

TEMLEITNER LÁSZLÓ–PUSZTAI LÁSZLÓ–POTHOCZKI SZILVIA

# Tetraéderes molekuláris folyadékok

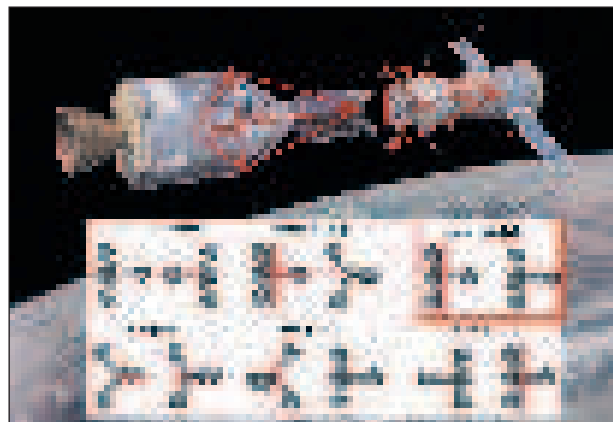
## Egyszerű anyagok, fejfájást okozó problémák

A tettes az ör mögé lopakodva egy üvegcset vett elő, amely átlátszó folyadékot – kloroformot – tartalmazott. A magához tért ör fejfájással küszködve az ékszerkiállítás vitrinjei felé pillantott... Ez az eseménysor lehetne akár egy krimi kezdete is, azonban e helyett egy másik, az üvegcse tartalmához kapcsolódó detektívtörténethez invitáljuk az olvasót.

### Hétköznapijaink folyadékai – molekuláris folyadékok

Az üvegcseben lévő kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ) ún. molekuláris folyadék, ami azt jelenti, hogy jól meghatározott, állandó szerkezetű molekulák alkotják, csakúgy, mint szobahőmérsékleten a folyadékok többségét (ellenpélda lehet a higany [Hg], amelyben különálló higanyatomok találhatók). Legtöbbször észre sem vesszük, de mindennapjainkban is körülvesznek minket különböző molekuláris folyadékok, gondoljunk csak a több szempontból is nélkülözhetetlen vízre (illetve oldataira). Az ilyen folyadékokban a moleku-

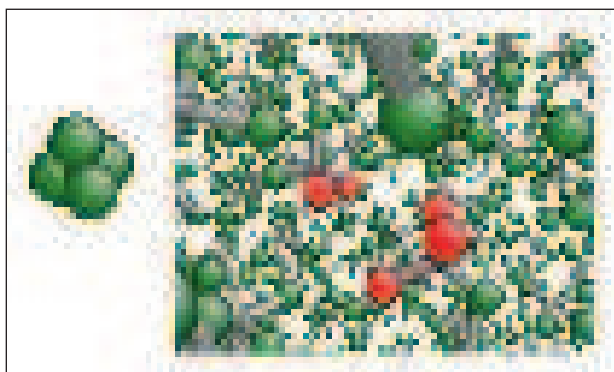
Az egyik legegyszerűbb molekulaalak a tetraéder, ilyenekből áll a már említett kloroform. Azonban e folyadékcsalád (továbbiakban tetraéderes folyadékok) igazi mintapéldája, és ennek következtében a legtöbbet vizsgált tagja, a tökéletes tetraéder alakú (1. ábra) molekulákból álló szén-tetraklorid ( $\text{CCl}_4$ ), amelynek szerkezete lassan 80 éve foglalkoztatja a kutatókat [1]. Az elmúlt évtizedek alatt számtalanszor kijelentették már, hogy megértették e folyadék (intermolekuláris, azaz a molekulák közötti) szerkezetét, de e magabiztos állításokat (egészen a legutóbbi időkig) újra és újra cáfolták.



2. ábra. Tetraéder alakú molekulák lehetséges egymáshoz viszonyított orientációi. Az Apollo-dokkolás (1:3, vagy csúcs-lap típusú elrendeződés) analógiáját is próbáltuk érzékeltetni (Forrás: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apollo-Soyuz-Test-Program-artist-rendering.jpg>)

2007-ből származik az az egyszerű, mégis hatékony módszer [3], amelynek segítségével eldönthető, vajon helytálló-e az 1971-ben megfogalmazott elképzelés. Az alap gondolat a következő: vegyünk két tetraéder alakú molekulát, jelöljük ki két párhuzamos síkot úgy, hogy áthaladjanak az egyik, illetve a másik molekula központi atomján. A síkok közé eső atomok (ligandumok) száma egyértelműen meghatározza a két vizsgált molekula orientációját. Például, ha mindkét molekulától egy-egy atom esik a két sík közé, akkor 1:1, azaz csúcs-csúcs, vagy ha az egyik molekulától egy, a másiktól két atom, akkor csúcs-él (1:2) orientációról beszélünk. Ilyen módon pontosan hatféle kombináció lehetséges (2. ábra), ebből az 1:3, azaz csúcs-lap éppen az Apollo-beállítás megfelelője.

A bökkenő csupán az, hogy e lehetőség kiaknázásához molekuláris/atómi koordináták sokaságára (akár millióira) van szükség. Hogyan lehetünk képesek az említett eljárást végrehajtani? Honnan lesznek molekulapárjaink? Milyen módszerek állnak rendelkezésre a folyadék szerkezetének atomi léptékű (és valószínű) leírására? E kérdésekről lesz szó a következő fejezetekben.



1. ábra. A szén-tetraklorid egy molekulája (bal oldali panel), valamint a belőlük álló folyadék (jobb oldali panel) sematikus képe. A piros színnel kiemelt klóratomok két, közvetlenül szomszédos molekulához tartoznak, így az egyik molekula a tetraéder élével, míg a másik a tetraéder egy lapjával fordul a szomszédja felé

lák alakja, tulajdonságai és a molekulák egymáshoz viszonyított helyzete, beállásai (orientációi) jellemzik a szerkezetet, és egyúttal nagymértékben meghatározzák az anyag kémiai, fizikai tulajdonságait.

kapcsolódtak össze a dokkoló modulon keresztül a Föld körüli pályán (2. ábra). Ez a roppant érzékletes elképzelés sokáig uralta a szén-tetraklorid szerkezetére vonatkozó megállapításokat.

### Egy attraktív hipotézis

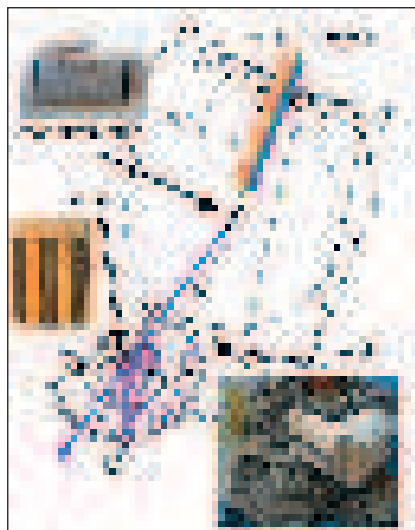
Már a kezdetektől számos elképzelés született arra, hogy a  $\text{CCl}_4$  folyadékban két szomszédos tetraéder alakú molekula hogyan helyezkedik el (azaz milyen orientációt vesz fel) egymáshoz képest. Az egyik legvonzóbb leírás az ún. Apollo-modell [2]. Eszerint két szomszédos molekula úgy fordul egymás felé, mint ahogy 1975-ben az Apollo és a Szojuz űrhajók

### Stratégia a szerkezet meghatározására

A legsikeresebb stratégiának az bizonyult, hogy olyan, több ezer molekulát magában foglaló atomisztikus modelleket állítunk elő, amelyek teljes mértékben összhangban vannak a vonatkozó kísérleti (diffrakciós) adatokkal. A szerkezet jellemzésére e nagyméretű konfigurációkból számolt függvények szolgálnak, ilyen módon például az ismertett geometriai analízis is lehetővé válik.

#### Diffrakció

Hullámelhajlást akkor figyelhetünk meg, ha egy adott hullámhosszú hullám útjába a hullámhossz nagyságrendjébe eső objektum kerül. Ilyet a mindennapi életben víz hullámok esetében tapasztalhatunk, vagy ha egy



**3. ábra.** Egy tradicionális neutrontdiffraktométer sematikus rajza (Budapesti Kutatóreaktor, MTEST berendezés: [www.bnc.hu](http://www.bnc.hu) -> Instruments -> MTEST). A forrásból (ami jelen esetben egy atomreaktor) származó, különböző hullámhosszú (több színű) és energiájú részecskék (neutronok) közül a monokromátor-kristály segítségével választjuk ki a kívánt energiájúakat (hullámhosszúságúakat; az ábrán lila színnel jelölve). Ezeknek a neutronoknak egy része szóródik a mintatartóban lévő folyadék minta atommagjain, az átadott impulzustól függően különböző irányokban. Végezetül a szórt neutronok gyakoriságát a szórási szög függvényében a detektorral határozzuk meg

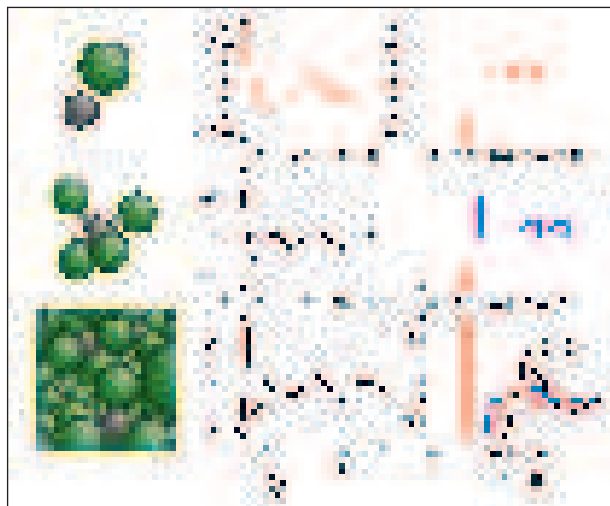
fehér fáltól kb. 20–30 cm távolságban elhelyezett lézermutató nyalábjába egy hajszálát teszünk. Utóbbi esetben némi hajszálhasogatás után arra juthatunk, hogy minél kisebb a szál átmérője, a szála merőleges diffrakciós maximumok annál inkább

eltérnek a direkt – azaz nem szóródott – nyalábtól. Emiatt a keletkezett szórási képet inverz-, vagy reciprok-térbeli képnek is nevezik, megkülönböztetendő a mikroszkópok által szolgáltatott valós térbeli képtől.

Ha több ilyen objektumon szóródik a bejövő hullám, akkor a különböző objektumokról szóródó hullámok eltérő távolságokat tesznek meg a megfigyelési pontig. Ez a különbség a hullámok közötti fáziskésésésként jelentkezik, amely hullámok ebből adódóan erősíteni, vagy gyengíteni fogják egymást. Ez a lehetőség lehetőséget nyújt a szórócentrumok közötti távolságok meghatározására, mégpedig a szóródott hullámok intenzitásának megfigyelése alapján.

Az atomi szerkezet tanulmányozására termikus neutronok, illetve röntgenfotonok alkalmasak, az általuk létrehozott sugárnyalábok hullámhossza tipikusan 0,05...0,2 nm (nanométer; 1 nm =  $10^{-9}$  m; 1 m = 1 000 000 000, vagyis  $10^9$  nm; egy átlagos hajszál kb. 50 000, azaz  $5 \cdot 10^4$  nm vastagságú). A röntgenfotonok az atomok elektronfelhőjén szóródnak, annál jobban, minél több elektrónja van az atomnak. Emiatt a kloroform esetében a klóratomok nagyon jól szórnak, a szénatom jóval kevésbé, a hidrogénről szórt röntgenfotonokat pedig szinte alig találunk a szórási képen. Termikus neutronok esetében a szórási magon történik, ami eltérő szórási erősséget eredményez a röntgenhez képest: itt is a klórok szórnak a legjobban, azonban a szén és a deutérium (a hidrogénatom egyik izotópjára, amely az egyetlen proton mellett 1 neutronot is tartalmaz) szórási erőssége közel azonos. Egy, a valóságban is létező, a tetraédres folyadékok vizsgálatára is alkalmas neutrontdiffrakciós kísérleti berendezés sémáját mutatjuk be a **3. ábrán**.

A diffrakciós kísérletek az atomok közötti távolságokról, valamint a környező atomok számáról és típusáról adnak információt: e sajátságok alapozzák meg a diffrakció kitüntetett szerepét a szerkezetvizsgálatok terén. A **4. ábra** illusztrálja, hogy egy nem-kristályos anyag esetében,

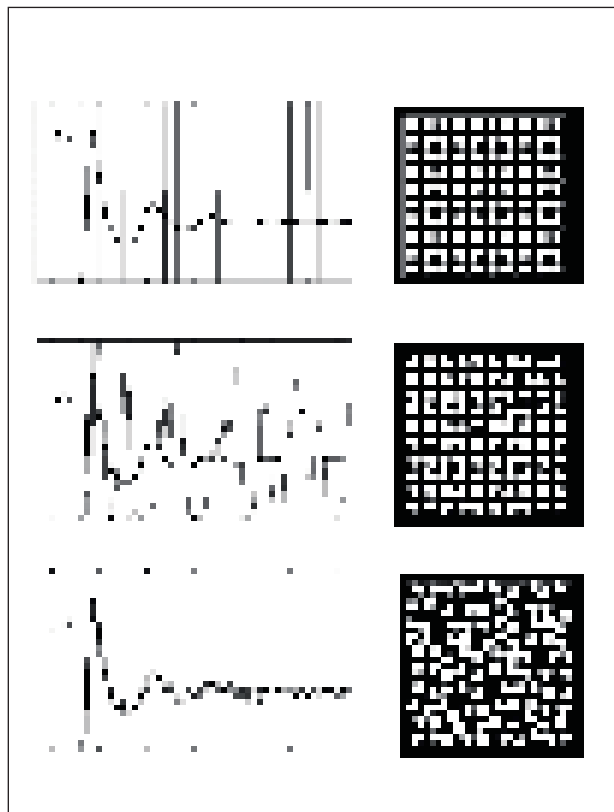


**4. ábra.** Az ábra bal oldalán a részecske-konfiguráció, középen az ehhez tartozó neutrontdiffrakciós szórási kép – szerkezeti függvény – látható a szórási vektor abszolút értékének függvényében, ami a szóródó részecske impulzusváltozásával arányos mennyiség. Az ábra jobb oldalán az atomi párok radiális eloszlásfüggvényét tüntettük fel. A felső sorban egy szénatom (szürke színnel) és klóratom (zöld színnel) látható (a köztük levő távolság,  $r_{\text{C-Cl}} = 0,177$  nm), a középső sorban egy izolált szén-tetraklorid molekulája ( $r_{\text{C-Cl}} = 0,288$  nm), az alsó sorban pedig egy realizált  $\text{CCl}_4$ -folyadékmodell. Figyeljük meg, hogy folyadékállapotban a molekulák közötti korrelációk a molekulán belüli (ún. intramolekuláris) C-Cl és Cl-Cl távolságoktól eltérő, a nem azonos molekulák atomjaira vonatkozó intermolekuláris távolságok megjelenését eredményezik a  $g(r)$ -ben; ez egyúttal a szerkezeti függvény jelentős megváltozását vonja maga után

mint amilyen a szén-tetraklorid, mi az az információ, amit egy diffrakciós kísérletből nyerhetünk.

A diffrakciós kísérletek eredménye a (reciprok térben értelmezett) szerkezeti függvény, amelyből egy valós-térbeli mennyiséget, az atomi párok radiális eloszlásfüggvényét (szokásos jelölése:  $g(r)$ ) határozhatjuk meg (**4. ábra**). Ha egy atom helyébe képzeljük magunkat, akkor ez a függvény megadja a tőlünk  $r$  távolságban lévő vékony gömbhéjban lévő atomok lokális sűrűségének és a teljes rendszer átlagos sűrűségének az arányát. Mivel az atomoknak van egy többé-kevésbé jól definiált térfogata, ami kizárja más atom jelenlétét, ezért kis távolságoknál 0 lesz a  $g(r)$  függvény értéke. Nagy távolságokban viszont a lokális sűrűség megközelíti az átlagos sűrűséget, emiatt a  $g(r)$  értéke 1-hez tart. A  $g(r)$  segítségével kötéstávolságok és a szomszédos atomok (koordinációs) száma is meghatározható.

Többkomponensű (azaz több mint egy atomfajtát tartalmazó) rendszerekben az atompárok alapján megkülönböztetett parciális radiális eloszlásfüggvények jellemzik a szerkezetet. Például a  $\text{CCl}_4$  esetében három ilyen létezik, melyek a C-C, C-Cl, illetve Cl-Cl atomok közötti korrelációkat írják le



5. ábra. Illusztráció a fordított (Reverse) Monte-Carlo számítógépes modellezési eljárásához (2 dimenzióban).

(1) Kiindulunk egy célszerűen választott kezdeti részecskeeloszlásból, konfigurációból (jobb oldali panel), amelynek szerkezeti függvénye (bal oldali panel, tüskék) esetleg nagyon távol van a mért szerkezettől (bal oldali panel, 'hullámos' görbe). (2) A részecskék véletlenszerű elmozdítása útján (ld. jobb oldali panel) a szimulált rendszer szerkezeti függvénye közelít a mért adatokhoz (bal oldali panel), amennyiben a próbaelmozdítások közül túlnyomórészt azokat fogadjuk el, amelyek javítják az egyezést. (3) Az RMC-eljárás végén a szimulált szerkezeti függvény (a statisztikus hibahatáron belül) tökéletesen leírja a mért adatokat (bal oldali panel); ehhez az állapothoz egy, a kiindulási állapothoz képest lényegesen módosult részecskekonfiguráció tartozik (jobb oldali panel)

(4. ábra, jobb alsó panel). A 4. ábra alapján próbáljuk érzékeltetni, hogy csak az egyes molekulákon belüli (intramolekuláris) C-Cl és Cl-Cl atomtávolságokat lehetséges egyértelműen azonosítani, míg az összes többi atomtávolság, így a szomszédos molekulák közötti intermolekuláris távolságok is, összeszemosódnak a  $g(r)$  függvényekben. Emiatt képtelenség kizárólag a diffrakciós adatok alapján jellemezni a molekulák egymáshoz viszonyított orientációit – ezért vagyunk kénytelenek vizsgálatainkba a számítógépes modellezés eszköztárát is bevonni.

#### Számítógépes modellek

Ezen modellek segítségével előállíthatók olyan 3 dimenziós részecskeeloszlások (konfigurációk), amelyek a diffrakciós ki-

sérleti eredményekkel összhangban vannak. Ezen megközelítések előnye, hogy a kapott konfigurációk alapján a molekulák orientációjának tanulmányozása geometriai úton, az atomi koordináták ismeretében végezhető el.

Folyadékfázisú rendszerek atomi és molekuláris szintű modellezésére hagyományosan két alapvető számítógépes eljárás terjedt el [4], a *determinisztikus* molekuláris dinamika, amely a rendszert alkotó részecskék mozgásegyenleteinek megoldásával követi a részecskék mozgását az idő függvényében, és a *stochasztikus* Metropolis-féle Monte-Carlo- (MMC) módszer [5], amely a részecskék véletlen nagyságú, „próba-hiba” alapú mozgásán alapul. E két, számos területen nagy sikerrel alkalmazott szimulációs módszer kritikus eleme az atomok közötti kölcsönhatások leírása: amennyiben ez nem sikerül kielégítően, úgy az általuk szolgáltatott szerkezet sem lesz megbízható. Ez az oka annak, hogy átfogó vizsgálatainkhoz egy, a kölcsönhatásoktól (intermolekuláris potenciálfüggvényektől) független modellezési eljárást kerestünk.

Az általunk a tetraédes folyadékok szerkezetének leírására alkalmazott stratégia alapjára (a diffrakciós mérések mellett) a fordított (Reverse) Monte-Carlo (RMC) számítógépes modellezési eljárás [6]. Ennek algoritmus a hasonló a Metropolis-féle általános Monte-Carlo-módszeréhez, de míg az MMC-programok a részecskék közötti (becsült) kölcsönhatások alapján állítják elő a részecske-konfigurációkat (esetünkben az atomi koordináták több tízezres halmazát), addig az RMC-ben a mérési eredmény (példaként ld. 4. ábra, alsó sor középső panel) való egyezést vezérlő folyamatot (5. ábra). Dióhéjban ez a következőt jelenti: kiindulásként van egy dobozunk, például kristályrács-szerűen elhelyezkedő molekulákkal. Erre a részecskehalmozatra kiszámol-

ható ugyanaz a típusú szerkezeti függvény, mint amit a diffrakció során megmértünk. Egy részecske elmozdításával megváltoznak a részecskék közötti távolságok, és így a számolt szerkezeti függvény is. Mint az bebizonyosodott, minden esetben lehetséges addig mozgatni a dobozban a részecskéket (vagy szemléletesen: addig rázogtatni a szimulációs dobozunkat), amíg a mért és a modelltől számolt függvények meg nem egyeznek. Az így előállt részecskeeloszlások alapján a molekulapároknak a bevezetésben említett 6 csoportba való besorolása már elvégezhető (mint ahogy egyébként minden egyéb geometriai alapú szerkezetanalízis is).

### A szén-tetrafluorid szerkezete, avagy egy vonzó szerkezeti modell bukása

Felhasználva az előzőekben említett kísérleti és szimulációs módszereket, majd kombinálva a már ismertett katalogizálás jellegű sé mával, a következő általános megállapítások tehetők a szén-tetrafluorid folyadékot illetően: (1) A csúcs-lap (1:3) típusú, az Apollo-moddell megvalósító molekulapárok gyakorisága elhanyagolható (10% alatt marad). Azaz bármennyire is kézenfekvő (nek tűnő), vagy akár éppenséggel vonzó a 2. ábrán illusztrált orientáció, a diffrakciós adatok (tehát a valóság) a tetraéder alakú  $\text{CCl}_4$ -molekulák ilyen beállításainak fontosságát nem támasztják alá. E megállapítás szembemegy a vonatkozó szakirodalom több évtizedig kitartó állításával. (2) Amennyiben csak a szomszédos molekulákra (vagyis az ún. első koordinációs héjban kialakult viszonyokra) fókuszálunk, úgy a legrövidebb intermolekuláris (azaz közép-pont-középpont, C-C) távolságoknál először a lap-lap (3:3), majd kissé távolabbi szomszédok esetében az él-lap (2:3), él-él (2:2), végül a csúcs-él (1:2) formációk válnak fontossá. (3) Ha a szomszédos molekuláknál (esetenként jóval) messzebbre, az egymástól akár nanométeres távolságokban elhelyezkedő molekulákat tekintjük, orientációs korrelációk (azaz a véletlenszerűtől eltérő beállítások) még itt is megfigyelhetők, elsősorban a 2:3 (él-lap) és 1:2 (csúcs-él) elrendeződések. E sajátosság a szén-tetrafluoridot élesen megkülönbözteti a többi, általunk vizsgált tetraédes folyadéktól, melyekben az egymástól nanométeres távolságokban lévő molekulák orientációi között nem találtunk összefüggést, azaz a beállítások véletlenszerűek, csakúgy, mint az egyszerű molekuláris folyadékok nagy többségében.

### Egyéb tetraédes folyadékok szerkezete

Tetraéder alakú molekulák nem csak a szén-tetrafluorid és a kloroform folyadékok alkotói, számos jól ismert anyag tartozik

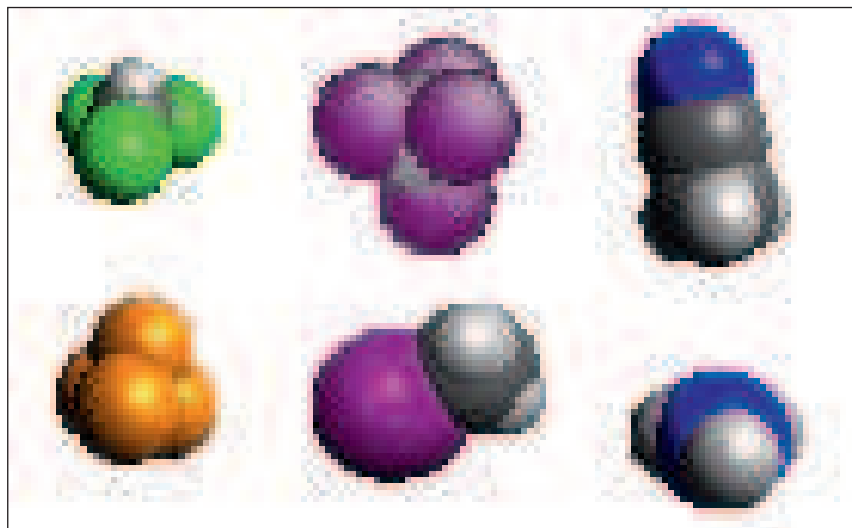
ebbe a családba (még ha nem is mindig az anyag folyadékfázisa a legközismertebb), mint az ammónia ( $\text{NH}_3$ ), a metán ( $\text{CH}_4$ ), a freonok közé tartozó  $\text{CCl}_2\text{F}_2$ , vagy épenséggel a fehér (vagy sárga) foszfor alacsony hőmérsékletű folyadékfázisa, amely  $\text{P}_4$  összetételű molekulákból áll. (NB: az ammóniamolekula alakját a kémiai szakirodalom inkább trigonális piramisként említi – ami a torzított tetraéder egyik megjelenési formája.) Néhány reprezentatív molekula makettjét mutatjuk be a **6. ábrán**. Láthatjuk, hogy ugyan a tetraéder formája minden esetben könnyen felismerhető, a pontos molekulaalak mégis tág határok között változik.

Nemrég megjelent összefoglaló közleményünkben [7] kb. 35 tiszta folyadék szerkezetét taglaltuk, amelyek mindegyike (tökéletes vagy közel) tetraéder alakú mo-

lekban mi az a legapróbb szerkezeti részlet, amit kísérleti adatokra támaszkodva megbízhatóan képesek vagyunk feltárni. Munkánk ilyen módon kellőképpen megalapozza a komplex folyadékok szerkezetének megismerését is – mint amilyeneket például az élő szervezetek is tartalmaznak.

## Irodalom

- [1] Menke, H.: Röntgeninterferenzen an Flüssigkeiten (Hg, Ga,  $\text{CCl}_4$ ). Physikalische Zeitschrift 33(1932), 593–604.
- [2] Egelstaff, P., Page, D. I., Powles, J. G.: Orientational correlations in molecular liquids by neutron scattering: Carbon tetrachloride and germanium tetrabromide. Molecular Physics 20(1971), 881–894.



**6. ábra.** A tetraéder alakú molekulák változatos megjelenési formái. Felső sor, balról jobbra: kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ); óntetrajodid ( $\text{SnI}_4$ ); acetonitril ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ). Alsó sor: fehér foszfor ( $\text{P}_4$ ); metiljodid ( $\text{CH}_3\text{I}$ ); ammónia ( $\text{NH}_3$ )

lekulák halmaza. Az előzőekben vázolt eljárásokkal tanulmányozható részletek megengedett finomságát az elérhető kísérleti adatok és/vagy elvi/elméleti megfontolások befolyásolták. Általánosan megfigyelhető volt, hogy a molekulák szimmetriájának torzulásával az intermolekuláris szerkezet egyre kisebb biztonsággal határozható meg: egyetlen diffrakciós mérés bizonyítottan elégtelen a vizsgált, nem szabályos tetraéder alakú molekulákból álló folyadékok túlnyomó többségére. Egy-egy kirívó esetben, mint pl. a(z egyébként igen sok fejfájást okozó...) kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ), még igen nagy mennyiségű kísérleti információ (6 diffrakciós mérési eredmény!) sem bizonyult elegendőnek az orientációs korrelációk kérdésének megnyugtató tisztázásához.

A bemutatott eredmények érzékeltetik, hogy egyszerű, jól ismert geometriájú molekulák által alkotott folyadé-

- [3] Rey, R.: Quantitative characterization of orientational order in liquid carbon tetrachloride. Journal of Chemical Physics 126(2007), 164506.
- [4] Allen, M.P., Tildesley, D.J.: Computer simulations of liquids, Oxford University Press, 1987.
- [5] Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., Teller, E.: Equation of state calculations by fast computing machines. Journal of Chemical Physics 21(1953), 1087-1092.
- [6] McGreevy, R.L., Pusztai, L.: Reverse Monte Carlo simulation: A new technique for the determination of disordered structures. Molecular Simulation 1(1988) 359-367.
- [7] Pothoczki, Sz., Temleitner, L., Pusztai, L.: Structure of Neat Liquids Consisting of (Perfect and Nearly) Tetrahedral Molecules. Chemical Reviews 115(2015) 13308-13361.

## E számunk szerzői

DR. ABONYI IVÁN ny. egyetemi docens, ELTE, TTK, Budapest; DR. BENCZE GYULA, a fizikai tudomány doktora, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Rézecske- és Magfizikai Intézet, Budapest; DULAI DÁVID egyetemi hallgató, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron; DR. FARKAS CSABA újságíró, Szeged; HÉRINCS DÁVID egyetemi hallgató, ELTE TTK, Budapest; HOLODA ATTILA ügyvezető igazgató, Aurora Energy Kft., korábbi energetikai helyettes államtitkár, Budapest; JUHÁSZ PÉTER, matematikatanár, térképész PhD. MTA Rényi Alfréd Matematikai Kutatóintézet, Budapest; DR. LENTE GÁBOR egyetemi tanár, Debreceni Egyetem, Kémiai Intézet, Debrecen; DR. POTHOCZKI SZILVIA tudományos munkatárs, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet, Komplex Folyadékok Osztály, Folyadékszerkezet Kutatócsoport, Budapest; DR. PUSZTAI LÁSZLÓ tudományos tanácsadó, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet, Komplex Folyadékok Osztály, Folyadékszerkezet Kutatócsoport, Budapest; DR. SOLTÍ GÁBOR geológus, Píliscsaba; SURÁNYI LÁSZLÓ ny. matematikatanár, Budapest; SZILI ISTVÁN ny. főiskolai tanár, Székesfehérvár; DR. TEMLEITNER LÁSZLÓ tudományos munkatárs, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet, Komplex Folyadékok Osztály, Folyadékszerkezet Kutatócsoport, Budapest; DR. TRÁJER ATTILA PhD, MTA-PE Limnoológiai Kutatócsoport, Veszprém; DR. TURCSÁNYI GÁBOR Pro Natura-díjas botanikus, növényökológus, a Szent István Egyetem természetvédelmi alapszakának ny. vezetője, Budapest.

## Szeptemberi számunkból

*Vojnits András:* Párhuzamos történetek  
*Nagy Zoltán:* Neuroesztétika  
*Radnai Gyula:* A legendás XI-es tantom (HELYÜNK SZELLEME)  
*Landy-Gyebnár Mónika:* Hangoskodó fények  
*Both Előd:* Interplanetáris kapzsiság  
*Csaba György:* A csecsemőmirigyől az öregmirigyig  
*Merkl Ottó:* Hivatlan bogárvendégek Magyarországon  
*Kántor Sándorné:* A matematikatanítás nagy mágusa: Dienes Zoltán Pál