



Braun Tibor

■ ELTE, Kémiai Intézet, MTA Könyvtár és Informatikai Központ | dr.braun.tibor@gmail.com

A remény apoteózisa: szupravezetés szobahőmérsékleten

Gyémántsatuval a „Szent Grál-vegyület” nyomában

Előszó

Amennyiben létezne szobahőmérsékleten szupravezetés, a reális lehetőségek birodalmába kerülne a maglev (mágneses levitációs) gyorsvasutak, hatékonyabban működhetnek az elektromos autók és sok más elektronikus eszköz teljesítménye is növekedne. A villamos energia tárolását is forradalmasíthatná egy szobahőmérsékleten stabil szupravezető: a megtermelt, de azonnal fel nem használt energiát veszteség nélkül lehetne keringetni egy szupravezető áramkörben, és bármikor kivenni belőle, amikor szükség van rá. Mindez beláthatatlan pozitív változásokkal járna a gazdaságban, az iparban, a környezetvédelemben és még sok más területen.

A téma, amivel e dolgozatban foglalkozni szeretnénk, interdiszciplináris jellegénél fogva valahol a fizika és a kémia között helyezkedik el, és a tudományos kutatás és fejlesztés legbizarrabb megoldatlan kérdéseihez tartozik, ugyanis még ma is tisztázatlan, hogy a szobahőmérsékleten működő szupravezetés egyáltalán létezik-e. Ez utóbbról a szakirodalomban megoszlanak a vélemények. A létezés-nemlétezés pártiak nézeteiről az alábbiakban röviden bemutatunk néhány szemelvényt.

„A szobahőmérsékleten működő szupravezetés 1980-ig ugyanolyan megfoghatatlan volt több mint egy évszázadon keresztül, mint a magas átmeneti hőmérsékleten működő szupravezetés. Azonban ezen utóbbiak sikere és eredményessége 1986-ban sokat ígérő mutatója lett annak, hogy a szupravezetés létezhet teljesen váratlan anyagokban.”

„A szupravezetést tanulmányozó kutatók néha úgy érezhetik, mintha a szoba-

hőmérsékleten működő szupravezetők kutatása teljes mértékben találgatásokra lenne utalva. Ez kissé olyan, mintha egy telefonszámot szeretnénk megtalálni úgy, hogy az elemek periódusos rendszerének elemeire bökdösnénk számok helyett.”

„Különlegesen érdekes, hogy a természetnek egyáltalán nem volt szándéka létrehozni a szupravezetés állapotát. A szupravezetés inkább a természet tévedése, instabilitás, anomália. A szupravezetés állapotában nincs sűrűlódás. Mit jelent ez a való világban? Ha a sűrűlódás nem létezne, a Föld ideális gömb formájú lenne, nem lennének épületek, öltözők, az élet velünk együtt egyáltalán nem létezne.”

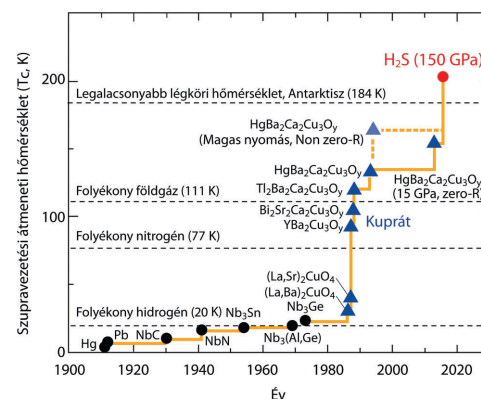
„Annak érdekében, hogy létrehozza az élő anyagot, a természetnek évezredekre volt szüksége. Ez a tapasztalat egyedülálló, és nekünk tanulnunk kell belőle, amikor szupravezetésre számítunk szobahőmérsékleten.”

„A szobahőmérsékleten működő szupravezetés, ha létezik, akkor az anyag egyik legfurcsább állapota.”

Amennyiben a fentieket komolyan vesszük, akkor jelen szerzőnek azt sugallná, hogy bölcsőbb lenne lemondani a szobahőmérsékleten működő szupravezetőről szóló beszámolóról. Bevalljuk, hogy közel voltunk ehhez a döntéshez. De akkor véletlenül kezünkbe került egy 2019 elején megjelent, *The Second Kind of Impossible. The extraordinary quest for a new form of matter* című monográfia Paul J. Steinhart fizikus tollából. [1] Ez a könyv az utóbbi 50 év egyik legizgalmasabb tudományos nyomozási sztoriját írja le az anyag egy új formájának a kereséséről. Arról szól, hogy az addig nemlétezőnek vélt kvázikristályokat hogyan fedezték fel a Földön és az űrben. A könyvben ismertetett történet jelen szerzőben azt a gondolatot vetette fel, hogy amennyiben a kvázikristályok létezését egyesek lehetetlennek feltételezték, de végül mégis felfedezték azokat, akkor *per ana-*

logiam talán arra is van remény, hogy a szobahőmérsékleten működő szupravezetőket az anyag egy új viselkedéseként szintén felfedezzék.

Ezek után visszakanyarodhatunk a dolgozat elején körvonalazott témánkhoz. Egy előző (2011) „Félúton a magas hőmérsékletű szupravezetők kutatásában. Vetélkedés, versenyfutás és siker” című dolgozatban [2] már foglalkoztunk a szupravezetéssel (ajánlatos lenne e dolgozatot jelen cikk elolvasása előtt átfutni), és körüljártuk a magas hőmérsékleten működő szupravezetés teljes történetét egészen 1986-ig. Említett dolgozatunkban a magas hőmérsékleten működő szupravezetők kutatását körülbelül 300 K-es hőmérsékletskálán (ez olyan hőmérsékleteket tartalmaz, amire lehítve bizonyos vegyületek szupravezetővé váltak) mutattuk be (1. ábra). Mint látható,



1. ábra. Magas hőmérsékletű szupravezetők térképe (átmeneti T_c a felfedezés évének függvényében) [10]

1901 és 1986 között, csaknem 100 év alatt, a hőmérsékletskála feléig (150 K) sikerült eljutnia a tudományos kutatásnak. Ennek alapján állítottuk, hogy a szobahőmérsékleten működő szupravezetők kutatásának végső sikeréig, azaz a szobahőmérsékleten működő „Szent Grál-vegyületek” felfedezéséig terjedő út felénél tartott 1986-ban

■ Apoteózis: valaminek a dicsőítése, istenítése. „Szent Grál...”: ezoterikus szimbóluma valaminek, jelen esetben annak a vegyületnek, amely szobahőmérsékleten szupravezetőként működik.

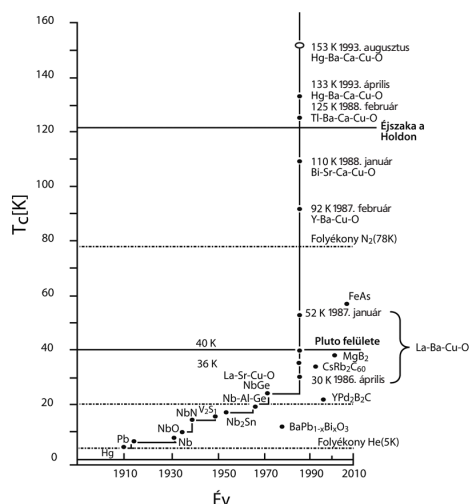


a világ tudományos kutatása. Ezért szerepel a „félúton” az említett dolgozat címében.

Bevezetés

Jelen dolgozatban elemzés tárgyává szeretnénk tenni az út második felét, a *szobahőmérsékleten működő szupravezetők kutatásának* 1986-tól mindmáig, különösképpen az azóta eltelt 33 év legutóbbi részében (2015–2018) elért eredményeit, valamint az előbbieken említett kutatások (nevezhetnénk „második felidejének”) helyzetét. Szobahőmérsékleten működő szupravezetőnek olyan vegyületeket, anyagokat nevezünk, amik, mint említettük, hűtés vagy nagy nyomás ráhatása nélkül körülbelül 20–25 °C hőmérsékleten lennének képesek az elektromosságot veszteség nélkül, végtelen ideig vezetni.

A réz-oxid-alapú kerámiák (*kuprátok*) (2. ábra) szupravezetésének felfedezése





ták, hogy bizonyos nagy hidrogén-fém arányú ritkaföldfém-hidridek is szobahőmérsékleten működő szupravezetőkké válhatnak gyémántsatuban elérhető nyomáson. Ezeknek a hidrogéndús vegyületeknek a kristályszerkezete, mint kimutatták, emlékeztet a klatrárok szerkezetére. [9]

Az egyik legtöbbet ígérő vegyület a lantán-hidrid (LaH_{10}) kristályszerkezete, mint leírták, hidrogénrácsok által szögletes hexagonális oldalakból képzett poliéderekből áll, amiknek a közepében ritkaföldfém-atom helyezkedik el (**3.b ábra**). Feltételezve, hogy e vegyületnek szupravezetése elég teszt a BCS-elméletnek, a kutatók előre jelezték, hogy átmeneti T_c -jének 270–290 K hőmérsékleten kell jelentkeznie. 2018 elején sikerült szintetizálni az elméletileg előre jelzett LaH_{10} vegyületet (**4. ábra**). Nemrég az LaH_{10} szupravezetését is mérték gyémántsatuban előállított extrém nyomáson. Egy újabb szintézis során a kristályos LaH_{10} -et *in situ* létrehozták ammónium-borátról (NH_3BH_3) és elemi lantánból is.



4. ábra. LaH_{10} -kristályok [13]

Ezek a minták 185 GPa nyomáson jelentős elektromos ellenálláscsökkenést figyeltek meg 260 K átmeneti T_c -nél. A megismételt kísérletsorozat azt mutatta, hogy optimális esetben a T_c elérheti még az átmeneti 280 K értéket is 200 GPa (körülbelül 2 millió atmoszféra) nyomáson. Gyémántsatuban végzett röntgendiffrakciós mérések kimutatták, hogy a magas nyomású szupravezető fázis LaH_{10} összetételű volt, és kizárták azt a lehetőséget, hogy az ellenálláscsökkenés a hőmérséklet által létrehozott szerkezeti változatoknak volt tulajdonítható. A fentiekkel párhuzamosan az LaH_{10} hidridet elemi lantán vagy lantán-hidrid (LaH_3) és hidrogén közvetlen reakciójával is szintetizálták. Abban is magas nyomáson elektromos ellenálláscsökkenést figyeltek meg, amiből arra követ-

keztettek, hogy az átmeneti T_c változása a gyémántsatu által előállított magas nyomás következménye. Az LaH_{10} esetében a legmagasabb átmeneti T_c -értéket ~ 250 K fokon és ~ 170 GPa nyomáson mérték. Egy másik azonosítatlan hidridfázis, amit magas nyomáson az LaH_{10} minta tartalmazott, 215 K-en mutatott szupravezetést. Ebben két jellemző szupravezetési effektust is megfigyeltek. Az első szerint mágneses mezőben csökkent az átmeneti T_c annak megfelelően, ami egy BCS-típusú szupravezetőtől elvárható volt. Másodikként a mért átmeneti T_c kimutatta az úgynevezett izotópeffektust, azaz csökkent, amikor az LaH_{10} vegyületben a hidrogént a nehezebb deutériummal helyettesítették.

További kutatási irányok

Említett adatok komoly reményt keltettek a magas hőmérsékletű szupravezető létezésére, de ez utóbbi minden gyanún felüli meglétére még szükség lenne a Meissner-effektus kimutatására, azaz a mágneses mező kiszorítására a vizsgált vegyületekből, amikor azok szupravezetővé válnak. Ezt az effektust az LaH_{10} vegyület esetében mérni azonban meglehetősen kérdéses, miután kiderült, hogy például az előtte felfedezett magas nyomású kén-hidrogén (kén-hidrid) esetében a Meissner-effektust csak több évvel azután tudták kimutatni, hogy a szupravezetését igazolták. Mivel a gyémántsatuban képződött kristályos lantán-hidrid minták mérete (menyisége) lényegesen kisebb, mint az előzőleg vizsgált kénhidrogéneké, az LaH_{10} esetében a Meissner-effektus bizonyítása lényegesen bonyolultabbnak ígérkezik. További elméleti és kísérleti vizsgálatok lesznek szükségesek ahhoz, hogy a magas nyomáson a mintákban lévő többszörös kristályrácsokat röntgenspektroszkópiával azonosítsák. A rendelkezésre álló adatok erősen sejtetik, hogy ezek közül egyik a LaH_{10} , de a többi ott látott szerkezet azonossága bizonytalan. [10] Azonban az eddig elért kísérleti eredmények jelentősek lehetnek a kristályszerkezetek és a szupravezetés közötti kapcsolat megértéséhez főleg annak érdekében, hogy felderítésre kerüljenek olyan szupravezető vegyületfázisok, amelyek még magasabb átmeneti T_c -vel rendelkeznek. Valószínűleg az LaH_{10} magas T_c -je felbátorítja a kísérletezőket, hogy hasonló vegyületek, mint például az ittrium-hidrid szupravezetését magas nyomáson is megvizsgálják, remélve, hogy azok szupravezetési átmeneti T_c -je meghaladhatja a szobahőmérsékletet.

Végszó

A szupravezetés területén a '80-as években elért jelentős eredmények akkor váratlanul érték a kutatókat, gyakran ellentmondva az elfogadott elméleti és gyakorlati ismereteknek. A hidridek magas nyomáson való szupravezetésének felfedezése azt mutatja, hogy jelenleg ez már nem így van, ugyanis elméleti számítások is felhasználhatóak új, magas hőmérsékletű átmeneti T_c -jú BCS-típusú szupravezető vegyületek jöslására, illetve észszerű tervezésére. Még újabb elméleti számítási eljárások lehetővé teszik majd más vegyületek felfedezését, például olyanokét, amik stabilisan szupravezetők maradnak a magas nyomás megszűnése után is a kén- és lantán-hidridekben, amikben jelenleg még nem így van. Új eljárások szupravezető kristályok szintézisére és jellemzésére lehetővé teszik majd azok sokrétű gyakorlati alkalmazását. Az elmélet és a kísérlet közötti visszacsatolás eredményeképpen talán rövid időn belül lehetővé válik olyan szobahőmérsékleten működő szupravezetők felfedezése is, amikhez gyémántsatunál sokkal egyszerűbb prések szükségeltetnek, például olyanok, amiket jelenleg gyógyszerporok pasztillázására használnak. Ha minden az optimisták reményeinek megfelelően halad, akkor talán a „Szent Grál-vegyület” vagy anyagforma is aránylag rövidesen felfedezésre kerülhet. A remény még megvan. ●●●

IRODALOM

- [1] P. Steinhardt, The Second Kind of Impossible. The Extraordinary Quest for a New Form of Matter, Simon & Schuster Publ., 2019.
- [2] Braun Tibor, Félúton a nagy hőmérsékletű szupravezetők kutatásában. In: Braun Tibor, A Nobel-díjra érdemes taxisorfő. Lexica Kiadó, Budapest, 2016. 232.
- [3] M. Shomaya-Zulu, M. Ahart, A. K. Mishra, Z. M. Geballe, M. Baldini, Y. Meng, V. V. Struzhkin, R. J. Hemley, Phys. Rev. Lett. (2019) 122, 27001.
- [4] A. P. Drozdov, M. I. Erements, A. Troyan, V. Ksenofontov, S. I. Shylin, Nature (2015) 525, 73.
- [5] N. W. Ashcroft, Phys. Rev. Lett. (2004) 92, 187002.
- [6] Braun Tibor, Gyémántsatuba szorított kémia. In: Braun Tibor, A könyvek illata. Typotex Kiadó, 2018, 41.
- [7] L. Dubrovinsky, E. Koermetz, M. Bykov, E. Bykova, G. Aprilis, A. Pakhomova, High Pressure Research (2017) 37, 1.
- [8] E. Zurek, W. Grochala, Phys. Chem., Chem. Phys. (2015) 17, 2917.
- [9] F. Peng, Y. Shun, C. J. Pickard, R. J. Needs, Q. Wu, Y. Ma, Phys. Chem. Lett. (2017) 119, 107001.
- [10] <https://www.asianscientist.com/2016/09/in-the-lab/hydrogen-sulfide-crystal-structure-superconducting-phase/>
- [11] <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Review-on-Cuprate-Based-Superconducting-Materials-Rahman-Rahaman/7eff17ec670b05b13e4c88c02af435d15cb42bce/figure/1>
- [12] <https://cdac.carnegiescience.edu/article/new-high-tc-superhydrides>
- [13] https://media.nature.com/w800/magazine-assets/d41586-018-07831-x/d41586-018-07831-x_16349650.jpg