SZÉL GYŐZŐ

Színek az ásványok és drágakövek világában

„Kősó a Monarchia bányáiból, Jókai tulajdona volt". – kapom a magyarázatot Szabó Lászlótól, aki minden ásványbörzén előrukkol valami érdekességgel. Hitetlenkedve tartom a kezemben a csiszolt üvegdugós, lezárt üveget, és nézem a szorosan berakott köveket. Van köztük fehér és szabálytalan alakú, de akad víztisztán átlátszó és szabályos lapokkal határolt test is. Talán a legszebb az átlátszó, kobaltkék kristály, de nem kevésbé megkapóak a sárgabarack-, hússzínű vagy a halvány kénsárga darabok.

A színes kősó

A kősó vagy konyhasó (NaCl) tipikus ionvegyület, és a színtelen anyagok iskolapéldájának számít, hiszen mind a nátriumion, mind a kloridion nemesgázszerkezetű, a látható fény energiája nem elégséges a gerjesztésükhöz. Habár a sóbányákban a kősó társaságában egyéb vízoldható ásványok is előfordulnak, például a polihalit és tachyhydrit, melyek Ca^{2+}-, Mg^{2+}- és SO_4^{2-}-ionokat tartalmaznak, a különös színek oka mégsem ez utóbbi ionok jelenlétében, hanem magában a kristályrácsban, pontosabban annak hibáiban keresendő.

A természetes kristályok rácsába már növekedésük folyamán is sok hibahely épül be, számukat a földkéregben helyenként előforduló radioaktivitás csak tovább növeli. A radioaktív sugarak ugyanis, nagy energiájuk révén, képesek ionokat vagy éppen elektronokat elmozdítani eredeti helyükről. Ha egy-egy ion eltűnik a helyéről, a korábban szabályos rácsban „lyukak" keletkeznek. A nátrium-klorid esetében például a sárga szín abból ered, hogy egy hiányzó anion (kloridion) helyére egy elektron „ugrik be", melyet a látható fény képes gerjeszteni, vagyis magasabb energiájú pályára kényszeríteni. Eközben a látható fénytartománynak a gerjesztésért felelős sávja (jelen esetben a kék tartomány) elnyelődik, amíg a kiegészítő tartomány, a sárga megjelenik. Az ilyen hibahelyet *színcentrumnak* nevezik. A színcentrum persze létrejöhet úgy is, hogy két elektron zsúfolódik össze a hiányzó anion helyén, vagy éppen ellenkezőleg, két lyuk összeolvad és egyetlen elektron terpeszkedik a viszonylagosan nagy térben. A nagyobb térben mozgó elektron könnyebben gerjeszthető, a fényelnyelési sáv kiszélesedik, a szín mélyül.

Bár a színcentrum okozta színek a kiváltó lehetőségek nagy száma miatt sokfélék, egy adott bányában többnyire egy-egy jellemző színű kősót találtak. A ma már nem működő híres wieliczkai sóbányában (Lengyelország) például gyakori volt a kék kősó. Kerültek elő innen szabályos alakú átlátszó kék egykristályok, de kis kristályok halmazából álló polikristályos darabok is, amelyeken a kék szín csak foltokban jelenik meg. A kék szín előidézésében feltehetőleg a színcentrumok összeolvadásának és a rácsban felhalmozódó kolloid eloszlású fémnátriumnak is szerepe lehet.

Hasonló mélykék szín észlelhető egyébként, ha folyékony ammóniában fémnátriumot oldunk fel. Ilyenkor a fém ionizálódik, a pozitív töltésű nátriumionokat és a negatív elektronokat egyaránt oldószer-molekulák veszik körül. A különlegesen nagy „üregekben" elhelyezkedő elektronok elnyelési sávja igen széles. A „közönséges" kősó azért színtelen, mert a klóratomhoz kötött elektron mély „energiagödörben ül", és így a látható fény kis energiája nem tudja gerjeszteni, vagyis kimozdítani stabil helyzetéből. Ha a színes kősódarabokat vízben feloldjuk, a varázs megszűnik, mert az oldat éppoly színtelen lesz, mintha étkezési konyhasóból készítenénk oldatot. A színcentrum okozta színek egyébként hevítéssel is megszüntethetők, ilyenkor ugyanis a rendezetlenségek kiszaladnak a kristályból, ahogyan a futószőnyegráncai is eltűnnek egy erőteljes rántás hatására.

Színes kvarcváltozatok

Jól ismert ásvány az *ametiszt*, a kvarc lila színű változata, amelyet ékkő gyanánt is szívesen használnak. A „részegségtől védő kő" sajátos színét nem a hét vegyértékű mangánionoknak köszönheti, ahogyan a régi kémiakönyvekben olvasható. A lila színárnyalat a háromértékű vasionoknak (Fe^{3+}), és az előzőekben ismertetett rácshibáknak az együttes következménye. Az ametiszt hevítésével citrin, vagyis sárga színű kvarc keletkezik, ekkor ugyanis a rácshibák eltűnnek, és marad a vasionok okozta szín. A vasszennyeződést nem tartalmazó kvarc színtelen, a rácshibával – tehát színcentrummal – rendelkező, többé-kevésbé feketés árnyalatú példányokat *füstkvarcnak* hívják. Füstkvarcot egyébként radioaktív sugárzással mesterségesen is elő lehet állítani a színtelen hegyikristályból. A jól ismert *rózsakvarc* kellemes színét szintén a színcentrum, és nem valamilyen idegen, színadó ion beépülése okozza.

A kvarcváltozatoknál maradva érdekes megvizsgálni a halványkék *kalcedont*. Az áttetsző ásvány felülről szemlélve kékes, amíg áteső fényben sárgás színt mutat, vagyis nyilvánvaló, hogy esetében nem szelektív fényabszorpcióról van szó, mint a pigmenteknél. A jelenség értelmezéséhez fel kellett deríteni a kalcedon szerkezetét. Az alapvetően szilíciumból és oxigénből felépülő kemény ásvány rostos szerkezetű, ennek köszönheti szívósságát. A finom és rendezetlen rostok egymástól mért távolsága a látható fény hullámhosszánál kisebb, így a kőbe hatoló fehér fény a részecskéken szelektív szóródást szenved: a rövid hullámú kék sugarak erősen szóródnak (vagyis visszaverődnek), míg a hosszú vörös-sárga tartomány áthalad rajta.

A szelektív szóródás jelensége okozza az ég kék színét is. Ha egyenesen a Napba nézünk, akkor a kiegészítő sárga színt látjuk, amíg mellette az égbolt kék, mely a levegő rezgő részecskéin erősen szóródó fény következménye. A lenyugvó Nap vörös árnyalatát az okozza, hogy ilyenkor a fény a légkörben hosszabb utat tesz meg, mint amikor a Nap delel, és a színképből a sárga tartomány is „kiszóródik", csak a leghosszabb hullámhosszú vörös marad meg. (A féklámpa, valamint a jelzőlámpa piros színe a párás légkörben is messziről látható, hiszen a legkevésbé szenved szóródást.) Az emberi

szem szivárványhártyájának kék színét szintén a szelektív szóródásnak köszönheti, de hasonló okokból kékes a szilva és a kökény héjának vagy a rozs szárának könnyen letörölhető viaszbevonata.

Hazánkban főként Gyöngyösoroszi környékén lehet nagyobb számban találni szép kék kalcedont, mely többnyire az élénkvörös *jáspis* üregeiben vagy felszínén helyezkedik el. A rostos szerkezet miatt a kalcedon és a hasonló szerkezetű *achátok* is jól festhetők megfelelő eljárásokkal. A természetes (festetlen) achátok többnyire szürkés-kékes színűek, az élénk barna, zöld esetleg rózsaszín árnyalatok általában a festésnek köszönhetők.

A nemesopál színei

A földkérget alkotó két leggyakoribb elemből, az oxigénből és a szilíciumból még sokféle, varázslatos szépségű ásvány épül fel. A *nemesopál* szerkezetében az említett két elemen túlmenően a víz is fontos szerepet játszik. A nemesopált forgatva a fehér vagy fekete, de mindig áttetsző-átlátszó alapból élesen elhatárolt színes foltok villannak fel. A foltok nagysága, sűrűsége, a színek intenzitása a különböző darabok esetében eltérő, ami egyébként jelentékenyen befolyásolja az adott példány értékét. Az egyes foltok színe a megfigyelés és/vagy a megvilágítás irányától függően változik. Az egymás melletti foltok színe egy bizonyos szögből nézve mindig eltér egymástól.

A nemesopál finomszerkezetét, a színek kialakulásának okát 1968-ban tisztázták az elektronmikroszkópia segítségével. Az opál szerkezetében alapvető fontosságúak azok a $[SiO_4]^{4-}$ tetraéderekből álló, 150-300 nm ($1\ nm = 10^{-9}\ m$) nagyságú gömb alakú morfológiai elemek, amelyek szabályos, szoros illeszkedésű háromdimenziós rácsot alkotnak. Az áttetsző gömbök átmérője szabja meg a szabályos elrendeződésű síkok távolságát és a fény színét, mely az opál felszínén megjelenik. A gömbök szabályosan periodikus elrendeződése miatt a szerkezet optikai rácsként viselkedik, a beeső fehér fény elhajlást (diffrakciót) szenved rajta. A fényelhajlás alapösszefüggése, a Bragg-egyenlet szerint legalább 150 nm átmérőjűeknek kell lennie a gömböknek ahhoz, hogy a legalacsonyabb hullámhosszú ibolya szín megjelenjen, amíg a 280 nm-es, vagy annál nagyobb gömbök esetében a piros szín is létrejöhet. A *tejopálban* szintén megtalálhatók a gömb alakú elemek, azonban ezek elrendeződése nem mutat olyan szabályosságot, mint a nemesopál esetében, ezért diffrakció nem lép fel, csak fényszóródás. A tejopál éppen ezért kékesfehér színt mutat. Ha a gömbök nagysága nem éri el a kritikus 150 nm-t, akkor sem jönnek létre színek, legfeljebb ultraibolya fény hatására.

Híres volt a ma Szlovákiához tartozó Cervenicában (Vörösvágás) működött opálbánya, mely az 1400-as évektől ismert volt, de már régóta kimerült. Az egyik legismertebb vörösvágási opált tartalmazó ékszer a XVI. század első feléből származó Izabella-násfa, Zápolya János feleségének volt a tulajdona, ma a Nemzeti Múzeumban látható. Nemrégiben vált ismertté, hogy Monokon is jó minőségű nemesopál található. A monoki opálok alapmátrixa szinte víztisztán átlátszó.

Színes földpátok

Ha esős időben a Moszkva téren járunk, a metró bejáratát burkoló feketés kőlapokon helyenként élénk kék foltok csillannak fel. A kék, olykor több cm-es kiterjedésű foltok bizonyos irányból szemlélve szinte világítanak. A különleges kő neve *labradorit*, és sok épület lábazatát díszíti. Keménységét leginkább olyan helyeken érzékelhetjük, ahol a padlózatot váltakozva lerakott labradorit-, illetve mészkőlapokkal burkolták. A fekete, labradoritból készült lapok felülete teljesen sík, amíg a jóval puhább fehér mészkőlapok kissé bemélyedtek a használattól. A labradorit a földkérget felépítő egyik legelterjedtebb ásványcsoporthoz, a földpátokhoz tartozik. Összetett ásvány, részben ugyanis albitot (nátrium-földpát), részben anortitot (kalcium-földpát) tartalmaz. Amikor a labradorit a magmából kikristályosodik, a két alkotó lehűléskor szételegyedik, és a kivált alkotók finom, párhuzamos lemezeket alkotnak.

A labradorit sajátos kék fényjátékát a fényinterferencia okozza, melyet a váltakozva elhelyezkedő vékony lemezek idéznek elő. A fényképezőgépen, napszemüvegen látható foncsor fémes csillogása is a vékony rétegeken kialakuló interferencia következménye, de interferencia adja a szappanbuborék és a víztócsák felületén szétterülő olajfolt színét is. A kialakuló szín a rétegek távolságától függ, a periodikus távolság többnyire a fényhullámhossz fele, illetve negyede. A szigorúan párhuzamos rétegek egyféle színt mutatnak (pl. a foncsorok esetében), amíg a változó rétegvastagság szivárványszerűen pompás mintázatot hoz létre egyes bogarak és madarak testfelszínén.

Sri Lankán hegyeket alkot egy másik, fehér színű földpát, az *adular*, egy ortoklászváltozat, melyet titokzatos kék fényjátéka miatt holdkőnek is neveznek. A domborúra csiszolt darabokon a fényjáték különösen szembeszökő. A jelenség oka szintén poliszintetikus ikerlemezesség. Az adular ortoklászt (káliumföldpát) és anortitot tartalmaz, melyek lehűléskor lemezesen szételegyedtek. Hazánkban akár 10 cm-es nagyságú fehéres ortoklászokra bukkanhatunk a Velencei-hegységben, melyek sokszor átlátszó kvarcok társaságában fordulnak elő, ezek azonban nem mutatnak fényjátékot. Földpát alkotja az egyik legelterjedtebb mélységi magmás kőzet, a gránit nagy részét is. A Velencei-hegységi gránitok vörös színét a finom eloszlású hematit (Fe_2O_3) okozza.

A gyémántok világa

Különös élményt jelent a *nyers gyémántok* tanulmányozása. A gyémánt, melyet a tehetősebbek briliáns formában birtokolnak, a természetben többnyire oktaéderes kristályként jelenik meg, de nem ritka a nyers kövek között a hatlapú kocka vagy a 12 oldalú rombdodekaéder, sőt gyakran fordulnak elő ikerkristályok is. Közismert, hogy a gyémánt mindmáig a legkeményebb ismert anyag, keménységét csupán a szintetikusan előállított, köbös szerkezetű bór-nitrid (BN) közelíti meg. A keménység a különféle kristálytani irányokban eltérő, az oktaéderlapok síkjában maximális, ezért a csiszolók által kialakított lapok mindig szöget zárnak be az oktaéderlapokkal. Nagy keménysége és szilárdsága ellenére a gyémánt viszonylag könnyen hasad (leginkább az oktaéder-, kisebb mértékben a kockalapok szerint).

Kevéssé köztudott, hogy a gyémánt szobahőmérsékleten kimagaslóan a legjobb hővezető anyag, ebből a szempontból többszörösen felülmúlja ezüstöt. A hővezetés mérésén alapul a gyémántazonosító műszer, a teszter működése. Hosszú ideig úgy tűnt, hogy a gyémánt a teszter segítségével biztosan megkülönböztethető minden más anyagtól. Az utóbbi években azonban a drágakőpiacon felbukkant a *moissanit* (szilíciumkarbid, SiC) nevű ásvány szintetikus változata, mely éppoly jól vezeti a hőt, mint nemesebb rokona, és képes „becsapni" a műszert, illetve a képzetlen vizsgálót.

A megtalált gyémántok zöme apró és szabálytalan alakú (0,5 karát, vagyis 0,1 gramm alatti), a zárványok miatt teljesen átlátszatlan, ezért ékkőként nem jön számításba. Az ilyen köveket többnyire megőrlik és csiszolópor gyanánt hasznosítják. A valamivel nagyobb és szabályos oktaéder alakú, de átlátszatlan kristályokat az iparban a használt köszörűkövek egyengetésére használják, ezek az ún. korongszabályozók. Speciális felhasználási területe az igen jó minőségű (teljesen zárvány- és feszültségmentes) köveknek a húzókőgyártás. A húzókövek

a volfrám izzószál kellő mértékű elvékonyításához szükségesek. Erre a célra többnyire rombdodekaéderes kristályokat választanak. A kívánt átmérőjű furatot lézer segítségével „fúrják" a gyémántba. A szemsebészetben ma már nélkülözhetetlenek a gyémántból készült rendkívül éles szikék.

A kibányászott gyémántoknak átlagosan csak mintegy 15 százaléka alkalmas ékszeripari célokra. Még az igen apró (0,02-0,03 ct) nagyságú köveket is megcsiszolják, hiszen ezek is jól eladhatók. A csiszolt kő a nyers kő tömegének csak többnyire 40 százalékát teszi ki, a maradék a kisebb kövek esetében veszendőbe meg, a nagyobbaknál a „felesleges részt" fűrészeléssel távolítják el, és ezt a darabot is megcsiszolják. A csiszolásnál a veszteség minimalizálásán kívül a tökéletes alak elérése a cél. Akkor tökéletes az alak, ha a gyémánt fényét és tüzét minél jobban visszaadja. Az 57 lapból álló briliánsformán kívül ma több száz csiszolási forma ismeretes.

A gyémántból csiszolt briliáns csillogását, lapjainak fényét részben annak köszönheti, hogy rendkívüli keménysége miatt a lapok tökéletesen simára polírozhatók. A nagy törésmutató folytán pedig a kőbe jutó fény jelentékeny része visszaverődik az alsó lapokról. A csiszolt gyémántok legvonzóbb optikai sajátossága a tűz, mely a színszórás (diszperzió) következménye. A briliáns a fény útjába állított prizmaként működik, mely a fényt belépéskor színeire bontja. Ekkor a látható fény rövidhullámú összetevői erősen, a hosszú hullámhosszúak gyengébben törnek, ezáltal az eltérő színű sugarak – a kő nagyságától függő mértékben – kilépéskor széttartók. A kő felszínén megjelenő sugarak a szivárvány színeiben tündökölnek, és elkápráztatják a szemlélőt. A gyémánt diszperziója igen nagy, ebben a tekintetben csak a rutil (TiO_2), a titanit (Ca–Ti-szilikát), a moissanit (SiC) és néhány szintetikus anyag előzi meg.

Az ékszergyémántok árát négy tényező szabja meg: a kő tömege, színe, zárványossága (illetve tisztasága) és csiszolásának milyensége. Az egykarátos, színtelen, tiszta és szabályosra csiszolt briliáns ára ma jelentősen meghaladja az egymillió forintot. A kissé sárga vagy barna árnyalatú kövek általában értéktelenebbek, de ha a kő színe élénk, tetszetős, vagyis fantáziaszínt mutat, akkor jóval felülmúlhatja az ideális, színtelen darabok értékét. A legmegbecsültebb szín a rózsaszín. A jó színű csiszolt kövek karátonkénti ára akár az egymillió dollárt (!) is elérheti. A rózsaszínű gyémánt jellemző előfordulási helye az ausztráliai Argyle-bánya.

Az ideális gyémántkristály teljesen átlátszó és színtelen. A látható fény energiája nem elégséges az erős kovalens kötéseket kialakító elektronok gerjesztésére. Viszonylag gyakoriak a sárga árnyalatú kövek, amelyek színüket a kristályrácsba beépült kis mennyiségű nitrogénnek köszönhetik. A nitrogénnek eggyel több elektronja van, mint a gyémántot alkotó szénatomoknak, és a „fölösleges" elektront a látható fény ibolya-, illetve kék tartománya képes gerjeszteni, és a gyémántrács vezetési sávjába juttatni. A bécsi Naturhistorisches Musem ásványtani kiállításán egy gyönyörű, átlátszó, sárga színű, 82 karátos (16,4 gramm tömegű) nyers gyémántoktaéder látható.

A bór jelenlétével hozható összefüggésbe a gyémántok esetében jóval ritkábban megjelenő kék szín. A szénhez képest elektronhiányos bór a gyémánt rácsában elektronakceptorként viselkedik, és mint ilyen, energiaszintje csak kissé magasabb a szén kötésben lévő elektronjainak szintjénél, így már a sárga fény energiája is elegendő a kötősáv elektronjainak gerjesztéséhez. Az ebbe a típusba tartozó gyémántok ráadásul nemcsak a hőt, hanem az elektromosságot is kitűnően vezetik. A legszebb kék gyémánt a híres-hírhedt zafírkék *Hope*, mely állítólag minden tulajdonosára szerencsétlenséget hozott. Ma a Smithson Múzeumban található, a Titanic fedélzetén való felbukkanása feltehetőleg a képzelet szüleménye. A zöld színű gyémántok is szerfölött ritkák, a színt a nagyobb koncentrációban előforduló nitrogénatomok éppúgy előidézhetik, mint a színcentrumok jelenléte. A rózsaszínű, barna és fekete színű kövek esetében szintén a színcentrumok jelenlétére gyanakodhatunk.

A rubin és a zafír és smaragd

A tiszta *korund* (Al_2O_3) igen kemény és színtelen anyag. A drágakőként is ismert korundváltozat, a *rubin* vörös színét a kis mennyiségű (kb. 1 százalék) krómion okozza, mely a rács felépítésében résztvevő háromértékű alumíniumionokat helyettesíti. A háromszoros pozitív töltésű krómionok (Cr^{3+}) három párosítatlan elektronnal rendelkeznek, melyek anionmentes környezetben (pl. gőz állapotban) azonos energiaszintet képviselnek. A korundban viszont minden kationt 6, kétszeres töltésű oxigénion vesz körül, melyek egy torzult oktaéder csúcsain foglalnak helyet. Az anionok erőterében a párosítatlan elektronok energiaszintje felhasad, vagyis egymáshoz közel eső energiaszintek jelennek meg, ami a könnyű gerjeszthetőséget vonja maga után. A rubin piros színe viszonylag széles hullámhossz-tartományt ölel fel, mert az elektronátmenetekhez tartozó sávok átfednek egymással.

A rubinok egy része ultraibolya fényben piros fluoreszcenciát (fénykisugárzást) mutat. Érdekes, hogy a természetes rubinok többnyire nem, vagy alig fluoreszkálnak, amíg a szintetikus változat mindig harsány, szinte világító pirosat mutat. A jelenség sötétben jól megfigyelhető a bankjegyvizsgálatnál is használatos UV-lámpa segítségével. A természetes rubinokban gyakran előforduló vasionok gyengítik, vagy kioltják a fluoreszcenciát, míg a szintetikus rubin teljesen vasmenetes, ezért erősen fluoreszkál.

A rubin jellegzetes tulajdonsága még, hogy színe függ a megfigyelés irányától, a kristálytani főtengely irányából nézve mindig teltebb a piros szín. A jelenség neve *dikroizmus* (kétszínűség), és polarizált fényben sokkal jobban érzékelhető. A dikroizmust a krómiont körülvevő oxigénatomokból álló oktaéder torzultsága okozza, ami további, finomabb felhasadást okoz az elektronok energiaszintjében. A *cordierit* (Mg–Al-szilikát) nevű ásvány dikroizmusa olyan erős, hogy szabad szemmel is látványosan érzékelhető: az egyik irányból liláskék színű kő 90 fokkal elfordítva teljesen szürkévé válik. Amíg a trigonális, hexagonális és tetragonális rendszerben kristályosodó színes ásványok kétszínűek, a rombos, monoklin és triklin rendszerűekre a trikroizmus a jellemző, azaz iránytól függően három különböző színt mutatnak. A magas szimmetriájú szabályos rendszerben kristályosodó ásványok és az amorf anyagok, mint pl. az üveg, egyáltalán nem mutatnak dikroizmust.

A *berill* (berillium–alumínium-szilikát) színtelen ásvány, hiszen – a korundhoz hasonlóan – tiszta állapotban nem tartalmaz könnyen gerjeszthető elektronokat. A *smaragd,* a berill zöld színváltozata kellemes fűzöld színét meglepő módon éppúgy a krómionoktól nyeri, mint a rubin a vörös színét. A króm a smaragdban is a hat oxigénatom által oktaéderesen körülvett alumíniumot helyettesíti, vegyértéke is három, mint a rubinban. A drámai változást a kialakuló színben a berillium és a szilícium jelenléte okozza, melyek a korundéhoz (Al_2O_3) képest csökkentik a hat oxigénből álló anionoktaéder térerejét. A csökkent térerő miatt alacsonyabb energiaszintek alakulnak ki, az elnyelt fénysugarak maximumai is a kisebb energiák felé tolódnak el. Ha a fehér fényből az alacsony energiájú (hosszú hullámhosszú) sugarak elnyelődnek, a számunkra érzékelhető kiegészítő színkeverék a rövidebb hullámhossztartományba fog esni. Így lesz a vörös színből zöld.

A korundcsoport ismert tagja a *zafír.* Sokféle színű lehet, de tipikus színe kék. A kék szín kialakulásához a titán- és a vasionok együttes jelenléte szükséges.

Ha a korund csupán titánszennyeződést tartalmaz, színtelen marad, a vasionok viszont önmagukban halványsárga színt eredményeznek. Ha a korundban mind a kétértékű vas (Fe^{2+}), mind a négy vegyértékű titán (Ti^{4+}) megtalálható, akkor észlelhető a kellemes kék szín. A jelenség magyarázata a töltésátvitel: a kétértékű vasion 4 párosítatlan elektronjából egyet átad a titánionnak, így részben Fe^{3+}, részben pedig Ti^{3+} keletkezik. Az elektron magasabb pályára juttatásához, tehát a gerjesztéséhez szükséges energiát a látható fény energiája fedezi, az elnyelt fény kiegészítő színeként pedig megjelenik a zafírkék.

Rézásványok

A két vegyértékű *réz* (Cu^{2+}) ásványai élénk kék-zöld színekben ragyognak. A megkapó színek kialakulásában többnyire a hat anionnal vagy vízmolekulával körülvett (koordinált) kétértékű réziontnak van szerepe. A réz az átmeneti fémek csoportjába tartozik, elektronkonfigurációja elemi állapotban $[Ar]d^{10}s^1$, vagyis a nemesgáz-szerkezetű lezárt héjak fölött 11 elektronja van. A kétértékű kationban a lezárt héjak felett csak 9 elektron tartózkodik, amely öt úgynevezett d-elektronpályán oszlik el. Az egyszerű és vízmentes rézvegyületek esetében az öt d-pálya azonos energiaszintet képvisel. A külső elektronok gerjesztéséhez ekkor a látható fény energiája nem elégséges, ezért az ebbe a csoportba tartozó rézvegyületek színtelenek. Ilyen anyag például a vízmentes réz-szulfát ($CuSO_4$).

Oktaéderes anionkoordináció esetén az öt d-pálya az elektronok és az anionok taszítása miatt két részre hasad, három alacsonyabb és két magasabb energiaszintű pályára, miközben a pályák összes energiája változatlan. Az anionoktól távolabb elhelyezkedő pályák képviselik az alacsony, a közelükben fekvők a magasabb energiaállapotot. Kilenc elektron és oktaéderes anionkoordináció esetén a rendszer alacsonyabb energiájú állapotot vehet fel, ha az eredetileg szabályos oktaéder megnyúlik. Ekkor mind a három alacsonyabb, mind a két magasabb energiájú pálya két-két részre hasad, vagyis összesen négy eltérő energiaszintű pálya jön létre. A három alacsonyabb energiájú pályát a 6 elektron teljesen betölti, így ebben az esetben a pályák hasadása miatti energiacsökkenés és -növekedés kiegyenlíti egymást. A két magasabb energiaszintű pályán 4 elektron számára van hely. A három megmaradt elektron közül kettő az alacsonyabb szintű pályára kerül, amíg a magasabb energiájú pályán mindössze egyetlen elektron van, vagyis az energiaállapot összességében kedvezőbb, mint a felhasadás előtt.

Az oktaéder torzulása miatt bekövetkező hasadás a Jahn–Teller-effektus. A hat anion tehát nem szabályos oktaéder, hanem tetragonális bipiramis (megnyúlt oktaéder) alakban veszi körül a réziont. A színt a felhasadt pályák közötti energiaátmenet nagysága szabja meg. Mint látható, az átmeneti fémek ionjai azért színesek, mert az anionkörnyezet hatására az eredetileg azonos energiaszintet képviselő d-pályáik felhasadnak, és olyan, egymáshoz közel eső energiaszintek jönnek létre, melyek különbsége a látható fény energiájának a nagyságrendjébe esik.

A zöld színű *malachit* és a kék színű *azurit* közeli rokonok, hiszen mindkettő bázisos rézkarbonát. Az anionkörnyezet kis eltérése a szín alapvető megváltozását eredményezi. Mindkét ásványra jellemző, hogy gyakrabban fordul elő mikrokristályos változatban, mint nagyobb egykristályok alakjában. Híres malachit- és azuritlelőhelynek számít hazánkban Rudabánya. Talán a legismertebb rézvegyület a rézgálic vagy réz-szulfát ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$), ásványként is előfordul a természetben (calcantit). A kék színű kristályok vízvesztéskor fehér porrá alakulnak, hiszen a felhasadást és ezáltal színeket eredményező sajátos anionkörnyezet megszűnik, illetve átalakul.

Szembetűnő változást tapasztalunk a kristályok aprításakor is, ekkor a szín világosodik. A jelenség oka egyrészt az, hogy az apró kristályokban a fény rövidebb utakat tesz meg, másrészt a megnövekedett felület fokozott mértékben veri vissza a fényt. A réz-szulfát vizes oldata halványkék színű. Tömény sósav hatására az oldat élénkzöld színű lesz, ammónium-hidoxid hozzáöntése viszont egy csapásra mélykék színűre varázsolja az oldatot. Mindkét változás úgy értelmezhető, hogy a réziont körülvevő vízmolekulák kloridionokra, illetve ammóniumionokra cserélődnek föl, vagyis az anionkörnyezet megváltozik.

Az előbbiekben az ásványok színeinek legfontosabb okait igyekeztem bemutatni. Amíg a szelektív abszorpcióért felelős színes ionok szerepe köztudott (zöld nikkelásványok, kék rézásványok, sárga és vörös vasásványok stb.), a színcentrumok, a fényszóródáson alapuló kék színek vagy a töltésátvitel jóval kevésbé ismert fogalmak. Az ásványvilág színgazdagsága semmivel sem marad el a virágok vagy a madarak színpompájától, de a színeket előidéző okok változatosabbak és többnyire eltérnek az utóbbiakétól, mégis létezik néhány közös ok. Ilyenek például az úgynevezett fizikai színek, mint a fényelhajlás a nemesopálnál, illetve a fényintererencia a földpátok egy részénél, mely jelenségek a bogarak, lepkék, madarak körében is ismertek.

Az ásványok színeinek kialakításában sokszor több ok egyidejűleg játszik közre, mint például az ametiszt esetében, ahol a lila szín részben egy átmenetifémion, részben a színcentrum jelenlétének köszönhető. Egy-egy színt előidéző tényező a különféle ásványokban olykor eltérő színeket hoz létre a körülményektől függően, mint a háromértékű krómion (Cr^{3+}), mely a rubint pirosra, a smaragdot zöldre festi. A számunkra jelentős színbeli különbség magyarázata az anionkörnyezet viszonylag csekély eltérésében rejlik. Érdekes, hogy egy adott szín igen eltérő eredetű lehet. Kék szín például létrejöhet színes ionok, mint a Fe^{2+} vagy Cu^{2+} jelenlétében, de keletkezhet töltésátvitel révén is, mint a zafír esetében. A kék kősó és a kék fluorit színét a színcentrum jelenléte eredményezi. A nemesopál kék foltját fényelhajlás okozza, amíg a kalcedon kékje a szelektív fényszóródás következménye. A labradorit az interferenciától kék, amíg a csiszolt briliáns színes spektrumában megcsillanó kék a színszórás (diszperzió) hatására alakul ki.

E SZÁMUNK SZERZŐI

DR. BENCZE GYULA, fizikus, KFKI RMKI, Budapest; DR. CSABA GYÖRGY emeritus professzor, Semmelweis Egyetem Genetikai, Sejt- és Immunbiológiai Intézet, Budapest; DR. DARVAS GYÖRGY fizikus, filozófus, tud. főmunkatárs, MTA Kutatásszervezési Intézet, Budapest; DR. GESZTI TAMÁS tszv. egyetemi tanár, ELTE komplex rendszerek fizikája tanszék, Budapest; DR. GRÉTSY LÁSZLÓ nyelvész, Budapest; DR. HRASKÓ PÉTER, a fizikai tudomány kandidátusa, Pécsi Tudományegyetem, Pécs; KAPITÁNY KATALIN szerkesztő, Természet Világa, Budapest; DR. KÉTYI IVÁN egyetemi tanár, Pécsi Tudományegyetem, Általános Orvostudományi, Orvosi Mikrobiológiai és Immunitástani Intézet, Pécs; DR. LADÁNYI LÁSZLÓ, a kémiai tudomány kandidátusa, BME-OMIKK, Budapest; DR. MADAS EDIT, az MTA doktora, az MTA-OSZK Fragmenta codicum kutatócsoport vezetője, Budapest; DR. SCHILLER RÓBERT, a kémiai tudományok doktora, KFKI, Budapest; SILBERER VERA szerkesztő, Természet Világa, Budapest; STAAR GYULA főszerkesztő, Természet Világa, Budapest; DR. SZABAD JÁNOS fejlődésgenetikus, Szegedi Tudományegyetem, Szeged; DR. SZÉL GYŐZŐ főmuzeológus, PhD, Magyar Természettudományi Múzeum Állattár, Budapest; DR. SZUNYOGH ISTVÁN meteorológus, kandidátus, Maryland Egyetem, Amerikai Egyesült Államok; DR. VERESS MÁRTON főigazgató-helyettes, Berzsenyi Dániel Főiskola, Szombathely.