

Megoldás.¹

1. A mérés elve

Tekintsünk egy m tömegű, x tömegszázalékos oldatot. Kémiai tanulmányokból ismeretes, hogy egy ideális oldat (azaz amelyben az oldott részecskék között nincs kölcsönhatás) T_f fagyáspontja jó közelítéssel lineárisan függ a molaritásból kifejezett koncentrációtól:

$$T_f = T_0 + K \cdot \mu,$$

ahol T_0 az oldószer fagyáspontja, K az oldószerre jellemző állandó ($K < 0$), μ az oldat molaritása (az oldott anyag mólszámának és az oldószer tömegének hányadosa). Az oldott anyag tömege m , az oldószer tömege $(1-x) \cdot m$, így az oldott anyag molaritása

$$\mu = \frac{\frac{x \cdot m}{M}}{(1-x) \cdot m} = \frac{x}{1-x} \cdot \frac{1}{M},$$

ahol M az oldott anyag moláris tömege. Ezek szerint az oldat fagyáspontja az oldandó anyag tömegszázalékának függvényében:

$$(1) \quad T_f = T_0 + \frac{K}{M} \cdot \frac{x}{1-x}.$$

A függvényt vizsgálva látható, hogy ha a glicerín vizes oldatát készítjük el, akkor az oldat fagyáspontja a víz fagyáspontja (tehát 0°C) alatt lesz, mégpedig minél töményebb az oldat, annál alacsonyabban.

2. A mérés leírása

A méréshez szükséges glicerint² gyógyszer-tárból szereztem be. Ez nem tiszta glicerín volt, hanem annak vizes oldata. (Különböző okok miatt tisztán nem forgalmazzák.) Az általam vásárolt 500 g oldat $x_0 = 87,7$ m/m%-os töménységű volt, sűrűsége 1221 kg/m^3 . (Ezek az adatok pontosnak tekinthetők, a gyógyszer-tár dokumentációja szerint ez a „szabvány” a gyógyszer-tári glicerinnak.)

Az x_0 töménységű oldatot desztillált vízzel hígítva előállítottam egyenként 150 g tömegű, 5, 10, ... m/m%-os oldatokat az alábbi összetételben:

m/m%	x_0 oldat tömege (g)	deszt. víz tömege (g)
0	0,0	150,0
5	8,6	141,4
10	17,1	132,9
15	25,7	124,3
20	34,2	115,8
25	42,8	107,2
30	51,3	98,7
35	59,9	90,1
40	68,4	81,6
45	77,0	73,0
50	85,5	64,5

I. táblázat. A vizsgált oldatok összetétele

Ha a fagyáspontot akarjuk meghatározni, nehézségekbe ütközünk, mivel az „éppen megfagyó” oldat megfigyelése és hőmérsékletének mérése egy mélyhűtőben – akár kívül, akár belül tartózkodunk – kellemetlen feladat. A fagyásponttal definíciószerűen megegyező olvadáspont mérése azonban kényelmes; az oldatokat fagyáspontjuk alá kell hűteni, és felmelegítve az olvadás során kialakuló hőmérsékletet kell megfigyelni.

A glicerín és a víz tömegét vízszintezett kétkarú mérleggel, hitelesített súlysorozattal mértem ki. Az elkészített oldatokat tiszta műanyag poharakban fagyasztóba tettem, és megvártam, míg az összes megfagy; ehhez (még a mélyhűtő leghidegebb, kb. -25°C -os gyorsfagyasztó üzemmódjában is) több órára volt szükség. Ezután kivettem az oldatokat a fagyasztóból, és szobahőmérsékleten hagytam őket megolvadni, ami leghamarabb a legtöményebbnél következett be. Az olvadás során először igen sűrű, kásás állapot jött létre. A folyékony részben összetapadó, zselés kristályok úszkáltak. A hőmérséklet emelkedésével egyre nőtt a folyékony halmazállapotú rész mennyisége, és fogytak a kristályok, így a rendszer egyre tisztult, közelített az eredeti, átlátszó, homogén állapotához. Közben folyamatosan kevergettem az oldatot, hogy egyenletesen olvadjon.

A hőmérséklet mérésére $0,1^\circ\text{C}$ pontosságú digitális hőmérőt használtam. A hőmérő fém érzékelőjét az oldatba lógatva folyamatosan lehetett figyelni a hőmérséklet változását. Magának az olvadáspontnak a meghatározása nem könnyű feladat, hiszen azt az állapotot kell megtalálni, amikor a kristályok éppen eltűnnek, és csak a tiszta folyadék marad meg.

¹ A mérési feladatoknál szokásos beszámolóktól eltérően most (csaknem változatlan alakban) egyetlen dolgozatot ismertetünk.

² A tiszta glicerín adatai (Függvénytáblázat): fagyáspontja $17,8^\circ\text{C}$, forráspontja 290°C , sűrűsége 1260 kg/m^3 . A glicerín vízben és alkoholban oldódik. Szerkezeti képlete: $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$.

3. Mérési adatok

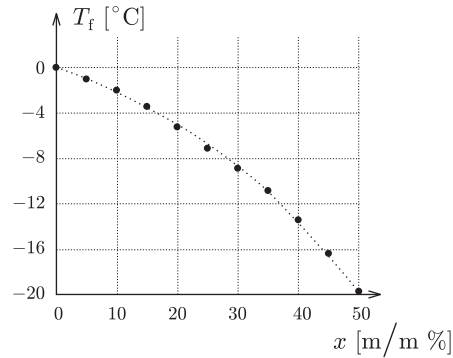
A II. táblázat tartalmazza az I. táblázatban leírt adatok T_f fagyáspontját:

m/m%	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
T_f [°C]	0,0	-1,0	-2,0	-3,5	-5,2	-6,8	-8,7	-10,8	-13,3	-16,2	-19,8

II. táblázat. A vizsgált oldatok fagyáspontja

4. A mérési adatok értékelése.

Az 1. grafikon mutatja az (1) elméleti görbét és a II. táblázat mérési pontjait. Az elméleti görbe ábrázolásánál a következő adatokkal számoltam: a vízre jellemző állandó: $K = -1,86 \frac{\text{kg } ^\circ\text{C}}{\text{mol}}$, a víz fagyáspontja $T_0 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$, a glicerin moláris tömege: $M = 92,1 \text{ g/mol}$.



1. grafikon. A glicerin vizes oldatának fagyáspontja a koncentráció függvényében

A grafikonról látható, hogy a mérési adatok igen jól illeszkednek az elméleti görbére. A glicerin vizes oldatának fagyáspontja a glicerin tömegszázalékának függvényében nemlineárisan csökken.

5. A mérés hibája

Az oldatok fagyáspontjára kapott érték hibáját két független hibaforrás határozza meg: a tömegmérés, és ebből adódóan a tömegszázalék hibája, valamint a hőmérséklet mérésének hibája.

A kétkarú mérleggel kb. 0,1 g pontossággal lehetett tömeget mérni. Ez azt jelenti, hogy az oldatokban levő víz és a glicerin tömege 0,1 g-mal eltérhet az I. táblázatban megadottaktól. Ez a glicerin tömegszázalékára nézve még a legrosszabb esetben sem jelent 1%-nál nagyobb hibát, ami a fagyáspontra átszámítva néhány század foknyi hibának felel meg. A gyógyszerárban kapható glicerin és az oldószerként használt, orvosi célra árusított desztillált víz összetételéből származó hibával együtt ez mintegy 0,1 °C-os hibát jelent a fagyáspontra.

Az oldat fagyáspontjának hőmérsékletét 0,1 °C pontossággal lehetett meghatározni.

Összességében a glicerin vizes oldatának fagyáspontját mintegy 0,2 °C abszolút hibával lehetett megmérni.