

Vívógázként héliumot és nitrogént használnak az általános gyakorlatban. Detektorgázként szénhidrogénmentes levegőt, H₂, N₂, Ar, He-t használnak. A többi kromatográfiás eljárással szemben az inert vívógáz nem lép kölcsönhatásba a mintával.

A gázkromatográfban (GC) működés közben állandóan áramlik a vívógáz, amely képes a gőz állapotú komponenseket amelyeket egy adott pillanatban a mintaadagolóba juttatunk és elpárologtatunk – áthajtani az oszlopon (mely az elválasztást végzi), és eljuttatni az oszlop végéhez csatlakozó detektorba. Az injektálás történhet kézzel, mikroliterfecskendő segítségével, vagy automata injektorral. A következő fázisban történik a minta elpárologtatása. Ezután a vívógáz a beadagolt mintát bejuttatja az oszlopra. Az oszlop detektor jelzi a szétválasztott komponenseket valamilyen fizikai vagy kémiai tulajdonságuk mérésével. Leggyakrabban alkalmazott detektortípusok: lángionizációs detektor, hővezetőképesség-mérő detektor és az elektronbefogási detektor. A folyadék-oszlopkromatográfiáról és más, gyakran használt elválasztási módszerekről a következő számban olvashattok.

Forrásanyag:

- [1] CRC Handbook of Chromatography Volume II. CRC Press, Cleveland, Ohio 1972
- [2] Erdey László, Mázor László, Analitikai kézikönyv. Műszaki kk. 1974.

Nagy Botond

Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kémia Kar

Miért kék az ég? Napfelkelte a laboratóriumban

II. rész

A felhők fehér színe

Amennyiben nem teljesül a Rayleigh-szórásra kiírt feltétel és a közegbeli inhomogenitások (szórócentrumok) mérete a fény hullámhosszával körülbelül azonos nagyságrendű, vagy nagyobb, a Rayleigh-képlet már nem írja le jól a fény szóródást. Ebben az esetben általában Mie-szóródásról beszélünk. Gustav Mie (1869 – 1957), német fizikus dolgozta ki a fény szóródás általános elméletét, tanulmányozta a szórt fény erősségének változását gömb alakú inhomogenitások méretének függvényében. Elmélete érvényes tetszőleges méretű gömbökre, de rendkívül bonyolult számítások elvégzését követeli meg. Ha a részecskeméret a szóródó fény hullámhosszánál jóval kisebb (kisebb, mint a hullámhossz egy tizede), a Mie-elméletből a Rayleigh-szórás eredményeit kapjuk vissza, míg ha megegyező nagyságú, a szóródás változatlanul hullámhosszfüggő, de már nem annyira, mint a Rayleigh-szórásnál (a szórt fény intenzitása a hullámhossz második hatványával áll fordított arányban). Végül nagy részecskeméret esetében megszűnik a fény szórás hullámhosszfüggése, az eredetileg fehér fény ebben a tartományban diffúzan fehérén szóródik, innen nevezik ezt az intervallumot „fehér” szórási tartománynak.

Könnyen figyelhetjük meg egyszerre a kékes színt okozó Rayleigh-szórást és a hullámhosszfüggetlen fehér szórást. Egy égő cigaretta parázsló végéből kék füst száll fel, míg a kifújt füst fehérén színezetű. A cigaretta izzó végéből felszálló füst kékes színt a Rayleigh-szórás okozza, mivel ezek a füstszemcsék a fény hullámhosszánál jóval

kisebb méretűek. A cigarettán át szívott, majd kilehelt füstben a szemcsék összetapadnak, így olyan méretűek lesznek, hogy rajtuk a fény fehéren szóródik.

A felhők fehér színe szintén fehér szórás eredménye. A felhők apró vízcseppekből, illetve jégkristályokból állnak össze. A felhőképződés oka, hogy a meleg levegő felemelkedve gyorsan lehűl. A levegő többnyire mindig tartalmaz több-kevesebb gáz halmazállapotú nedvességet, vízgőzt, amely a lehülés következtében kicsapódik a levegőben lebegő kis porszemcséken (kondenzmagvakon). Az így létrejött vízcseppek, jégkristályok olyan mérettartományba esnek, hogy rajtuk a fény hullámhosszfüggetlenül szóródik, fehér színérzetet keltve.

A felhők létrehozásához kapcsolódik egy viszonylag gyakori égi jelenség, a Tyndall-sugarak megjelenése. Gomolyfelhős időben (gomolyfelhő – a leggyakoribb felhőforma, felfelé áramló légmozgás hozza létre, 600-1200 m magasban) figyelhető meg, hogy a felhő Nappal ellentétes oldalán legyezőszerűen világos és sötét színű sávok váltakoznak. Magyarán, hogy a felhő által árnyékolt területekről nem érkezik hozzánk szórt fény, így ott sötétebb sávokat látunk, míg ahová a fény akadálytalanul jut el, ott világosabb sávok jelennek meg. Ha a Nap már a horizont alatt tartózkodik, az ún. alkonyati sugarakat (crepuscular rays) figyelhetjük meg. Magyarán, megegyezik a Tyndall-jelenségével, de érdekességük, hogy bár valójában teljesen párhuzamosak, a sugarakat szétartóaknak látjuk, éppúgy mint a párhuzamos vasúti síneket, amikor nagy távolságig követjük őket a szemünkkel.

Felhőhöz hasonlóan fehér a nagy magasságban haladó repülőek kondenzcsíkja. A kondenzcsík nem más, mint felhő, csak létrejöttét az emberi tevékenység segíti elő. Míg a felhők esetében a levegő páratartalmának kicsapódását (kondenzálódását) – vízcseppé, illetve jégkristályá alakulását – a felemelkedő levegő gyors lehülése váltja ki, a kondenzcsíkoknál ezt repülőgépek szolgáltatott kondenzmagvak segítik. A repülőgépek hajtóműveiből kiáramló égéstermék a légkörben lévő vízpára számára kondenzációs magvakként szolgálnak. Ha a repülési magasságban kellő mennyiségű vízpára van jelen, akkor a kis, mikrométerű szemcsékre, amelyek a repülőgépből kiáramlanak, ez a vízpára kicsapódik, kifagy. Ez szórja aztán a fényt, és így látszik a fehér csík a repülőek mögött. Hasonló elven működik az ionizáló sugarak kimutatására szolgáló ködkamra (Wilson-kamra) is.

Infravörös sugarak szóródása

Az infravörös sugarak a 780 nm-től az 1 mm-ig terjedő hullámhosszúságú, William Herschel (1738-1822), angol csillagász által 1800-ban felfedezett, szemmel nem érzékelhető elektromágneses sugarak. Az infravörös fény egyik legszembetűnőbb tulajdonsága, hogy sugarai még a párás levegőben is megtartják irányukat, ugyanis nagyobb hullámhosszúságuknak köszönhetően alig szóródnak a vízpárakon. Ezért a távoli, szürkeségbe vesző objektumok is tisztán, élesen látszanak infravörös fényben. Ezt használják ki a katonai alkalmazásoknál (infravörös távcsövek, kamerák, célzóeszközök), a térképészetben, a geodéziában.

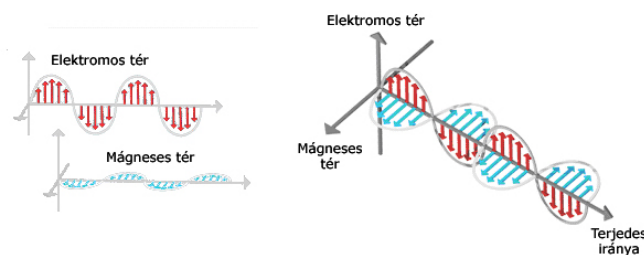
Érdeemes felhívni a figyelmet az infravörösben készült fényképek néhány sajátosságára. Fényképezéshez olyan szűrőt használva, amely csak az infravörös sugarakat engedi át (infravörös szűrő), az infravörös sugarakra érzékeny filmről, mint negatívról készített pozitív másolaton a felhők fehérek, míg a derült égbolt feketén jelenik meg. A magyarázat egyszerű. Mint láttuk, a derült ég nappali fénye a Naptól jövő, a levegő molekuláin Rayleigh-szórásnak kitett sugarakból áll. Mivel a nagyobb hullámhosszúságú infravörös sugarak kevésbé szóródnak, az égboltn fényben infravörös sugarak alig fordulnak elő. Az infravörös felvételen ezért sötét az ég. A felhők világosságát viszont az

okozza, hogy a felhőkben a sugárzást szóró részecskék még az infravörös fény hullámhosszánál is nagyobbak. Ezeken az infravörös sugarak is szóródnak (hullámhossz-független szórás). Így a felhők bőven irányítanak a fényképezőgép objektívjéhez infravörös sugarakat is. Az infravörös szűrő a látható sugarakat nem engedi a filmre, ezért míg a derült ég a pozitív felvételen sötét, addig a felhők világosak. Hasonló a magyarázata annak is, hogy infravörösben készült tájképeken a derült ég mellett a vízfelületek is sötétek, míg a zöld lombok és füves felületek hőszerűen fehérek.

A légkör fényének polarizációja

Röviden meg kell említenünk a Rayleigh-szórás egy másik fontos jellegzetességét is, amely kihatással van az élővilág egy részének a viselkedésére. Ez a szórt fény polarizációja.

Az eddigiek során, bár tudtuk azt, hogy az elektromos és mágneses térerősségek vektormennyiségek, tehát irányuk és irányításuk van, nem törődtünk e terek rezgéseinek irányával. A James Clark Maxwell (1831-1879) által kidolgozott elektromágneses fényelmélet szerint az elektromágneses hullámok transzverzális hullámok, ami azt jelenti, hogy az egymásra merőleges elektromos és mágneses térerősségek a fény terjedési irányára merőleges síkban fekszenek, végzik rezgéseiket (3. ábra). Kísérletileg is kimutatható, de elméletileg is igazolható, hogy a fényjelenségekért az elektromos térerősségvektor a felelős, ezért is szokták a fényhullám elektromos térerősségvektorát fényvektornak nevezni, míg a fény rezgésirányán a fényvektor rezgésirányát értjük.



3. ábra. A transzverzális elektromágneses hullám

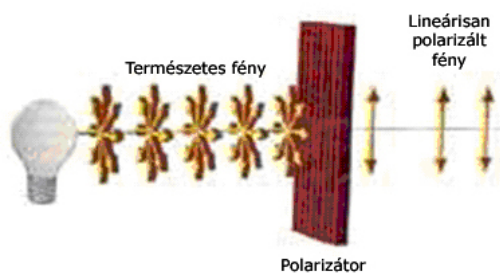
A fényt a fényvektor rezgésiránya szerint is osztályozhatjuk. Ha a fény rezgésiránya állandóan ugyanazon a terjedési irányon keresztülfektetett síkban van, *síkban* vagy *lineárisan polarizált* (poláros) fényről beszélünk. Ekkor a terjedés során a fényvektor nagysága igen, de rezgésiránya nem változik meg (3. ábra). Bonyolultabb szabályossággal is találkozhatunk. Ha a fényvektor végpontja a terjedés egy helyén egyenletes körmozgást végez, *cirkulárisan poláros* (polarizált), míg ha a fényvektor végpontja ellipszist ír le, *elliptikusan poláros* fényről beszélünk.

Hagyományos fényforrásaink, (ha nincsenek külső elektromos vagy mágneses térnek kitéve, a fénykibocsátás mechanizmusának bonyolult volta miatt, amelynek leírására mi eddig egy eléggé leegyszerűsített modellt használtunk, – a folytonosan rezgő elektromos dipólust) időben állandóan változó, különböző rezgésirányú, egymástól független, véges hosszúságú hullámvonulatokat bocsátanak ki. Így ezen fényforrások által kibocsátott fényben a fényvektor rezgésiránya pillanatról pillanatra véletlenszerűen változik, minden iránynak egyenlő a gyakorisága, a valószínűsége. Az ilyen fényt *természetes* fénynek nevezük.

A gyakorlatban legtöbbször azt tapasztaljuk, hogy a fénysugarak nem tökéletesen polarizáltak, de minden rezgésirány sem fordul elő egyenlő valószínűséggel. Lehetséges, hogy valamely rezgésirány kiemelkedő gyakorisággal fordul elő, amíg az összes többi irány gyakorisága ennél kisebb, de a véletlenszerűség megmarad. Az ilyen fény elnevezése *részlegesen (parciálisan)* poláros.

Alkalmas berendezéssel, természetes vagy részlegesen polarizált fény rezgéssíkjai közül kiválaszthatunk egyet, lineárisan polarizált fényt állítva elő. Az ilyen eszközöket *polarizátoroknak* nevezzük (4. ábra). Nyilvánvaló, hogy ugyanaz a berendezés felhasználható egy fénysugár polarizációs állapotának meghatározására is. Ilyenkor elnevezése *analizátor*. Amikor egy polarizátort analizátorként használunk, annyit kell tennünk csak, hogy a fénynyalábot átengedjük a polarizátoron, majd ezt a nyaláb irányára merőleges síkban forgatni kezdjük. Ha a nyaláb lineárisan polarizált, nem tud keresztülmenni analizátorunkon, amikor ennek áteresztési iránya merőleges a polarizáció irányára. Ha ebből a helyzetből 90° -kal elforgatjuk, az áteresztett nyaláb csak igen kis gyengülést mutat (az elkerülhetetlen fényelnyelés miatt). Tovább folytatva a forgatást, 180° -nál újból kioltást, majd 270° -nál megint kis intenzitás-gyengülést mutató nyalábot kapunk. Végül, ha a kilépő fény intenzitása az analizátor helyzetétől független, a belépő nyaláb vagy körösen polarizált, vagy fénye természetes fény. Ha nem kapunk teljes kioltást a forgatás során, a fénynyaláb vagy elliptikusan polarizált, vagy részlegesen.

A polarizátorok elkészítésének ma leginkább alkalmazott eljárása a *dikroizmus* jelenségét használja fel. A dikroizmus lényege, hogy néhány anyag elnyelési tulajdonsága különböző irányokban lineárisan polarizált fényre más és más. Vegyünk egy olyan anyagot, amely hosszú molekulákból áll (tétélezzük fel, hogy a molekula szivar alakú), és ezek hosszanti tengelyükkel párhuzamosan helyezkednek el.



4. ábra

Lineárisan polarizált fény előállítás a természetes fényből

Mi történik, amikor az oszcilláló elektromos tér ilyen anyagon halad keresztül? A molekulaszervezet következtében az elektronok sokkal könnyebben reagálnak a hosszteneggel párhuzamos kényszerítő erő hatására, mint arra az elektromos térre, amely a molekulatengelyre merőleges irányban mozgatná őket. Ennek következtében a beléjük lépő fénysugarat kettéválasztják. A keletkezett két sugár mindegyike lineárisan polarizált, rezgésük iránya egymásra merőleges. Amikor a polarizáció olyan, hogy a fényvektor rezgési iránya a molekulatengely irányával egyezik meg, más lesz az elnyelődés, mint amikor a polarizáció merőleges. Vannak olyan anyagok, amelyeknél a két iránynak megfelelő elnyelődési állandók nagyon nagy mértékben különböznek egymástól. Ilyen a turmalin, az ékszerészek által gyakran használt féldrágakő. Ennek 1 mm vastag rétege az egyik irányú rezgést teljes mértékben elnyeli. Jellegzetes dikroikus kristály a herapatit (perjód-kinin-szulfát), melyet a *polaroid* elnevezésű polarizátor elkészítésére használnak. A túszerű kristálykákat hosszú láncmolekulákból álló, egyirányba kihúzott műanyagfólia molekulái közé kristályosítják, majd a polarizáló fóliát a mechanikai szilárdság végett két műanyag lap közé ágyazzák be. Jó minőségű polaroid szűrőket készítenek melegen

nyújtott polivinil-alkoholból, vagy polivinil-kloridból is. A nyújtás következtében a gubancos láncmolekulák megnyúlnak és közel párhuzamosan rendeződnek. Az így rendezetté vált molekulaláncba jódot juttatnak, amely dikroizmust idéz elő. Végül a hajlékony lapot átlátszó, vékony üveg vagy műanyag védőfóliák közé fogják be.

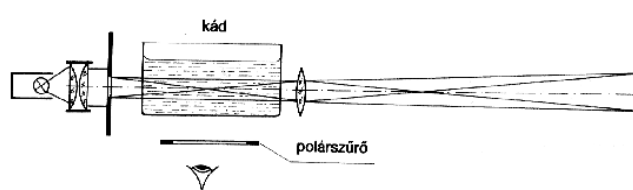
A Rayleigh-szórásra jellemző, hogy a szóródott fény polarizációs állapota eltér a beeső fényétől. A beesési irányra merőleges irányban szórt fény (90° -os szórás) lineárisan polarizált, fényvektora a beeső fénysugár és a szóródási irány által meghatározott szóródási síkra merőlegesen rezeg. A 0° -os és 180° -os irányokba szórt fény természetes, míg az ezektől eltérő irányokban részlegesen polarizált fényrel találkozunk. A Rayleigh-szórás ezen jellegzetessége következtében várható, hogy az égbolt szórt fénye is polarizált legyen. Az égboltfény polarizációját Dominique Francois Jean Arago (1786-1853), francia fizikus már 1809-ben megfigyelte, a Rayleigh-elmélet megszületése előtt. Hamarosan egy egyszerű kézi polarizálóval föl is térképezte a polarizáció mértékének eloszlását az égbolton.

Az ég polarizációjának fontos szerepe van egyes élőlények, mint a háziméh, sivatagi hangyák, mezei tücsökök, májusi cserebogár, sőt néhány polarizációérzékeny vándormadár tájékozódásában. Az állatok navigációja szempontjából nagyon fontos, hogy az égbolt polarizációirány-mintázata szinte minden meteorológiai körülmény között hasonló, jellegzetes szimmetria tulajdonságokkal rendelkezik. Ennek köszönhető, hogy a polarizációérzékeny állatok még akkor is meghatározhatják a Nap irányát, amikor azt felhő vagy köd takarja, ugyanis a tiszta, a részben felhős, a teljesen borult és a ködös égbolt a Nappal együtt forgó polarizációs mintázattal rendelkezik.

Napfelkelte a laboratóriumban

Laboratóriumi körülmények között is lehetséges modellezni az égbolt kék, valamint a felkelő (lenyugvó) Nap vörös-sárga színét. Ehhez kondenzorlencsével előállított közel párhuzamos fénynyalábbal egy 2-3 cm átmérőjű rekeszt világítunk meg. Helyezzünk a tovahaladó fénysugarak útjába egy 25 - 30 cm hosszú és 10×10 mm keresztmetszetű üvegekádát. Képezzük le a blendét egy $f = 20$ cm gyújtótávolságú lencsével egy ernyőre. A kísérlet elvi vázlata az 5. ábrán látható, míg a berendezés képe a 6. ábrán.

A kádat tiszta, buborékmentes (forralt) vízzel töltjük meg. Oldalról nézve az üvegekádra, a nyaláb útja nem látható. Az ernyőn a blende képe változatlan, egyenletesen fehér marad. Cseppentsünk a vízbe néhány csepp alkoholos masztix-gyantaoldatot. A vízben keletkező apró, szabad szemmel nem látható gyantagömbökön a fény szóródik, így a nyaláb oldalirányból láthatóvá válik. Oldalról vagy fentről nézve a szórt fény színe kékesfehér lesz, ugyanakkor az ernyőn látható fényfolt sárgásfehérré válik, összhangban az elmélettel, mely szerint a kék sokkal jobban szóródik, mint a vörös, utóbbiból több marad a nyalábban. Növeljük a továbbiakban a gyantacseppek koncentrációját. Jól meg lehet figyelni, hogy a rövid hullámhosszak kiszóródása fokozódik, és ugyanakkor a rés képe előbb narancsszínű, majd vörös lesz. A kísérlet jól modellezi az égbolt kék színének és a lenyugvó (felkelő) Nap vörös fényének létrejöttét. Polárszűrőn át vizsgálva a merőlegesen szórt fényt, a szűrőt forgatva az tapasztalható, hogy a szórási síkra merőleges áteresztési iránynál a szűrő világos, míg 90° -kal elforgatva majdnem tökéletes kioltás figyelhető meg. Az üvegekádban található fényszóró folyadék szintjének változtatásával jól lehet modellezni a megfigyelési ernyőn látható blendekép megvilágított részének fokozatos növekedésével (csökkenésével) a felkelő (lenyugvó) Napot is.



5. ábra
A modellkísérlet elvi vázolata



6. ábra
A kísérleti berendezés fényképe

Követhetjük a szórócentrumok méretének hatását a szórt fényre, ha a fenti kísérletet nátrium-tioszulfát ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ – fixirsó) felhasználásával végezzük el. Ha a nátrium-tioszulfát vizes oldatához kénsavat adunk, tiokénsav keletkezik, mely elbomlik és finom eloszlású kén válik szabaddá. A mikroszkópikus kénatomok néhány percen belül kialakulnak, és szórják az így keletkezett kénszuszpenzió átbocsátott fényt. A fényszóródás megjelenését nagy mértékben befolyásolja milyen mennyiségű nátriumtioszulfátot és kénsavat használunk, illetve a hőmérséklet. Jó eredmények érhetőek el, ha 2,5 l desztillált vízben 20g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -ot oldunk fel, majd ehhez 4 ml 1%-os kénsavoldatot adagolunk. Ekkor indul be a reakció a leghamarabb. Ameddig a nátriumtioszulfát oldathoz nem adunk kénsavat, a kád teljesen átlátszó. Körülbelül 3 perc múlva oldalról nézve halványkék sugár jelenik meg, melynek környéke fokozatosan megy át világoskékbe, ugyanakkor a blende képe a megfigyelési ernyőn sárga, narancssárga és végül piros lesz. Néhány perc után az oldat zavarossá válik, bekövetkezik a fehér szórás a kénatomok diffúziójának következtében kialakuló nagyméretű szemcséknek köszönhetően.

A kísérlet elvégezhető a masztix gyantánál olcsóbb gyantákkal is, illetve más anyagokkal (pl tej, szappanoldat, kávéfehérítő stb). Jó eredmények kaphatók a kevésbé drága gyanták alkoholos oldatával is, de ehhez az szükséges, hogy kisebb mennyiségű, előzőleg felforralt, majd lehűtött vízbe néhány csepp alkoholos gyantaoldatot csepegtessünk, majd ezt szűrjük meg nagyon finom áteresztésű szűrővel, és azután tegyünk néhány cseppet a felforralt vizet tartalmazó üveggádba. Szintén felhasználható az előzőleg forró vízben feloldott, majd lehűtött kávéfehérítő is. Ezen anyagok esetében azonban nem érhető el az előzőekben megfigyelhető látványosság.

Karácsony János