

## BUNSEN.

Augusztus 16-án halt meg 88 éves korában. Heidelberg városának volt büszkesége, melynek egyetemén oly hosszú időig tanított; de az egész tudományos világ ismerte nevét. Munkálatai, kitűnő tanítása s szerető bánásmódja a világ minden részéről oda vonzották a tanulni vágyó ifjúságot.



Városának hírt és dicsőséget szerzett. Meg is becsülték őt. A mikor megjelent a város sétaterain és környékén, mindenki a legnagyobb tisztelettel üdvözölte, büszkén mutogatták az idegennek: "ott megy Bunsen, a mi Bunsenünk!" Fejedelmétől "excellentiás" címet kapott s külföldi fejedelmek és tudományos társulatok vetekedtek abban, hogyan róják le tiszteletük adóját. De ő megtartotta lelke régi mivoltát, a szerénységet, mely közmondásossá vált.

Külső élete (alább megtalálhatja az olvasó) minden zajos esemény nélkül folyt le; épp olyan egyszerű, épp olyan szürke, mint száz más professoré; de annál érdekesebb s jelentős eseményekben gazdagabb lelkének belső élete. Életének vágya: a természet titkainak kifürkészése; belső kötelessége: tanítványait ebbe bevezetni; minden tettének rugója: az emberszeretet.

Már első tudományos dolgozata is nagy hasznára vált az emberiségnek. Régi idők óta ismeretes az *arzén*, mint rettenes mérge; Bunsen koráig tehetetlenek voltak vele szemben az orvosok, ellenmégét nem ismerték; a ki arzént bevett, menthetetlenül elpusztult. Bunsen meg akar vele küzdeni, le akarja győzni; vizsgálatai körébe vonja s hosszas kísérletezés után megállapítja, hogy a mikor *vashydroxid* arzénnel vegyül, vasasarzén keletkezik, mely vízben oldhatatlan s így a szervezetet meg nem támadhatja. Ez időtől fogva a vashydroxid mint az arzén hatalmas ellenmérge a gyógyszerárakban is szerepel.

A siker továbbkutatásra buzdítja, keresi ennek a veszedelmes anyagnak a vegyületeit. Újból megcsinálja azt a régi kísérletet, melyet a francia Cadet már 1760-ben végrehajtott, midőn *arzénsavat* ( $AsO_2$ ) és *kaliumacetátot* ( $KC_2H_3O_2$ ) összekevert s a keveréket melegítette, minek következtében barnás-vörös folyadék keletkezett, mely a levegőn erősen füstölgött s rettenetes bűzt terjesztett. A folyadékot "Cadet füstölgő folyadékának" nevezték, de kellemetlen s veszedelmes sajátságai miatt alig foglalkoztak vele. Bunsen nemcsak ezt, hanem sok hasonló arzénvegyületet megvizsgált, megállapította tulajdonságaikat s kellemetlen szaguk miatt elnevezte *kaodyl vegyületeknek*  $\kappa\alpha\alpha\omicron\delta\eta\varsigma$  = rossz szagú). Kimutatta, hogy valamennyiben egy és ugyanazon gyök ( $C_2H_6As$ ) szerepel, mely a szerves vegyületekben ugyanolyan szerepet játszik, mint a fémek a szervesekben. Ezen vizsgálataival a gyökelméletnek, mely a modern szerves kémiában oly nagy fontosságra tett szert, egyik megalapítójává lett.

Hogy e vizsgálatokhoz mily nagy önfeláldozásra és bátorságra volt szükség, azt csak akkor tudjuk kellőképpen méltányolni, ha felfogjuk ezen anyagok igaz természetét. Mert kellemetlen voltuk mellett a legnagyobb mértékben mérgesek, nagyon könnyen párolognak, hamar meggyulladnak s e közben robbanást okoznak. Ha a *kakodyl cyanid* néhány mg-ja a szobában rendes hőmérsékleten elpárolog, ez elégséges arra, hogy az ember elveszítse eszméletét. Ha megszagoljuk, az orrban és torokban nagyon fájdalmas szúrást érzünk; ha egy csepp a bőrre esik, nagyon nehezen gyógyuló daganatok támadnak; e mellett oly explosív természetű, hogy a legkisebb melegedéstől, sokszor az egyszerű ráleheléstől hevesen felrobban. Ezen tulajdonságainál fogva csak nyílt levegőn szabad vele kísérletezni, ott is csak úgy, ha az ember a bűvárhoz hasonlóan öltözködik s hosszú üvegcsővön át veszi lélegzetét. Így vizsgálják mainap, mikor már ismerik természetét. Mikor Bunsen megkezdte kísérleteit, ő volt e téren az első, teljesen járatlan utas; útmutatói

sem voltak, melyek vezessék; más ismeretei sem voltak, csak azok, melyeket saját esze s tanulmányai adtak. De nem is szabadult meg épen, mert a mint a kakodyl cyanidot hevítette, a lombik felrobbant s az üvegszilánkok kioltották egyik szemevilágát; s ezenkívül a robbanás és az anyag mérgező hatása következtében oly súlyos sebeket kapott, hogy hetekig feküdt élet és halál között. Hős volt éppúgy mint az a katona, ki csatamezőn vérzik hazája boldogságáért.

Eme kutatásai tisztán a szerves chémiához tartoztak, de 1838-ben átlépett tudományágának ama határára, melyben az a physikával érintkezik, hogy azután élete végéig e téren maradjon. Itt szerezte legnagyobb érdemeit, tette legnagyobb felfedezéseit s megalapította a modern physikai chémiát. Az első vizsgálata az égési termékekkel foglalkozik. Az anyagok csak bizonyos magas hőmérsékleten égnek el, vagyis egyesülnek az oxigénnel. Ha azonban nincs elegendő oxigén, a fejlődő gázok egy része felhasználatlanul száll el.

Bunsen meghatározza a világító gáz elégsénél keletkező égéstermékeket, megméri mennyiségüket s megállapítja a használatlanul elszálló gáz százalékszámát. A módszer, melyet követett, oly tökéletes, hogy mind e mai napig mint klasszikus gázvizsgáló módszer általánosan használatos. De nem elégszik meg a tudományos eredménnyel, gyakorlati hasznát is akarja látni. Oly lámpát készít, melyben a világító gáz jobban ég el és jóval magasabb hőfokot szolgáltat, mint az addig használatos lámpák. Ez a *Bunsen-lámpa*, mely oly elterjedt és közönséges eszköz, hogy nélkülül el sem tudnánk lenni. Szabadalmat nem vett rá, valamint egy találmányára sem. Az ő vágya, mely a természet titkainak firkészéséhez vezette, semmiképpen sem volt összekötve azzal, hogy találmányaiból pénzbeli hasznot húzzon.

De ha tőkét nem is hozott, annál nagyobb volt az a tudományos haszon, melyet neki szerzett. Végre birtokában volt egy könnyen kezelhető eszköznek, mely oly magas hőmérsékletet adott, mint azelőtt egy sem s a mellett meg volt az az előnye, hogy lángja majdnem színtelen. Ezzel már meg lehetett próbálni, hogy azon testek, melyek a régi lámpa alacsonyabb hőfokán változatlanul szilárd állapotban maradtak, megolvadnak vagy párolognak-e s meg lehetett nézni – színtelen lévén a láng – milyen színűre festik azt. Hiszen már jóval Bunsen előtt ismeretes volt, hogy a legtöbb anyag, ha magas hőmérsékleten párolog s izzásba jó, jellemző színű sugarakat bocsát ki; a natrium sárgát, lithium pirosat, réz zöldet stb. Ezt a körülményt fel is használták az anyagok felismerésére, a chémiailis analysisre. Oly test, mely jellemző sárgára festi a lángot, bizonyosan nátriumot tartalmaz és így tovább. A baj csak az volt, hogy ezen módszer alkalmazhatósága nagyon szűk körre szorult, mert szemünk azon gyengeségben leledzik, hogy csak néhány színárnyalatot bír megkülönböztetni s a színkeverékből a részeket felismerni nem tudja. De feltéve, hogy szemünk valami úton-módon eléri a tökéletesség azon fokát, mikor a legkisebb színárnyalat-különbségről is tudomást szerezhet: még mindig eldöntendő, vajjon minden test izzó gőzének van-e jellemző színe és nincs-e többnek, talán igen soknak, ugyanaz a színe?

E kérdések foglalkoztatták Bunsent, miképpen előtte sok más tudóst. Ő azonban rátért a helyes útra, mely a sikerhez vezette. Gondolatmenete az analógiák, a természeti erők egysége körül forgott. Melyek ama jelenségek, melyek hasonlóak a fényjelenségekhez, de ezeknél ismertebbek? Már régen sikerült a hang és a fény közeli rokonságát felfedezni. Az elsőnél a legegyszerűbb kísérlet megmutatja, hogy a rezgés tempója, az úgynevezett rezgési idő határozza meg a hang magasságát; a fényről Huyghens azt állította, hogy szintén periodikus rezgés; és ha ezt elfogadjuk, a fény színe minek tulajdonítandó? Fresnel bebizonyította, hogy a rezgési időnek; a különböző tempójú fényrezgések szolgáltatják a különböző színű sugarakat. Az optikában tehát a szín ugyanaz, mint a hangtanban a hang magassága; nincs is más különbség közöttük, mint az, hogy a fényrezgések billiószor gyorsabbak. De van különbség ama két szervünk között, mely a kétféle rezgést felfogja. A fül roppant finom megkülönböztetéseket tud tenni a hangok között. A mint a természetben alig van test, mely egy másikhoz teljesen hasonló volna, alig van egy fának olyan levele, mely egy másikra pontosan ráillenek; úgy alig van két test, melyek egyenlő rezgéseket bocsátanak ki. A fül bámulatra méltó képességével majdnem valamennyi hangot, pedig számuk kitesz 30.000-et, meg tud egymástól különböztetni. Azt az irányt azonban, melyben a hanghullám fülünkhöz érkezett nem tudja pontosan kijelölni. Ezzel szemben a szem éppen ez utolsó tulajdonságban kitűnő: pontosan értesít arról az irányról, melyben a fénysugár szemünket éri s ebben ki is meríti összes képességeit; a különböző rezgési idők, vagyis a színek felfogása már nagyon kezdetleges. Úgyszólván csak három alapszint tud megkülönböztetni és ezekből minden színárnyalatot, melyeknek száma 50-et sem tesz ki, összeállít. 30.000 hanggal tehát alig 50 szín áll szemben! Hozzájárul még ehhez, hogy a gyakorlott fül a legkomplikáltabb hangegyvelegről is kiismeri egy bizonyos hangszer hangjait; melyik az a gyakorlott szem, mely az összetett színekről meg tudná mondani, micsoda anyagból származtak?

Valószínű, hogy a természet, mely a hangokban oly gazdag, színekben sem szegény; sőt miután a fényrezgések sokszorta finomabbak, sokszorta gyorsabbak, valószínű az is, hogy a különböző színek száma nem is 30.000, nem is százezer, hanem sok millió, sőt billió! Ha minden ember hangjának van zengése, minden zenei hangszer, sőt minden ablaktábla, minden ivópohár az ő sajátos hangja által jellemezhető, miért ne jellemezhetné minden testet a tőle kibocsátott fényrezgés száma vagy színe? Nem a természetben van a hiba, hanem szemünkben, mely azokat nem tudja egymástól megkülönböztetni.

Mi módon jöhetnének szemünk segítségére? Bunsen színes üvegekkel próbálta először. Különböző anyagok keverékét izzította a Bunsen-lámpa lángjában és ezt különböző színű üvegeken keresztül vizsgálta. A piros üveg elhalványította a többi alkatrészek színeit és így pl. a lithium piros színét jobban lehetett felismerni és így tovább. Ezen vizsgálatok közben ismerkedett meg *Kirchhoffal* és elhatározták, hogy ezután közösen fognak dolgozni. Kirchhoff adta az eszmét, hogy ezen célzott sokkal pontosabban lehet elérni, ha a különböző színű sugarakat prizmával szétválasztjuk. Ismeretes dolog, hogy az esőcseppekre eső napfény felbomlik a szivárvány színeire; ismeretes továbbá az is, hogy Newton ezt a felbontást üvegprizmával is megcsinálta. Az üvegprizma a ráeső fénysugarakat eltéríti eredeti irányuktól - megtöri;

azokat, melyeknek rezgésszámuk nagyobb, nagyobb mértékben téríti el. Legkisebb rezgésszámuk van a vörös sugaraknak, ezek térnek el legkisebb mértékben, azután következnek a narancs, a sárga, a zöld, a kék, az indigó s végül az ibolya. Ha fehér fénynyaláb esik a prizmára, akkor a benne lévő összes színek egymásután az előbbeni sorban legyezőszerűen térnek el az eredeti iránytól s ha útjukba fehér ernyőt állítunk, megjelennek az összes színek a vöröstől az ibolyáig. Ez a folytonos színek spektrum). A színek szakadás nélkül, folytonosan mennek át egymásba, úgy hogy a legélesebb vizsgálat sem tudja megmutatni, hol végződik pl. a *vörösnek* nevezett színek csoportja és hol kezdődik a narancsszín-csoport. Bunsen megmutatja, hogy az izzó szilárd és folyékony testek (pl. egy mészhengert) adják ezt a folytonos színeképet. Ezzel szemben mindazon testek, melyek az izzás hőmérsékletén már párolognak, úgy hogy a Bunsen-lámpa lángjába izzó gőzeik jutnak, nem adnak folytonos színeképet, hanem csak egyes színes sávokat vagy egészen vékony színes vonalakat. Például a nátrium színeképe egy fényes sárga vonal, a lithiumé egy sötétebb és egy világosabb vörös vonal, a káliumé egy sötétvörös és egy kék vonal, a thalliumé egy világos zöld vonal, a hidrogénéé egy szélesebb vörös és két kék vonal stb. Egyféle rezgésszámmal bíró sugarat csak igen kevés test izzó gőze bocsát ki; a legtöbb egyszerre többfélé, melyeknek rezgésszámai különbözők. Sőt vannak olyan testek, melyek több száz vonalat adnak. Bunsen végig próbálta az összes anyagokat, melyekhez hozzájuthatott, de nem talált közöttük egyetlen-egyet sem, melynek színeképe egy másik test színeképével teljesen megegyeznék. Világos tehát, hogy a *színeképi vonalak azt a testet tökéletesen jellemzik* s a legegyszerűbb s legpontosabb módszert szolgáltatják a testek felismerésére s a vegyületek analizálására. Ha keveréket teszünk a lángba, akkor minden alkotórész vonalai a térben elválasztva, egymás mellett jelennek meg, úgy, hogy mindegyiket kétségtelenül teljes biztossággal lehet felismerni. Bunsen a fontosabb kémiai elemek színeképi vonalait pontosan megjelölte, helyüket a folytonos színeképben megállapította.

Mindjárt a színeképelemzés első hónapjaiban, amint a *dürkheim*-i ásványvizet analizálta, feltűnt neki egy új, eddig ismeretlen színekép; oly biztos volt felfogásának helyes voltában, hogy e színeképet habozás nélkül egy új, eddig ismeretlen elem jelenlétének tulajdonította. Meg volt arról győződve, hogy ez az anyag -bár talán minimális mennyiségben- meg van abban az ásványvízben s hozzáfogott annak kémiai elválasztás útján való előállításához. E végből 44.000 liter dürkheimi ásványvizet párologtatott el s volt elég türelme a munkát személyesen a legnagyobb gonddal végrehajtani, a minek eredménye: 16,5 gramm abból az új elemből, melyet *caesium*-nak nevezett el. Hasonló módon fedezte fel a *rubidium*-ot.

A színeképelemzés felfedezése által Bunsen a kémiát hatalmas módszerrel ajándékozta meg, mely előtt az anyag legparányibb része sem marad elrejtve. Ez magában elegendő volna arra, hogy nevét felejthetlenné tegye. A színeképelemző készülék azonban nem marad a kémiáé szűk határai közt. Felvilágosító hivatását kiterjeszti a Napig, az állócsillagokig. Tudósítást hoz arról, micsoda anyagokból vannak az égi testek, útmutatást ad arra, az emberek előtt nagyon érdekes kérdésre: lehetséges-e élet a Földön kívül más égitesteken is?

Hogyan lehetséges mindez? Kirchhoff és Bunsen nemcsak ama színeképeket vizsgálták, melyeket a különböző testektől kibocsátott fénysugarak hoznak létre: hanem különös figyelmet fordítottak a Nap színeképére is. Említettük már, hogy Newton bontotta fel először a Naptól jövő fénysugarakat prizma segítségével. A keletkező színekép folytonosnak látszott. A dolog azonban nincsen úgy. Már 1802-ben észrevette *Wollaston*, hogy a Nap színeképében fekete vonalak látszanak, melyeket 1814-ben *Fraunhofer* pontosabban megvizsgált és megszámlálni próbált. A főbb vonalakat *A*, *B*, *C* stb. betűkkel jelölte. Feltűnt az is, hogy egyes fekete vonalak a színekép épp azon részét takarják el, melyek helyén az ismert földi elemek fényes vonalai vannak. Így pl. a *Fraunhofer*-féle *D*-vonalt épp azon helyen van, ahol a nátrium fényes sárga vonala látszik. A Nap színeképéből tehát olyan fény hiányzik, milyent a nátrium kibocsát. Ennyit tudtak 1857-ig, mikor Kirchhoff és Bunsen egy flintüveg prizmat kaptak, melyet *Fraunhofer* maga csiszolt. Mindjárt hozzá is láttak azon vonatkozás megvizsgálásához, melyen a *D* vonal a nátrium fényes sárga vonalához áll. Előállították a Nap színeképét és megjegyezték a *D* vonal helyét; ezután ugyanazon napsugarakat kőszögzőket tartalmazó lángon vezették keresztül és azt tapasztalták, hogy mikor a napfény felhőkön szűrődik keresztül, tehát gyenge: akkor a sárga vonal is feltűnik, de teljes napvilágításnál a fekete vonal megmarad feketének, sőt még szélesebb lesz. "Das scheint mir eine fundamentale Geschichte" mondta Kirchhoff és másnap már megvolt a törvény. A sötét és fényes vonalak lényegben nem különböznek. *Minden test épp azon sugarakat nyeli el, melyet maga is kibocsát.* Ha a test izzó és a háttér sötét, akkor a jellemző vonalak fényesek sötét háttérben; ha azonban -bár maga is gyengén világít- a háttér fényesebb és mi rajta keresztül erre a fényes háttérre nézünk, akkor ezen vonalak sötétekné látszanak a fényes háttérben.

Ez volt az abszorptió- és emissióképességről szóló tétel vagy a színeképi vonalak megfordításának felfedezése. Minden testet tehát kétféle színekép jellemezhet: 1. az emissiószínekép, vagyis azon színes vonalak, melyeket a test izzó gőzeitől kibocsátott sugarak létrehoznak, 2. az abszorptiószínekép, vagyis azon sötét vonalak, melyek a folytonos színeképet födik akkor, midőn egy folytonos színeképet adó testből kiinduló sugarak egy része a test gőzeiben elnyelését szenved. A kétféle színeképet alkotó vonalak helyzete egyébként teljesen ugyanaz.

Kirchhoff a Nap színeképében mintegy 3000 sötét vonalat jelölt meg. Ismeretes az is, hogyan magyarázta e vonalak keletkezését. A Nap mélyéből mindenféle rezgésszámmal bíró sugarak jönnek ki; ezeknek egy részét a Nap atmoszférájában lévő anyagok elnyelik. Ily módon sikerült a Nap s az állócsillagok egy részének alkotórészeit meghatározni. A színeképelemző készülék – Bunsen és Kirchhoff bámulatosa találmánya – a csillagászat leghatalmasabb s leghasználtabb eszközévé vált. Tudományos értéke egyenrangú a messzelátóéval.

Beszélnünk kellene még Bunsen egyéb munkáiról, arra azonban – még ha csak a címeket akarnók felsorolni – kevés hely. Ezeknek jórésze a fizikai könyvek tárgya. Ott van leírva a *Bunsen-elem*, melyben réz helyett szén alkotja a pozitív sarkot; ott szerepel a jégkalorimeter, ez a fajhők meghatározására szolgáló nagyon pontos eszköz; fontosak s

részben úttörők azon munkái, melyeket a gázoknak folyadékokban való absorptiójára és a diffúziójára vonatkozólag végzett, továbbá a gőzsűrűségek és a fény kémiai hatásának mérései.

"Oly életnek értékét, írja tanítványa *Roscoe*, mely eredeti tudományos munkálatokra szenteli magát, azon új ösvényekkel mérjük, melyeket ilyen munka megnyit. Ebből a szempontból Bunsen munkája a jelen század egyetlen nagy természettudósának munkája mögé sem állítható". Legszebben jellemzi azonban egy másik tanítványa mikor azt mondja: "Mint kutató nagy volt, mint tanár még nagyobb, mint férfi és barát a legnagyobb".

\*

Bunsen Vilmos Róbert 1811. márcz. 31-én született Göttingen-ben, ugyanott végezte iskoláit. Már 22 éves korában magántanár lett szülővárosa egyetemén. Innét Casselbe, majd Marburgba került. Mindkét helyen a kémia professora volt. 1852-ben hívták meg a heidelbergi híres egyetemre, a hol azután élete végéig maradt. 1889-ben gyöngékedése miatt beszüntette előadásait, de azért az egyetemi évkönyvben egészen haláláig mint nyilvános rendes tanár szerepelt. 1899. aug. 16-án halt meg.