R) és az áram nagyságától.

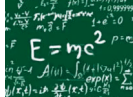
Tehát egy csomópontnál

$$-I_1 + I_2 - I_4 + I_3 = 0,$$

ahol I pozitív a befolyó, illetve negatív az elfolyó áramok.

Kirchhoff II. törvénye

Egy zárt hurokban a feszültségek előjeles összege nulla. Az előjel lehet pozitív és negatív attól függően, hogy milyen irányban nézzük végig („járjuk körül”) az áramkört. Zárt hurokban a feszültségforrások összege



Kirchhoff sugárzási törvénye

A róla elnevezett sugárzási törvényt Kirchhoff 1859-ben, a kísérleti tapasztalatokat figyelembe véve, elméleti megfontolások alapján vezette le. Sugárzási törvénye szerint bármely testnél egy adott hullámhosszon (λ) és hőmérsékleten (T) a spektrális emisszióképesség (E) és az abszorpcióképesség (A) hányadosa (K) állandó:

$$E(T, \lambda) / A(T, \lambda) = K(T, \lambda)$$

A sugárzás termodinamikai értelmezését Kirchhoff a Fraunhofer-féle D-vonalakkal (lásd később) foglalkozva dolgozta ki. Ugyanekkor bevezette az abszolút feketetest-sugárzás fogalmát (1862), vagyis az olyan testét, amely minden ráeső sugárzást teljesen elnyel [$A(T, \lambda) = 1$ és $K(T, \lambda) = 1$]. Az ilyen test emisszióképessége is a legnagyobb. Ez a fogalom nagy szerepet játszott abban, hogy Max Planck (1858–1947) kifejlesztette a kvantummechanikát, ezért ezzel kapcsolatban kerül a legtöbbször szóba. Mindazonáltal azt a felismerést, hogy egy jó abszorbens egyúttal jó sugárzó (emitter) is, illetve egy jó visszaverő (reflektor) anyag gyenge abszorbens, a gyakorlatban is alkalmazzuk. Például bal-esetek során azt látjuk, hogy a sérültet fényes fémbevonatú, könnyű takaróba burkolják azért, mert így minimális a sugárzási hővesztesség.

Gustav Robert Kirchhoff



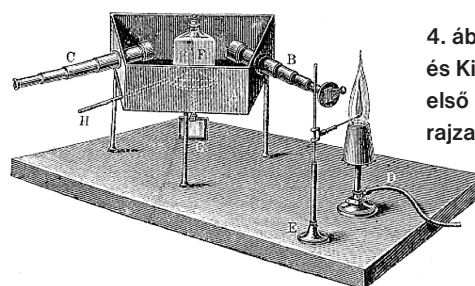
2. ábra. Kirchhoff a Kirchhoff-törvényekkel egy bélyegen

Gustav Robert Kirchhoff [Poroszország, Königsberg (ma Kalinyingrád, Oroszország), 1824. március 12. – Németország, Berlin, 1887. október 17.] apja, Friedrich Kirchhoff ügyvéd volt [1, 2]. A gimnázium elvégzése után Kirchhoff az Albertus Egyetemen folytatta tanulmányait, ahol elsősorban matematikát és fizikát hallgatott. Matematikatanára Friedrich Julius Richelot (1808–1875), későbbi apósa volt. A legnagyobb hatást azonban Franz Ernst Neumann (1798–1895) gyakorolta rá, aki matematikai fizikával és elektromágnesességgel foglalkozott, és akit a matematikai fizika megalapítójának tekintünk. Neumann, aki eredetileg geodéta volt, kiváló tanártársai, a csillagász, geodéta és matematikus, Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846) (*Bessel-függvények*), valamint Carl Gustav Jacob Jacobi (1804–1851) matematikaprofesszor hatására kezdett el témákkal foglalkozni. (Kirchhoff javaslatára Eötvös Loránd is egy évet töltött 1868-ban Neumannnál, de matematikai felkészültsége nem volt elegendő ahhoz, hogy igazából profitáljon a tanulmányútból.) Kirchhoff 1847-ben kapta meg a diplomáját. Berlinbe mentek a feleségével, ahol két évig fizetés nélkül tanított az egyetemen. 1850-ben kinevezték Breslauba (magyarul Boroszló, ma Wrocław) a fizika professzorának. 1851-ben érkezett ide Robert Bunsen (1811–1899), aki egy év múlva ugyan a Heidelbergi Egyetemen folytatta, de hosszú barátságuk itt kezdődött. Két év múlva Kirchhoff is követte, akit fi-



3. ábra. Kirchhoff Bunsennel Heidelbergben

zikaprofesszornak hívtak meg. 1859 és 1862 közötti együttes munkájuk eredménye lett a spektrumanalízis módszere, amely a következő évtizedekben forradalmasította a kémiai elemek kimutatását. Ők maguk két új elemet fedeztek fel, a céziumot és a rubídiumot 1861-ben [1, 3, 4]. Bunsen lángfestéssel kísérletezett. Ehhez fejlesztették ki a róla elnevezett *Bunsen-égőt*, amely szabályozható hőmérsékletű lángot adott, és nagy hőmérsékletet lehetett vele elérni. Világító lángja kiváló volt a célra. Színezett üvegeket is használt hasonló színű lángok megkülönböztetésére. Kirchhoff javasolta azt, hogy prizmán át vezessék a láng fényét. Megépítették a spektroszkópot (4. ábra), és szisztematikusan mérni kezdték különböző anyagok (fémek, sók stb.) színképét. Világossá vált, hogy minden elem jellemző vonalakat, színképét produkál. Kirchhoff arra is rájött, hogy a sötét vonalak a szín-



4. ábra. Bunsen és Kirchhoff 1859-es, első spektroszkópjának rajza [5]

képben [például a Nap sugárzásánál is, amit Joseph Fraunhofer (1787–1826) már 1814-ben leírt] attól származnak, hogy a fényabszorpció ugyanannál a hullámhossznál történik, ahol az elem gerjesztés hatására a fényt kibocsátja. Tehát a nátrium által kibocsátott hullámhossznál a fény elnyelődik, ha nátrium (vagy vegyülete) van jelen a levegőben. Ezeket a jelenségeket a tudósok már évtizedek óta vizsgálták, és értelmezték is. Így érthető volt, hogy Kirchhoff és Bunsen (5. ábra) elsőbbségét, eredetiségét vitták, főleg az angolok. Igaz, hogy az első közleményükben William Swan (1818–1883) skót fizikus munkáján kívül mást nem is idéztek. Az elődök munkáját Kirchhoff csak a következő, 1863-as cikkében méltatta.

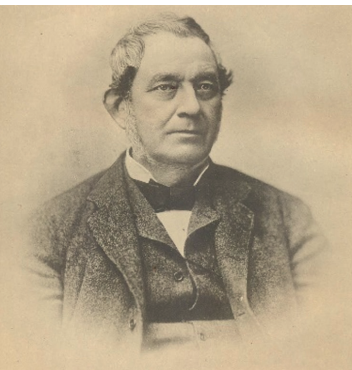
Mindenesetre megállapítható, hogy Kirchhoff és Bunsen fejlesztette ki a módszert, bizonyította széleskörűen annak analitikai alkalmazását, és így is terjedt el. Hamarosan – még Angliában – is az ő nevükkel árulták a spektroszkópot [4].

1861-ben a dürkheimi ásványvizet vizsgálva az tapasztalták, hogy két új kék vonal jelenik meg. 44 tonna ásványvíz feldolgozásával az új elem különböző vegyületeit sikerült előállítaniuk, és azt tapasztalták, hogy a tulajdonságaik nagyon hasonlóak a nátrium és a kálium vegyületeiéhez. Az új elemnek a cézium nevet adták (coesius latinul égszínkék). Még ugyanebben az évben a százszori lepidolit ásványban szintén felfedeztek egy új elemet, amelyet – színképvonalai után – rubídiumnak neveztek el (rubidus latinul sötétvörös) [6]. A színképelemzés elterjedésével sorban fedeztek fel új elemeket [tallium (üde zöld színű) – W. Crookes, 1861, indium (indigószínű), F. Reich és T. Richter, 1863]. Az évtized végére már 63 elem volt ismert, ami lehetőséget adott Mengyelejevnek és L. Meyernek a periódusos rendszer megalkotásához.

Planck Kirchhoff tanítványa volt, majd utódja lett a Berlieni Egyetem Fizika Tanszékén, ahová Kirchhoffot 1875-ben nevezték ki. Planck rendkívül tisztelte Kirchhoffot és Helmholtzt, de előadásait kritizálta. Kirchhoffról így írt: „Kirchhoff viszont rendszerint elővett egy pontosan kidolgozott iskolai füzetet, amelyben minden tétel gondos mérlegelés után a maga helyén volt. Egy szóval sem több, egy szóval sem kevesebb. Az egész azonban úgy hatott, mintha kívülről betanulta volna szárazon és egyhangúan. Csodáltuk az előadót, de azt nem, amit mondott.” [7]

Robert Wilhelm Bunsen

Robert Wilhelm Eberhard Bunsen (Hannover választófejedelem-ség, Göttingen, 1811. március 31. – Németország, Heidelberg, 1899. augusztus 16.) (5. ábra) édesapja a Göttingeni Egyetemen dolgozott mint filológiai professzor és fő-



5. ábra. Bunsen portréja a *Zeitschrift für physikalische Chemie* első számának elején

könyvtáros. Bunsen ott tanult kémiát, fizikát és geológiát. Kémiatanára Friedrich Stromeyer (1776–1835), a kadmium felfedezője (1817) volt. 1831-ben szerzett doktori fokozatot. Ezután következett a peregrináció, amelynek állomásai Berlin, Párizs (Gay-Lussac) és Bécs voltak. 1836-ban a kasseli főiskola tanára, majd 1839-ben a Marburgi Egyetem professzora lett. Itt még szerves kémiai kísérleteket végzett, amelyek során egy robbanás következményeként az egyik szeme világát elvesztette. Egyéves breslaui kitérő után 1852-ben lett a Heidelbergi Egyetem professzora, ahol 1889-ig tanított. Itt már majdnem ki-

zárólagosan analitikai, fizikai és szervetlen kémiával foglalkozott. Magával ragadó előadó volt, és ott dolgozott tanítványai között a laboratóriumban. Tanítványa és munkatársa, H. C. Roscoe (1833–1915) angol tudós ezt mondta róla: „Nagy volt, mint kutató, mint tanító még nagyobb volt, de emberként és barátként volt a legnagyobb” [9]. (Roscoe tankönyvéből, amely magyarul 1871-ben jelent meg Lengyel Béla fordításában, tanultak kémiát a budapest tudományegyetemen, amíg Lengyel, illetve Than könyvei meg nem jelentek.) De Wilhelm Ostwald is így írt: „Bunsen volt számomra a tudós ideálja” [10]. A *Zeitschrift für physikalische Chemie* első számának elején is a mester portréjával tiszteleg a nagy tudós előtt. Bunsen széles körű tevékenységeinek ismertetésétől el kell tekintenünk, de megemlítjük az 1,9 V-os *Bunsen-elemet* (pórusos, kiégetett agyagszeparátorral elválasztott cink–híg kénsav anód és szén–salétromsav vagy krómsav ka-

tód), amely olcsó volt, és népszerű a 19. században, amivel ő maga is különböző fémeket állított elő.

Magyar kapcsolatok

Than Károly éppen akkor volt Heidelbergben, amikor a színképelemzéssel kapcsolatos munkák kezdődtek. Ő használt először spektroszkópot hazánkban: 1862-ben kimutatta, hogy a tölgyfa hamujában van rubídium. Than olyan hálás volt és annyira tisztelte Bunsent és Kirchhoffot, hogy új kémiai épületében, amely 1872-re készült el, a nagy előadóban a fő helyen az ő domborműves portréjukat helyeztette el. Sok kiváló tudós hasonló reliefje díszíti az épületet, de Bunsen és Kirchhoff annyiban kivétel volt, hogy ők még éltek, és ezért csak a születési dátumuk szerepel.

Bunsent az MTA tiszteleti tagjának választották 1858. december 16-án. Kirchhoff 1872. május 24-én lett az MTA külső tagja. Érdekesség: Wartha Vince (1844–1914), aki Heidelbergben doktorált [8] akadémiai székfoglalóját „A Bunsen-féle jégcalorimétről” címmel tartotta 1875-ben. Némi ellentmondás van Szabadváry másik könyvével [4], mert ott ez áll: „Bunsennél nem doktorál soha senki” [4]. Valóban Bunsen nem fordított nagy gondot arra, hogy diszertációk szülessenek nála, de „a soha senki” így nem igaz. Például ő maga írta, hogy Lengyel és Wartha ott szerzett doktorátust, de németek és angolok is [11]. Eötvös Lorándot hárman szigorlatoltatták: Bunsen, Kirchhoff és Leo Königsberger (1837–1921) matematikus. Bunsen és Kirchhoff jó kapcsolatba kerültek Eötvös Józseffel (1813–1871) egy 1867-es Bad Ragaz-i nyaralás kapcsán. Eötvös József fiához írt leveleiben mindig üdvözlétét küldi neki [12]. Például a betegeskedő Kirchhoffnak a következőt ajánlja (1868. május 27.): „Mondd Kirchhoffnak, hogy jöjjön Pöstyénbe, ott bizonyosan kigyógyul.” Vagy tellúrt szerzett Bunsennek (1868. július 27.): „Kérdőzködj, kérlek, Bunsen Karlsbadba jön-e?” „Tellurom van 2 mázsa, mint kívántad.” ... tegnap a finánc-minisztériumtól árjegyzéket kaptam, melyben 2 mázsa tellúrérc aranyát 4760 ft (osztrák) értékben számítják ... beszéld el az adatot Bunsennek. Azon esetre, ha, miután elébb Than az érc valóságos becstét megvizsgálta, ő a heidelbergi laboratórium részére az egész mázsát vagy annak részét a valóságos érték lefizetése mellett átvenni kívánná, én azt számára fenntartom.” [A tellúr aranytartalmú ércekben található. Felfedezője Müller Ferenc József (1742–1825) is aranyércben találta.] Eötvös Loránd hallgatta Kirchhoff, Bunsen és Helmholtz előadásait, kémiai és fizikai laboratóriumukban is dolgozott. 1870. július 8-án írt levelében örömmel értesíti apját, hogy *summa cum laude* fokozattal megszerezte a doktori fokozatát.

IRODALOM

- [1] A. Z. Inan, What did Gustav Robert Kirchhoff stumble upon 150 years ago? Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. 2010, 73–76.
- [2] R. von Helmholtz, „A memoir of Gustav Robert Kirchhoff”, translated by J. de Perott. Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution, 1890, 527–540.
- [3] A. Findlay, T. I. Williams, A kémia száz éve. Gondolat, Budapest, 1969.
- [4] Szabadváry E, Az analitikai kémia módszereinek kialakulása. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1960, 321–331.
- [5] G. Kirchhoff, R. Bunsen, Poggendorf Annalen (1860) 110, 160.
- [6] Zsákó J, Az elemek története. Tudományos Könyvkiadó, Bukarest, 1964.
- [7] M. Planck, Tudományos önéletrajz. Válogatott tanulmányok. Gondolat, Budapest, 1965, 42.
- [8] Szabadváry E, A kémia története Magyarországon. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1972, 204.
- [9] H. C. Roscoe, J. Chem. Soc. (1900) 77, 513.
- [10] Wilhelm Ostwald, The Autobiography (szerkesztők: E. Scholz, R. Smail Jack). Springer Int. Publ. AG, 2017, 104.
- [11] P. R. Jones, Contrasting mentors for English speaking students in Germany in the 19th century.
- [12] Eötvös József levelei fiához, Eötvös Lorándhoz, Szépirodalmi Kiadó, Budapest, 1988.