

A csillagok színei

Népszerű csillagászati művekben, filmekben gyakran utalnak rá, hogy a csillagok a legkülönbözőbb színűek lehetnek. Közismertek az olyan kifejezések, mint „vörös óriás” vagy „fehér törpe”, de beszélünk pl. „sárga óriásokról” vagy „kék szuperóriásokról” is. A Mars közismert állandó jelzője „a vörös bolygó”. A weboldalakon vagy népszerű tudományos cikkekben, könyvekben gyakran látott látványos égboltfelvételek színei egyenesen lenyűgözőek. Mégis, ha egy sötét éjszakán az égre tekintünk, az ott látott fénylő pontok színében csak enyhe árnyalati különbségeket fedezhetünk fel.

Ennek oka az emberi látás fiziológiájában keresendő. Mint ismeretes, szemünk fényérzékeny sejtjei két típusba sorolhatók. Nappali világosságban a látás feladatát elsősorban a színérzékenységgel is rendelkező csapsejtek végzik. A Hubble űrtávcső és más nagy teleszkópok látványos égboltfelvételein – ha a valós színek hű reprodukálása a cél – a különböző hullámhossztartományokban felvett monokrom képeket teszik a megfelelő színekben egymásra. Mivel az így nyert képeket monitorunkon vagy a könyvek oldalain kellően erős fényerősséggel szemléljük, szemünk csapsejtjei segítségével színeiket teljes mélységükben élvezhetjük.

A csapok fényérzékenysége azonban korlátozott, ezért csökkenő fényerősség mellett a fényérzékelés egyre nagyobb mértékben a másik sejt típusra, a pálcikákra hárul, melyeknek viszont nincs színérzékelése. A látott színek élénksége ennek megfelelően a fényerősség függvénye – okkal nevezi a magyar „szürkületnek” a nappal és az éjszaka közötti átmenetet! Ez a mechanizmus az evolúció során nyilván nem véletlenül, hanem a jel–zaj viszonyt, illetve a fényből kivont információtartalom egyidejű optimalizálásának követelményének megfelelően alakult ki.

Vörös az ég alja – vulkán tört ki tegnap ...

Ez a magyarázata annak is, hogy bár a felkelő vagy lenyugvó csillagok fénye a napéhoz hasonlóan jóval vörösebbé válik, a csillagok esetében ez a jelenség kevésbé szembeötlő, mint a fényes napkorongnál. Kevésbé feltűnő, de nem észrevehetetlen: a legelterjedtebb magyarázat szerint éppen ezért nevezték az égbolt legfényesebb állócsillagát, a közismerten fehér színű Sziroszt az ókori megfigyelők következetesen vörösnek. Az ókori csillagászok ugyanis nagy hangsúlyt helyeztek a kelési és nyugvási jelenségek megfigyelésére, így észleléseiket rendszerint a látóhatárhoz közel végezték. (Persze ez csak a fenti ún. „vörös Szirosz rejtély” legrózaibb magyarázata. Akadnak egyéb spekulációk is, melyek különféle egzotikus asztrofizikai vagy légköroptikai folyamatokat feltételeznek.)

Mint ismeretes, a lenyugvó nap és körötte az égbolt vörös színe a fény légkörön át megtett hosszabb útja következtében megnövekedett légköri fényszórásnak köszönhető. Az ibolyától a zöldig terjedő színtartományban a szórás főként a levegő molekuláin történő Rayleigh-szórás jelenti. A kiszóródott fény adja az égbolt kék színét. A sárga és vörös színű fény ugyanakkor főként a légkör felső rétegeiben lebegő mikroszkopikus méretű szemcséken, az ún. aeroszolokon szóródik. Ezek mennyisége erősen változó. Nagy vulkánkitöréseket követően hónapokig, sőt évekig lebeghetnek a sztratoszférában apró kénscseppek, melyek a fényszórást igen megnövelik. Ezzel befolyásolják bolygónk éghajlatát is: az indonéz szigetcsoporthoz tartozó Tambora 1815-ös kitörését pl. a gyászos emléktű „nyár nélküli év” követte, mely Európában súlyos éhínséget okozott. De az aeroszokok jótékonyabb hatásaként ilyenkor a szokottnál látványosabb naplementékben is gyönyörködhetünk. Nemrégiben D. Olson amerikai csillagász mutatott rá, hogy az expresszionizmus előfutárának tekintett norvég festő, Edvard Munch híres festménye, „A sikoly” nem oly mértékben a művész fantáziájának terméke, mint azt korábban gondolták: Munch feltehetőleg a Krakatau 1885-ös kitörését követő, világszerte csodált „vulkáni naplementék” egyikét örököltette meg.

Zöld csillagok helyett zöld ködök

Az égbolt színeivel kapcsolatos másik zavarba ejtő körülmény, hogy a csillagok kéktől vörösig terjedő színskáláján nem fordulnak elő zöld csillagok. Monokromatikus, azaz egyetlen hullámhosszúsággal kisugárzott fényt zöld színűnek a 495–570 nm hullámhossztartományban érzékelünk. Kétségtől van olyan csillagok, melyek sugárzása ebben a tartományban éri el maximális intenzitását. (Ezek egyébként az 5100 és 5800 K közötti felületi hőmérsékletű csillagok – közéjük tartozik a Nap is!). A csillagok fénye azonban nem monokromatikus, hanem nagyon is széles hullámhossztartományban bocsátódik ki: a kibocsátás hullámhosszfüggését az ún. Planck-függvény írja le. Ezért még az ilyen csillagok által kibocsátott fény zöme is a zöld tartományon kívül esik, s a színkeverés törvényei, valamint a Planck-függvényt követő intenzitáseloszlás következtében összességében sárgásnak látjuk őket (noha érdekes módon a monokromatikus fényt csak az igen szűk 570–590 nm hullámhossztartományban érzékeljük sárgának).

Mégiscsak akadnak ugyanakkor olyan források az égbolton, melyek zöldes árnyalatban pompáznak. Ezeket a fenti gondolatmenet alapján az elsősorban egyes jól meghatározott hullámhosszakra koncentrált, ún. vonalas sugárzást kibocsátó égitestek, az *emissziós ködök* között kell keresnünk. Az emissziós ködök olyan ritka csillagközi felhők, melyekbe forró, kékes színárnyalatú csillag ágyazódik. A kék csillag jelentős ultraibolya sugárzást is kibocsát, mely a felhő anyagát ionizálja. Az ionizációs és rekombinációs folyamatok dinamikus egyensúlya során folyamatosan alakulnak ki épp most rekombinálódott, magas gerjesztettségű atomok és ionok. Ezek elektronjai egyre alacsonyabb energiaszintekre „bucskáznak”, s ennek során bocsátják ki a vonalas sugárzást.

Valóban, már régen észrevették, hogy egyes kicsiny kompakt, ún. *planetáris ködök* kimondottan zöldes színben ragyognak. Amikor 150 éve, a csillagászati spektroszkópia – és ezzel az asztrofizika – hajnalán színeküket először felvették, két erős színekvonal tűnt fel bennük 496 és 501 nm hullámhossznál. Földi laboratóriumokban ezekkel a vonalakkal még soha nem találkoztak, ezért kezdetben egy új kémiai elem vagy anyag, a „nebulium” jelenlétével próbálták értelmezni őket (lat. nebula = köd). Végül azonban 1927-ben a kétszer ionizált oxigén vonalaiként sikerült azonosítani őket. A vonalak nagyon kis valószínűségű, ún. tiltott atomi átmenetekhez tartoznak, ezért csak a csillagközi tér nagyon alacsony sűrűségű közegében jöhetnek létre, ahol a kibocsátó ionok közötti ütközések elég ritkák ahhoz, hogy elektronjaik „megvárhassák” a spontán fotonkibocsátást.

Irodalom

- [1] Bernolák Kálmán: A fény. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
- [2] R. S. Hunter: The Measurement of Appearance. Wiley Interscience, 1975.
- [3] C. R. Kitchin: Astrophysical Techniques. 5th ed. CRC Press, 2009.
- [4] J. Holtzman: Observational Techniques.
<http://ganymede.nmsu.edu/holtz/ay535/ay535notes.html>.