

# KÍSÉRLETEK MELEGÍTŐ TASAKKAL

## EXPERIMENTS WITH HEAT PACK

**Böcskei Ákos**

Veszprém , Lovassy László Gimnázium

### ÖSSZEFOGLALÁS

*Cikkemben a egyszerű kristályosodási jelenségeket mutatok be.*

*A megszilárdulás közben leadott hő egyszerűen mérhető a kereskedelemben kapható melegítőpárna felhasználásával. A zárt műanyagtasak nátrium acetát oldatot tartalmaz. A túlhűlt oldatban a kristályosodást a fémkorong átpattintásával beindítva a megszilárdulást jelentős hőtermelés kíséri. A látens-hő kaloriméteres mérésén túl a kísérlet több érdekes fizikai jelenség: termodinamikailag stabil, metastabil állapot, túlhűlés, kristálymag-képződés, kristálynövekedés megtárgyalására kínál jó alkalmat.*

### ABSTRACT

*In this article I demonstrate simple solidification phenomenons.*

*We can measure the egressed latent heat during the solidification by commercial heat pack. The closed plastic pack contains sodium acetat solution. In the subcooled solution one can start the solidification by metallic trigger to release latent heat. Beyond this it is an excellent opportunity to discuss several interesting phenomena: thermodynamically stable and metastable phase, formation of incipient nucleus.*

### KULCSSZAVAK/KEYWORDS

kristályosodási hő ,túlhűlés , kristályképződés

Latent heat , subcooling ,crystallization

### KÍSÉRLETEK MELEGÍTŐ TASAKKAL

Kiváló lehetőséget kínálnak a hőtannal kapcsolatos projektmunkára a kereskedelmi forgalomban kapható melegítő tasakkal végezhető kísérletek. Vizsgálható a tasakban levő nátrium-acetát oldat gyors kristályosodása közben leadott hő, valamint az, hogy hogyan történik a kristályosodás oltókristályok hatására. Megmérhető, hogy az oldat mennyivel hűthető az olvadáspontja alá.

A melegítő tasak a következő módon működik: az oldatban található egy kis fémkorong, ennek átpattintásával a túlhűtött oldatban a fémkorongtól kiindulva gyorsan elindul a kristályosodás, amit nagy mennyiségű látens hő leadása kísér, ezért például ízületi fájdalmak enyhítésére alkalmazható. A hőleadás után a megszilárdult oldatot tegyük forró vízbe és várjunk addig, amíg az egész tasak tartalma megolvad (ügyeljünk rá, hogy ne maradjon benne szilárd fázis, mert az az olvadáspont alatt megindítja kristályosodást), ezután a korongot hűsük le szobahőmérsékletre és átpattintással újból használható.

A kristályosodási hő megmérése több lépésben történik. Itt a diákok gyakorlatot szerezhetnek az egyszerű kalorimetriás mérésekben, kalorimetrikus egyenletek felírásában,

diákjaink együttműködnek egymással, szükség van a mérések előzetes végiggondolására. Először mérjük meg a kaloriméter hőkapacitását (ha nagyon precízek vagyunk, akkor egy tasakból öntsük ki az oldatot és a kaloriméter –tasak-fémkorong rendszer hőkapacitását tudjuk megmérni). A kaloriméterbe néhány dl meleg vizet öntünk, megvárjuk, hogy beálljon az egyensúly. A hőkapacitás a kaloriméter által felvett és a víz által leadott hő egyenlőségéből a víz fajhőjének ismeretében meghatározható. A későbbiekben szükség lesz az oldat olvadáspontjára: tegyük a szilárd oldatot vízbe, lassan emeljük a víz hőmérsékletét, így meg tudjuk figyelni, hogy mekkora hőmérsékleten következik be a fázisátalakulás. Ez a két mérés egymással párhuzamosan végezhető. Ugyanez elmondható az oldat folyékony és szilárd állapotbeli fajhőjének méréséről. A tasakot helyezzük a kaloriméterben levő melegebb vízbe, a hőmérsékletváltozásokat, tömegeket megmérve, a víz fajhőjének és a kaloriméter hőkapacitásának ismeretében a fajhők kiszámíthatók. Az alábbi eredmények adódnak:

olvadáspont  $t^o = 54\text{ C}^\circ$ , fajhő folyékony állapotban  $c^f = 3.1\text{ kJ/kg C}^\circ$ , szilárd állapotban  $c^k = 2.8\text{ kJ/kg C}^\circ$  ( ezek a mennyiségek kissé függenek az oldat koncentrációjától ).

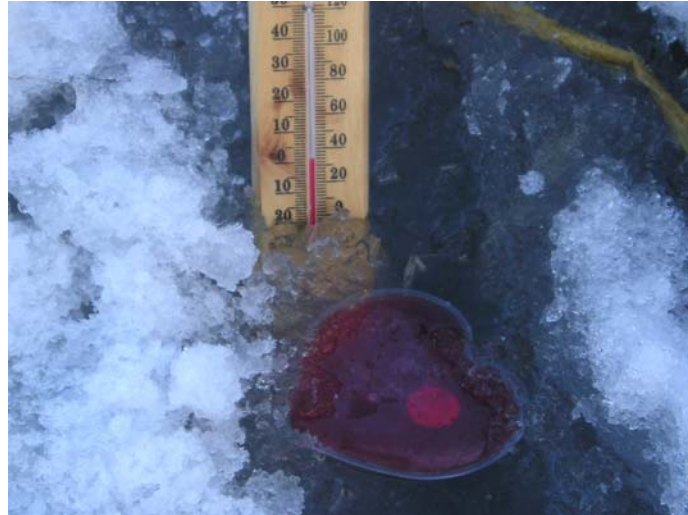
Ezután következhet a kristályosodási hő mérésére. Ez azért fontos az oktatási gyakorlatban, mert tanulóink a mindennapi életben inkább arról tudnak tapasztalatot szerezni, hogy a szilárd anyagok megolvasztása hőfelvételt igényel, az hogy a megszilárdulás hőleadással jár közvetlenül nehezebben figyelhető meg. Maga a mérés a következő módon történik, a kaloriméterbe néhány dl vizet öntünk. A tasakot a korong átpattintása után a vízbe tesszük és lezárjuk a kalorimétert. Várunk néhány percet, a kaloriméter mozgatásával gyorsítható a hőmérséklet kiegyenlítődése. Az átpattintás után a tasak gyorsan az olvadáspontra melegszik, eközben  $c^f m(t^o - t^f)$  hőt vesz fel, ahol,  $c^f$  a folyadék fajhője  $m$  a tömege,  $t^o$  az olvadáspontja  $t^f$  a kezdeti hőmérséklete. Az olvadásponton a fázisátalakulás során leadott hő  $Lm$ , ahol  $L$  a mérendő kristályosodási hő. Ezután a már szilárd oldat lehűl a végső hőmérsékletre, eközben  $c^k m(t^o - t^v)$  hőt ad le, ahol  $c^k$  a fajhő szilárd állapotban. A víz és a termosz egy kezdeti  $t^k$  -ről  $t^v$  hőmérsékletre melegszenek, eközben

$c^v m^v(t^v - t^k) + C(t^v - t^k)$  hőt vesznek fel, ahol  $c^v$  és  $m^v$  a víz tömege és fajhője,  $C$  a kaloriméter hőkapacitása. A felvett és a leadott hők egyenlőségét felírva, a kristályosodási hő meghatározható az alábbi egyenletből:

$$c^v m^v(t^v - t^k) + C(t^v - t^k) + c^f m(t^o - t^f) = Lm + c^k m(t^o - t^v) . \quad (1)$$

Az egyenletből a kristályosodási hőre az általam beszerzett melegítő tasak esetén  $L = 120\text{ kJ/kg}$  érték adódik (az  $L$  értéke függ a koncentrációtól, ezért másik tasak esetén ettől kissé eltérő érték is adódhat).

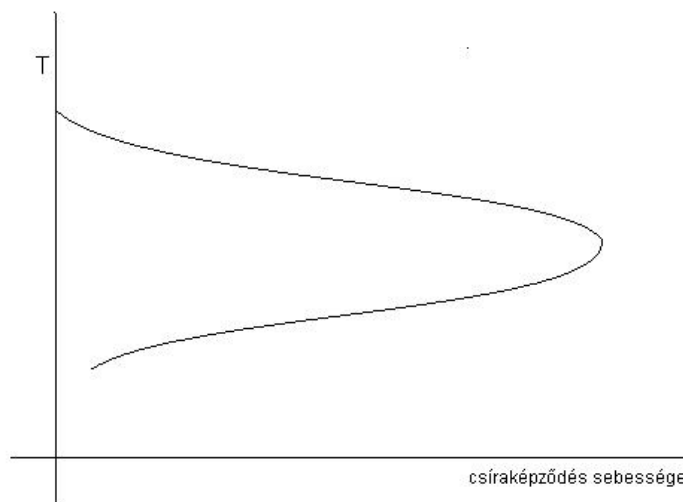
A nátrium-acetát vizes oldatán a túlhűlés jelenségét is tanulmányozhatjuk. A szilárd -> folyékony fázisátalakulás hőmérséklete  $54\text{ C}^\circ$ . Ellenben ha ennél magasabb hőmérsékletről hűtjük, akkor nem indul meg ezen a hőmérsékleten a kristályosodás, hanem jóval ez alá a hőmérséklet alá hűthető, hűtőszekrényben is folyékony marad, de a mélyhűtőben már spontán módon megindul a kristályosodás, az ehhez tartozó hőmérséklet  $-15\text{ C}^\circ$  ( túlhűlés mértéke  $69\text{ C}^\circ$  ). Ezen a hőmérsékleten nagyon gyors a kristályosodás, az oldat gyorsan az olvadáspontjára melegszik, és a fázisátalakulást az előző paragrafusban tárgyalt hőleadás kíséri.



1. ábra. A Balaton olvadó jegén az oldat folyékony marad.

Hogyan tudjuk diákjaink számára a túlhűlés jelenségét megvilágítani? A megszilárdulás nem a folyadék egész térfogatában egyszerre, hanem a folyadék egyes helyein atomcsoportok megjelenésével indul meg. Ezek az atomcsoportok egy bizonyos méret alatt instabilak. Az instabilitást az atomcsoport felületén a környező folyadékkal való kölcsönhatás okozza. Az atomcsoport sugarát növelve ennek a felületi hatásnak a jelentősége egyre csökken, hiszen az atomcsoportban levő atomok száma a térfogattal, tehát a sugár köbével, a felületen levő atomok száma pedig a sugár négyzetével egyenesen arányos. Tehát létezik egy kritikus sugár, amit elérve az atomcsoport termodinamikailag stabillá válik, ilyenkor már kristálycsíráról beszélhetünk.

A kritikus sugár mérete az olvadáspont és az aktuális hőmérséklet különbségével, tehát a túlhűlés mértékével fordítottan arányos, ez eleinte kedvez a csíráképződésnek. Azért eleinte, mert ha nagyon alacsony a hőmérséklet, akkor a lecsökkenő atomi mozgékonyosság csökkenti a csíráképződés sebességét, tehát a térfogategységben időegység alatt megjelenő csírák számát. Ezt a két hatást figyelembe véve megadható a hőmérséklet-csíráképződési sebesség diagram.



2. ábra. Hőmérséklet – csíráképződési sebesség diagram.

Olyan görbét kapunk, amely egy az olvadáspont alatti hőmérsékletnél maximumot mutat. A maximumérték lehet olyan kimagasló, hogy egy kis hőmérsékletváltozás hatására a csíráképződés sebessége nullához közleliről óriásira növekszik, tehát ezen a hőmérsékleten szinte pillanatszerűen bekövetkezik a kristályosodás, spontán kristályosodási hőmérsékletről beszélhetünk. Diákjaink felkészültsége és érdeklődése szabja meg, hogy mennyire részletesen tárgyaljuk a túlhűlés jelenségét az itt leírtakhoz képest.

Hogyan is működik a melegítő tasak? A korong átpattintása hogyan indítja be a kristályosodást? Gondolhatunk arra, hogy a korong átpattintása hanghullámokat, lökéshullámokat indít el a folyadékban, és ez okozza a kristályosodást a kavitáció által. Azaz a folyadékban buborékok keletkeznek, és ezek összeomlása során annyira megnő a buborék környezetében a nyomás, hogy meghaladja a spontán kristályosodáshoz szükséges nyomást. Ha ez így lenne, akkor a folyadékban hanghullámokat vagy lökéshullámokat kelteve megszilárdulást kellene tapasztalnunk, részletes kísérletek mutatják, hogy ilyen nem következik be, tehát a melegítőtasak máshogy működik. Ezt a számítások is alátámasztják, melyek szerint a buborékok összeroppanása során a nyomás a spontán kristályosodási nyomás fölé nő, de olyan rövid időre, ami nem elegendő a kritikus sugár elérésére. Ha nem a kavitáció, akkor mi okozhatja a korong átpattintása után a fázisátalakulást? Ehhez a korong felszínét kell alaposan szemügyre venni.



2. ábra . A korong felszíne .

A korong felszínén szabályos bemetszések láthatók, ezek szélénél kis repedések vannak. Ezekben a repedésekben elektronmikroszkóppal kis kristályok figyelhetők meg. Ezek a kristályok túlélnek a tasak felmelegítésével járó magas hőmérsékletet, szobahőmérsékleten pedig nem növekednek túl a repedés száján. A korong átpattintásával ezeket a mikrokristályokat lökük be az oldatba, ahol azok kiszabadulván a repedésből növekedésnek indulnak.

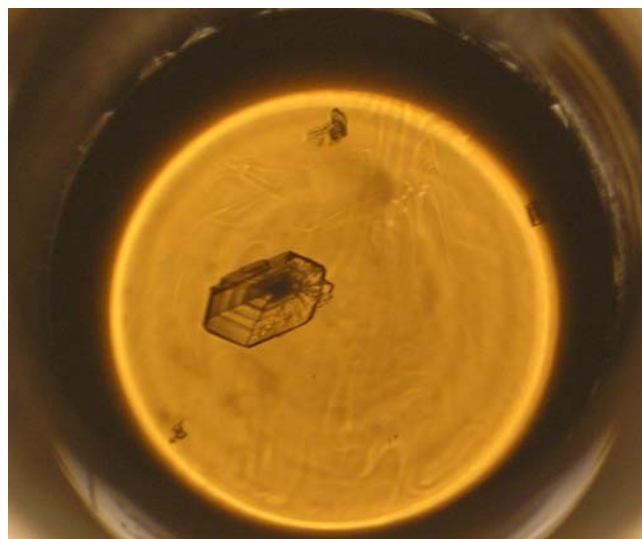
A gyors kristályosodást mi magunk is előidézhetjük, ha a tasak tartalmát egy csészébe kiöntjük, és oltókristállyal beindítjuk a fázisátalakulást (szobahőmérsékleten a kiöntött oldat legtöbbször spontán elkezd kristályosodni, kb 40 C-on ez már nem következik be). Ha egy pontban beindítjuk a kristályképződést, akkor a növekvő kristály határa közelítőleg kör alakú. Akár egy matematikai probléma is felvethető ezzel kapcsolatban diákjainknak. Indítsuk be a kristályosodást egyszerre több pontban, ekkor növekvő sugarú köröket látunk. Beindíthatjuk a kristályképződést például egy szabályos háromszög csúcaiban. A matematikai feladat a következő: hol legyenek a kör alakú csészén belül a szabályos háromszög csúcsai, ha azt akarjuk, hogy a legrövidebb idő alatt az egész oldat megszilárduljon. Szabályos háromszög csúcsai helyett vehetjük egy szabályos  $n$ -szög csúcsait, sőt a probléma nehezíthető azáltal, ha a kör alakú csésze középpontjából is növekedésnek indítunk egy kört.

Felmerül a kérdés, hogy a kristályosodás folyamata mennyiben hasonlít a hullámok terjedésére? Ha a csésze egy pontjában oltókristállyal beindítjuk a fázisátalakulást és a csészébe egy olyan kör alakú lemezt helyezünk, amin rések vannak, akkor megfigyelhetjük, hogyan zajlik az átalakulás a réseken túl. Ha a csészébe folyadékot öntünk és a középpontban körhullámokat keltünk, akkor a réseken túl félkör alakban terjedő hullámokat látunk. Kristályosodásnál mást láthatunk. A kristályképződés apró szálak mentén halad előre, ezek szálak helyenként szétágaznak. A réseken áthaladó szálak mentén sugaras szerkezetben zajlik a fázisátalakulás, a réseken túl körre emlékeztető alakzatot nem láthatunk.



3.ábra. A kristályosodás vékony szálak mentén zajlik.

Gyors kristálynövesztés mellett vizsgálható a kristálynövekedésnek egy hosszabb időtartamot igénylő változata. Szabályos formát mutató kristályok növeszthetők közönséges répacukor telített vizes oldatából többféleképpen (a cukoroldaton bemutatható az optikai forgatás jelensége, egyszerű kísérletekkel vizsgálható az elforgatási szög függése a fény által az oldatban megtett úttól és az oldat koncentrációjától). A telített oldat hűtéssel túltelítetté válik és benne cukorkristály képződik, így történik a kandiscukor nagyüzemi előállítása. Cukorkristály előállítható úgy is, hogy az oldat hőmérséklete nem változik, hanem párolgással vizet veszít és így válik túltelítetté, ilyenkor is beindul a kristályképződés.



4.ábra. Egy hét alatt képződött cukorkristály .

Mindezek a projektek felkelthetik az érdeklődést diákjainkban az anyagtudomány iránt. Látványos kísérleteket és méréseket végezhetnek, ahol szükség van a kémia és fizika órán szerzett ismereteik összekapcsolására.

### **KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Megköszönöm témavezetőm dr. Lendvai János (ELTE Anyagfizika Tanszék) és konzulensem dr. Juhász András (ELTE Anyagfizika Tanszék) segítségét, aki figyelmemet a melegítő párnával végezhető kísérletekre irányította .

### **IRODALOMJEGYZÉK**

1. Mansel A. Rogerson Silvana S. S. Cardoso : AIChE Journal ,Volume 49 ,Issue 2 , Pages 505-515 , 2003
2. Mansel A. Rogerson Silvana S. S. Cardoso : AIChE Journal ,Volume 49 ,Issue 2 , Pages 516-521 ,2003

### **SZERZŐ**

Böcskei Ákos, [lindelof@freemail.hu](mailto:lindelof@freemail.hu)