

# KÉMIA IDEGEN NYELVEN



## Kémia németül

*Szerkesztő: Horváth Judit*

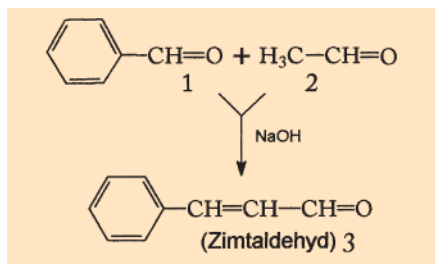
Az első fordulóra beérkezett fordítások értékelését a következő számban közöljük.

*Chemie auf Deutsch* (fordításra kijelölt német nyelvű szakszöveg)

### Ersatzgewürze:

#### Hermann Staudinger und der Kunstpfeffer (Teil 2)

Die historische Bedeutung der Scharfstoff-Synthesen besteht darin, dass alle drei scharf schmeckenden Piperidine, die potentiell zu Ersatzpfeffer weiterverarbeitet werden konnten, letztlich aus dem in Deutschland **reichlich vorhandenen Rohstoff Toluol** hergestellt werden konnten. Das erforderliche **Toluol** stammte aus den **Leichtölen der Steinkohlenteerdestillation**, wurde **zu Benzaldehyd oxidiert**, das seinerseits **mit Acetaldehyd zu Zimtaldehyd kondensiert** wurde. Den solchermaßen erhaltenen Zimtaldehyd musste man nun nur noch **mit Malonsäure** zu den pfefferartig schmeckenden Scharfstoffen **umzusetzen**.



**Zimtaldehyd (3)** lässt sich durch **Kondensation** von **Benzaldehyd (1)** mit **Acetaldehyd (2)** unter **Alkalihydroxid-Zusatz** gewinnen.

Sie wurden **am Pharmakologischen Institut** der Universität Zürich von Max Cloetta (1868–1940), einem der führenden Pharmakologen seiner Zeit, **im Tierversuch auf ihre Verträglichkeit getestet**. Das Resultat war ermutigend, denn die Verbindungen waren **für Säugetiere nicht toxisch**. Nachdem ein weiteres Gutachten ebenfalls bestätigte, dass **Gesundheitsschäden** durch den Genuss der synthetischen Pfefferersatzstoffe „in den beim Würzen von Speisen in Betracht kommenden Mengen **nicht anzunehmen**“ seien, **beantragte Immerwahr 1916 in Deutschland, Österreich und Ungarn Patentschutz** für die Herstellung eines Pfefferersatzes. Staudinger dagegen reichte ein Patentgesuch gleichen Inhalts beim Schweizer Patentamt ein.

Da **alle erwähnten Chemikalien**, insbesondere das für die **Munitionsherstellung** – etwa **Trinitrotoluol (TNT)** – dringend benötigte **Toluol**, im Ersten Weltkrieg jedoch **streng bewirtschaftet wurden**, musste sich Immerwahr im August 1916 erst an diverse Reichsbehörden in Berlin wenden, um die **Freigabe der benötigten Ausgangsverbindungen** zu erreichen. Erst dann konnte an eine **Synthese im technischen Maßstab** gedacht werden. Dem Reichsamt des Innern schrieb Immerwahr einen **aufschlussreichen Brief**:

„Herrn Professor Staudinger und dem Unterzeichneten [d. h. Paul Immerwahr] ist es gelungen, **aus inländischen, im Steinkohlenteer enthaltenen Stoffen** eine dem wirksamen scharf schmeckenden Prinzip des Pfeffers entsprechende, **chemische Verbindung** herzustellen. [...]

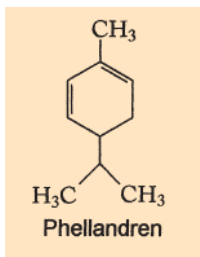
**Deutschland importiert im Frieden ca. 5.000.000 kg Pfeffer**, dies ergibt bei einem Preis von Mk.2,- per kg 10.000.000,- Mk. Nimmt man nur an, dass die Hälfte durch in Deutschland hergestellten, künstlichen Pfeffer ersetzt wird, so würden immerhin noch 5.000.000,- Mk. **weniger an das**

**Ausland zu zahlen sein und dem deutschen Volksvermögen erhalten bleiben. [...]**

Wie der Unterzeichnete gehört hat, hat auch die **Heeresverwaltung** an der Beschaffung von Pfeffer resp. der Herstellung von künstlichem Pfeffer Interesse, weil die **den Truppen zu verabreichenden Speisen** durch **Zugabe von Gewürzen**, darunter auch Pfeffer, schmackhafter gemacht werden, und das sonst eintretende **Einerlei der Speisen vermieden** wird.

– Mit Rücksicht auf das Vorstehende bittet der ergebenst Unterzeichnete das hohe Reichsamt des Innern, denselben gütigst bei der **Freigabe der für die Herstellung des künstlichen Pfeffers nötigen Rohmaterialien**, soweit dieselben der Beschlagnahme unterliegen, wie z. B. **Toluol** und **Schwefelsäure**, unterstützen zu wollen.“

Die Rheinische Kampferfabrik in Düsseldorf-Oberkassel stellte das Phenylpentensäure-piperidid **aus Zimtaldehyd und Malonsäure** her. **Kleine Mengen** des Scharfstoffes (etwa 1,5 Gew.-% bezogen auf den endgültigen Pfefferersatz) wurden in etwas **Phellandren**, einem **Bestandteil ätherischer Öle**, gelöst und diese **Lösung** mit 88,5–94,5 Gew.-% Weizenkleie, Kartoffelstärke oder anderen **indifferent** schmeckenden **Trägerstoffen vermengt**. Zur Erzielung eines natürlicheren Aromaeindrucks wurden schließlich noch 4-10 Gew.-% gemahlener **echter Pfeffer zugegeben**, die erwünschte pfefferähnlich-**braune Färbung** wurde durch den **Zusatz von Zuckercouleur** erreicht.



Zur **Verbesserung des Pfeffergeschmacks** von „Kunstpfeffer“ **versetzte** man Stärkemehl-Verreibungen von Phenylpentensäurepiperididen **mit ätherischen Ölen** oder **Bestandteilen** ätherischer Öle wie Phellandren. Dieses kommt in **Eukalytusöl**, **Campheröl**, **Terpentinöl** und anderen ätherischen Ölen vor und wurde bei der Herstellung von Seifen und technischen Parfüms verwendet.

Unklar ist der tatsächliche Anteil **Immerwahr's** an der Entwicklung der Scharfstoffsynthese. Klar ist lediglich, dass er aufgrund seiner **Doppelqualifikation als Chemiker und Jurist** in besonderem Maße dazu prädestiniert war, in Sachen Kunstpfeffer mit verschiedenen Berliner **Behörden zu korrespondieren** und die bürokratischen Hindernisse bei der Patentierung und Zulassung aus dem Weg zu räumen. Erstaunlicherweise **trat** Immerwahr just nach diesem mühsam errungenen Erfolg aus unbekanntem Gründen im Dezember 1921/Januar 1922 **sämtliche Rechte und Pflichten**, die aus seinen deutschen und österreichischen Kunstpfeffer-Patentgesuchen resultierten, notariell beglaubigt **an Staudinger ab**. Staudinger zahlte Immerwahr für die Überlassung des deutschen Patentantrages 3000,- Mark und für die des österreichischen Patentgesuches 4000,- Kronen. Nur **das ungarische Patent** lief auf **Immerwahr's Namen** weiter. Die eigentliche **Synthese** veröffentlichte Staudinger erst 1923.

Nach Ausbruch des **Zweiten Weltkrieges** wurden in Deutschland **Importgewürze** abermals **knapp**. Die schon aus der Zeit des Ersten Weltkrieges bekannten „**Ersatzprodukte**“ feierten fröhliche Urstände. Auch die Herstellung des synthetischen Pfeffers blühte wieder auf. Da die **Farbwerke Hoechst** eine **fertig ausgearbeitete Synthese** in der Schublade bereit hatten, konnte die Firma schon **im Dezember 1940** mit Staudingers Kunstpfeffer auf den Markt kommen. Auf **ausdrücklichen Wunsch der Konserven- und Fleischwarenfabriken**, die 1935 an der Erprobung des „Kunstpfeffers“ beteiligt gewesen waren, **nahmen** die Farbwerke Hoechst die **Fabrikation** von Staudingers Scharfstoff **wieder auf**. Über die **pharmazeutische Verkaufsabteilung** der Farbwerke gelangte diese Mischung in den Handel. Abnehmer waren diverse **Drogenhandlungen**, die das Präparat nur noch **auf braun gefärbte Drogenpulver aufbringen** und für den Kleinhandel **in Tütchen verpacken** mussten. Die Herstellerfirma, das I.G. Farben-Werk Hoechst, wurde jedenfalls mit allen **für die Synthese benötigten Chemikalien**, besonders **Toluol** und **Pyridin**, beliefert. Um sich für **Staudingers Initiative** in Sachen Pfefferaroma **erkenntlich** zu erweisen, überwies ihm die Farbwerke Hoechst 1940 aus eigenen Stücken jedenfalls eine **einmalige Summe** in Höhe von 2000,- RM. 1943 erhielt er eine **weitere freiwillige Zahlung** von 10.000,- RM, ein damals **fürstlicher Betrag**.

**Forrás:**

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ciuz.201000524>

**Beküldési (beérkezési) határidő: 2021 márciusában, a 2021/2. szám megoldásaival egy időben.**

A megoldásokat a **<http://kokel.mke.org.hu>** honlapon át vagy postán küldhetitek be. A levélben küldött megoldásokat is feltétlenül kérjük a honlapon regisztrálni, mielőtt az alábbi címre feladjátok:

KÖKÉL német fordítási verseny  
ELTE TTK Kémiai Intézet  
Budapest 112  
Pf. 32  
1518

Kézzel írt vagy szövegszerkesztővel készített fordítás egyaránt beküldhető. A kézzel írók (is) mindenképpen hagyjanak a **lap mindkét szélén legalább 1–1 cm margót** (a pontoknak). **Minden lap tetején szerepeljen a beküldő neve, osztálya** valamint **iskolájának neve**.

# Kémia angolul

*Szerkesztő: Tóth Edina*

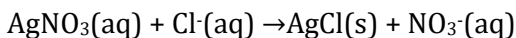
## Előszóban:

A következő szöveg a helyszínelés tudományába vezet el bennünket. Javaslom, hogy olvassanak utána az „analogue” fogalmának a (szerves) kémiában. Sok vegyületnév szerepel benne, amelyek helyes lefordítása szintén igényelhet némi kutatómunkát.

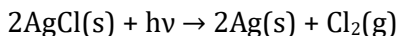
## FINGERPRINTING - Chemical Tests

The second method of fingerprint detection invokes some type of chemical test that results in the formation of a characteristic colored product. Chemical tests are more sensitive than powder tests and can generally be used with residues that weigh between 100 and 200ng. Some of the most widely used chemical tests are the silver nitrate, iodine fuming, ninhydrin, superglue (cyanoacrylate), Physical Developer, and ruthenium oxide tests.

One of the oldest methods for the detection of latent fingerprints makes use of silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ). The test depends on the fact that silver nitrate reacts with the chloride ion present in eccrine secretions:



When exposed to light, solid silver chloride readily decomposes, forming chlorine gas and solid, grayish silver metal:



The test is familiar to most students of introductory chemistry classes and is one of the basic chemical reactions that takes place during the process of photography.

To perform the silver nitrate test, the tester sprays or gently wipes a small amount of a 3 percent solution of silver nitrate across the surface being examined for fingerprints. The surface is then exposed to

ultraviolet light or, if that is not available, to bright normal light. Any fingerprints on the surface will become visible as a grayish pattern in a matter of minutes.

The silver nitrate test is used less frequently today than previously partly because the prints formed with the process tend to become blurred over time and are not usable with prints more than a few weeks old.

Another popular and widely used test for latent fingerprints is the iodine fuming test. When iodine crystals are heated, they sublime; that is, they pass directly from the solid to the vapor state without

first melting. In the presence of eccrine secretions, the iodine reacts with fatty acids in the secretions, forming a brownish complex that is easily visible. The complex decomposes rather easily, however, and the brownish evidence of any prints present on a surface fades rather quickly.

The test is conducted by suspending the surface on which prints have been deposited in a closed container. Iodine crystals are heated in a separate container called an iodine fuming gun, and the vapors produced are passed into the closed container. The container must have a transparent front so that the results of the test can be easily seen and photographed. Any prints detected in this way can be “fixed,” or made more permanent, by introducing a second reagent into the container. One substance commonly used is a starch solution, which reacts with iodine deposited on the prints to form a more permanent blue pattern.

[...]

Ninhydrin is an aromatic compound whose systematic name is triketohydrindene hydrate. In 1910, the English chemist Siegfried Ruhemann (1859–1943) discovered that ninhydrin reacts with amino acids to form a distinctive purple compound now known as Ruhemann’s purple. The test is conducted with a solution of about 0.5 percent ninhydrin in some appropriate solvent (such as ethanol or acetone). A number of different formulations are commercially available under names such as Arklone and Fluorisol. The solution is sprayed on the surface on which prints are suspected, and the appearance of the distinctive purple color is evidence of the existence of such prints. Color may begin to develop within a few hours or as long as 48 hours after

application of the ninhydrin. Development of a ninhydrin print is also enhanced by heat treatment. The print-containing surface may be suspended in a heating oven at temperatures of up to 100°C for up to about five minutes.

The results of a ninhydrin test can be further enhanced and, in some cases, preserved by the addition of a second reagent. Spraying the print-containing surface with a salt of zinc, for example, causes a color change from purple to orange. In some cases, the color change permits the print pattern to stand out more clearly from the background than the original Ruhemann purple.

The ninhydrin test has now become the most popular test for latent fingerprints on paper. It has been used successfully in detecting prints that are up to 15 years old. Ninhydrin is by no means the only reagent that reacts specifically and characteristically with amino acids, however. A considerable amount of research has been conducted on analogs of ninhydrin, compounds with a chemical structure similar to that of ninhydrin and possessing a similar tendency to react with amino acids. Some of the compounds studied in this line of research produce results superior to those obtained with ninhydrin itself in fingerprint identification. These include benzo(f)ninhydrin; 1,8-diazafluoren-9-one (DFO); 5-methoxyninhydrin; and 5-(methylthio)ninhydrin.

In most cases, the ninhydrin analogues are superior, not because of the primary reaction between reagent (ninhydrin or ninhydrin analogue) and fingerprint, but because of the increased visibility of the print when viewed under optical light treatment. [...]

A popular commercial adhesive sold under the name of superglue has been shown to be an effective reagent for the detection of fingerprints. The primary ingredient of superglue is generally the methyl or ethyl ester of cyanoacrylic acid, methyl-2-cyanoacrylate or ethyl-2-cyanoacrylate. When superglue is heated, it produces a colorless vapor that appears to be especially attracted to oily products such as those generally found in a fingerprint. The vapor deposits on the ridge patterns of the fingerprint, polymerizes, and forms a white powder (polycyanoacrylate) that adheres to the prints.

The cyanoacrylate fuming test is easy to conduct. The object to be tested is suspended inside a container with at least one transparent side. A few drops of superglue or similar cyanoacrylate product is added to



the container, and the container is sealed and heated to about 100°C. That heat is sufficient to cause vaporization and polymerization of the cyanoacrylate, resulting in the formation of distinctive white print patterns, a process that may take two hours or more. The cyanoacrylate fuming test has become the procedure of choice for the detection of latent prints deposited on nonporous objects, such as glass, plastic, rubber, and leather.

As with other methods of latent print detection, the prints obtained by means of the cyanoacrylate fuming test may be further enhanced by a variety of techniques for better viewing. [...]

A product that has some important special applications in fingerprint identification is Physical Developer (PD). The primary active ingredient in PD is silver nitrate, a substance that reacts readily with chloride ions in eccrine secretions, as discussed earlier. The silver nitrate is mixed with an oxidation-reduction (redox) system, a detergent, and a buffer. A typical redox system consists of ammonium iron(II) sulfate  $[\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2]$  and iron(III) nitrate  $[\text{Fe}(\text{NO}_3)_3]$ . When PD is applied to a surface that contains fingerprints, silver ions adhere to the print ridges, where they are reduced to silver metal. As with the silver nitrate test already described, even very small amounts of silver metal are adequate to make prints visible.

The Physical Developer test has two special advantages. First, it works well with porous objects that are wet or that have been wet in the past. Second, PD has been effective in developing prints when other methods have been unsuccessful. The greatest disadvantage of the PD test, however, is that it is destructive. The chemicals in the product may wash away parts of the print itself or may react with the surface to which they have adhered. It must, therefore, be the final test carried out on a sample.

Latent fingerprints occur on such a wide variety of materials and under such a wide variety of circumstances that specialized tests can sometimes produce results that more traditional procedures (such as ninhydrin, cyanoacrylate, and silver nitrate tests) might miss. For example, dimethylaminocinnamaldehyde (DMAC) has been used for the detection of prints left on thermal paper, a material that has posed problems with other detection systems. DMAC reacts with urea in eccrine secretions to produce a dark red product.

Another test showing some promise has involved the use of ruthenium tetroxide ( $\text{RuO}_4$ ). Since ruthenium tetroxide presents certain safety hazards (it tends to decompose explosively above  $200^\circ\text{F}$  [ $100^\circ\text{C}$ ]), historically its use has been quite limited. In 1995, however, a team of Japanese researchers developed a safe method by which the reagent can be used. It is now available in that formulation under the name of RTX. When a material is exposed to RTX fumes, any fingerprints on it will react with the reagent to produce a dark gray image. The reagent has proved to be especially useful on certain types of porous materials, such as paper money, that pose problems for other types of detection systems.

Készült: Newton, D. (2007). *Forensic chemistry*. New York, NY: Facts on File. *FINGERPRINTING* című fejezet *Chemical tests* című alfejezete (24-28. oldal) alapján

## A 2020/4. szám feladatának mintafordítása

A szövegben a leggyakrabban nehézséget okozó részeket vastagon szedjük.

### A fagylalkészítés fizikai kémiája

Ha csak egyszerűen összekeverjük a **tejszínt**, a cukrot, a tojássárgáját és **ízesítjük gyümölcscsel vagy csokoládéval**, a keveréket a fagyasztóba téve nem lesz belőle fagylalt. Az összetevők feldolgozásának módja befolyásolja a termék **állagát**, ennek magyarázata pedig a fagylalt fizikai kémiájának megértésében keresendő.

Ha megnézzük a fagylaltról pásztázó elektronmikroszkóppal sokszázszoros nagyítással készült képet, jól látszik, hogy **szerkezete az 1  $\mu\text{m}$ -tól 1 mm-ig terjedő mérettartományban igen összetett** (1. ábra). Vannak benne jégkristályok (kb. 30 térfogatszázalék), levegőbuborékok (50%) és a tejszínből származó zsírcseppek (5%), amelyeket **viszkózus** cukoroldat (15%) tart össze. A fagylalt tehát **mindhárom halmazállapotot** egyszerre tartalmazza, egyaránt hab és olaj-víz emulzió is. A fagylalt minősége annak mikroszerkezetétől függ: az apró jégkristályok és levegőbuborékok adják a fagylalt sima, puha

állagát. Ha a jégkristályok túl nagyok, a fagylalt szemcséssé válik, fogyasztása kellemetlen. A jó fagylalt készítésének kulcsa ezen mikroszerkezet létrehozása – ahhoz, hogy ennek módját megértsük, szükséges a fizikai kémia bizonyos szintű ismerete.

### Mikroszerkezet létrehozása

Első lépésben tudnunk kell azt, hogy az egyes összetevőkből mennyit használjunk fel. A fagylalt általában körülbelül 60 tömegszázalék jeget tartalmaz. Ha ennél sokkal többet tartalmazna, akkor a termék túl kemény lenne; ha kevesebbet, akkor inkább sodószerű lenne és nem hűsítene le egy forró napon. A cukor mennyisége (szacharóz,  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) határozza meg a fagylaltban található jég mennyiségét, hiszen befolyásolja a fagyáspontot.

### François-Marie Raoult színre lép

A tiszta víz 0 °C-on fagy, de **oldószer** (pl. cukor) hozzáadása a fagyáspont lecsökkenését eredményezi, ugyanis az oldott anyag jelenléte megnehezíti a vízmolekulák szabályos rácsba rendeződését, azaz a fagyást. (Ezért sózzák az utakat télen, ha jégmentesíteni akarják azokat.) A jelenség magyarázatát François-Marie Raoult-nak (1830-1901) köszönhetjük, aki megmérte számos oldat fagyáspontját és egyéb fizikai jellemzőit. Raoult igazolta, hogy egyenes arányosság áll fenn az alkoholos italok fagyáspontja és alkoholtartalma között. A fagyáspontcsökkenés függ az oldott anyag koncentrációjától, de az anyagi minőségtől független. A következő összefüggéssel adható meg:

$$\Delta T = T_w - T_s = \left( \frac{RT_w^2}{\Delta H_f} \right) x$$

ahol  $T_w$  a tiszta víz fagyáspontja (273 K),  $T_s$  az oldat fagyáspontja,  $R$  az egyetemes gázállandó,  $\Delta H_f$  a víz fagyásához tartozó látens hő (azaz maga a fagyáshő) (6,01 kJ/mol),  $x$  pedig az oldott anyag móltörtje. (Az ide kapcsolódó megfigyelés, miszerint az oldószer gőznyomása az oldószer felett arányos az oldatban lévő oldott anyag móltörtjével, a Raoult-törvény.) A fenti összefüggés a legtöbb oldatra igaz alacsony koncentráció esetén, de nagy koncentrációnál eltérést tapasztalhatunk.

### A fagyáspontgörbe felhasználása

A 2. ábra a szacharózoldatok fagyáspontját mutatja a koncentráció függvényében. A fagyáspontcsökkenés kb. 0,02 móltört fölött eltér a

lineáristól. Ha egy szacharózoldatot a fagyáspontja alá hűtünk, jég képződik és ez kivonja a vizet az oldatból; ezáltal a szacharózkoncentráció növekszik, a fagyáspont pedig tovább csökken. A hőmérséklet csökkenésével még több jég keletkezik, az oldat koncentrációja a görbének megfelelően változik. Bármely fagyáspont alatti hőmérsékleten adott mennyiségű jég tart fent egyensúlyt a **fagyás következtében betöményedett szacharózoldattal**.

A fagylalttudósok a fagyáspontgörbét használják a fagylaltreceptek kidolgozásakor. Tegyük fel, hogy például 1 kg 50 tömegszázalék jeget tartalmazó fagylaltot szeretnének készíteni  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os normál fagyasztási hőmérsékleten. Mennyi szacharózt kell használniuk? A görbe alapján  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on **0,083 móltörtnek megfelelő, azaz 63 tömegszázalék szacharóz** tart fent egyensúlyt a jéggel, tehát

$$M_{\text{szacharóz}} / (M_{\text{szacharóz}} + M_{\text{víz}}) = 0.63$$

A teljes tömeg 1 kg, ennek 50 százaléka jég, vagyis a maradéknak szacharóznak és meg nem fagyott víznek kell lennie.

$$M_{\text{szacharóz}} + M_{\text{víz}} = 500\text{ g}$$

E két egyenlet megoldásával az  $M_{\text{szacharóz}} = 320\text{ g}$ -nak adódik. A recept kidolgozása során a gyakorlatban az egyéb oldott anyagokkal is számolni kell, pl. a tej összetevőivel. Az üzemben elsőként a megfelelő mennyiségben elegyítik az összetevőket, és ezt a keveréket pasztórozzik, annak érdekében, hogy minden káros mikroorganizmust elpusztítsanak. Kezdetben a zsír nagyobb méretű cseppek (gömbök) formájában van jelen. A keveréket homogenizálják, mégpedig úgy, hogy kis lyukakon préselik keresztül magas nyomást alkalmazva (lásd. 3(a) ábra). Ez összetöri a zsírgömböket, amelyekből emulzió keletkezik, amiben sokkal kisebbek lesznek a zsírcseppek ( $<1$  mikrométer), és sokkal nagyobb lesz a felületük. Ahhoz, hogy a zsírcseppek kicsik maradjanak, az emulziót felületaktív anyaggal kell stabilizálni (ld 1. szövegdoboz). A fagylaltban kétféle felületaktív anyag található: tejfehérjék (például kazein) és emulgeálószeresek (például mono- és digliceridek, illetve a tojássárgájából vagy szójababból származó lecitin). Ezek a részecskék adszorbeálódnak a homogenizált zsír felszínére és stabilizálják az emulziót (3(b) ábra). Ezután a keveréket kb.  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra hűtik, a zsír olvadáspontja alá, amely ekkor kristályosodni kezd.

Ezáltal a mikrostruktúra egyik alkotóeleme – a zsírcsepp – létrejött. A következő lépésben a keveréket a levegőztetés és fagyasztás fagylalttá alakítja.

## A mongol lovasok

A legenda szerint **az egyidejű fagyasztással és levegőztetéssel készült fagylalt** a mongol lovasok téli, Góbi sivatagi vándorlásainak idejéből eredeztethető, amikor a lovasok élelmezési céllal **tejszínnel megtöltött állati beleket** vittek magukkal. Vágtázás közben a tejszín erőteljesen rázkódott, miközben a 0 °C alatti hőmérsékleten megfagyott, így fagylalt lett belőle.

A modern fagylaltgépek kevésbé egzotikusak. **Egy hűtött tartályból és egy kaparópengéssel felszerelt, forgó keverőlapátból állnak.** A körülbelül 4 °C-os fagylaltkeveréket a tartályba töltik. Levegőt fecskendeznek be, ezzel nagy buborékokat képeznek amelyeket aztán a keverőlapát sok kisebbre bont. A zsírcseppek és tejfehérjék a légbuborékok felszínére adszorbeálódnak és stabilizálják azokat, éppen úgy, ahogy a tejfehérje és az emulgeálószer stabilizálják a zsírcseppeket. Mivel a zsírcseppek részben kristályosak, egy erős, merev burkot hoznak létre, amely megakadályozza a levegőbuborékok összeesését.

A hordó falát lehűtik, körülbelül –30 °C-ra, így amikor a keverék hozzáér a hordó falához, azonnal jég keletkezik, és a hó gyorsan távozik a keverékből. A hordó faláról a forgó kaparókések gyorsan lekaparják a jeget, ami apró kristályokként oszlik el a keverékben. Ahogy a fagylalt áthalad a fagyasztón, hőmérséklete csökken, még több jég keletkezik, és a fagylalt viszkozitása növekszik. A viszkozitás növekedése két okra vezethető vissza.

- Először is, a cukoroldat belső viszkozitása csökken, ahogy az oldat egyre hidegebb lesz.
- Másodszor, amint arra Einstein eredetileg rámutatott, a szilárd részecskék oldatának viszkozitása a szilárd fázis (azaz a jég) térfogatának növekedésével szintén növekszik. Ez azt jelenti, hogy a keveréket nehezebb keverni, így a lapát forgatásához szükséges energiabevitel nagyobb lesz. Ez az energia a fagylaltban hó formájában oszlik el. **Végül, amikor a fagylalt hőmérséklete eléri a kb. –5 ° C-ot, a forgólapát által bevitt energia mennyisége megegyezik a**

**hűtőközeg által hő formájában eltávolított energia mennyiségével és a fagylaltot nem lehet már tovább hűteni: a folyamat önszabályozóvá válik.**  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on a fagylalt túl puha a feldolgozáshoz: nem lehet például csokoládéval bevonni. A mikroszerkezete instabil, ezért a fagylaltot eltávolítják a fagyasztóból és kb.  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os levegő befúvásával egy zárt kamrában gyorsan lehűtik („megszilárdítják”). A jégkristályok mérete (és így a végtermék minősége) függ a fagyasztó belsejében uralkodó körülményektől, mint például a fal hőmérsékletétől, a fagylalt hordóban töltött idejétől és a szilárdítás sebességétől.