ütemes csapásaira. Miképpen képes ez a növényke ezt a szilárd, kemény, ridegen törő anyagot átfúrni?

Aztán így töprengve visszaemlékezünk azokra a lapostetejű garázsokra, amiket egykor szurokkal szigeteltek, s mely tetőkről oldalt „jégcsapokként" lóg a szurok, mintha szép lassan folyna lefelé. Végüket le is törhetjük, s ez a meglepetés, hiszen a folyadékszerűen lefolyó szurok éles, sima törésfelületet mutat, olyat, mintha szilárd, rideg anyag volna. Végképp nem érthetjük a dolgot; az aszfalt (szurok, bitumen, kátrány) kétféleképpen viselkedik: egyszer ridegen törik, másszor sajátosan „folyik", s csak csodálkozni tudunk az azt áttörő növény teljesítményén. Pedig ne higyjük azt, hogy egy fűszál nagyobb nyomást lenne képes kifejteni a betontörőnél. A megoldás kulcsa az, hogy helytelen, ha a valódi szilárd, kristályos testeket és az amorf, szilárd anyagokat egyformán kezeljük.

5.2. Belső súrlódás, viszkozitás

Bizonyára mindenkinek akadt már dolga mézzel. Az ilyen folyadékokat szokás viszkózusnak nevezni, s a tájékozottabbak rögtön a nagy belső súrlódásra gondolnak. Igen, célszerű „belső" jelzővel illetni ezt a fajta súrlódást, mivel itt a kanál mézbe dugásakor, illetve kihúzásakor tapasztalható ellenállást nem a kanál és a méz közt közvetlenül fellépő súrlódásnak kell tulajdonítani, hanem a méz mozgó rétegei közti, azaz belső súrlódásnak. A kanálhoz tapadó vékony réteg vele együtt mozog, a szomszédos réteg valamelyest már lemarad, attól pedig a következő... A rétegek egymáshoz viszonyított relatív sebessége miatt a folyadékrészecskék különböző impulzussal rendelkeznek, így a rétegek közti cseréjük impulzustranszportot eredményez, azaz egy nagyobb sebességű rétegből a kisebbe átlépő részecske helyébe a kisebb sebességű rétegből kisebb impulzusú részecske lép, tehát a lassúbb réteg gyorsul, a gyorsabb lassul. Ez a magyarázat igen szemléletesen tükrözi a gázok belső súrlódását, de az ezt okozó folyamatok főleg a folyadékoknál és a szilárd anyagoknál rendkívül bonyolultak, s a viszkozitás mellett a szilárd testek rugalmassági határán kívüli viselkedése (ridegség, keményedés, plaszticitás) szempontjából is fontos. Az impulzustranszport a

rétegek között tehát egy érintőlegesen fellépő súrlódásban nyilvánul meg; a súrlódási erő mérésével, ismerve a rétegek sebességkülönbségét, valamint az érintkező q felületét, definiálhatunk egy, az illető folyadék belső súrlódását jellemző mennyiséget, a viszkozitási együtthatót:

$$\eta = \frac{F\,\Delta y}{q\,\Delta v}$$

η reciproka adja a köznyelvől talán ismertebb mennyiséget, a folyékonyságot (fluiditást). Lényeges, hogy belső súrlódás csak akkor lép fel, ha a rétegek relatív sebessége nem zérus, így nyugvó folyadékoknál nem tapasztalható, nyíróerők nem lépnek föl. Ez lényeges eltérés a kristályos szilárd anyagokhoz képest, ahol ugyanis teljes nyugalom esetén is felléphetnek nyírófeszültségek. A viszkozitás mértékegysége:

$$[\eta] = \frac{Ns}{m^2} = 10\,\text{poise}$$

Néhány anyag viszkozitási együtthatóját táblázatunk mutatja:

víz	100,87	P	kloroform	56,4	P	benzol	64,9	P
terpentinolaj	149	P	higany	155	P	aceton	32,3	P
széntetra-klorid	96,9	P	glicerin	147	P	etilalkohol	124	P

A viszkozitás annál nagyobb a táblázatból is láthatóan, minél kevésbé „folyós" az anyag, s a gázok kivételével a hőmérséklet növelésével csökken, (így a mézet pl. kis melegítéssel hígfolyóssá tehetjük), a gázoknál viszont nő.

A belső súrlódást nem a definíció szerint mérik, hanem a belőle levezethető összefüggések felhasználásával, mert így kényelmesebb. Az egyik a Höppler-féle módszer, melynek lényege, hogy egy apró golyó folyadékbeli „esési" idejéből következtetnek a viszkozitásra. A másik mód az ún. rotáci-

ós eljárás, amikor is egy torziós szálon függő, az illető folyadékba merülő korong csillapodó torziós rezgése a számítás alapja. Az Ostvald-féle viszkoziméternél a mérendő folyadékot egy kapillárison folyatják át, az átfolyási időből számítható a viszkozitási tényező.

Érdekességként megemlíthető, hogy igen alacsony, az abszolút zérus hőmérséklet közelében a cseppfolyós Hélium belső súrlódása jelentősen lecsökken, majd egy speciális átalakulás után el is tűnik. Ezt az effektust a Nobel-díjas Kapica fedezte fel, az ő nyomán szuperfolyékonyságnak nevezzük a jelenséget.

5.3. Amorf anyagok - viszkózus folyadékok

Az amorf anyagok a kristályosokkal szemben nem rendeződnek szabályos térrácsba, hanem részecskéik rendezetlenül, legfeljebb kis tartományokban rendezetten helyezkednek el. Utóbbira példa a cseppfolyós víz, mely jellegzetes kvázikristályos szerkezetű. A vízben az egyes molekulák koordinációs száma alig nagyobb a kristályos jég *4*-es koordinációjánál. A koordinációs szám a hőmérséklettel alig nő, s víznél *83 °C*-on *4,9* körüli. *Bernal* vizsgálatai szerint a víz szubmikroszkópikus méretű „jégszemcsékből" áll. A cseppfolyós vízben a molekulák viszonylag nagy méretű „rajokba", szemcsékbe rendeződnek, szobahőmérsékleten $\approx$ *80-90* vízmolekula csoportosul. Ilyen rajokban a molekulák $\approx$ *70 %*-a található, s a jég szerkezetéhez hasonló kristályos alakba rendeződnek. A rajokat magányos, illetve néhány más molekulával összekapcsolódó molekulák különítik el egymástól. A rajok persze nem stabil képződmények, minduntalan szétesnek, majd újra összeállnak. Ily módon tehát a víz kis tartományokban rendezett, a közti részeken rendezetlen, amorf, se nem tiszta kristályos, se nem teljesen amorf: kvázikristályos. Általában minden folyadék amorf szerkezetű, köszönve ezt a viszonylag kis kohéziónak.

Az egyik legközönségesebb szilárd amorf anyag az üveg, speciális fajtája a kvarcüveg, amihez a SiO_2 megolvasztásával, majd újrahűtésével jutunk. Az így kapott amorf állapot szerkezeti jellemzője, hogy már nem mutatja a kristályos SiO_2-ra jellemző szabályos rácsszerkezetet. Az üveges ál-

lapot, minthogy az alkotó SiO_2 tetraéderekben az OSiO kötésszög szigorúan tetraéderes *(109,5°)*, nem ezen szög torzulásával magyarázható, hanem az SiOSi kötésszög változásával. Az oxigén nemkötő elektronpárjai részlegesen delokalizálódnak, így az Si-O-Si szög a tetraéderesnél nagyobb, kvarcnál *142°*, s viszonylag kis energia hatására könnyen változik. Ennek eredménye egy aperiodikus hálószerkezet, valamint, hogy a stabil, kristályos állapot nem képvisel az amorfhoz képest jelentősen kisebb energiájú állapotot. A közönséges üvegekben a SiO_2 mellett alkálifém, alkáliföldfém-oxidok is előfordulnak, a váz üregeiben helyezkedvén el a kationok. Az üvegekben a kötések erősek, a hőmozgás hatására nem szakadnak fel szobahőmérsékleten, többek között ezért szilárdak. Igen hosszú idő alatt azonban mégis egy átrendeződési folyamat megy végbe. Említettük, hogy az üvegeknél a kristályos állapot tekinthető a stabilnak. Hosszú idő alatt az olyan stabilnak, változatlannak tűnő amorf üveg lassan visszaalakul kristályossá, rendezetlen szerkezete rendeződik. A kötések fel-felszakadnak, de csak nagyon ritkán (épp ezért oly lassú többek között az átalakulás), eltolódnak, átrendeződnek. A termodinamika II. főtételével nincs baj – miszerint az entrópiának növekednie kellene –, ha az amorf üvegeket túlhűlt folyadékként kezeljük, mely csak roppant nagy viszkozitása miatt nem alakult még vissza a lehűtés után kristályossá, s viselkedik szinte minden köznapi erőhatásra rideg, szilárd anyagként. Ilyen túl gyorsnak számító erőhatásra nem tudnak a kötések felszakadni, átrendeződni, az üveg egy darabig ellenáll, majd eltörik. A nagy belső súrlódás az oka tehát, hogy ámbár az üveg folyadéknak tekinthető, mégis törékeny (a „törhetetlen" üvegeket nem azon az elven készítik, hogy folyadékszerűbbé teszik). Évszázadok alatt mégis megnyilvánul az üveg folyadékszerű volta. Régészeti üvegleleteken sajátos folyási tüneteket tapasztaltak, ami nem gyártási hibának tudható be. Az üveg saját súlya hosszú, állandó, lassú erőhatást képvisel, ez eredményezi az üveg megfolyását évszázadok alatt.

Ugyancsak régészeti bizonyítékok vannak az üveg lassú visszalakulására amorf állapotból kristályosba. Múzeumokban figyelhetők meg olyan régi üvegedények, melyet átlátszatlanok, „tejesek". Annál inkább így van ez, minél régebbi az üvegedény. Gondolhatunk a régiek fejletlen, tökéletlen

gyártási technikájára, de „őseink" is hasonlóan tiszta, átlátszó üvegeket tudtak már gyártani, mint mi. Időközben azonban a nagy viszkozitás ellenére is megtörtént az üveg említett visszaalakulása, az amorf üveg fokozatosan átkristályosodott, s ez a folyamat napjainkban is folyik. A kristályos szerkezetű üveg azonban átlátszatlan. Innen a régi üvegek sajátos homályossága.

Érdekességként megemlíthető, hogy léteznek fémek is amorf állapotban. Pontos elnevezésük: amorf fém, de divatos „üvegfém"-, illetve „fémüveg"-nek is hívni, utalva rendezetlen, üveges szerkezetükre. *Duwez* professzor és társai állítottak elő először Kaliforniában (Pasadena) 1960-ban Au-Si ötvözetből amorf fémet, azóta széleskörű vizsgálatok folynak ez ügyben. Az üveg jó példa az atomos, szilárd amorf anyagra. Az amorf másik fajtája óriásmolekulákból áll. Polimerizáció útján óriásmolekulák alakulnak ki (a műanyagok nagy része mesterséges polimerizáció terméke). A láncmolekulák között fellépő kötőerők többnyire gyengék. Létrejöttük oka a közeli atomok polarizálódása miatti erőhatások. Abban az esetben, ha a láncot képező atomcsoportok mérete lehetővé teszi azok egymás közelébe kerülését, nagyszámú másodlagos kötés alakul ki, s szilárd kapcsolat jön létre a molekulák között. A polimer molekulák így szorosan egymás mellé felhajtogatódva rendeződnek, a kristályosodás speciális vállfaját képezve. Joggal nevezzük ezeket kristályos polimereknek. Mivel bennük rendezetlen tartományok fordulnak elő, nem tekinthetők igazi kristályos anyagoknak, a láncmolekulák viszonylag könnyen elmozdulhatnak egymáshoz képest, ezért a kristályos polimerek gyakorlatilag nem törnek. Ha az óriásmolekula-láncokban nagyobb oldalcsoportok is előfordulnak, már nem kerülhet egymáshoz szorosan közel nagyszámú atomcsoport, azaz a láncok fentebb említett kristályosodási, rendeződési hajlama csökken. Az oldalcsoportok miatti kevés számú kötés a láncok gyenge kapcsolatát eredményezi, s már szobahőmérsékleten is a hőmozgás hatására fel-felbomlanak a kötések. Ilyenkor a láncok nem szabályosan hajtogatódnak fel, hanem össze-vissza, összegubancolódva, feltekerednek egymáson, de kis erő hatására is a gyenge kapcsolat miatt könnyen elcsúsznak, elmozdulnak egymáshoz viszonyítva. Állandó alakkal így nem rendelkeznek, tehát folyadékszerűek. Lényegében folyadékoknak tekinthetjük ezeket az anyagokat, hosszabb idő alatt, a lán-

cok közti kapcsolat erősségétől függően, szétfolynak. A szurok, bitumen, aszfalt, s némely szilikonolaj képviseli ezeket az anyagokat.

Az aszfalt útburkolat a nagy hőségben jelentősen felhevül, köszönve ezt sötét színének, minek hatására képlékeny, viszkózus folyadékként viselkedik. Ezzel magyarázható az út jellegzetes felhólyagosodása. Mikor az utat készítették az aszfalttal való burkolás során apró levegőzárványok keletkeznek az útban (egyrészt eredendően találhatók a „folyékony" aszfaltban levegőbuborékok, másrészt a burkolás során is szorul levegő a szemcsék közé). A zárványok „buborékként" haladnak fölfelé igen lassan az aszfaltban. Ez érthető, hiszen az aszfalt az előbbiek szerint még szilárdan is viszkózus folyadéknak tekinthető. A légzárványok a felszínre érve, a fölöttük elvékonyodó szurkot kinyomják, s kialakul egy hólyag, ami a nagy melegben a levegő feszítőereje hatására kipukkadhat.

5.4. „Viszkózus folyadékok" a természetben

Talán a leglátványosabb keretek között találkozhatunk a természetben viszkózus folyadékként viselkedő anyaggal egy vulkánkitörés alkalmával. Az izzó, távolról igen szép látványt nyújtó láva áramlása kísértetiesen hasonlít a kiömlő méz folyására. De nem is gondolnánk, hogy ez a később megszilárduló, kőkeménnyé dermedő anyag még így, szilárdan is hosszú idő elteltével folyadék-viselkedést mutat. Geológusok, vulkanológusok figyeltek fel arra, hogy egynémely vulkán kráterének belső falán a láva sűrűsödési helyén gömbölyded kőzettestek fordulnak elő. A megszilárduló láva továbbra is amorf szerkezetű marad, s igen nagy viszkozitású folyadékként viselkedve, évtizedek alatt „cseppek" keletkeznek belőle az említett helyen, s mikor a szilárd lávacsepp egy bizonyos nagyságot elér, leszakad a falról, s a kráter fenekére „csöppen". Ha egy ilyen „csöppnek" nekiesnénk kalapáccsal, az széttöredezne, szétpattogna, mert az említettek szerint szilárd anyagként viselkedik. A saját súlya hatására azonban, ami lassú, hosszú ideig elnyúló erőhatás, folyadékként válaszol.

Hasonló dolog zajlik le a Föld belsejében, a szilárd kéreg alatt, ahol a nagy nyomás és hőmérséklet hatására az anyag képlékeny. Ez az oka an-

nak, hogy a köpenykülsőben lassú áramlások zajlanak le, amelyek a lemeztektonikai elméletben fontos szerepet játszanak, mivel segítségükkel magyarázható a litoszféra lemezek mozgása. Ezek az áramlások azonban rendkívül lassúak, hosszantartó, lassú erőhatások eredményeképp a köpenykülső (asztenoszféra) viszkózus folyadékként viselkedik. Az, hogy a földrengéshullámok transzverzális komponense is mégis minden további nélkül áthalad az asztenoszférán, s az egész képlékeny köpenyen, megmagyarázhatatlan, ha a köpenyanyagot csupán folyadékként kezeljük. De rögtön tiszta a helyzet, ha arra gondolunk, hogy az ilyen anyagok a gyors erőhatásokra szilárd testként reagálnak, így terjedhetnek a transzverzális hullámok is a longitudinális mellett.

Tudománytörténeti érdekesség, de analógiaként tárgyunkhoz tartozik, az egykori éterhipotézis. Az éter feltételezésével „megmagyarázható" volt a fény terjedése, mint az éterrészek rezgése. Azt, hogy az éter megfoghatatlan, láthatatlan, mérhetetlen, könnyű volt magyarázni azzal a kinyilatkoztatással, hogy súlytalan, átlátszó, mindent áthat, de baj volt, ha a bolygók mozgását tekintették, ugyanis ezen mozgásra hatással kellett, hogy legyen az éter, ami valamilyen fékezésben, ellenállásban nyilvánul meg. Ezt a problémát azzal próbálták megoldani, hogy feltételezték: az éter a gyors erőhatásokra, mozgásokra (mint a fény terjedése, gyors rezgés) szilárd anyagként viselkedik, de a lassú erőhatásokra, mozgások (mint a bolygók mozgása a térben) folyadékként hat, s a bolygók ellenállás nélkül mozoghattak benne.

Végül egy igen érdekes természeti előfordulást említünk meg, a gleccserjég mozgását, ami egy viszkózus folyadék folyása és egy szilárd test csúszása között van. A gleccserek jegének áramlása hasonló a folyókéhoz. A széleken lassabb, mint középen, a felszínen gyorsabb, mint a fenekén. A jégárnak ez a tulajdonsága lamináris, súrlódásos áramlásra emlékeztet. Az ilyen mozgás hatására nyíróerők lépnek fel a jégben, amit nem képes az elviselni, s számos repedés, hasadék keletkezik, főleg a felszínen és a széleken. A gleccserjég gyorsabban folyik merekedebb lejtőkön, szűkületek előtt lelassul, általában a mélyedések felé halad, de kisebb emelkedőket azért szilárdsága (lassú folyása) miatt leküzdhet, a kanyarulatoknál a folyóvízhez

hasonlóan a jégnyelv sodorvonala eltolódik. A folyás sebessége nagyobb nyáron, mint télen.

Noha a gleccser igazán kristályos anyagból, jégből áll, a gleccser tömegében úgy viselkedik, mint az eddig vizsgált amorf anyagok. A gleccserjég szerkezete más, mint a víz felszínén kialakuló jégé. Szabálytalan alakú, kisebb-nagyobb jégrögökből áll, melyek szabad szemmel is jól láthatók, mert *3-12 cm* átmérőjűek. Tudnunk kell, hogy a víz az az egyik kivételes anyag, mely ha megfagy, kiterjed, ebből pedig következik (Le Chatelier elv), hogy a jég olvadáspontja csökken, ha a nyomást növeljük. A gleccserjégben az említett szemcsék kiszögelléseikkel egymásnak nyomódnak, minek hatására az olvadáspontcsökkenés miatt megolvad a felszínük, s egymáshoz képest elcsúszhatnak a folyadékfilmen az eredő feszültség irányába. A feszültségkülönbségek kiegyenlítődésével a nyomás lecsökken, a megolvadt felületek újrafagynak (regeláció), s a jég kissé elmozdulva, átrendeződve szilárd marad. Újabb nyomódeformáció hatására kezdődik minden elölről. Nyírási, illetve húzási igénybevételkor hasonló regelációs folyamat (elmozdulás) nem alakulhat ki, a jégszemcsék csak elszakadni tudnak, ilyenkor tehát a jég ridegen törik, hasad. Érthető ezek után a gleccserjég különös, a saját súlyának lassú erőhatására történő képlékenysége, a széleken a nyíró- és húzófeszültségek miatti repedezettsége. A gleccserjég nagy tömegben tehát igen képlékeny, nem csoda folyószerű mozgása. Ha hirtelen nyomjuk össze a gleccserjeget, nincs idő a jégszemcsék felületrészeinek megolvadására, így a szemcsék egymáson nem képesek elcsúszni, csak elszakadni, azaz ilyenkor a jég szilárd anyaghoz méltóan törik, hasad, reped.

5.5. A fűszál titka

Mindezek után megfejthető az aszfaltból „kinövő" növényke (többnyire fű, tarack) titka. Az aszfalt (bitumen, kátrány, szurok) normál állapotban (szobahőmérséklet) amorf szilárd anyag, mely lényegében igen nagy viszkozitású *(10^6 P)* folyadéknak tekinthető. Bizonyíték erre a következő néhány kísérlet:

- Tölcsérbe helyeztek egy darab szurkot, s hagyták néhány évig nyugalomban az elrendezést, s néhány év múlva a tölcséren átfolyt a szurok.
- Egy lapra bitumenkockát helyeztek, s néhány hónap múlva szétterült, szétfolyt a kocka.
- Bitumenes hordó megtöltésekor az aljára került fadarab néhány év múlva a felszínre jött. (Archimedes törv.)

Az aszfalt tehát lassú erőhatásokra folyadékként, gyorsakra rideg, szilárd anyagként reagál, mint számos anyag (pecsétviasz, üveg). Az aszfaltra hirtelen rácsapódó acélcsúcs gyors erőhatást jelent, s érthető, hogy a kemény anyag ridegen törik, reped. A kátránytetőről a bitumen súlyának hatására lassan lefolyik, a közben keletkező „szurokcsap" azonban egy hirtelen mozdulattal eltörhető. A gyors erőhatás során ismét éles, sima töret-felület keletkezik.

A járda melletti fű, tarack mindenfelé terjeszkedik, gyökerei szép lassan a bitumen alá is behatolnak, s ott fölfelé megindul egy szál. A lassú növekedés igen lassú erőhatást képvisel, az aszfalt tehát folyadékszerűen kitér a növényke elől, így az viszonylag kisebb erőhatást kifejtve nyomakodhat fölfelé, mígnem el nem éri a felszínt, ahol először felpúposítja azt, majd felrepeszti, végül a levegőre kerül. A növényke aztán el is pusztulhat, a repedés ott marad, amibe por száll, mely ágya lehet más növénynek, s így hódítja vissza a természet a tőle elvett területet lassú, de „céltudatos" munkájával, s az aszfalt „behódol", kitér az élet elől a fizika, a természet törvényeinek megfelelően.

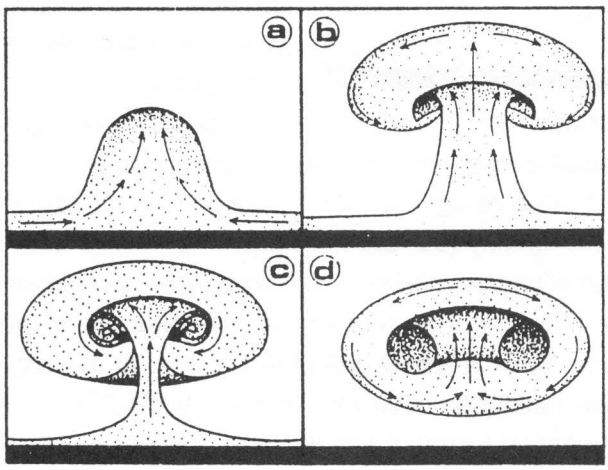
6. A termik fizikája, avagy miért köröznek a gólyák

6.1. Bevezetés

Napsütéses időben nyáron gyakran figyelhetünk meg magasan köröző gólyákat, amint szárnycsapás nélkül keringenek szinte egy helyben. Ezt utánzó vitorlázó-, illetve sárkányrepülőt is láthatunk néha. Ami közös bennük, hogy éppen egy termiket fogtak ki, s annak feláramlását kihasználva emelked-

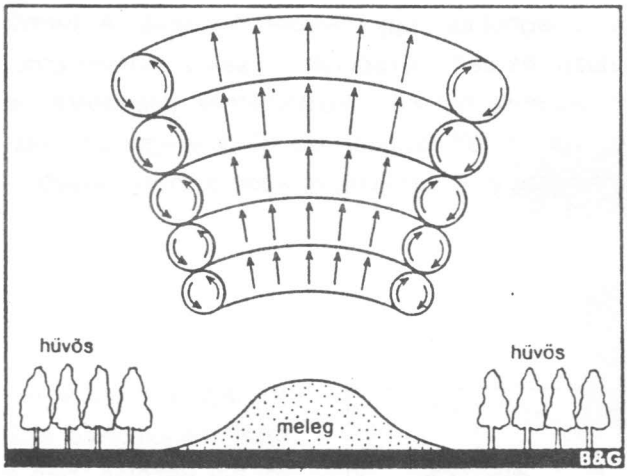
nek csavarvonalban vagy lebeghetnek egy helyben körözve. A termik azonban láthatatlan, a vitorlázó- és sárkányrepülők is csak a hirtelen emelésből és az ezt megelőző leáramlásból következtethetnek jelenlétére. Jó lenne láthatóvá tenni a termiket, mielőtt azonban ezt néhány egyszerű eszközzel házi kísérletünkben megtennénk, szóljunk röviden a termik keletkezéséről.

6.2. A termik



6.1. ábra

A napsugárzás a felszínt felmelegítve alulról fűti vezetés útján a fénysugárzást csaknem veszteség nélkül átengedő alsó légrétegeket. Mivel a felszín nem homogén, a különböző albedójú területek eltérő mértékben melegszenek fel. Így tehát egyrészt vertikálisan csökkenő, horizontálisan pedig a felszíntől függően változó hőmérséklet jellemző az alsó légrétegekre napos időben. Egy olyan területen, ahol a talaj, s így a levegő is a környezethez képest *4-5 °C*-kal jobban felmelegedett, feláramlás indul meg egy láthatatlan dudor formájában (6.1/a. ábra). A feláramló meleg levegő hamarosan hatalmas buborékot alkot, melynek alulról meleg levegő utánpótlása van (6.1/b. ábra). A feláramláskori turbulencia és a fokozatos lehűlés miatt a meleg levegő a 6.1/c. ábra szerinti módon becsavarodik, s az utánpótlás is lassan megszűnik. A becsavarodáskor hidegebb levegő kerül a buborékba, ami körüláramolja a meleg magot, és végül a buborék teljesen elszakadva a felszíntől toroid alakot ölt, létrejön a 6.1/d. ábra szerinti örvénygyűrű egy



6. 2. ábra

meleg maggal, amit hidegebb levegő áramol körül. Ezt nevezzük termiknek. A centrumbeli feláramlást – aminek sebessége *2-3 m/s* körüll, s meghaladhatja a termikbuborék emelkedési sebességét – aknázhatják ki a gólyák, illetve a sárkány- és vitorlásrepülők. Tartós napos időben sűrűn egymás után keletkeznek és emelkednek fel a termikek többnyire ugyanazokon a helyeken, így egymást utolérve egymás alatt felhalmozódva alakul ki az oszloptermik, azaz a termikkémény (6.2. ábra). Ahhoz, hogy valaki a termikben maradhasson, nyilván állandóan köröznie kell, ezért csavarvonalban emelkedik. Berepülve vagy elhagyva egy termiket a perifériás leáramlás (merülőzóna) lecsapja kissé az illetőt. A termik fizikai lényege tehát az, hogy egy nagy örvénygyűrű. Ennek tudatában most már magunk is előállíthatunk kicsiben, laboratóriumi körülmények között, s ami lényeges, látható termikeket.

6.3. Örvénygyűrűk

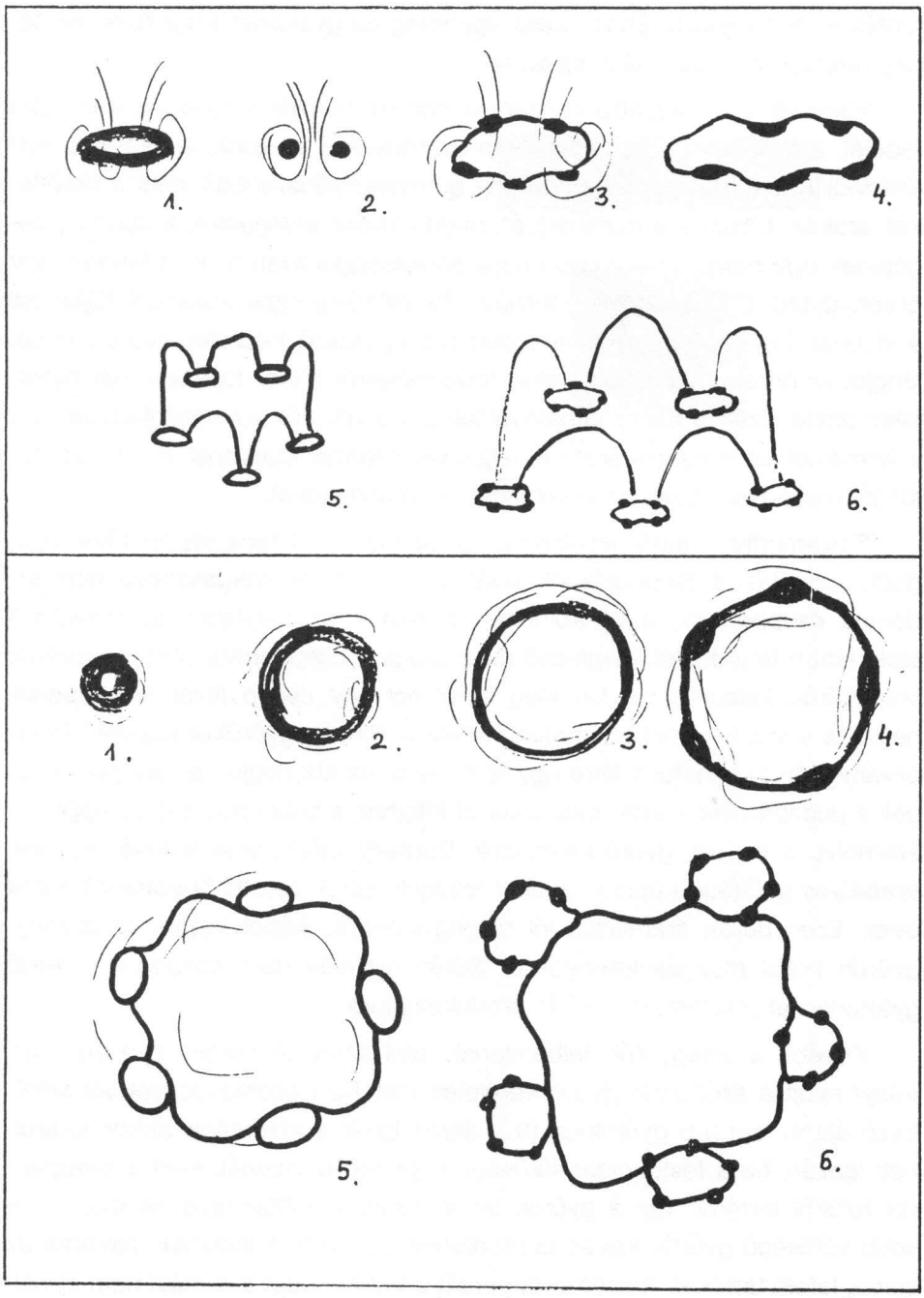
Kör alakú nyíláson nagyobb sebességgel áthaladó folyadékban vagy gázban örvénygyűrűk képződnek, ugyanis a belső súrlódás miatt a nyílás pereménél apró, elemi örvények keletkeznek, melyek egyszerre leszakadva gyűrűvé olvadnak össze. A nyílásnál kialakuló örvénygyűrű nagyobb távolságra is eljut, mivel az örvényekre jellemző a nagy stabilitás. Ilyen örvénygyűrűt figyelhettünk meg egykor a gőzmozdonyoknál, mikor a kéményből nagy sebességgel áramlott ki a gáz és füst. A mozdonyhoz hasonlóan mi is előállíthatunk füstkarikákat, a cigaretta füstjét kell csak megfelelő, apró pöf-

fentésekkel kifújnunk. Ehhez kellő ügyesség és gyakorlat kívántatik, de sebaj, próbálkozhatunk máshogyan is.

Vegyünk egy nagyobb konzerves dobozt, távolítsuk el egyik kör alakú fedelét, a másikon pedig néhány cm-es körlyukat vágjunk. A nagyobb nyílást fedjük le gumilepedővel (vékony gumikesztyűdarabbal), mint a befőtteket szokás. Kihúzva a gumihártyát, majd hirtelen elengedve, a doboz levegőjének egy része a kis lyukon nagy sebességgel áramlik ki, s létrejön egy örvénygyűrű. Erről meggyőződhetünk, ha előzőleg cigarettafüsttel fújjuk teli a dobozt. Egy égő gyertyát megcélozva egyszerű készülékünkkel, annak lángját az örvénygyűrű eloltja akár több méterről, mikor fújásunk már hatástalan lenne. Ezek a füsttel láthatóvá tett örvénygyűrűk rokonságban vannak a termikkel, de mégsem érezzük teljesnek a termik utánzatát, a füst nem teszi jól megfigyelhetővé az örvénylést, az áramlásokat.

Folyamodjunk tehát látványosabb kísérlethez. Szemcseppentővel nyugodt, tiszta vízbe cseppentsünk tintát. *20-25 cm*-nél magasabbról nem érdemes cseppenteni, mert különben a festék szabálytalan, szétmosódott alakzatban terjed szét. Megfelelő magasságból cseppentve szép, szabályos tintagyűrűk keletkeznek. De elég kinyomni egy csepp tintát lecseppenés nélkül, s a víz felszínéhez érinteni, ekkor is formás gyűrűket kapunk. Tintaörvénygyűrűt hozhatunk létre úgy is, hogy a víz alá dugjuk a cseppentő végét, s gumipárnájára apró nyomásokat kifejtve, a tinta nagy sebességgel kiáramolva a csőből, gyűrű keletkezik. Bármely módszerrel is kísérletezünk, szabályos gyűrűket kapunk, amiket felhígult festék alkotta fátyolszerű burok övez. Ezen burok áramlásait jól megfigyelhetjük, képet kapva az örvénygyűrűn belüli mozgásviszonyokról. Sűrűn egymás után csepegtetve kellő gyakorlással „oszloptermiket" is produkálhatunk.

Később a tintagyűrűk felbomlanak, ami azonban megint gyönyörű látványt nyújt a szétfoszló gyűrű kerületén kialakuló csomósodásokból keletkező újabb, apróbb gyűrűkkel (6.3. ábra). Ezek a kísérletek akkor sikerülnek igazán, ha a festékoldat sűrűsége nagyobb a vízénél, mert a cseppentés fölülről történik, így a gyűrűk lefelé haladnak. Ellenkező esetben a kisebb sűrűségű gyűrűk kevés út megtétele után felfelé indulnak, zavarva az újabb, lefelé tartókat. A szemcseppentőt a víz alá dugva, s mást nem csinál-



6.3. ábra

va is érdekes látványban lesz részünk. A csőből lassan, a nagyobb sűrűség miatt kifolyó tinta kezdetben szabálytalan alakzatban mozog lefelé, de nemsokára néhány tintagyűrű alakul ki benne. Ezek már nem oly szabályosak, mint az előző módszerekkel keltettek, de határozottan örvénygyűrűkről van szó.

Mindezek után még mindig túl mesterkéltnek érezhetjük ezeket a kísérleteket a termikutánzás szempontjából, hiszen a termikkel csak örvénygyűrű voltuk a közös, a keletkezési mechanizmusuk már nem. Hasznuk mégis az, hogy a festék áramlásaival hűen szemléltethetjük velük a termiket, viszont a gyűrűképződési folyamat túlon-túli gyorsasága következtében azt megfigyelni nem lehet. Éppen ezért újabb kísérletbe fogunk, amivel már a keletkezési körülményeket is utánozzuk, vagyis egy „valódi" termiket keltünk otthonunkban.

6.4. Termik a befőttesüvegben

Egy befőttesüvegbe (üvegkádba) engedjünk vizet csaknem csordultig. Az üveget tegyük valamilyen háromlábszerű alkalmatosságra úgy, hogy lefelé egy kis darabon szabadon maradjon a feneke. Jó 10 percet várva lecsitulnak az üvegben az áramlások. Ekkor pipettával – de megteszi egy egyszerű üvegcső is, aminek végét biztonságtechnikai okokból előzőleg gázlángba tartva leömlesztettük – igen lassan, óvatosan az üveg víz aljára festéket (tintát) rétegzünk *0,5-1 cm* vastagságban (természetesen a víznél nagyobb sűrűségű festékoldatot használjunk). Ismét várjunk *10* percet, majd egy gyertyával kezdjük el melegíteni egy pontban az üveg szabadon hagyott alját. A melegítést csak néhány másodpercig végezzük (az időtartam függ az üveg vastagságától, a festék minőségétől; a pontos időt magunknak kell kikísérletezni, ezért célszerű egyszerre több üveget a leírtak szerint előkészíteni). A melegítés helyén magasabb hőmérsékletű lesz a folyadék, s egyszercsak megindul fölfelé egy dudor, mely ha nem melegetítettünk túl sokáig és túl nagy felületen, akkor ugyanúgy fejlődik tovább, mint az 6.1. ábra termikje. Kitűnően láthatjuk a 6.1/a. dudort, a 6.1/b. buborékot, a 6.1/c. becsavarodást, s ha újabb „termik" nem indul az üveg aljáról, fokozatosan

megszűnik az utánpótlás, akár a valóságban. A termik örvénylő mozgását szépen megfigyelhetjük, utánzatunk tökéletes.

Később a tinta-termik lehűlve lefelé indul és szétfoszlik. Kísérletünkben nem az üvegbeli konvektív áramlást tettük láthatóvá, melyben az egész vízmennyiség venne részt, hiszen csak rövid ideig melegítettünk, ez idő alatt nem jöhetett mozgásba az üvegben lévő összes víz, csakis a felmelegített kis rész, ezért is sikerült a termikképződést utánozni.

Egy ilyen termikkeltés után a szétkeverődő festék miatt nem oly látványos egy újabb termik, egy új üveg előkészítésével rögtön ezután megint próbálkozhatunk, ami szükséges, mert elsőre nemigen sikerül, kísérletezgetni kell. Azt már értjük, hogy miként alakul ki örvénygyűrű egy lyukon átáramló folyadékban vagy gázban, de cseppentési kísérletünkben, mikor nem a gumipárna nyomogatásával keltettük, és magánál a valódi termiknél sem tapasztalhatunk semmiféle merev, jól körülhatárolt lyukat. A helyzet az, hogy örvénygyűrű kialakulásához nem szükséges merev nyíláson való átáramlás. Szükséges viszont egy nagyobb sebességű, csőszerű áramsugár, amiben a belső súrlódás, a turbulencia miatt alakul ki az örvénygyűrű, annál szabályosabban, minél egységesebb, körülhatároltabb ez a sugár. Ez utóbbi leginkább a lyukon át történő kiáramláskor teljesül. A termiknél ezt az áramsugarat a kezdeti feláramlás „dudor"-jában (6.1/a. ábra) leljük fel, a vízben a cseppentőből kifolyó festék pedig nagyobb sűrűsége miatt viszonylag szabályos sugárban áramlik lefelé. Mikor a cseppentő végén függő tintacseppet a vízfelszínhez érintjük, összeolvad azzal, s a felületi erő mintegy a vízbe rántja, minek hatására a tinta felgyorsulva sugárban áramlik lefelé. Hasonló, bár a becsapódáskori összetett jelenség következtében bonyolultabb a helyzet a festékcsepp vízbeesésekor.

6.5. Szabálytalan „termikek"

Ha a folyadék vagy gázsugár kevésbé szabályos, örvénygyűrű nem képződik, de annak jellegzetes kavargó örvénylése így is kialakul. Ekkor tulajdonképpen egy szabálytalan, deformált örvénygyűrűről van szó.

A legnagyobb ilyen mesterséges „termik"-et a nukleáris robbantások atomfelhőjében fedezhetjük fel. Itt a nagy erővel felfelé nyomuló felforrósodott gáz képez sugarat, a kialakuló „termik"-et pedig az „égéstermék" teszi láthatóvá. Néha többszörös gomba alakú felhő keletkezik. Az ágyúk torkolattüze, a gőzhajók, gőzmozdonyok füstje (most nem a füstkarikáról van szó), a kifújt cigarettafüst is ilyen jellegzetes termikalakzatot vesz fel, először sugárban törve előre, majd gomolyogva szétterjedve. Gondoljunk arra, hogy szokták ábrázolni a dühös, fújtató bikát vagy sárkányt orrán gőzsugarat, tüzes lehelletet fújva. Megint csak az említett termikalakkal találkozunk.

Végül megemlítjük, hogy a polipok gyakran éppen ezen termikalaknak köszönhetik életüket, ugyanis a természetkutatók megállapították: a polipok által kibocsátott festékanyag (tinta) nem hat az élőlények bőrére károsan, de álcázó „füstfüggönyt" sem alkot, nem arra való tehát, hogy elrejtse az állatot üldözői elől. A festékanyag nem hígul, hagyon lassan terjed szét, eléggé sűrű, s farokban végződő golyóként lebeg a vízben. Ebben a termikalakra ismerhetünk, ami érthető, hiszen a polip kilövőnyílásának sugarában távozott meglehetősen gyorsan a tintája. A polip tintalakzata túl kicsi ahhoz, hogy elfedje őt. De ha a kilövellt tinta nem méreg, nem álcaeszköz, akkor hát mire jó? *Theodore Rousseau,* aki behatóan tanulmányozta a polipokat a következő módon magyarázza a dolgot: a tintafelhő nagyjából a polipra hasonlít, s arra való, hogy az üldöző figyelmét elterelje a polipról. A zsákmányt az üldöző összetéveszti a polipot imitáló tintafelhővel.

A bálnák „vízsugarához" számos tévhit kapcsolódik, sokan a táplálékszerzéskor az állat szájába kerülő víz kilövellését vélték benne, pedig a szilláscetek hatalmas nyelvükkel préselik ki a vizet szájukból, a zsákmányállatokat pedig a szilák tartják vissza. A bálnák „vízsugara" nem más, mint a tüdejükből nagy erővel kitóduló vízgőzzel telített használt levegő. A „vízsugár" alul vékony, feljebb pálmaszerűen kiszélesedő fehér ködnek látszik, ami *15 m*-es magasságba is felhatolhat. A bálna ilyenkor *6-8 s* alatt több m^3 levegőt fúj ki, melynek hőmérsékelte *36-37 °C.* A külső hidegebb levegőben aztán a vízgőz egy része kondenzálódik, s az apró vízcseppek diffúzan törve, szórva a fényt, fehéres színt eredményeznek. A „vízsugár" leírásából a jellegzetes termikalakzatra ismerhetünk, ugyanis itt is egy nagy sebességű

gázsugárról van szó. A régi térképeken a tengeri szörnyek által kifújt „vízsugarat" a térképkészítők is termikalakúnak ábrázolták.

7. Arányos aránytalanságok a mesében és az élővilágban

A világirodalom első modern regénye *Swift Gulliver* története. A főhőst, Gullivert először a törpék, majd az óriások országába veti sorsa. A törpék és az óriások az író elképzelése szerint teljesen hasonlóak a normális emberekhez, csak éppen tizedakkorák, ill. tízszerakkorák. Ez a méretkülönbség rendkívüli kalandokba sodorja Gullivert. Swift ötletének különböző változatait a későbbiekben számos szerző felhasználta. Klasszikus mese Hüvelyk Matyi története. Néhány éve nagy sikert aratott a mozikban King-Kong a felhőkarcoló méretű majom története és ugyancsak népszerű volt a négy hangyányira zsugorodott gyerek kalandjairól szóló amerikai film is (Drágám a gyerekek összementek).

A biológia, biotechnológia évtizedében azonban reálisan is felvetődhetnek a kérdések; vajon csak az írói fantázia teremthet törpéket és óriásokat, vagy tényleg reális az emberek és állatok méreteinek látványos zsugorítása, ill. felnagyítása? Vajon a nagyítás és kicsinyítés valóban csak méretbeli problémát jelent? Élhetnénk-e egyáltalán a megszokott módon törpeként vagy óriásként?

A tagadó választ – mint a későbbiekben megmutatjuk – bonyolult biológiai ismeretek nélkül már néhány egyszerű fizikai meggondolásra támaszkodva kimondhatjuk. (Hasonló megfontolásokat először *Galilei* használt „Beszélgetések két új tudományágról" című könyvében.) Belátható, hogy egy változatlan anyagú és felépítésű szervezet nem tud a megszokott módon működni, ha lineráis méreteit nagymértékben megváltoztatjuk.

Térjünk vissza most a Gulliverhez! A törpék Swift szerint pontosan olyan emberek voltak mint mi, csak éppen tizedakkorák, az óriások szintén mindenben hasonlóan hozzánk, csak tízszer nagyobbak. Vizsgáljunk meg néhány olyan kérdést ezzel kapcsolatban, amelynek problematikus voltára az író nem gondolt (esetleg nem is gondolhatott).