

AZ EMBER ÉS CSALÁDJA A MÉRTÉKEGYSÉG MÖGÖTT 200 ÉVE SZÜLETETT ANDERS JONAS ÅNGSTRÖM

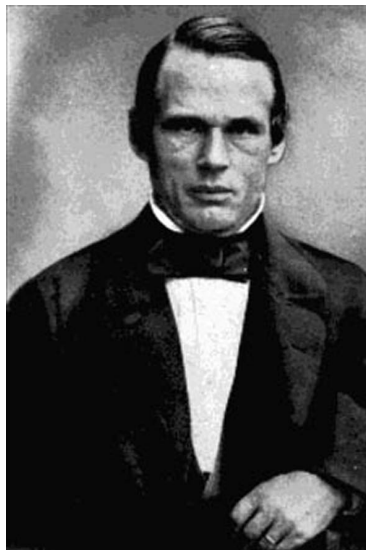
Tarczay György

PhD, egyetemi docens,
Eötvös Loránd Tudományegyetem Kémiai Intézet
tarczay@chem.elte.hu

Arthur Schawlow, aki 1981-ben lézerspektroszkópiai fejlesztésekért vehette át a fizikai Nobel-díjat, Nobel-előadását ezekkel a mondatokkal kezdte: „A tudományos színeképelemzés tulajdonképpen Svédországban, Uppsalában született, ahol 1853-ban *Anders Ångström* megmutatta, hogy az elektromos kisülés spektrumvonalainak egy része az elektródokhoz, más részük az elektródok közötti gázhoz tartozik. Korábban *Joseph Fraunhofer* már feltérképezte a Nap spektrumának sötét vonalait, és megmérte ezek hullámhosszát. Azonban Ångström volt az első, aki a vonalak egy részét adott anyagok szikrakisülésben kibocsátott fényes vonalaival azonosította. Legfontosabb ezek közül a hidrogén vörös vonala volt, amelyet ma $H\alpha$ -ként ismerünk. A rákövetkező években Ångström a hidrogénnek a látható színeképtartományba eső több vonalát is megfigyelte, és pontosan megmérte ezek hullámhosszát.”

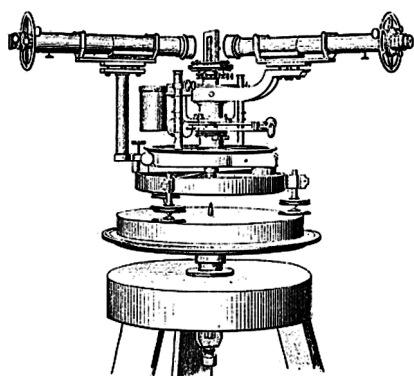
A spektroszkópia tudományának születéséhez *Isaac Newton*tól *Gerhard Herzberg*ig sokan járultak hozzá, ezek közül az egyik legmeghatározóbb és legkiemelkedőbb tudós

Anders Jonas Ångström volt, akinek nemcsak a kutatásai kapcsolódnak a Naphoz, de már születése is: augusztus 13-án, néhány nappal az 1814-es, Európában is észlelhető napfogyatkozás után született a svédországi Medelpad tartományban, Lögdöben (*1. kép*). Jómódú, felsőosztálybeli család tagjaként, nehézségek



1. kép • Anders Jonas Ångström (1814-1874)

nélkül kezdhetette meg fizikai és csillagászati tanulmányait az Uppsalai Egyetemen. 1839-ben már az egyetem docense, majd a Stockholmi Csillagvizsgálóban 1842-ben szerzett csillagászati gyakorlata után 1843-tól az *Anders Celsius* által alapított Uppsalai Csillagvizsgáló észlelőjeként is dolgozott. Már ebben az időben elkezdte a földmágnességgel kapcsolatos kutatásait, Svédországban számos helyen mérte a mágneses tér nagyságát és irányát. Később a svéd *Eugénie* fregatt 1851-1853-as földkörüli útján gyűjtött mágneses adatok kiértékelésével bízta meg a Stockholmi Királyi Tudományos Akadémia. A hővezetés mérésére új módszert dolgozott ki, és kimutatta, hogy a hővezetés és az elektromos vezetés között összefüggés van. 1858-tól haláláig, 1874-ig, *Adolph Ferdinand Svanberg* utódjaként vezette az Uppsalai Egyetem Fizika Tanszékét. A Svéd Királyi Tudományos Akadémián és az Uppsalai Királyi Tudományos Társaságon kívül a londoni Királyi Természettudományos Társaság is tagjává választotta. Utóbbi 1872-ben Rumford-éremmel tüntette ki. Tiszteletére a Hold egyik krátere is a nevét viseli.



2. kép • Anders Jonas Ångström spektrométerének ábrája a *Recherches sur le spectre solaire* első oldalainak egyikén

Bár a mágnesség és a hővezetés területén elért eredményei is figyelemre méltóak, ahogy az Schawlow Nobel-előadásából is kiderült, életművében kiemelkedő jelentőségű a spektroszkópia tudományának megalapozása. A Svéd Királyi Tudományos Akadémián, 1853-ban *Optiska Undersökningar* (Optikai kutatások) címmel számolt be az első spektroszkópiai vizsgálatairól. Ekkor mutatta be azt a már fent említett eredményt, hogy az elektromos kisülés spektruma az elektród és a gáz spektrumának kombinációja. Ennek az előadásnak még fontosabb, az Euler-féle rezonanciaelméletből levont megállapítása az volt, hogy egy forró gáz pontosan olyan hullámhosszokon tud sugározni, mint amilyen hullámhosszokon elnyel az adott gáz, ha lehűl. Ezzel megelőzte *Gustav Kirchhoff*t is, aki később ezt a megfigyelést a termikus sugárzási törvényében írta le.

1861-től egyre többet foglalkozott a Nap spektrumával. 1862-ben megállapította, hogy a Nap spektrumában – más elemek mellett – kimutatható a hidrogén is (2. kép). 1868-ban publikálta a Nap spektrumának atlaszát, a *Recherches sur le spectre solaire*-t, amelyben több mint ezer színképvonal hullámhosszát közli a látható spektrumtartományban. Külön jelentőséggel bír, hogy kortársaival, például *Robert Bunsennel* és *Kirchhoffal* ellentétben nem relatív, hanem abszolút hosszúságskálán, 10^{-10} m egységekben kifejezve adta meg az értékeket. Ångström méréseihez hosszúságetalont használt, sőt utólag még az általa használt etalonnak a párizsi hosszúságetalonnhoz viszonyított eltéréseivel is korrigálta mérési adatait. Később a meteorológus *Henri Tresca* mutatott rá, hogy a korrigált értékek pontatlanabbak, mint a korrigálatlan hullámhosszértékek, így 1–2 ezreléknyi hibával terheltek az adatai. Ezzel együtt közel két évtizedig ez

az atlasz szolgált a legpontosabb és a legteljesebb referenciaként a Nap spektrumáról.

A XX. sz. első felében a hosszúság mértékegysége még a párizsi etalonhoz volt kötve, a spektroszkópiai mérésekhez pedig ennél pontosabb egységre volt szükség. Ezért 1907-ben a Nemzetközi Csillagászati Unió a kadmi-um vörös vonala levegőben mérhető hullámhosszáértékének $1/6438,46963$ részeként definiálta az *ångström* (Å) egységet. Ezt az egységet vette át 1927-ben a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal is. Az ångström egység definícióját csak 1960-ban változtatták „vissza” a 10^{-10} m-re, amikor magát a métert is a ^{86}Kr egyik spektroszkópiai átmenetéhez kötötték. (1983 óta a méter egyezményesen az a távolság, amit a fény a másodperc $1/299\,792\,458$ része alatt tesz meg vákuumban.) Bár az ångström nem SI-rendszerbeli mértékegység, és a spektroszkópia területéről egyre inkább kiszorult, a molekulamodellezés, krisztallográfia és szerkezeti biológia területén ma is ez a leggyakrabban használt hosszúságegység.

Anders Jonas Ångström mérései a modern atomszerkezet és a kvantumfizika alapjai szempontjából is meghatározónak bizonyultak. A hidrogénatom látható színképtartományban megjelenő négy vonalának általa közölt hullámszámaira 1885-ben egy svájci matematikus és középiskolai tanár, *Johann Jakob Balmer* talált matematikai kifejezést, amely egy empirikus állandó segítségével mind a négy spektrumvonal hullámhosszát megadja. A Balmer-féle képlet ismerete nélkül 1888-ban *Johannes Rydberg* hasonló, de általánosabb képletet írt fel, amely a hidrogénatom látható színképtartományon kívül eső vonalaira is érvényes. A két képlet jelentősége abban rejlik, hogy ezekben egész számok is megjelentek. Az empirikus képletek végül 1913-ban nyertek mélyebb értelmet, amikor



3. kép • Knut Johan Ångström (1857–1910)

Niels Bohr posztulátumaiból kiindulva, alapvető klasszikus fizikai összefüggésekből levezette azokat. A képletekben megjelenő egész számokat a kvantummechanikai atommodellben a főkvantumszámokkal azonosítjuk.

Anders Jonas Ångström vizsgálta először a *sarki fény* spektrumát. Megállapította, hogy a – ma az ő nevében is emlegetett – sárgászöld fényt az akkori elképzeléssel ellentétben nem a napfény jégzemcséken való szóródása okozza, hanem a légköri oxigén emissziójához köthető. Azt viszont tévesen gondolta, hogy az állatövi fény is ugyanezzel a jelenséggel magyarázható.

A Nap közvetlen sugárzásának mérésére új eszközt fejlesztett ki, a *pirheliométert*. E későbbiek elektromos változatát fia, *Knut Johan Ångström* (1857–1910) fejlesztette tovább (3. kép). Knut Ångström szintén az Uppsalai Egyetemen kezdett fizikusnak tanulni, majd rövid strassburgi tanulmányút után ugyanitt doktorált le. Doktorátusának megszerzése után rövid ideig a Stockholmi Egyetemen oktatott, majd visszatért Uppsalába, ahol a fizika professzorának nevezték ki. 1893-ban a Svéd Királyi Tudományos Akadémia tagja lett. A pirheliométer továbbfejlesztése mellett ő is

kidolgozott egy új műszert, a légkör (vagy a földfelszín) visszavert infravörös sugárzásának mérésére alkalmas *pirgeométert*.

Az Ångström család tudománytörténeti szereplése azonban Knut Ångströmmel sem fejeződött be! Fia, *Anders Knutsson Ångström* (1888-1981) érdeklődését apjához és nagyapjához hasonlóan a fizika és azon belül is a légkörfizika és a napsugárzás keltette fel (*4. kép*). Édesapja segédjeként kezdett el dolgozni az Uppsalai Egyetemen. Apja halála után, alkalmazás reményében, a kor híres asztrofizikusának, *Charles Greeley Abbot*nak írt levelet. Abbot felajánlotta neki, hogy csatlakozzon algériai expedíciójához. Az expedíció után követte Abbotot az Amerikai Egyesült Államokba, ahol a Cornell Egyetemen folytatta kutatásait. Mind az algériai, mind az amerikai vizsgálataiban az apja által kifejlesztett sugárzásmérő műszereket használta. Elsők között vizsgálta és számította a CO₂ sugárzási mérlegben betöltött szerepét. 1916-ban tért vissza Svédországba, amikor az Uppsalai Egyetemen megvédte doktori munkáját. 1919-ben állást kapott a Svéd Meteorológiai és Hidrológiai Intézetben, ahol 1949-től 1955-ös nyugdíjazásáig az intézet igazgatójaként dolgozott, 1948-ban pedig ő is tagja lett a Svéd Királyi Tudományos Akadémiának. Svédországban is leginkább a napsugárzás sugárzási mérlegével, valamint ennek a klímával kapcsolatos összefüggéseivel foglalkozott. Vizsgálta az aeroszolok optikai mélységének függését a hullámhossztól. A

$$\tau_{\lambda} / \tau_{\lambda_0} = (\lambda / \lambda_0)^{-\alpha}$$

egyenletben, ahol az α kitevőt, amely az



4. kép • Anders Knutsson Ångström
(1888-1981)

aeroszolrészecskék átlagos méretével fordítottan arányos, ma is *Ångström-exponensnek* nevezik. (Az egyenletben a l_0 és t_0 referenciahullámhossz, illetve a referencia-hullámhosszon mérhető optikai mélység, míg l és t_1 egy tetszőleges hullámhossz és az ezen a hullámhosszon mérhető optikai mélység.) Nem meglepő módon ő is továbbfejlesztette apja és nagyapja sugárzásmérő műszereit; kifejlesztette a piranométert, az első műszert, amely széles színeképtartományban szolgál a direkt és a szórt fény együttes, pontos mérésére.

Anders Knutsson Ångström 1981-ben, abban az évben hunyt el, amelyikben Schawlow a Nobel-előadását azzal nyitotta, hogy a spektroszkópia születése Uppsalához és Anders Jonas Ångström nevéhez köthető.

Kulcsszavak: *Ångström, tudománytörténet, spektroszkópia, Nap színeképe, hidrogénatom, hosszúság mértékegysége, sugárzási mérleg, sarki fény*

IRODALOM

Angelo, Joseph A., Jr (2006): *Encyclopedia of Space and Astronomy*. (Facts on File Science Library). Facts on File, New York

Ångström, Anders Jonas (1853): *Optiska undersökningar*. Svenska Vetenskapakademien

Ångström, Anders Jonas (1855): Optical Researches. *Philosophical Magazine and Journal of Science*. 9, 327–341. • http://books.google.hu/books?id=mnHuFdVoKNIC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=optical&f=false

Ångström, Anders Jonas (1855): Optische Untersuchungen. *Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie*. 94, 141–164. • <http://books.google.hu/books?id=wR4AAAAAMAAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q=optische&f=false>

Ångström, Anders Jonas (1868): *Recherches sur le spectre solaire*. W. Schultz, Uppsala • <https://archive.org/details/recherchessurleoongooq>

Angström, Anders Knutsson (1929): On the Atmospheric Transmission of Sun Radiation and on the Dust in the Air. *Geografiska Annaler*. 12, 130–159. • https://www.researchgate.net/publication/235289311_On_the_Atmospheric_Transmission_of_Sun_Radiation_and_on_Dust_in_the_Air

Balmer, Johann Jakob (1885): Notiz über die Spectrallinien des Wasserstoffs. *Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie*. 261, 80–87. • <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15268j.image.langEN.r=Annalen%20der%20Physik.swf>

Beckman, Olof (1997): *Ångström, Father and Son*. Uppsala Univeristy

Bohr, Niels (1913): On the Constitution of Atoms and Molecules, Part I. *Philosophical Magazine*. 26, 1–24. • <http://web.ihep.su/dbserv/compas/src/bohr13/eng.pdf>

Bohr, Niels (1913): On the Constitution of Atoms and Molecules, Part II. Systems Containing Only a Single Nucleus. *Philosophical Magazine*. 26, 476–502.

• http://www.fisica.ufpb.br/~jgallas/CURSOS/Estrutura02/bohr_part02_PMI1913_14786441308634993.pdf

Bohr, Niels (1913): On the Constitution of Atoms and Molecules, Part III. Systems Containing Several Nuclei. *Philosophical Magazine*. 26, 857–875. • <http://www.nba.nbi.dk/pdf/files/trilogypart3.pdf>

Bohr, Niels (1914): The Spectra of Helium and Hydrogen. *Nature*. 92, 231–232. DOI:10.1038/092231do

Fraunhofer, Joseph (1817): Bestimmung des Brechungs- und des Farbenzerstreungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre. *Gilberts Annalen der Physik*. 56, 264–313. • <http://books.google.hu/books?id=fYAUQAAMAAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Kirchhoff, Gustav Robert (1860): Ueber das Verhältniss zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme and Licht. *Annalen der Physik und Chemie*. 109, 275–301. DOI: 10.1002/andp.18601850205 • <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/andp.18601850205/pdf>

Rydberg, Johannes R. (1890): On the Structure of the Line-spectra of the Chemical Elements. *Philosophical Magazine*. Series 5, 29, 331–337.

Schawlow, Arthur L. (1982): Spectroscopy in a New Light. *Reviews of Modern Physics*. 54, 694–709. • http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1981/schawlow-lecture.pdf

URL1: WMO (World Meteorological Organization) Bulletin Interviews: *Interview With Dr Anders K. Ångström*. 1982. április. • http://www.wmo.int/pages/publications/bulletin_en/interviews/angstrom_en.html