

KÉMIA IDEGEN NYELVEN



Kémia angolul

Szerkesztő: Barabás Gergő

Kedves Diákok!

A Kémia angol nyelven verseny fordulójában ismét az első felállás érvényes: egy hosszabb angol szöveget magyarra fordítottunk, egy kicsivel rövidebb magyar cikket pedig angolra – ugyancsak egy program használatával. Témájukat tekintve próbáltam teliesebb tartalmú szövegeket hozni, elvégre november elsejétől már egyre több helyen találkozunk karácsonyi reklámokkal. A szövegekben a program továbbra is elvéti a már-már elvárt hibákat – ezeket keressétek meg és javítsátok ki!

Maximálisan továbbra is 100 pontot lehet kapni. Ha valaki nem tudja befejezni a szövegek lektorálását, dolgozatát akkor is küldje be, hiszen a részpontok is beleszámítanak a pontversenybe.

A pontversenyre benevezni és a javításokat beküldeni a <http://kokel.mke.org.hu> weblapon keresztül lehetséges.

A formai követelményekre ügyeljete: minden egyes lap bal felső sarkában, a fejlécben szerepeljen a beküldő teljes neve, iskolája és osztálya. Csak a névvel ellátott dolgozatok kerülnek értékelésre! Javításaitokat szaktanároknak is érdemes elküldeni.

Beküldési határidő: 2025. január 14.

Jó hibakeresést, jó versenyzést kívánok!

The science and magic of mulled wine

The holidays are almost over, but the cold weather provides an excellent excuse to keep the sensory memory of Christmas alive just a little longer with a warming glass of mulled wine.

Step 1– Picking your wine

Even though wine is nothing more than an acidic, aqueous solution of ethanol with various low-level impurities, it must form the backbone of our drink. Luckily for us the low-level impurities include the nearly 1,000 different compounds that make wine so great. These compounds arise from grapes, yeast, bacteria, oak barrels – even the weather and soil have an effect.

Every wine contains a different set of chemicals. These range from astringent tannins that bite the back of our throats and colourful anthocyanins, to fruity esters, woody aldehydes, floral terpenes, sugars and alcohols. These are like the face of a wine; constantly changing with time, temperature, oxygen and sunlight. It is a face sculpted by the winemaker, the result of a series of careful decisions and calculations. Modern wine is not a natural product even if it is the product of a natural process, namely fermentation. So we must look to the result of all this work for the flavours of Christmas in wine.

My favourite Christmas smell memory is that of the tangerine found every year at the bottom of my stocking, an aroma due primarily to limonene, a member of the terpene group of organic compounds whose name derives from “turpentine” – yes, the paint stripper. Fortunately, limonene has a much more pleasant flavour and is often present in wines made from Chardonnay and Muscat grapes.

From my childhood the aroma that marked the start of Christmas was the smell of the tree when it went up. This smell is mostly due to another terpene known as pinene. However, pinene is not present in most modern wines except Greek retsina, where it forms a ghostly memory of the resin used as a wine preservative and to seal ancient earthenware containers. Luckily for us alpha-terpineol is present in pine and most wines, particularly those from Muscat and Riesling grapes. It has a lovely pine-like smell with hints of citrus.

Another classic Christmas smell is the rich combination of cinnamon and cloves. One of the key smell compounds for both of these spices is eugenol. Unlike limonene and pinene this generally comes not from the wine itself but from the oak barrels the wine is aged in. Oak is used in wine making to fine-tune the colour, flavour, tannin profile and texture of both red and white wine.

The overindulgence of Christmas is often typified by the presence of lots of butter in food. Diacetyl has a buttery odour and is present in cultured butter. This smell is often present in wines that have undergone secondary malolactic bacterial fermentation. This reduces acidity and tartness making the wines softer. Many red and white wines now undergo this process.

In creating your own smell image of Christmas you should pick the wine that most closely echoes your favourite Christmas aromas. I was surprised when the above considerations pushed me to choose a white wine over my normally preferred red, and even more surprised when I found I loved it! If you can't make up your mind which wine to use, Smoking Bishop (Dickens's favourite, remember) was made with Port wine, which was relatively cheap at the time. Otherwise, to paraphrase something Sigmund Freud most likely never said, "Sometimes, a wine is just a wine."

Step 2 – Choosing your additives

The Christmas chemicals listed above give you a palette to work from when selecting the ingredients to add to your chosen wine. The idea of matching flavour compounds – food pairing – has been used in molecular gastronomy for a decade or more. The idea is that if key aroma compounds are shared between two ingredients then they might complement each other. For example, the Firmenich scientist François Benzi found that the aromatic compound indole was present in both jasmine and pork liver and so matched these ingredients to create a new and interesting dish. (Delicious, you might think ... though indole in high concentrations has a faecal, rather than a foodie odour.) Much of western cooking has for centuries unknowingly combined ingredients that share flavour compounds (for example, eggs and butter), unlike East Asian cuisine which combines ingredients that lack shared compounds (for example, garlic and soy sauce).

So to match our Christmas chemicals we could add cinnamon and cloves to give us eugenol and alpha-terpineol (pine trees not being an ideal ingredient in beverages). We could get limonene from lemons, oranges, nutmeg or ginger. We could add raspberry, strawberry or lavender for their diacetyl. However, there is one food that reportedly contains all of these compounds: blackcurrant. So I am going to add blackcurrant to my wine to help create my Christmas smell image in a glass. I am also keeping cinnamon and cloves in the mix for a bit of tradition and visual effect.

Step 3 - Add the wine and spices to a pan and heat for 30 mins, lid on

Heating spices and wine together is a balance of two processes: diffusion and evaporation. When the spices hit the wine the various flavour compounds will start to leech into the liquid. Some will be more soluble in alcohol, some in water, and others will have very low solubility in either and may float to the surface. The longer you leave the spices in the pan, the greater the diffusion of flavours. However, there will also be a greater loss of flavours and alcohol through evaporation; hence we keep the lid on and try not to let it boil.

Breaking up spices into smaller pieces or grinding them will speed up the diffusion of their chemicals into the solution but they may also lead to a gritty wine – I prefer to leave them whole.

Step 4 - Add the rest of the ingredients to taste

We have carefully picked the most evocative ingredients, now we need to balance the flavours. If we had the correct equipment and a lot of time, we could find an objective chemical composition for the perfect mulled wine. But even then, it would be a subjective decision. A qualified wine taster may be able to accurately perceive many of the more objective physicochemical properties of a wine, such as acidity. They might even define a “great” wine based on some of these properties. However, for me wine tasting is a subjective activity and so I am going to rely on personal preference to round out my mulled wine’s smell image.

I add honey and blackcurrant, tasting the mixture regularly in search of a good balance. I use crème de cassis to provide blackcurrant flavours

and to help reverse any reduction in the alcohol concentration of the mulled wine during heating.

For sweetness I love the taste of the traditional wine sweetener, honey, though sugar works just as well. The ancient Greeks and Romans used honey and seem to have preferred their wine much sweeter than might be deemed fashionable today.

Step 5 - Pour and drink

The physicist Richard Feynman once wrote, "If we look at a glass of wine closely enough we see the entire universe." As you pour your wine you can imagine the many hundreds of chemical compounds flowing into the glass (or mug if you prefer): chemicals constructed from the simplest materials of the Earth itself, water, rock, air and light; grapes, nature's candy, packaged in bright colours and test-marketed over millions of years of natural selection, then transformed by man and microbe into wine. Now we have fine-tuned those ingredients and brought seemingly disparate chemicals together to create a smell image, the festive flavour of Yuletide.

As the warm Christmassy concoction enters your mouth let it wash around and discover what sensations it triggers. Can you taste the tangerines despite there being none present? Have you managed to rekindle the emotions of childhood Christmases? If not, don't despair. As the heat of the mulled wine stimulates blood supply to the mucus membranes in the mouth and throat, the alcohol will be absorbed more quickly into the bloodstream and you'll soon forget to care. Because as Feynman also wisely said, "... not forgetting ultimately what wine is for, let it give us one more final pleasure; drink it and forget it all!"

Edited from

<https://www.theguardian.com/science/2014/dec/30/science-magic-mulled-wine-recipe> at 10 Dec. 23.

A forralt bor tudománya és varázsa

Az ünnepeknek mindjárt vége, de a hideg idő remek ürügy arra, hogy egy melegítő pohár forralt bor mellett egy kicsit tovább ébresszük a karácsony érzéki emlékeit.

1. lépés – Válassza ki a bort

Annak ellenére, hogy a bor nem más, mint az etanol savas, vizes oldata különféle kisebb szennyeződésekkel, italunk gerincét ennek kell képeznie. Szerencsére a szennyeződések alacsony szintjébe beletartozik az a közel 1000 különböző vegyület, amely a bort olyan nagyszerűvé teszi. Ezek a vegyületek szőlőből, élesztőből, baktériumokból, tölgyfahordókból származnak – még az időjárás és a talaj is befolyásolja. Minden bor különböző vegyi anyagokat tartalmaz. Ezek a torokszorító összehúzó tanninoktól és a színes antocianinoktól a gyümölcsös észterekig, fás aldehidekig, virágos terpénekig, cukrokig és alkoholokig terjednek. Ezek olyanok, mint a bor arca; folyamatosan változik az idő, a hőmérséklet, az oxigén és a napfény függvényében. A borász által megfaragott arc, gondos döntések és számítások sorozata eredménye. A modern bor nem természetes termék, még akkor sem, ha természetes folyamat, nevezetesen az erjedés terméke. Mindezen munka eredményére kell tehát odafigyelnünk, hogy felfedezzük a karácsony aromáit a borban.

A kedvenc karácsonyi illatemplékem a mandarin, amelyet minden évben a harisnyám alján találok, az aroma nagyrészt a limonénnek köszönhető, a szerves vegyületek terpéncsoportjának egy tagja, amelynek neve a „terpentin” szóból ered – igen, a festékeltávolító. van. Szerencsére a limonén sokkal kellemesebb ízű, és gyakran megtalálható a Chardonnay és Muscat szőlőből készült borokban.

Gyerekkorom óta a karácsony kezdetét jelző illat a fa illata volt, ahogy felbukkant. Ez a szag elsősorban egy másik, pinénként ismert terpénnek köszönhető. A pinén azonban nem található meg a legtöbb modern borban, kivéve a görög retsinát, ahol kísértetiesen emlékeztet a bortartósítóként és az ősi agyagedények lezárására használt gyantára. Szerencsére az alfa-terpineol megtalálható a fenyőben és a legtöbb borban, különösen a muskotály és rizling szőlőből készütekben. Kellemes fenyőszerű illata van, egy csipetnyi citrussal.

Egy másik klasszikus karácsonyi illat a fahéj és a szegfűszeg gazdag kombinációja. E két fűszerben az egyik legfontosabb illatanyag az eugenol. A limonéntól és pinéntől eltérően általában nem magából a borból származik, hanem a tölgyfahordókból, amelyekben a bort érlelik. A tölgyet a borkészítésben használják a vörös- és fehérbor színének, ízének, tanninprofiljának és textúrájának javítására.

A karácsony túlzott mókásságát gyakran szemlélteti, hogy sok vaj van az ételekben. A diacetil vajas illatú, és a savanyú vajban található. Ez a szag gyakran megtalálható azokban a borokban, amelyek másodlagos malolaktikus bakteriális erjedésen mentek keresztül. Ez csökkenti a savasságot és a savasságot, így a borok simábbak lesznek. Sok vörös és fehér bor mostanság ezen a folyamaton megy keresztül.

Saját karácsonyi illatképének elkészítéséhez válassza ki azt a bort, amely a legközelebb áll kedvenc karácsonyi aromáihoz. Meglepődtem, amikor a fenti megfontolások arra készítették, hogy fehérbort válasszam az általában kedvelt vörösborom helyett, és még jobban meglepődtem, amikor rájöttem, hogy imádom! Ha nem tudja eldönteni, hogy melyik bort használja, próbálja ki a Smoking Bishop-ot (Dickens kedvence) portóival, amely akkoriban viszonylag olcsó volt. Máskülönben, hogy valamit átfogalmazzunk, Sigmund Freud valószínűleg soha nem mondta: „Néha a bor csak egy bor.”

2. lépés – Az adalékanyagok kiválasztása

A fent felsorolt karácsonyi vegyszerek egy palettát biztosítanak, amely segít kiválasztani a kiválasztott borhoz hozzáadandó összetevőket. A molekuláris gasztronómiában legalább egy évtizede alkalmazzák az ízek párosításának gondolatát – ételpárosítást. Az ötlet az, hogy ha két összetevő ugyanazokat a kulcsfontosságú ízeket tartalmazza, a kulcsfontosságú ízvegyületek kiegészíthetik egymást. François Benzi, a Firmenich tudós például úgy találta, hogy az indol aromás vegyület mind a jázminban, mind a sertésmájban jelen van, így ezeket az összetevőket kombinálva új és érdekes ételt alkotott. (Ízletes, gondolhatnánk... bár nagy koncentrációban az indolnak inkább székletillata van, mint ételillata.) A kelet-ázsiai konyhától eltérően sok nyugati ételben évszázadok óta egyesítik a közös ízű összetevőket (pl. tojás és vaj). Olyan összetevőket kombinál, amelyekből hiányoznak a szokásos vegyületek (például fokhagyma és szójaszószt).

Így a karácsonyi vegyszereinknek megfelelően fahéjat és szegfűszeget adhatunk hozzá, hogy eugenolt és alfa-terpineolt kapjunk (a fenyők nem ideális összetevők az italokhoz). A limonént citromból, narancsból, szerecsendióból vagy gyömbérből kaphattuk. Adhatunk hozzá málnát, epret vagy levendulát diacetilként. Van azonban egy élelmiszer, amely állítólag ezeket a vegyületeket tartalmazza: a feketeribizli. Ezért teszek a boromba feketeribizlivel, hogy karácsonyi illatú legyen egy pohárban. A fahéjat és a szegfűszeget is a keverékben tartom a hagyomány és a vizuális hatás érdekében.

3. lépés – Adja hozzá a bort és a fűszereket egy serpenyőbe, majd zárt fedéllel melegítse 30 percig

A fűszerek és a bor együtt hevítése két folyamat egyensúlya: a diffúzió és a párolgás. Amikor a fűszerek találkoznak a borral, a különféle ízek elkezdnek átjutni a folyadékba. Egyesek jobban oldódnak alkoholban, mások vízben, mások pedig nagyon rosszul oldódnak mindkettőben, és lebeghetnek a felszínen. Minél tovább hagyja a fűszereket a serpenyőben, annál jobban fejlődnek az ízek. A párolgás azonban nagyobb íz- és alkoholvesztést is eredményez; Ezért hagyjuk a fedőt zárva, és próbáljuk meg nem forni.

A fűszerek apróra törése vagy őrlése felgyorsítja vegyszereik diffúzióját az oldatba, de szemcsés bort is eredményezhet - inkább egészben hagyom.

4. lépés – Adja hozzá ízlés szerint a többi hozzávalót

Gondosan kiválasztottuk a leglenyűgözőbb alapanyagokat, most egyensúlyba kell hoznunk az ízeket. Megfelelő felszereléssel és sok idővel objektív kémiai összetételt találhattunk a tökéletes forralt borhoz. De még akkor is szubjektív döntés lenne. Egy szakképzett borkóstoló képes lehet pontosan azonosítani a bor objektívebb fizikai-kémiai jellemzőit, például a savasságot. Néhány ilyen tulajdonság akár egy „nagyszerű” bort is meghatározhat. Számomra azonban a borkóstolás szubjektív tevékenység, ezért a személyes preferenciákra hagyatkozom, hogy a forralt borom illatát kiegészítsem.

Hozzáadom a mézet és a fekete ribizlit, és rendszeresen megkóstolom a keveréket, hogy megtaláljam az egyensúlyt. A crème de cassis-t használok, hogy a forralt bornak feketeribizli ízt adjon, és segítsen

ellensúlyozni a forralt bor alkoholkoncentrációjának csökkenését melegítéskor.

Az édesség kedvéért szeretem a hagyományos borédesítő, a méz ízét, bár a cukor ugyanilyen jól működik. Az ókori görögök és rómaiak mézet használtak, és láthatóan sokkal édesebb borukat részesítették előnyben, mint ami manapság divatosnak számítana.

5. lépés – Öntse és igya meg

Richard Feynman fizikus egyszer ezt írta: „Ha elég közelről megnézünk egy pohár bort, az egész univerzumot látjuk.” Miközben öntözi a bort, elképzelheti azt a sok száz kémiai vegyületet, amely bekerült a pohárba (vagy bögrébe, pl. ami számít). Ön jobban szereti) áramlás: magának a Földnek a legegyszerűbb anyagaiból, vízből, kőzetből, levegőből és fényből álló vegyszerek; Szőlő, természeti édesség, élénk színekbe csomagolva, és több millió éves természetes szelekció során tesztelték, majd az emberek és a mikrobák borra változtatták. Most finomítottuk ezeket az összetevőket, és a látszólag eltérő vegyszereket egyesítettük, hogy egy szaglóképet, az ünnepi szezon ünnepi ízét alkossuk meg.

Amikor a meleg, karácsonyi keverék a szádba kerül, sodord körbe, és fedezd fel, milyen érzéseket vált ki. Megköstölhatod a mandarint, bár nincs? Sikerült újra átélned gyermekkori karácsonyaid érzelmeit? Ha nem, ne ess kétségbe. Mivel a forralt bor melege serkenti a véráramlást a száj és a torok nyálkahártyáján, így az alkohol gyorsabban felszívódik a véráramba, és hamar elfelejti törődni vele. Mert ahogy Feynman is bölcsen mondta: „... ne felejtsük el, mire való a bor végső soron, és adjon nekünk egy utolsó örömet; igyál és felejts el mindent!”

Valóban megolvad a korcsolya éle alatt a jég?

Lente Gábor

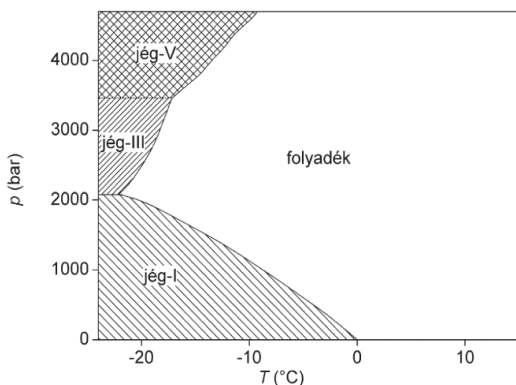
A korcsolyázás, úgy tűnik, megmozgatja az emberek fantáziáját. Különösen az emberek egy kisebb, fizikai kémia oktatásával foglalkozó csoportjára igaz ez az állítás. Korcsolyázásnál az ember meglehetősen vékony éleken áll, ezért a szokásosnál nagyobb nyomást fejt ki az alátámasztásra. A víz kivételes tulajdonságainak egyike az, hogy szilárd formája, a jég olvadáspontja nagyobb nyomáson alacsonyabb (ez az anyagok túlnyomó többségénél fordítva van). Így aztán óvatlanul arra a következtetésre is lehetne jutni, hogy a korcsolyaél alatt a jég megolvad, s a sportoló (vagy az amatőr kezdő) igazából a vízen siklik. Ez már csak azért is logikusnak tűnik, mert aki autózik, az jól tudja, hogy a vizes, nedves felületek sokkal síkosabbak, mint a szárazak.

Mi a baj ezzel a logikával? Csak annyi, hogy meg sem próbálja megbecsülni az olvadáspont megváltozásának nagyságát, kizárólag a hatások irányával foglalkozik. Ha jobban belegondolunk, a korcsolyaél alatt megolvadó jég elméletéből egy sor olyan dolog következne, ami a tapasztalatok szerint egyáltalán nem igaz:

1. A gyermekek jóval nehezebben korcsolyáznának, mint a felnőttek, mert kisebb súlyuk révén kisebb nyomást fejtenek ki.
2. Minél hidegebb van, annál nehezebb lenne korcsolyázni, mert nagyobb nyomásra lenne szükség az olvadáspont nagyobb megváltoztatásához.
3. Egy lábon (illetve korcsolyán) sokkal könnyebb lenne korcsolyázni, mint kettőn, hiszen egy lábon kétszer akkora nyomást fejtünk ki.
4. A korcsolyán hosszasan ácsorgó emberek alatt tócsa alakulna ki.
5. A korcsolyázás sebességének növekedésével egyre nagyobb erőfeszítésre lenne szükség, mert a jég olvadása nem pillanatszerű folyamat.

Próbáljuk hát megbecsülni, mennyivel változhat a korcsolyaél alatt lévő jég olvadáspontja. Ehhez segítségül hívjuk a víz fázisdiagramját, amelynek számunkra fontos részlete a 8.1. ábrán látható. Egy fázisdiagram eléggé összetett ábra. A vízszintes tengelyen a hőmérséklet, a függőleges tengelyen a nyomás szerepel. A diagram egyik legegyszerűbb használati módja az, ha meg akarjuk tudni, hogy adott

hőmérsékleten és nyomáson egy tiszta anyag milyen formája a legstabilabb. Ekkor csak meg kell keresnünk, hogy a hőmérséklet és nyomás által megadott pont a fázisdiagram melyik részére esik. A 8.1. ábrán például az 1000 bar nyomáshoz és $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérséklethez tartozó pont a folyadék felíratú területen van, így biztosan lehet állítani, hogy ilyen körülmények között a víz stabil formája folyadék halmazállapotú. Ne ütközzünk meg azon, hogy a hőmérséklet a víz szokásos fagyáspontja alatt van. Ahogy már volt róla szó, a külső nyomástól is függ az a hőmérséklet, ahol a folyékony víz fagyni (vagy a jég olvadni) kezd. Ugyanígy a víz forráspontja is függ a külső nyomástól, de ez már egy kicsit más kérdés. A fázisdiagramról megtudhatjuk, hogy mennyi a jég olvadáspontja különböző nyomásokon: csak meg kell keresnünk, hogy azon a nyomáson milyen hőmérsékleten van a határvonal a folyadék és a jég között.



8.1. ábra. A víz fázisdiagramjának egy részlete

Azt is vegyük észre, hogy a fázisdiagramon háromféle jég szerepel. A jégnek ugyanis többféle különböző kristályszerkezete létezik, hasonlóan ahhoz, ahogy az elemi szénnek a grafit és a gyémánt két eltérő kristályszerkezetű módosulata, s ezek a különböző szerkezetek más nyomás- és hőmérséklet-tartományban stabilak (valójában az ábrán lévónél sokkal több jégmódosulat ismert). Végül az ábráról leolvasható az is, hogy $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt folyékony víz nem létezhet. Noha nagyon speciális körülmények között ún. túlűtött, folyékony víz akár $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on is ismert, ez rendkívül instabil, rázkódásra és melegítésre is megfagy, ezért

a korcsolyázás körülményei között nem lehet szerepe. Ha nagyon ragaszkodnánk a címben lévő állításhoz, arra a következtetésre kellene jutnunk, hogy ezen hőmérséklet alatt egyáltalán nem is lehet korcsolyázni. A tapasztalat viszont elég egyértelmű: a jég $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on is igencsak síkos tud lenni.

Vajon mekkora nyomást fejthet ki a jégre egy korcsolyázó ember? Ezt nem olyan nehéz kiszámolni. Egy korcsolya élét 20 cm hosszúnak és 2 mm szélesnek becsülve, a felület $0,2\text{ m} \times 0,002\text{ m} = 0,0004\text{ m}^2$, két korcsolya összfelülete pedig $0,0008\text{ m}^2$. Egy ember átlagos tömegét 80 kg -nak becsülve, súlyára 800 N adódik (a kettő közötti átváltási tényező a Föld felszínén mért gravitációs gyorsulás, amit első közelítésben 10 m/s^2 -nek feltételeztünk). Így a korcsolyán át a jégre ható nyomás $800\text{ N} / 0,0008\text{ m}^2 = 1000000\text{ Pa} = 10^6\text{ Pa} = 10\text{ bar}$. Ez alig tízszerese a szokásos légköri nyomásnak, amely 1 bar körül van (vagy 10^5 Pa vagy 1 atmoszféra – a tudósok és mértekegységeik elég sokszínűek). A 8.1. ábrán a 10 bar hoz tartozó olvadáspontérték alig kisebb, mint $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ahhoz, hogy a jég olvadáspontja jelentősen változzon, sokkal nagyobb nyomásokra lenne szükség.

Erre már a XIX. században azt az ellenvetést tették, hogy valójában a korcsolya a felület egyenetlenségei miatt csak sokkal kisebb felületen érintkezik a jéggel, mint amit a méretei alapján kiszámolhatunk. Azonban ez, még ha igaz is esetleg, semmiképpen nem magyarázhatja meg azt aényt, hogy $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt is lehet korcsolyázni. Arról nem is beszélve, hogy a nagyobb nyomás nagyobb súrlódási erővel is párosul mozgás közben, ami akadályozná a siklást, ez pedig az elméleti számítások szerint sokkal fontosabb, mint a jég olvadáspontjának csökkenése.

A súrlódással kapcsolatban azonban újabb gondolatmenet is felmerülhet. A súrlódás közismerten hőfejlődéssel jár, ami hőmérsékletnövekedést eredményezhet, és így a korcsolyával érintkező igen vékony rétegben megolvaszthatja a jeget. Viszont súrlódás, így az általa okozott hőfejlődés is csak mozgással egy időben létezik. A tapasztalat viszont azt mutatja, hogy a jég mozdulatlan tárgyak számára is elég síkos, általában nem kell különösebb erőfeszítést tenni a csúszás elindításához. Arról nem is beszélve, hogy a súrlódási erő általában kicsi a jégen (éppen emiatt csúszik), így a hőfejlődés sem lehet nagy.

Mi hát a magyarázat? Először is a jég felszíne igen sima, legalábbis korcsolyázni ilyenén lehet jól. A sima felszín miatt kevés helyen van alkalom arra, hogy a jégen csúszó test apró egyenetlenségei a jég apró egyenetlenségeibe „beakadjanak”. Ehhez még hozzájárul az is, hogy a jég felszínén lévő vízmolekulákat kevesebb szomszéd veszi körül, mint a jég belsejében, ezért a részecskéket helyükön tartó erők kisebbek, azok könnyen elmozdulhatnak egymáshoz képest. Ezt a hatást néha úgy is megfogalmazzák, hogy a jég felszínén nagyon vékony (kb. egy milliméter százezredrészének megfelelő vastagságú) folyadékszerű réteg van. Ebben az állításban a folyadék szót azonban nagyon óvatosan kell kezelni, mert semmiképpen nem azt jelenti, hogy hagyományos folyékony vízből állna ez a réteg. A réteg pedig mindig kialakul – akár korcsolyáznak rajta, akár nem.

Végül pedig említsük meg azt is, hogy létezik szintetikus jégnek nevezett anyag, amelyből olyan helyeken készítenek korcsolyapályát, ahol nagyon drága dolog lenne fagypon alatti hőmérsékletet fenntartani. Ez a szintetikus jég speciális műanyagból készül, de ennek nagy nyomás hatására nem csökken az olvadáspontja, hanem növekszik. Korcsolyázni mégis lehet rajta.

Does the ice really melt under the edge of the skate?

Gabor Lente

Ice skating seems to capture people's imagination. This statement is particularly true for a small group of people involved in the teaching of physical chemistry. When skating, you stand on rather thin edges, so you put more pressure on the support than usual. One of the extraordinary properties of water is that the melting point of ice in solid form is lower at higher pressures (the opposite is true for most substances). Therefore, one could carelessly conclude that the ice under the edge of the skate melts and the athlete (or the beginner amateur) actually slides on the water. This seems logical, if only because anyone who drives a car knows that wet surfaces are much more slippery than dry ones.

What's wrong with this logic? It's just that he doesn't even try to estimate the magnitude of the melting point change, but is only concerned with the direction of the effects. If you think about it more

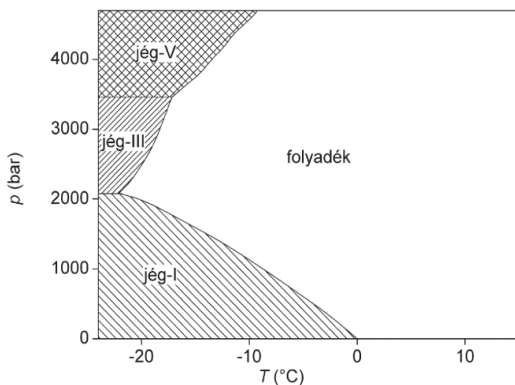
closely, the theory of melting ice under the edge of the skate would lead to a number of things that experience tells us are not true at all:

1. Children would skate much harder than adults because they exert less pressure due to their lighter weight.
2. The colder it is, the harder it would be to skate because more pressure would be needed to change the melting point more.
3. It would be much easier to skate on one leg (or skates) than on two, since we put twice as much pressure on one leg.
4. A puddle formed among people who had been loitering on skates for a long time.
5. As the speed of skating increases, more and more effort would be required since melting the ice is not an instantaneous process.

So let's try to estimate how much the melting point of the ice under the edge of the skate can change. For this we use the phase diagram of water, the important part of which can be found in 8.1. shown in Fig. A phase diagram is a fairly complex diagram. The horizontal axis shows the temperature, the vertical axis shows the pressure. One of the easiest ways to use the diagram is to figure out which form of a pure substance is most stable at a given temperature and pressure. Then we just have to find out which part of the phase diagram the point given by temperature and pressure falls on. 8.1. For example, the point corresponding to a pressure of 1000 bar and a temperature of -5°C is in the region labeled "liquid", so it is safe to say that under these conditions the stable form of water is liquid. Don't imagine that the temperature is below the normal freezing point of water. As mentioned earlier, the temperature at which liquid water freezes (or ice melts) also depends on the external pressure. Likewise, the boiling point of water depends on external pressure, but that is a slightly different matter. Using the phase diagram, we can find the melting point of ice at different pressures: all we need to do is find the temperature at which the boundary between liquid and ice is at that pressure.

Also note that there are three types of ice in the phase diagram. There are many different crystal structures of ice, much like graphite and diamond are modifications of elemental carbon with two different crystal structures, and these different structures are stable in different pressure and temperature ranges (in fact, many more modifications of

ice are known than). the one in the picture). Finally, it can be seen from the figure that liquid water cannot exist below -22°C . Although in very special circumstances the so-called supercooled, liquid water is known to have a temperature of up to -130°C , is extremely unstable, freezes when shaken and heated and therefore cannot play a role in ice skating conditions. If we really insisted on the statement in the title, we would have to come to the conclusion that it is not possible to skate at this temperature at all. However, experience is quite clear: ice can be quite slippery even at -30°C .



8.1. ábra. A víz fázisdiagramjának egy részlete

How much pressure can an ice skater exert on the ice? It's not that difficult to calculate. Assuming that the edge of one skate is 20 cm long and 2 mm wide, the surface area is $0.2 \text{ m} \times 0.002 \text{ m} = 0.0004 \text{ m}^2$ and the total surface area of two skates is 0.0008 m^2 . If you estimate the average weight of a person to be 80 kg, his weight is 800 N (the conversion factor between the two is the acceleration due to gravity measured on the earth's surface, which we have assumed as a first approximation to be 10 m/s^2). Therefore, the pressure acting on the ice through the skate is $800 \text{ N} / 0.0008 \text{ m}^2 = 1000000 \text{ Pa} = 10^6 \text{ Pa} = 10 \text{ bar}$. That's barely 10 times normal atmospheric pressure, which is about 1 bar (or 10^5 Pa , or 1 atmosphere - scientists and their units vary widely). 8.1. In the figure, the melting point value is slightly below 0°C , corresponding to 10 bar. For the melting point of ice to change significantly, much higher pressures would be required.

Already in the 19th century, the objection was expressed that, due to the unevenness of the surface, the skate only came into contact with the ice over a much smaller area than could be calculated based on its dimensions. However, even if this is true, it cannot in any way explain the fact that it is possible to skate at temperatures below -22°C . Not to mention that the higher pressure comes with a higher frictional force in movement, which would hinder sliding, and this, according to theoretical calculations, is much more important than lowering the melting point of the ice.

However, when it comes to friction, a different train of thought might arise. It is known that friction generates heat, which can lead to an increase in temperature and thus melting of the ice in the very thin layer in contact with the skate. On the other hand, friction and the resulting heat development only exist at the same time as movement. However, experience shows that the ice is slippery enough even for immovable objects and you usually don't have to make any special effort to slip. Not to mention that the friction force on ice is usually low (that's why it slips), so the heat buildup can't be great either.

So what is the explanation? Firstly, the ice surface is very smooth, at least suitable for ice skating. Due to the smooth surface, there are only a few places where the small bumps of the body sliding on the ice get "caught" in the small bumps of the ice. This is also helped by the fact that the water molecules on the ice surface are surrounded by fewer neighbors than inside the ice, so the forces holding the particles in place are smaller and they can move easily relative to each other. This effect is sometimes described as a very thin (approximately one hundred thousandths of a millimeter thick) liquid-like layer on the ice surface. However, the word "liquid" in this statement must be treated very carefully because it does not mean that this layer is made of conventional liquid water. And the layer is always created - regardless of whether you walk on it or not.

Finally, we would like to mention that there is a material called synthetic ice that is used to make ice rinks in places where it would be very expensive to keep temperatures below freezing. This synthetic ice is made of special plastic, but its melting point does not decrease under high pressure, but rather increases. You can still skate on it.