

BÁRCZY PÁL

A súlytalanság súlya

Pillanatkép a mikrogravitációs kutatásokról

A Föld felszínén élő ember világához olyan szervesen hozzátartozik a Föld vonzása, a gravitáció, hogy annak hiánya szokatlan, embertelen állapotnak minősül. Az űrhajón utazó vagy a Holdon lépkedő ember furcsán könnyűnek, súlytalannak érzi magát, mozgása, teljesítőképessége, testének működése is megváltozik. Így van ez a legtöbb fizikai jelenséggel is: többé-kevésbé módosulnak, ha súlytalan körülmények között – mikrogravitációban – játszódnak le. A mikrogravitációs tudomány, az űrkutatás egyik ága, ezekkel a jelenségekkel foglalkozik. Cikkünk témája a mikrogravitáció. Főképp azt a kérdést feszegetjük, hogy mit kapott az emberiség a drága, világűrben végzett mikrogravitációs kísérleteiből és mit vár az elkövetkező programoktól?

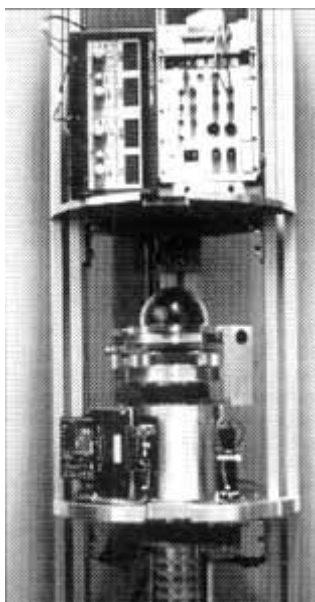
A tipikus mikrogravitációs kísérlet az, ha olyan folyamatot vizsgálunk a világűrben, amit földi körülmények között gravitációs effektus befolyásol, elfed, megzavar vagy megakadályoz. A gravitációtól megszabadulva ekkor új jelenségek tárulnak elénk. Az angol terminológiához igazodva mikrogravitációs tudomány alatt az élettelen anyagok gravitációmentes viselkedésének a leírását értjük.

A mikrogravitációs kutatások a hetvenes években indultak, de a terület csak a nyolcvanas évekre fejlődött igazán önálló tudományággá rendszeresen tartott nemzetközi konferenciákkal és szakfolyóiratokkal.

A mikrogravitációs kísérleteket eleinte igen sok új, meglepő effektus jellemezte. Ezek igazi megértéséhez elméleti számításokra, hosszas modellezésre, a kísérleti eszközök teljesítőképességének további fokozására volt szükség. A megfigyelések egy részét nem sikerült reprodukálni. A másik részük azonban fontos ösztönzést adott a különböző tudományterületeknek.

Áramláskutatás

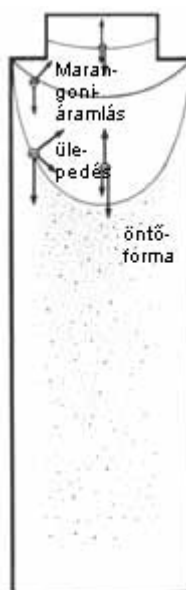
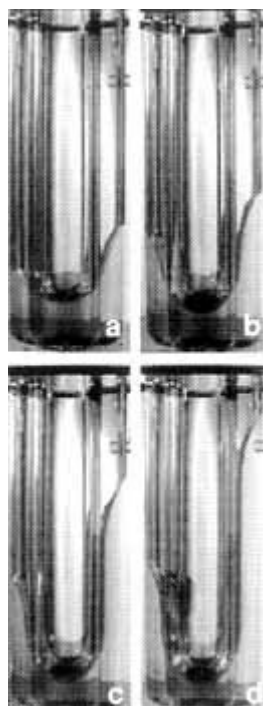
A folyadékok és gázok áramlása egy jellegzetes mikrogravitációs kutatási téma. A Föld vizeinek és légkörének áramlásai határozzák meg az időjárást. A vér áramlásától függ az egészségünk. Városainkban ezernyi csőben áramlanak egy-, két- és többfázisú közegek. De ismerjük-e eléggé az áramlás törvényeit? Sok részletében bizony csak nagyon kevés. Nagyon érdekes például, hogy az óceánok áramlásának a modellezése (két koncentrikus gömbfelület között elhelyezkedő folyadék, amit csak a gömb középpontja vonz és a belső gömb forog) **(1. ábra)** is mikrogravitációs téma, mert a korrekt kísérlet csakis az űrben végezhető el. Nagy sikernek számít, hogy a számítógépes szimulációval kapott és az űrben mért áramlások képei jól megegyeznek. Ezeketől a kísérletektől a légkör és a vizek áramlásainak jobb modellezését, és így pontosabb időjárás-előrejelzéseket várhatunk.



1. ábra. Az óceánmozgást modellező kísérleti berendezés

Folyadékban lebegő szilárd vagy folyadékreszecskek vándorlási útjait is nehéz megjósolni. Ha a részecskéket nagy sebességű áramlás repíti vagy mozgatja, a gravitáció elhanyagolható. De a kis Reynolds-számú közegekben mindig fellép ülepedés is. Sőt, a vörösvértetek áramlását is befolyásolja a gravitáció, a sejtek a Földön 12 mm/s, míg az űrben 5 mm/s sebességgel haladnak. E jelenségek vizsgálatára irányuló űrkísérletek a jövőben is lesznek.

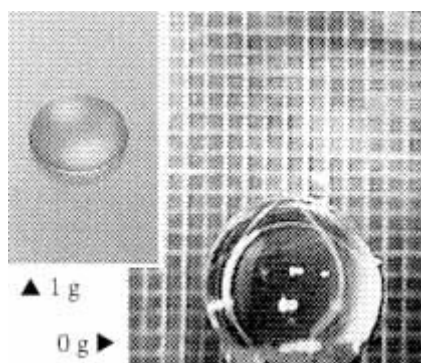
A legtöbb folyadék kapilláris jelenségeket mutat. Azaz minél szűkebb a járat, annál messzebb hatol a csőben. Így utazik a nedvesség a növény kapillárisaiban. Ezt a gravitáció ellensúlyozza a Földön. (A fák nem nőnek az égig.) Ha nincs gravitáció, a folyadékok nem folynak ki a csapon, inkább az edények falán, csövekben, repedésekben, felületeken futnak szét (**2. ábra**). Ezért az űrkörülmények között használt tartályok, szelepek, csapok, fűvókák más konstrukciójúak, mint földi megfelelőik. Kialakításukhoz sok űrkísérletre van szükség.



2. ábra. Mászik a lé a falon 3. ábra. Folyamatosan öntött alumínium-tuskó, amiben a Marangoni-konvekció középre hajtja a BiSi-cseppeket

A cseppek, buborékok felületi feszültségeinek eltérései mozgásra tudják bírni a közeget, sőt magát a cseppet, buborékot is (Marangoni-konvekció). Ezt a mozgást a Földön a felhajtóerő mindig felülmúlja, így rejtve marad. Az űrben azonban szabad folyadékfelületek esetén főszerepet kap és váratlan szeparációkhoz vezet. Ez a felfedezés megváltoztatta a földi kohászat egyes eljárásait is, hiszen a Marangoni-konvekció az űrben felszálló gázbuborékokra, salak- és fémcseppekre is hat, csak eddig ezt az additív hatást korábban senki nem észlelte és így nem is használta ki. Német űrkutatási eredmények vezettek oda, hogy ma már ezen az alapon a Földön is tudunk olyan AlSiBi csapágyanyagokat gyártani, amelyek kívül épek, belül pedig bizmut-cseppekkel vannak teli (3. ábra). Az ilyen anyagból készített siklócsapágy kívül kemény, belül pedig a lágy bizmut-cseppek remekül kenik a bennük forgó tengelyt.

A Földön a folyadékcsöpp soha nem tökéletesen gömb alakú a gravitáció miatt. A lapultság csökkentésére készült 1785-ben a világ első ejtőtornya, ahol „jobb minőségű” ólomsöréteket gyártottak az olvadt ólom magasból való lecsepegtetésével. Tökéletes folyadékgömbök persze csak az űrben állíthatóak elő (4. ábra). Ma már űrben készített, pontos geometriájú polisztirol gömböket használunk elektronmikroszkópokban a nagyítás hitelesítésére.

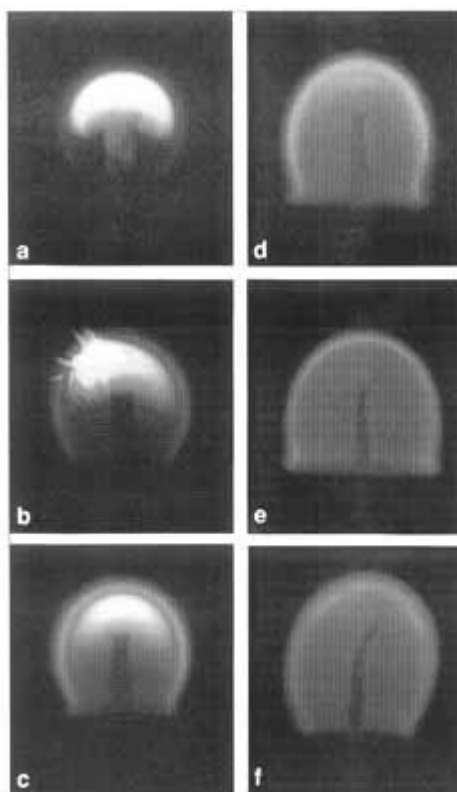


4. ábra. Vízcsepp földi körülmények között
(1g) és mikrogravitációban (0g)

A szabadon működő felületi feszültség a folyadékot gömbbé formálja, ha teheti. De elektrohidrodinamikus hatásra a dielektromos folyadék alakja változhat, s a folyadék „ívet húz”. A villamos paraméterek, a felületi feszültség és a folyadékalak összefüggéseit szélesebb határok között lehet mikrogravitációs körülmények között megvizsgálni. Ilyen kísérleteket legutoljára 1996 júniusában a Columbia űrrepülőgép fedélzetén végeztek. A tapasztalatokat új típusú tintasugaras nyomtatók kifejlesztéséhez hasznosítják.

Égés

Manapság talán a legnagyobb érdeklődés az égéskutatásokat kíséri. Nem csoda, mert az égéskor felszabaduló energia hajtja az erőműveket, a repülőt, az autót. Az égés nem más, mint oxidáció, ahol mindig forró és könnyű gáz keletkezik, amit erősen befolyásol a gravitáció (gondoljunk csak a magas gyárkémenyekre). Ha a gyertya ég, az égéstermék a gravitáció miatt felfelé száll (ez a láng), s a létrejött áramlás során a levegő alulról turbulens módon bekeveredik, s így tovább táplálja az égést. Ugyanez a folyamat mikrogravitációs körülmények között egész másképp fest, itt nincs turbulencia, láng sincs és az égés sokkal lassabb lesz (**5. ábra**). A szilárd tüzelőanyag is másképp ég, láng nélkül.



5. ábra. Lánggömbök

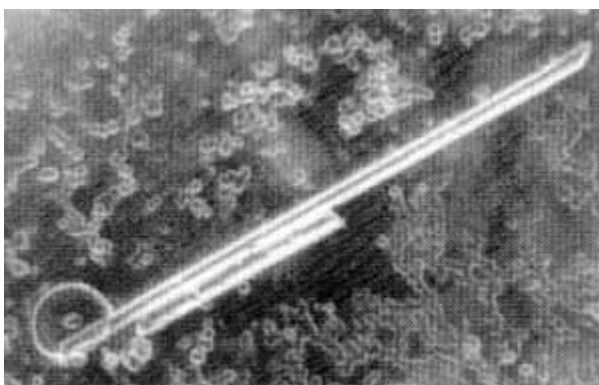
Az égési folyamat részleteinek megismerésétől új égési keverékek, keverőkamrák, tüzelőrendszerek kialakítása várható mind a szilárd, mind a folyékony, de leginkább a lebegő cseppekből álló energiahordozók esetén. Földi körülmények között ezek a vizsgálatok nehezen vagy csak korlátozott pontossággal végezhetők el. A NASA újabb

kutatásaiban különös súlyt kapnak az űrhajón keletkező esetleges tüzek, a gyulladási, lángterjedési, kialvási viszonyok, továbbá a nagy kiterjedésű turbulens lángok fizikai paramétereinek a pontos meghatározása. Japánban és Németországban új gázturbinás motor kialakítása a kutatások fő célja. Az alapkísérletek ejtőtoronyban, illetve ejtőaknában folynak. Ezek a kutatások kifejezetten műszaki jellegűek, ennél fogva az eredmények kevésbé publikusak. Annyi azonban bizonyos, hogy sok új eredmény van az éghető keverékek öngyulladásának lefutása táján, ami a gázturbinás erőművek és a repülőgépmotorok tervezésénél alapvetően fontos.

Biotechnológia

A biológia is növekvő szerepet kap a mikrogravitációs kutatásokban. Az egyik nagy terület a molekula-, illetve sejtszeparáció. A Földön végzett szeparációknál a folyadékáramlások és ülepedések mindig jelen vannak, ami egyes eljárásoknál, pl. az elektroforetikus szeparációnál nagyon rontja a hatékonyságot. Az űrben tehát jelentősen javítható a módszer, s ezzel a siker valószínűbb lesz.

A biotechnológia egyik ága makromolekulák manipulálásával és sejtekbe való beépítésével foglalkozik. Az űrkísérletektől az áramlások kizárását, így nagyobb tisztaságú, homogénebb, jobban fejlett sejt kultúrákat lehet várni. Egyes kísérletek jobb hatóanyagokat, enzimeket, gyógyszer alapanyagok kifejlesztését célozzák. Bár érdekes eredmények szép számmal vannak, ma még nem tudjuk, hogy mely molekulabiológiai részfolyamatok vagy mechanizmusok érzékenyek igazán a gravitációra. A leglátványosabb eredmények kétségkívül a makromolekuláris kristályok növesztése terén jelentkeztek. A hosszú molekulák betelepítése a kristály egy-egy helyére földi viszonyok között alig mehet végbe, mert a kristályosodási fronton áramló oldat zavarja a rendezett viszonyok kialakulását. (Szélben nem lehet fészükdödni!) Ezért a földi proteinkristályok kicsik és hibás szerkezetűek, míg az űrben növesztett proteinkristályok nagyok és épek (**6. ábra**). A nagy kristály jobban vizsgálható, ami jelentős előrelépést hozott a szerves molekulák szerkezetének megismerése terén. Az érdeklődésre jellemző, hogy a legutóbbi USML-küldetés során (Columbia, 1996. június) 96 protein, illetve vírus kristálynövesztési kísérletet végeztek el.



6. ábra. A rákkutatásnál fontos Ref. kinase kristály földön (balra), illetve űrben (jobbra) kristályosítva (USML-2 kísérlet)

Anyagtudomány

Közhely, hogy az emberiség nagy korszakai egy-egy új mesterséges anyag kitalálásához, illetve előállításához kötődnek. Ezért nagy várakozással tekintenek az

úranyag-technológiára is, mint új anyagok és új tudás forrására. A várakozás nem alaptalan, hiszen az úrkutatás, mint új anyagokat követelő megrendelő, és mint különleges anyagfejlesztő laboratórium nagy lendületet adott az anyagtudománynak.

A fémek mikroszerkezete döntően attól függ, hogy dermedés közben milyen atomi mozgások történnek. Ezeknek a mozgásoknak egyik csoportját a gravitáció hajtja. A gravitáció mozgatta áramlások szerepe ma még csak részben ismert és csak pontosan végrehajtott mikrogravitációs kísérletekkel lehetséges az előrelépés. A dendrites, cellás, eutektikus, monotektikus kristályosodás törvényeinek a korrigálása azért is fontos, hogy jobb földi gyártástechnológiák készülhessenek. Ma már úrkísérletek adják a precíz bizonyítékokat a dendrites kristályosodás és az egykristálynövesztés pontos törvényeire olvadékáramlással, vagy anélkül.

Az elméleti kutatások egyik területe a csíráképződés, ui. a dermedés hőmérséklete nagymértékben csökken, ha az első szilárd csíra nem tud létrejönni. Mivel a csírák mindig az edény falán keletkeznek, e kísérleteknél elmarad a tartály, és így a szabadon lebegtetett fémcseppek túlhűlési viszonyai tárulnak fel. A lebegtetést, a hőközlést és hőelvonást úgy kell megvalósítani, hogy a csepp belsejében ne legyenek áramlások. Ilyen módon ma már 800 °C-os túlhűlést is sikerült létrehozni.

A másik nagy terület a kétfázisú anyagok irányított kristályosítása. Itt az a cél, hogy egy alapanyagban egy irányban álló szálak (rostok) nőjenek, s így különlegesen anizotróp anyag álljon elő. Ilyen, szigorúan párhuzamos szálakból álló anyag csak akkor dermed, ha a zavaró folyadékáramlásokat megállítjuk. Erre jó példa a mangán-bizmut szálás eutektikum, ahol az űrben dermedtetett példányokkal elérték az elméletileg megjósolt mágneses tulajdonságok maximumát, ami a Földön nem valósítható meg.

A folyadékok transzporttulajdonságai (hővezető képesség, diffúziós együttható), felületi tulajdonságai (felületi feszültség, felületi energia) normál, illetve túlhűtött állapotban földi körülmények között csak pontatlanul (egyes esetekben egyáltalán nem) mérhetők meg. Több, ezekre vonatkozó mérési program is folyik, pl. úrkísérletekkel derítették ki, hogy az olvadékok diffúziós együtthatói nem követik a klasszikus Arrhenius-törvényt.

A műanyagok korábban nem tartoztak a „gravitációérzékeny” anyagokhoz. Ez a helyzet azonban egy csapásra megváltozott, mióta nemlineáris optikai rétegek előállításánál a mikrogravitáció pozitív hatását megállapították. A polidiacetilén vékonyrétegek nagyon ígéretesek és előnyösek az optikai kommunikáció eszközeinek készítésére. Itt elsősorban a gőzlecsapásos (PVT) rétegek felületi simasága javult meg több nagyságrenddel, ha a gyártás mikrogravitációs körülmények között történt.

Az úrkutatás hőskorában nagy tervek születtek űrbeli kristálygyárakra. Több félvezető anyagot sikerült is a földihez képest hibátlanabb változatban előállítani (7. ábra). A D2 misszió során növesztették a világ legnagyobb hibátlan GaAs egykristályát. A törvényszerűségeket mára sikerült oly mértékben kiismerni, hogy az ilyen egykristálynövesztés ma már számítógépen jól szimulálható és az olvadékmovement redukálására hatékony földi eszközt sikerült találni: ez pedig az erős mágneses tér. A félvezetőkristály-gyártás tehát – miután a pontos törvényszerűségeket sikerült felismerni – visszaköltözött a Földre, ahol a jobb minőség sokkal olcsóbban gyártható. Ez az eset világos modellként szolgál valamennyi úrkutatási projekt számára.



7. ábra. Űrben növesztett GaAs egykristály

Magyar eredmények

A magyar mikrogravitációs kutatások szerény mozaikot adnak az űrkutatási nagyhatalmak totálképéhez. Az első kísérletek 1980-ban, *Farkas Bertalan* űrutazása kapcsán történtek. Később a Mir űrállomás egyik kemencéjének hőtechnikai modellje készült Magyarországon. Ezután évekig egy fém (alumínium-nikkel) eutektikum kristályosodásának gravitációs befolyásolása volt az a magyar téma, amelynek kísérleteit növelt gravitáció mellett Csillagvárosban egy óriáscentrifugában és csökkent gravitáció mellett Brémában a ZARM ejtőtornyában is sikerült elvégezni.

Az utóbbi években folyadékok hővezető képességét mérjük mikrogravitációs viszonyok között a Brémai Egyetem ejtőtornyában, ahol 4,6 másodpercnyi mikrogravitáció állítható elő (MRA-projekt). Ezek a mérések pontosítják a földi méréseket, így jobb modellezést tesznek lehetővé.

Itt kell megemlíteni a mikrogravitációs kísérleti eszközök készítését is. A Miskolci Egyetem sokzónás űrkemencéje (Universal Multizone Crystallizator) különösen alkalmas a gravitáció zavaró hatásának elkerülésére. A berendezés a NASA Marshall Űrközpontban 1995-től két éven át vett részt közös magyar–amerikai kísérletekben. Ezt követően megfelelő átalakítások történtek, amelyek az űrrepülőgépen, vagy a nemzetközi űrállomáson való működtetéshez szükségesek. Ma az átalakított berendezés újra a NASA-telephelyen működik. A sikerek alapján elkészült a berendezés földi laborváltozata is.

Mindezen sikereknél és eredményeknél is fontosabb talán az, hogy az anyagmérnökök és az űranyag-technológia oktatása a Miskolci Egyetemen ma a legkorszerűbb szintet képviseli és képes megfelelni a legújabb technikai kihívásoknak is.

A rövidítések magyarázata

NASA (National Aeronautics and Space Administration) az amerikai űrkutatási hivatal

PVT (Physical Vapour Deposition) rétegfelvitel fizikai gőzlecsapással

ZARM (Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation) mikrogravitációs kutatóközpont Brémában Európa legnagyobb ejtőtornyával (105 m)

JAMIC (Japan Microgravity Center) mikrogravitációs kutatóközpont

Kamisunagawaban a világ legnagyobb (710m) ejtőművével

USML (United States Microgravity Laboratory) amerikai tudományos-kereskedelmi mikrogravitációs űrmisszió-sorozat

IML (International Microgravity Laboratory) nemzetközi mikrogravitációs űrmisszió-sorozat

LMS (Life and Microgravity Spacelab Mission) nemzetközi vegyes misszió élő és élettelen mikrogravitációs kísérletekkel

MIZA (Miskolc-ZARM) a Miskolci Egyetem és a ZARM közös akciója

Természet Világa, Világűr
2001. II. különszám <http://www.chemonet.hu/TermVil/>
<http://www.kfki.hu/chemonet/TermVil/>
/

[Vissza a tartalomjegyzékhez](#)