

SUFNILABOR



Szerkesztő: Kóczán György és Zagyi Péter

Az elmélet elmélet, és azt a kísérlet
eredményeivel fennálló egyezés igazolja,
akár tetszik nekünk, akár nem.

(George Gamow)

Minden feltevés egy-egy alvó szépség,
mely a hercegre vár, hogy felébressze.
És a herceg az a kísérlet.

(Carl Djerassi)

Kristályosítás

Ha valamit megértünk azt mondjuk, kristálytisztá. Nem véletlenül, a kristályok szabályos szerkezetébe ugyanis a szennyezők nem tudnak beépülni, így a kristályok szinte minden esetben csak egyféle vegyületből állnak, azaz tiszták, tisztábbak nem is lehetnének. A kémia hajnalán a kristályosítás módszere volt a választóvonal, ami a keverékek és a kémiailag egységes anyagok között húzódott.

Máig, a preparatív kémiával foglalkozó vegyész (aki új vegyületeket állít elő) munkaidejének oroszlánrészét az anyagok kristályosítással történő tisztítása teszi ki. Egy sufni vegyész számára is ez az egyik legfontosabb elsajátítandó kémiai ismeret.

A kristályok nemcsak hasznosak, de sok szépség, és izgalmas jelenség is kapcsolódik hozzájuk.

Kezdjünk neki!

Szerezzünk be bóraxot vagy timsót. A bórax a bórsav kristályvíztartalmú, bonyolult szerkezetű nátriumsója. A timsó egy kettős só: kristályvíztartalmú kálium-alumínium-szulfát. Mindkét anyagot háztartási

boltban, vagy borászati szaküzletben tudjuk beszerezni. E két vegyület híres arról, hogy nagyon könnyen lehet belőlük látványos, nagyméretű kristályokat készíteni.

Figyelem! Egy nagyon fontos dolgot kell mindjárt a legelején tisztáznunk. A vegyészkedés veszélyes. Nem annyira, mint a síelés, de vannak bizonyos szabályok, amiket minden körülmények között be kell tartani. Ebben a rovatban természetesen csak biztonságos, azaz olyan kísérletekről lesz szó, amiket különösebb ismeretek nélkül bárki nyugodtan elvégezhet. A veszélyeket, és az azok elhárításához szükséges intézkedéseket minden esetben leírjuk.

Az egyik legfontosabb szabály, hogy a vegyszereket minden esetben egyértelműen feliratozott edényekben (műanyag flakonokban, dobozokban) kell tárolni, egy elkülönített, zárható helyen. Tilos a vegyszereket zacskóban, pláne élelmiszeres üvegben tartani. Fontos, hogy még véletlenül se keveredhessen össze vegyszer valami háztartásban használt anyaggal, ne férjen hozzá kistestvérünk. Keressünk egy zárható szekrényt, és tartsuk magunknál a kulcsot.

A munka végeztével mindig mossunk alaposan kezet. A munkához használt eszközöket is tartsuk elkülönítve, vigyázzunk, nehogy egy általunk használt fazék a konyhaeszközök közé keveredjen. És természetesen munka végeztével gondosan takarítsunk el és mosogassunk el magunk után.

Hogyan keletkeznek a kristályok? Úgy, hogy az anyag telített oldata átmenetileg túltelítetté válik, azaz egy kicsit nagyobb lesz az oldott anyag koncentrációja, mint amennyit az oldhatóság megengedne, és ilyenkor a "felesleg" kiválik az oldatból. Ha a folyamat lassú, akkor nagy kristályok keletkeznek, ugyanis az anyagok hajlamosak a már meglévő kristályok felületén kiválni, és nem pl. az üvegedényre lerakódni. Így a kristályok egyre nagyobbak lesznek.

Tehát a kristályosításhoz túltelített oldatra van szükségünk. Hogyan tudunk ilyet létrehozni? A legegyszerűbb úgy, hogy hagyjuk elpárologni az oldószert.

Próbáljuk ki! Egy kis pohárban oldjunk fel bóraxból vagy timsóból egy keveset pár kanál vízben. Használhatunk persze más kristályos anyagot, cukrot, konyhasót, C-vitamint. Keressünk egy lapos edényt, megfelel egy régi tányér, vagy egy „ételfutáros” műanyag doboz teteje. Öntsük ki rá az oldatunkat, és tegyük a tálat meleg helyre. Pár óra alatt elpárolog a víz, és a betöményedő oldatból szép kristályok válnak ki. Érdeemes a kristályokat nagyító (esetleg mikroszkóp) alatt vizsgálni. Figyeljük meg, hogy a kristályok alakja minden esetben hasonló, és jellemző az adott anyagra¹.

Ezzel a módszerrel természetesen nehéz nagyobb mennyiségű kristályt nyerni, hisz nehéz lenne kivárni, hogy egy vödör víz elpárologjon². Ha nagyobb mennyiségű anyagot kívánunk átkristályosítani, akkor más módszert kell alkalmaznunk.

Átkristályosításnak nevezzük az olyan eljárást, amikor egy már kristályos anyagot feloldunk, majd újra kristályos formában nyerjük vissza. Látszólag a dolognak nem túl sok értelme van, de mivel ilyenkor a szennyezők vagy fel se oldódnak, vagy később nem válnak ki, az anyagot általában jóval tisztább formában kapjuk vissza. Mi most nem megtisztítani akarjuk az anyagunkat, csak nagyobb kristályokat szeretnénk kapni.

Hogyan tudunk tehát az oldószer elpárologtatása nélkül túltelített oldatot kapni? Mindenki végzett már számítási feladatot, ami erről szólt: kihasználjuk, hogy a hőmérséklet növelésével az anyagok oldhatósága általában nő (nem minden esetben, majd látunk rá példát). A két választott anyagunk esetén ez különösen így van – ezt mutatja az 1. táblázat.

Tehát a megoldás az, hogy melegen telített oldatot kell készítenünk, és azt hagyni lassan kihűlni, így túltelítetté válni.

¹ Ez egy nagyon fontos felfedezése volt a kémiának. Végül a kristályok vizsgálata vezetett el oda, hogy vegyész őseink felismerték, hogy az anyagok atomokból állnak.

² Bár nekünk nincs erre időnk, földtörténeti mércével mérve akár egy tenger elpárolgását is ki lehet várni. Így jöttek létre például a sóbányák hatalmas, földalatti sótömbjei.

	bórax	timsó
0 °C	1,3	3,9
20 °C	2,5	5,2
40 °C	6,0	10,0
60 °C	14,9	26,3
80 °C	19,9	69,9
100 °C	28,0	166

1. táblázat. A bórax és a timsó oldhatósága vízben (g/100 g víz egységben, a vízmentes anyagra vonatkozóan)

Keressünk egy lehetőleg rozsdamentes vagy zománcos edényt, és egy kevés (pl. 1 dl) vízben melegítés közben oldjuk fel a bóraxot, vagy a timsót. A sót lassan, kis részletekben adagoljuk, akkor adjuk a következő adagot, amikor az előző rész már feloldódott. A végén marad egy kis oldatlan rész, adjunk az oldathoz pár csepp vizet, így ez is feloldódik. Ha van mérlegünk és egy konyhai hőmérőnk, akkor mindjárt ellenőrizhetjük is az oldhatósági táblázat adatait.

Bűvészkedünk

Nem volna egyszerűbb, ha melegítés nélkül forró vízben oldanánk az anyagunkat? Próbáljuk ki! Meglepve tapasztaljuk, hogy a forró víz a bórax vagy a timsó hatására nagyon gyorsan kihűl, így nem kapunk forróan telített oldatot. Ha a sókat hideg vízben oldjuk, akkor rá is jövünk, hogy mi a jelenség magyarázata: a kristályvizes sók oldódása általában endoterm, azaz hőelvonással, lehűléssel jár (és mindkét választott anyagunk kristályvizet tartalmaz). Ez a lehűlés egy kémiai bűvészmutatványban is kihasználható: tegyünk egy lombikba vizet, és tegyünk bele sok, jól oldódó kristályvizes sót, pl. nátrium-acetátot. Kezdjük el az üveget látványosan, pl. nagy lánggal (vagy modernebbül és biztonságosabban egy hőlégfúvó segítségével) melegíteni. Jó pár perc múlva, ha megfogjuk az edényt, azt várva, hogy forró lesz, meglepve tapasztaljuk, hogy csak éppen langyos (épp, mint az egy gyűrű). A só ugyanis oldódik, és elvonja a melegítéssel közölt hőt. A dolog természetesen fordítva is működik. Ha egy ilyen tömény oldatot végül felmelegítünk és félretesszük, akkor meg kihűlni nem akar: a csökkenő hőmérséklet hatására só válik ki, ami exoterm folyamat, melegíti az oldatot.

Kristályosítunk

Ha elkészült a forró, telített oldatunk, akkor tegyük félre, és hagyjuk lassan kihűlni. A kristályosodás lassú folyamat: több órára, esetleg pár napra is szükség van, hogy szép, látványos kristályokat kapjunk³.

Ha sikerül a kísérlet, több centiméteres, átlátszó kristályokat kapunk, amikről az oldatot (a vegyészek „anyalúg”-nak nevezik) leönthetjük, a kristályokat egy kis papírtörlővel szép fényesre törölhetjük.

A kísérlet azonban még korántsem ért véget! Gondoljuk meg, az anyalúg is tartalmaz még egy csomó sót, ne hagyjuk kárba veszni! Mit tehetünk? Természetesen a legegyszerűbb, ha csak félretesszük, és hagyjuk, hogy a víz lassan elpárologjon: végül visszamarad a kiindulási anyagunk.

A másik fontos megfigyelni valóhoz meg kell keményíteni szívünket, és a nehezen előállított szép nagy kristályunkra rá kell csapni egy kalapáccsal: figyeljük meg, hogy az összetört kristályok alakja, még a legkisebb szilánkoké is mennyire hasonlít a nagy kristályéra. Nem véletlen: a kristályokban az atomok (esetünkben ionok) rendezetten sorakoznak, aminek következtében minden kristály csak bizonyos irányokban tud elhasadni⁴. Ha törik a kristály, végül hasonló alakú (azonos oldalszögekkel rendelkező) kisebb kristályokat kapunk. Igen, így jöttünk rá arra, hogy léteznek az atomok.

Pár napig-hétig tudunk a szép kristályainkkal villogni, aztán meglepve tapasztaljuk, hogy a korábban szép, üvegszerűen átlátszó kristályok fehérré, átlátszatlaná válnak. Mi a magyarázat? Természetesen az, hogy a száraz levegőn az anyag kristályvíz-tartalmának egy része lassan elpárolog. A kristályvíz-mentes anyag pedig más kristályformában kristályosodik, a szép nagy (és ezért átlátszó) kristály feltöredezik,

³ Ez a valós életben is így van: a vegyészeknek sokszor okoz gondot, hogy egy újonnan előállított anyagból nem sikerül kristályt nyerniük. Sokunkkal fordult már elő, hogy amikor a vegyészet teljes ötlettára kimerült, és végül egy hét munka után feladjuk a dolgot, félretesszük, és elfelejtjük a labor sarkában kallódó lombikot. És egy év múlva egy takarításkor megtaláljuk, és a lombik tele van hatalmas kristályokkal. Az idő nagy úr.

⁴ Pontosabban fogalmazva bizonyos irányokban sokkal könnyebben hasad, ezért ha törik, mindig így törik el.

mikroszkopikus kristálykák jönnek létre a felületen, amit fehér, átlátszatlan rétegnek látunk.

Mit tehetünk? Természetesen megismételhetjük az oldást, kristályosítást addig, amíg bele nem ununk.

Miért nőnek a kristályok?

Figyeljük meg, hogy hol találhatóak a kivált bóraxkristályok az edényben! Látjuk, hogy az edény falára tapadnak. Ha például egy csorba zománcozott fazekat használtunk volna, akkor azt is megfigyelhetnénk, hogy a kristályok először a csorbult részen jelennek meg (próbáljuk ki!). Miért? Miért nem csak úgy az oldatban úszva jönnek létre a kristályok?

Végezzünk el egy újabb kísérletet. Most a forrón telített bórax- (vagy timsó-) oldatot gyorsan (de rázkódásmentesen) hűtsük le szobahőmérsékletre. Arra számítunk, hogy gyorsan, nagy mennyiségű kristály válik ki. Csakhogy nem ez történik. Hiába van az oldatunk brutálisan túltelítve, mégsem jelenik meg egy fia kristály sem. Most dobjunk az oldatba egy kis bórax- (timsó-) kristályt. A kristály szemmel látható sebességgel növekedésnek indul, a kristályból kiágazva végül nagy mennyiségű kristályos anyag tölti ki az egész edényt. Mi történt?

A kristályosodás megindulásához nem elegendő, hogy az oldat túltelített legyen. Ha egy túltelített oldatban összeáll néhány ion, és egy mikroméretű kristálykát (ún. kristálygócot) hoz létre, akkor felszabadul a kristályosodási hő, azaz a góc közelében felmelegszik az oldat, nő az oldhatóság, és a kristályka egyből vissza is oldódik. Mondhatjuk úgy is, hogy a véletlenül egymással ütköző ionokat az ütközés ereje egyből szét is löki.

Ha az ütközés egy már meglévő nagyobb testtel (pl. az edény oldalával) történik, akkor a kristályosodási hő nemcsak az anyalúgot, de a kérdéses felületet is melegíti, azaz a hő (energia) egy részét elvezetjük, így együtt tudnak maradni az ionok, meg tud indulni a kristályosodás.

Láttuk, hogy egy anyag kristályai mindig azonos alakúak, azaz minden esetben ugyanúgy sorakoznak az atomok (ionok) a kristályban. Amikor egy góc növekedésnek indul, akkor egy már meglévő felület nemcsak az energia elvezetése révén segít, de megkönnyíti az ionok megfelelő rendbe történő elrendeződését is. Könnyű belátni, hogy a bóraxkristályhoz újabb nátrium- és tetraborátionok, valamint vízmolekulák sok-

kal könnyebben tudnak csatlakozni, sokkal gyorsabban tudnak az újabb kristálýsíkrok létrejönni, mint egy acélfelületen, ahol a vasionok teljesen másként rendeződnek. Különösen alkalmatlan az üveg rendezetlen, nem kristályos felszíne arra, hogy új kristály növekedését segítse.

Tehát érthető, hogy egy telített sóoldatból az ionok miért egy már meglévő kristálykára fognak leválni, miért a már meglévő kristály nő, és nem sok apró kristály alakul ki.

Ha mi magunk adunk egy indító kristályt (szakszóval oltókristályt) az oldathoz, akkor a túltelített állapot – ami azért tudott fennmaradni, mert nem volt megfelelő oltókristály – szinte azonnal megszűnik, és mint egy gyorsított filmen látjuk az amúgy lassú kristálynövekedést.

Hogyan indul meg oltókristály nélkül a kristályosodás? Hát például az oldatba a levegőből behulló porszemek felületén, de egy csorba zománcon is rengeteg hegyes-völgyes töredezett mikro-felszín van, amik segíthetik egy kis kristály növekedését.

Tanulságos történet arról, hogy ne aludjunk a munkahelyen

Az iparban is fontos az oltókristályok használata. Nézzünk meg nagyító alatt egy csipet kristálycukrot. Szép, azonos méretű kristályokból áll. Hogy érik ezt el? A forró cukorszirup hűtése közben van egy hőmérséklet, amikor a sokszáz m³-es tartályba beleöntenek egy kiló porcukrot, és elkeverik. Így egyszerre sok kristály indul növekedésnek. A túltelítettség fokának, és a porcukor mennyiségének megfelelő megválasztásával lehet a kristálycukor szemcseméretét beállítani. A szerző egy barátja technológusként dolgozott egy cukorgyárban, és egyszer át-aludta a porcukor adagolásának időpontját. Nem kristálycukrot kaptak, hanem 1 cm-es gyönyörű cukorkockákat. A termék szépsége vitathatatlan volt, de eladni nem lehetett. A gyárnak hatalmas energiaszámlájába került a sok tonna cukor újbóli feloldása, cimborámnak meg a munkahelyébe ez az érdekes tapasztalat.

Mire használhatja mindezt a sufñivegysz?

Láttuk, hogy a kristályosítást megfelelő felszín biztosításával segíteni, irányítani lehet. Ennek felhasználásával igazán szép és „vegyszí” ajándékokat készíthetünk. Vegyünk egy darab vékony rézdrótot, és hajlítunk belőle egy sokágú csillagot, kis erdei kunyhót kutyával, vagy fát, vagy amire éppen szépérezkünk inspirál. Ezt a vázat merítsük be híg

bórax- (timsó-) oldatba, vegyük mindjárt ki, majd hagyjuk megszáradni. Látjuk, hogy a drótot mindenhol mikroméretű kristályok vonják be. Merítsük az így elkészült díszít bórax- (timsó-) túltelített oldatába. A kialakuló kristályok szép lassan bevonják a drótot, és csillogó, akár félegycentis kristályokká nőnek meg. Ha elértük a kívánt kristályméretet, vegyük ki a drótot az oldatból, hagyjuk lecsöpögni, és szárítsuk meg. Ablakban, vagy karácsonyfán igen szép dekoráció, és egy igen menő státuszszimbólum.

Milyen színű a víz?

Eddig két olyan anyaggal dolgoztunk, aminek a kristályába az alkotó ionokon kívül vízmolekulák is beépültek. Az ilyen kristályvíz nem ritka dolog, sőt, ha az átkristályosításra nem vizet használunk, akkor más oldószerek is beépülhetnek a kristályba.

Vegyünk pár gramm réz-szulfátot. Ezt a szép kék kristályos anyagot legkönnyebben gazdaboltokban vehetjük meg (népies neve rézgálic vagy gálickő), ugyanis kéméletes permetszerként használják az oldatát. Szórjuk ki az anyagot egy porcelántányérra, és tegyük be a sütőbe, amit kb. 150 °C-ra (közepes fokozatra) állítottunk (a kísérlet végeztével pedig igen gondosan takarítsuk ki a sütőt, anyukánk nagy örömére). Időnként nézzük meg, hogy látunk-e változást.

Rövidesen halványulni kezd az anyag, végül egészen fehérré válik. Ha ezt a fehér anyagot hagyjuk kihűlni és rálehelünk, vagy akár csak egy kevés vizet permetezünk rá, újra megjelenik a kék szín. Mi a jelenség magyarázata?

A réz-szulfátnak sokféle kristálymódosulata létezik. A kék színű, amiből indultunk 1 mol CuSO_4 mellett még 5 mol kristályvizet is tartalmaz. Hevítés során több lépcsőben elvesztjük ezt a kristályvizet, és így a fehér színű, kristályvízmentes (ún siccum, azaz száraz) réz-szulfáthoz jutunk.

A kristályvíz molarányát úgy a legkönnyebb meghatározni, hogy pontos mérleg segítségével lemérjük a kiindulási anyag tömegét, és megnézzük, hogy a hevítés során hány %-os tömegcsökkenés történik. Végül nedves levegőn hagyjuk állni az anyagot, míg teljesen visszakékül, ilyenkor újra lemérjük, és látjuk, hogy visszakaptuk az eredeti tömeget. Megfigyelhetjük, hogy a nagy kék kristályok a kristályvíz leadása során elporladnak. Miért? A magyarázat természetesen ugyanaz, mint a bó-

rax esetében volt: más összetételhez más kristályszerkezet tartozik, és az átalakulás során a nagy kristályok elaprózódnak.

Ha a CuSO_4 fehér, a víz színtelen, akkor a kettő együtt miért kék mégis? Később majd látjuk, hogy a víz a Cu^{2+} -ionokkal ún. komplex vegyületet képez, és a komplex formájú rézion színe eltér a szabad Cu^{2+} -ion színétől.

Végül hogyan nyerhetünk újra szép nagy kék kristályokat a kihevített CuSO_4 -ból? Természetesen kristályosítsuk át vízből!

Dédányáink gyermekévei. A kandiscukor

Nem volt mindig Pilótakeksz, őseinknek sokkal egyszerűbb édességgel kellett beérniük. Ma az egyik ilyen ősi nyalánkság újra divatba jött: ha egy ezotéria iránt elkötelezett barátnőnket elkísérjük (vagy csak szeretnénk elkísérni) egy full-bio teaházba, akkor láthatjuk, hogy ezen körök ismét kandiscukrot használnak a tea édesítésére.

Mi is a kandiscukor?

Egyszerűen a bóraxos karácsonyfadísz drót helyett hurkapálcával, és bórax helyett cukorral. Készítsük el, és kápráztassuk el a rajzszakkörös lányokat (és a nagymamát)!

Az eljárás már ismert: készítsünk közel telített forró cukoroldatot (a konyhaművészetben „szirupnak” hívják). 1 dl vízre és 30 dkg cukorra lesz szükségünk (igen, a cukor ilyen jól oldódik vízben). Oldjuk föl forrón a cukrot, merítsünk be pár, arasznyi hurkapálcát a szirupba, és hagyjuk megszáradni: oltókristályokkal bevont pálcát kapunk. A kihűlt szirupot öntsük tiszta, száraz befőttesüvegbe, és állítsunk bele néhány hurkapálcát függőlegesen. A pálcák végét egy kis cellulszal, vagy dróttal rögzíthetjük. 1-2 nap alatt a pálcák végére szép nagy cukorgöb nő, amit egymásba gabalyodó, akár centis kristályok alkotnak. Vegyük ki a pálcát az üvegből, hagyjuk a szirup feleslegét lecsöpögni. Valóban szép látvány, amit valaha a gyerekek örömmel nyalogattak, és kentek vele össze mindent.

Régen a szirupba ételfestéket, és aromát is kevertek, ezzel "turbózták fel" az egyszerű édesipari terméket. Próbáljuk ki mi is: milyen kandiscukrot kapunk, ha a szirupot megfestjük ételfestékkel?

Ne keseredjünk el, ha továbbra is színtelen cukrot kapunk (főleg ha az anyalúg fölöslegét gyorsan leöblítjük egy kis hideg vízzel a kész kandiscukorról). Hát pont erre használjuk az átkristályosítást! Hogy megsza-

baduljunk a szennyezőktől (és itt a festék technológiai értelemben szennyező). A kandiscukor csak akkor lesz színes, ha a színes szirup egy részét hagyjuk rászáradni. (És ebből már meg is tanultuk, hogy általában a kristályosítással csak akkor nyerünk igazán tiszta anyagot, ha az anyalúgot minél alaposabban eltávolítjuk.)

Vízfürdő

És ha már cukrászkodunk, tanuljunk meg gyorsan még egy labor-technikát. Jó lenne az anyalúgot újra felhasználni, további kandiscukrok készítésére. Csakhogy az üvegbe „beleköt” a kivált cukor, azt abból csak kivakarni lehetne. Sebaj, használjunk vízfürdőt! Egy lábos aljába öntsünk pár centi vizet, állítsuk bele a szirupos üveget, és kezdjük el a vizet forralni. Így az üvegben az oldatot kéméletesen tudjuk melegíteni, egészen addig, míg a cukor teljes mennyisége újra fel nem oldódik. Vigyázzunk, ha marad oldatlan cukor, akkor az fog oltókristályként viselkedni, és nem a cukros fapálcika. Befőttés üveget sosem szabad gázzal melegíteni: az ilyen vastag üvegeszközök a bennük hőtágulás miatt kialakuló feszültségek miatt menthetetlenül elrepednek.

A mai alkalommal használt vegyszerek (bórax, timsó, rézgálic, cukor) csak igen kevésbé mérgezőek. Ügyeljünk a korábban elmondott dolgokra, tartsuk anyagainkat biztonságosan elkülönítve. Az anyag maradékát nyugodtan lehúzhatjuk a WC-n.

Kísérletezés után gondosan takarítsunk ki, és végül mossunk alaposan kezet.

Ha az anyag a szemünkbe kerül, alaposan mossuk ki. Ha véletlenül a szánkba jut (hogy juthat valami véletlenül oda???), akkor köpjük ki, és tiszta vízzel öblítsük ki a szánkat.

Vigyázzunk a forró vízzel, sütővel való munka során, és persze a karcsonyfaéggőkkal se rázzuk meg magunkat. És ha hópelyhet fotózunk, akkor sapka-sál.

Még egy szó a kristályok megfigyeléséről

Nemcsak az általunk elkészített kristályokat érdemes alaposabban megvizsgálni, hanem számos, környezetünkben előforduló kristályt is. Most már tudjuk, hogy ha kristályt látunk, akkor az arra utal, hogy a

kérdésem anyag kémiailag egységes vegyület. Érdekes a kristályokat nagyító (szerencsésebbeknek mikroszkóp) segítségével vizsgálni, és az igazán érdekeseket le is fotózni (nem megfélemezve magazinunk címlapfotó pályázatáról sem). Csakhogy nem könnyű a kristályok fotózása, hisz a sok egymást metsző oldal mind közel azonos színű (pláne egy szintelen kandiscukor esetén). Szerencsére a mikroszkópusok már régen felfedezték a ferde megvilágítás előnyeit.

Készítsünk kemény papírból egy 20-25 centi átmérőjű hengert, melynek magassága 5-10 cm. A henger palástjába furkáljunk lyukakat, és minden lyukba illesszük be egy színes karácsonyfa-izzósor egy-egy izzóját. A kristályokat a henger közepére helyezzük, egy szép háttért rakunk mögé, és a henger megfelelő beállítása mellett lefotózzuk. Ilyenkor a különböző irányba mutató kristály lapok a mindenféle irányból jövő különböző színű fénysugarak révén a szivárvány összes színében ragyognak, minden kristálylap más-más színű. A látvány igazán színpompás, pszichedelikus, ünnepi. Érdekes kipróbálni.

Egy legenda megdőlt

Ha már elkészítjük a speciális kristálybevilágító készülékünket, akkor az évszakot is figyelembe véve minden összejött a hópehelyvadászatra. Igyekezzünk minél több hópehelyt lefotózni. Ne felejtsük el, a hópehelyek alakjának megértéséhez most már minden fontos elméleti ismerettel tisztában vagyunk.

És kevés szebb téli elfoglaltság adódik, mint a hópehelyek alakjának tanulmányozása. Egy régi legenda szerint nincs két egyforma köztük. És ha valaki igazán ért a kristályosításhoz, akkor nem is lepődik meg azon, hogy ez a legenda nem igaz.⁵

Most itt fejezzük be...

...a kristályosítás tudományának tárgyalását. Nem értünk a végére, az izgalom a következő részben folytatódik.

⁵ <http://www.newsbiscuit.com/2010/12/03/scientists-discover-snowflake-identical-to-one-which-fell-in-1963/>