

Braun Tibor

■ ELTE TTK Kémiai Intézet, MTA Könyvtár és Információs Központ

Félúton a magas hőmérsékletű szupravezetők kutatásában

Vetélkedés, versenyfutás és siker

Előszó

A szupravezetésről és szupravezetőkről felfedezésük (1911) óta több száz ezer folyóiratcikket és számos könyvet publikáltak. A szupravezetés és rokon területek kutatásában elért eredményeikért eddig tizennégy kutatónak ítelték oda a fizikai Nobel-díjat [Abrikosov (2003), Anderson (1977), Bardeen (1972), Bednorz (1987), Cooper (1987), Englert (2013), Ginzburg (2003), Higgs (2010), Josephson (1973), Kamerlingh-Onnes (1913), Laughlin (1998), Müller (1987), Nambu (2008), Schrieffer (1972)]. Az eddigi ismereteket csaknem reménytelen összefoglalni egy ennyire átfogó területen. Ezért kívánjuk itt pontosítani, hogy a teljes kérdéskör alapismertetésére csak dióhéjban térünk ki, de négy aspektust kiemeltünk, és a továbbiakban azokat szeretnénk körbejárni. Lévén, hogy nem tudtuk a szakirodalomból megnyugtatóan kiolvasni, hogy a szupravezetők kutatása az eredmények alapján a klasszikusan definiált fizikához, kémiához vagy anyagtudományhoz sorolható-e, jobb híján a terület átlapoltsága, illetve interdiszciplinaritása javára döntöttünk, és azt is elhatároztuk, hogy elsőként a magas hőmérsékletű szupravezetők kémiájára, illetve anyagtudományi jellegére összpontosítjuk figyelmünket. A fent említettek közben a tudományos alap kutatás általános működési mechanizmusának egy kérdésére is ki szeretnénk térni, mégpedig a kutatók versengésére és prioritására, de azzal kifejezetten a szupravezetőkre kivetítve kívánunk foglalkozni. Szintén szigorúan a szupravezetőkre vonatkoztatva, körüljárjuk az 1987. évi fizikai Nobel-díj bizonyos aspektusait is. Mindezek folytatásaként, illetve kiegészítésére röviden áttérünk a szupravezetők fizikai működési mechanizmusának elméleti kérdésére, illetve annak taglalására, hogy mit, illetve mit nem sikerült eddig elérni ez utóbbi területen.

Bevezetés

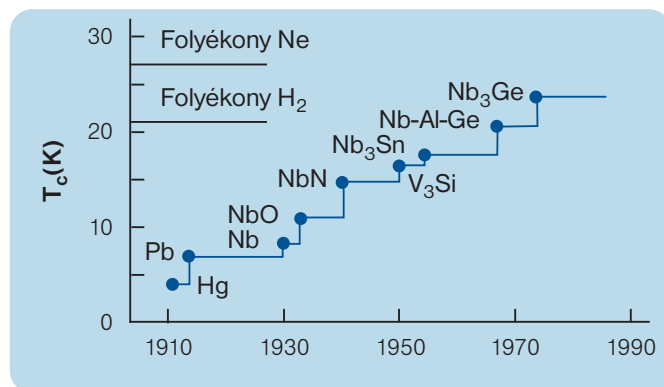
A szupravezetésnek elnevezett jelenséget *Kamerlingh-Onnes* holland fizikus fedezte fel 1911-ben, amiért 1913-ban Nobel-díjjal tüntették ki. Ő azt találta, hogy a higany elektromos ellenállása nulla csökken, amikor azt egy bizonyos jellemző hőmérsékletre (T_c), azaz négy Kelvin-fokra (-269 °C vagy -452 °F) hűti le. Mindent úgy tudta megvalósítani, hogy a Hampson-Linde-ciklus alapján felfedezte a hidrogén cseppfolyósítását [1].

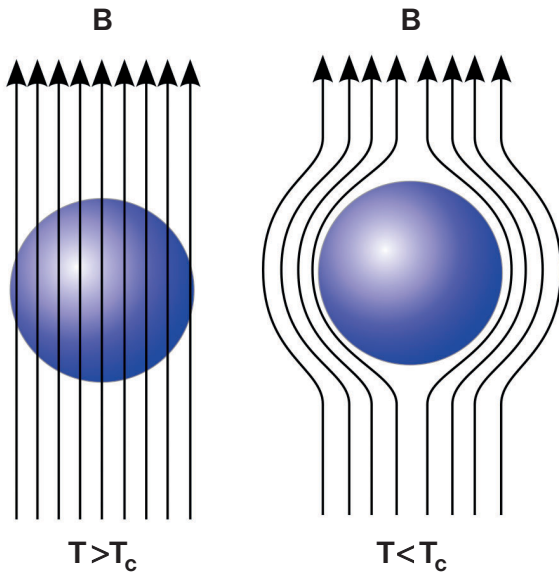
A szupravezetők olyan anyagok, amelyeknek alacsony hőmérsékleteken eltűnik az elektromos ellenállásuk, vagyis az áram

veszteség nélkül halad át rajtuk. Más szóval, egy zárt áramkörben, így a szupravezetőkben évszázadokig is keringhet elektromos áram, mindenféle külső behatás nélkül. A szupravezetés létrejötté az erre alkalmas kristályos anyag (vegyület) egymással összekapcsolt (csatolt) elektronpárjainak köszönhető. Kellően alacsony hőmérsékleteken, csatolt állapotban az elektronok nem ütköznek rácsatomokba, így akadálytalanul haladnak át az anyagon. A szupravezető állapot rendkívül hasznos, különösképpen az elektromágneseknél, mert a betáplált energia a mágneses tér fenntartására fordítódik, nincs elektromos és hőveszteség.

Főleg szokatlan és meglepő jellegénél fogva tartottuk érdekesnek itt megemlíteni egy szupravezetéssel foglalkozó könyv néhány mondatát: „What is even more interesting is that Nature had no intention at all to create the superconducting state. Superconductivity is rather Nature’s oversight – it is an instability, an anomaly. What does the superconducting state literally mean? In the superconducting state, *there is no friction* (kiemelés *jelen szerzőtől*). In the real world, what does it mean? If friction were absent, Earth would be ideally round, no buildings, no clothes, and I am afraid that the living matter, including us, would not exist at all. Definitely, it was not Nature’s intention. Humans however, after the discovery of the superconducting state, try to derive a good deal of benefit from use of its peculiar properties” [2]. (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 súrlódás. Mit jelent ez a való világ-

1. ábra. Szupravezetési átmeneti hőmérsékletek (T_c) 1911 és 1985 között [13]





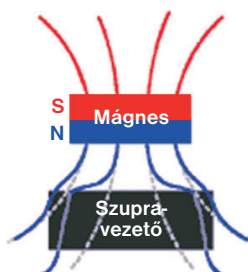
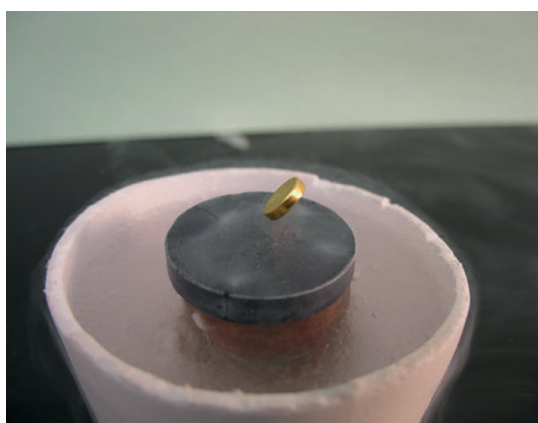
2. ábra. A Meissner-Ochsenfeld-effektus diagramja [3]

ban? Ha a súrlódás nem létezne, a Föld ideális gömb formájú lenne, nem lennének épületek, öltözékek – az élet velünk együtt egyáltalán nem létezne. Ezzel szemben az emberiség a szupravezetés állapotának felfedezése után nagymértékű hasznot kísérel meg húzni furcsa tulajdonságaiból.)

A jelenség felfedezése utáni évtizedekben számos anyagban, főleg fémekben és átmenetifém ötvözetekben mértek szupravezetést (1. ábra).

1933-ban *Meissner* és *Ochsenfeld* kimutatta, hogy a szupravezetők, melyeket addig csak ideális vezetőknek tartottak, kiváló diamágneses anyagok is. Felfedezésük szerint a szupravezetők kiszorítják magukból a mágneses teret. A külső mágneses tér bizonyos mértékig, az úgynevezett kritikus mágneses mezőig, a szupravezetőkből teljesen kiszorul a mágneses fluxus (2. ábra). Ezt a jelenséget Meissner–Ochsenfeld-effektusnak vagy Meissner-hatásnak nevezik, és ez a mágneses lebegtetés (levitáció) alapja (3. ábra). (A szakirodalom sokszor a rövidebb Meissner-effektus nevet használja.) Ha a szupravezetőt gyenge mágneses térbe helyezik, a tér csak egy minimális λ távolságra hatol be a szupravezetőbe, ez az úgynevezett behatolási mélység, ami után a mágneses térerősség nullára csökken. A legtöbb szupravezető esetén ez a mélység 100 nanométeres nagyságrendű. A Meissner–Ochsenfeld-effektus könnyen összetéveszthető az ideális vezetők diamágnesességével. Lenz törvénye szerint a változó mág-

3. ábra. Szupravezetéses mágneslebegtetés [6,7]



neses tér áramot indukál a vezetőkben, és ezen áram által keltett mágneses tér pontosan az áramot létrehozó hatás ellen dolgozik. A Meissner–Ochsenfeld-effektus abban különbözik ettől, hogy a szupravezető a teljes mágneses teret kizárja – nem csak a változó teret –, ha kritikus hőmérséklet alá hűtik [3].

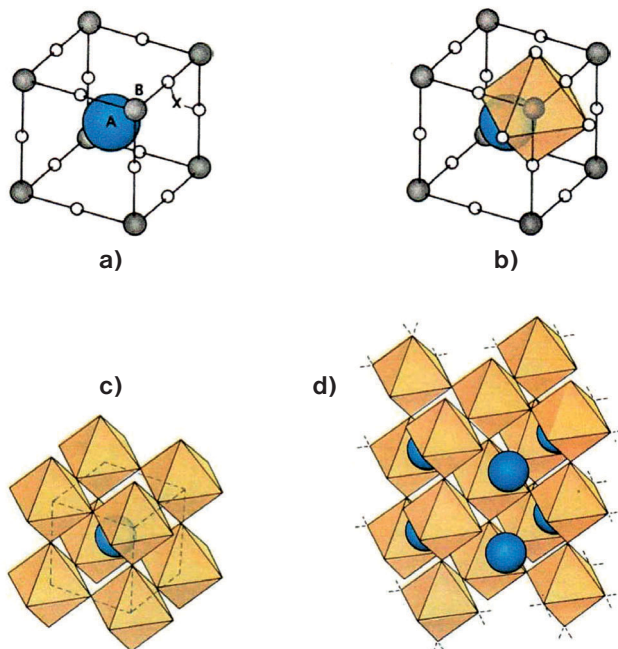
1940-ben *London*, 1964-ben pedig *Josephson* a szupravezetést már olyan kvantumjelenségnek tartotta, ami lehetővé teszi rendkívül érzékeny detektorok és ultragyors kapcsolók készítését. Számos alkalmazásuk jelentős hatással lehetett az energiagazdálkodás, az orvosi, kommunikációs, szállítási és védelmi iparágakra.

A továbbiakban ismertetett szupravezetési átmeneti hőmérsékletek (T_c) 1967-től bekövetkezett jelentős növekedése előtt is – természetesen az új szupravezető anyagok, ötvözetek kémiai előállításai kísérleteivel párhuzamosan – főleg az elméleti fizikusok igyekeztek kutatásaikkal átfogóbb magyarázatot találni a szupravezetés jelenségére, illetve utat mutatni új szupravezető anyagok felfedezése felé.

Az első ilyen, úgynevezett mikroszkopikus elméletet *Bardeen*, *Cooper* és *Schrieffer* dolgozta ki 1957-ben, őket 1972-ben Nobel-díjjal jutalmazták az azóta BCS-elméletnek nevezett teória megalkotásáért [4]. Anélkül, hogy itt kitérnénk a részletekre, az elmélet mikroszkopikus elektron-fonon kölcsönhatási mechanizmussal értelmezi a szupravezetés eredetét és magyarázza az addig felfedezett szupravezetők tulajdonságait. Később azonban kiderült, hogy a BCS-elmélet nem segíti azokat, akik azt keresik, hogy hol és hogyan találjanak magasabb T_c -vel rendelkező szupravezetőket. Bár feltételezhető volt, hogy az erős elektron-fonon kölcsönhatás valóban elvezethet egy magasabb T_c -hez, de az ilyen túlságosan erős kölcsönhatás kedvezőtlen kristályszerkezeti átalakuláshoz is vezethet. Ennek megfelelően a BCS-elmélet alapján a kristályszerkezet átalakulását kiváltó, maximálisan elérhető 30 K (–240 °C) hőmérsékletet prognosztizáltak. Az új, magasabb T_c -jú szupravezetők további kutatására két út kínálkozott: a BCS-szemlélet elfogadása és az új szupravezetők keresésének leállítása az átmenetifém ötvözetek között, vagy *empirikus* úton keresni más, új szupravezető vegyületeket, anyagokat [5].

Kémiai empiria és hőmérséklet-áttörés

Az előzőekben is említett intenzív nemzetközi kutatási tevékenység ellenére a fentiek értelmében még például 1986-ban is [9] le lehetett, vagy kellett írni azt, hogy: „At the extreme forefront of research in superconductivity is the *empirical* search for new materials [8]” (A szupravezetéskutatás extrém frontvonalában az új anyagok *empirikus* keresése áll.) Időben visszaugorva



4. ábra. A perovszkit elemi szerkezeti egysége. a) Egy fématom (A) a kocka középpontjában, nyolc kisebb fématom (B) a kocka sarkaiban és 12 nemfém atom (X) a peremek középpontjaiban helyezkedik el. A krisztallográfusok a kockamodellt gyakran a poliéderessel helyettesítik (b). A hat X anion körbevesz és szorosan kötődik minden B kationhoz, és egy oktaéder (sárga) csúcsait képezi. Ebben a modellben az A kationt körülvevő nyolc sarokkapcsolatos oktaéder csoportja képezi a szerkezeti alapegységet (c). A szilárd kristályt ilyen csoportok folyamatos hálózata alkotja (d) [15]

képzjük magunkat – az 1. ábrát nézve – a múlt századbeli hetvenes évek közepébe (például 1975-be), amikor az alkalmazási igények és remények megvoltak, de a BCS-elmélet kinyilvánította, hogy magasabb T_c -jú szupravezetőkhöz az átmenetifém ötvözetek nem vezethettek. Ennek megfelelően a világ kutatóinak egyetlen további alternatívája az *empíria* maradt, azaz a kémiában akkor ismert vagy előállítható milliónyi vegyület, anyag vagy vegyületcsoport, anyagcsoport közül kiválasztani egyet vagy többet, és megvizsgálni, hogy az szupravezető-e. Egyszerűen kimondva az akkori kutatóknak meg kellett lovagolni a reményt, hogy jó helyen, jó irányban, jó időben keresse, kutassa az új szupravezetőket. Jelen szerző a szakirodalom vizsgálata alapján úgy találta, hogy az előbbi három ismérv alapján a jó hely a svájci IBM zürich–rüschi-koni kutatóintézete, a jó irány a perovszkit-ásványok, illetve -kerámiák háza tája és a jó időpont a múlt századbeli nyolcvanas évek eleje volt. Ehhez persze nem kerülhet el azok megnevezése, akikre a fent említett lépések a hangsúlyozott *empirikus* kutatások jegyében vonatkoztak: K. Alex Müller és J. Georg Bednorz.

Mint a tudományos kutatásban kevés kivétellel, rájuk is érvényesült az a tétel, hogy megfelelő előzmények nélkül az akkor kezdődő vizsgálataik nem valósulhattak volna meg. Így például már 1964-ben az elődök felhívták a figyelmet a szupravezetés és a félvezetők közötti kapcsolat lehetőségére a SrTiO_3 és LiTiO_3 fém-oxidok kapcsán [9–12]. Részben ezeken az alapokon, de még mindig az *empíria* jegyében jutott Müller és Bednorz a forradalmi gondolatra, hogy a lehetséges megoldás kulcsát a fent említett oxidokat magukba foglaló perovszkitok és kerámiák körül kell(ene) keresni. Meglepő, hogy jelentős, fizikai Nobel-díjjal 1987-

ben jutalmazott felfedezésük előzményeit és történetét nagyon részletesen és aprólékosan leírt dolgozatukban [13] a fent említett kutatók egyszer sem említik az *empíria* szót, de a szó említésre kerül egy 1986-ban publikált dolgozatukban [9]. Ez természetesen utólagosan bocsánatos elhanyagolás vagy kihagyás, ugyanis az eseményt (fölfedezést) utólag leírva sokkal könnyebben megteremthető az a logikus és következetes útvonal, ami a leírt eredmény *empíriás* úton való előzetes megközelítése során majdnem lehetetlen lett volna.

Az orosz geológus és ásványkutató von Perovskiról elnevezett perovszkitok (4. ábra) különleges atomszerkezetű természeti ásványok. Ezek képezik a Föld egyik leggyakoribb ásványcsoportját és magukban foglalnak körülbelül 150 szintetikus vegyületet is. A perovszkitásvány ideálisan kalcium-titanát (CaTiO_3), de jelentős számú szubsztitúciós vegyülete létezik [14].

Bednorz és Müller munkahelyén, az IBM rüschi-koni intézetében két évtizeddel 1983 előtt is foglalkoztak már szigetelő fém-oxidok kutatásával. A SrTiO_3 és a CaAlO_3 perovszkitok képezték a modellvegyületeket a szerkezeti és ferroelektromos fázisátalakulások vizsgálatához. Így például Serway, Berlinger, Müller és Collins elektronrezonanciás spektroszkópiás eredményeket publikált [14] az átmenetifém szennyezésekről a perovszkitrácsban, és ezek alapvető rálátást nyújtottak ezen kristályok lokális szimmetriájára, azaz a TiO_6 oktaéderekre, a perovszkitrács jellemző építőköveire. Ugyancsak Bednorz már a Zürichi Műszaki Egyetem (ETH) szilárdtest-fizikai kutatólaboratóriumában végzett PhD-kutatásai során, a rüschi-koni IBM-hez 1983-ban való átkerülése előtt, alacsony hőmérsékleten tanulmányozta a perovszkit szilárd oldatos szerkezeti és ferroelektromos tulajdonságait. Már ott tapasztalta ezen anyagok tulajdonságainak nagy változatosságát és azt, hogy a tulajdonságok összetételük módosításával mennyire változatosakká tehetők.

A kulcsvegyületet, azaz a tiszta SrTiO_3 -ot a rácsból való parciális oxigéneltávolításos redukálással szupravezetővé is lehetett tenni, de az így előállított vegyület 0,3 K-es átmeneti hőmérséklete még nikkel hozzáadása után is túl alacsonynak bizonyult ahhoz, írta Bednorz és Müller, hogy felvillanyozza a világ szupravezetés-kutatóit. Az azonban, hogy a szupravezetés, bár csak jelentéktelen mértékben, de megjelenhetett egy *kémiai* változtatás után a különböző szinterelt kerámiás oxidkeverékekben, jelentősen befolyásolta Bednorz és Müller gondolkodását és további kutatásait. Ezek után fordult érdeklődésük a *réz-oxidok* (kuprátok) felé.

Emlékiratnak is nevezhető 1987. évi Nobel-előadásában, majd 1988-ban publikált összefoglalójában Bednorz és Müller [15] rendkívül vonzóan ismerteti többek között azokat a gondolatokat és kísérleteket, amelyek végül 1986. január 27-én elvezettek a forradalmi szupravezetési hőmérséklet-növekedést mutató LaBaCuO (5. ábra), majd 1986 decemberében a LaSrCuO perovszkitkerámiákhoz. Az itt nagyon dióhéjban ismertetett, de alapos részleteket leíró összefoglalásban [13] és monográfiákban [2,5,16] leírtak esetében két tényező érdemel említést. Az egyik Bednorz és Müller laboratóriumi kísérletei nagy részének kimondottan *kémiai* jellege. Bővebben ez azt jelenti, hogy például a különböző szintetikus perovszkitvegyületek, beleértve a fent említett két kerámiát a komponens vegyületek sóiból koprecipitációval, illetve kalcinálással, szintereléssel, azaz *kémiai* úton kerültek előállításra. Mindez úgy, hogy a kutatók egyike sem volt kémikus, ugyanis Müllernek fizikusi, Bednorzknak krisztallográfiai volt az alapképzettsége. A másik figyelemre méltó tényező: Müller és Bednorz – már a felfedezés birtokában és tudatában – 1986-ban nagy



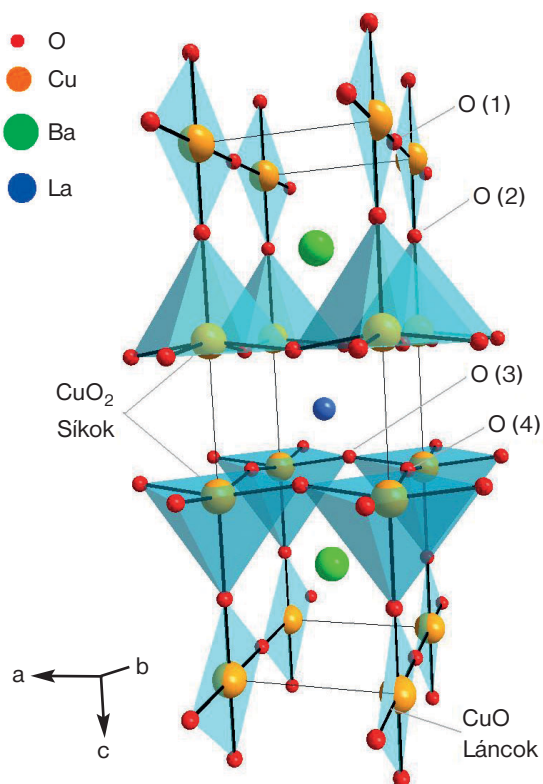
óvatosságról tanúskodott a publikálásaiban. Ezt ugyan valószínűleg az is motiválta, hogy a világ szupravezetékutatóinak jelentős volt a szkepticizmusa minden forradalmian új T_c -növelési eredményt mutató új vegyülettel szemben, főleg miután *McMillan* [17], az akkor már nagy tekintélyű BCS-elmélet alapján hangsúlyozta, hogy a szupravezetők kritikus hőmérséklete mintegy 30–40 K értékénél nem lehet nagyobb. Ennek megfelelően Müllerék egyik első, a LaBaCuO-t leíró dolgozatának címe az óvatos *Possible High T_c Superconductivity*-vel [8] kezdődik. A szkepticizmust még az is indokolta, hogy időnként a világban jelentkeztek olyan, a szupravezetésre alkalmas anyagok forradalmian új tulajdonságait leíró közleményekkel, mint például 1977-ben orosz (szovjet) kutatóknak a réz-klorid szupravezetését taglaló cikke [18], ami a független reprodukálási kísérletek során teljesen hamisnak bizonyult.

1987-ben publikált dolgozatában Bednorz és Müller [20] már határozottabban hangon írta le felfedezését, és említette az azóta világszerte elfogadott „*high T_c superconductivity*” kifejezést. Bár a „*low*” és a „*high*” jelölés természetesen relatív volt, a LaBaCuO felfedezésének két jellemzője vitathatatlan: több mint 10 K-nel megemelte a szupravezetés átmeneti hőmérsékletét, és lehetővé tette a hűtéshez a folyékony hélium helyett a folyékony hidrogén használatát. Ezért mindezeket teljesen indokoltnak látjuk *áttörésként* jellemezni. Bednorz és Müller eredményeit, amelyeket a LaBaCuO perovszkitkerámia szupravezetéséről publikáltak, sokaknak villámgyorsan sikerült reprodukálni számos helyen a világon.

Verseny és prioritás

Bár mint a fent leírtak szerint a szupravezetés kutatása már a múlt század elejétől számítva sem volt elhanyagolt területnek mondható, Bednorz és Müller eredményeinek publikálása [8,9] szupravezetékutatói lavinát, cunamit indított el a világ orszá-

5. ábra. A Bednorz és Müller által felfedezett LaBaCuO perovszkit elemi cellája [19]

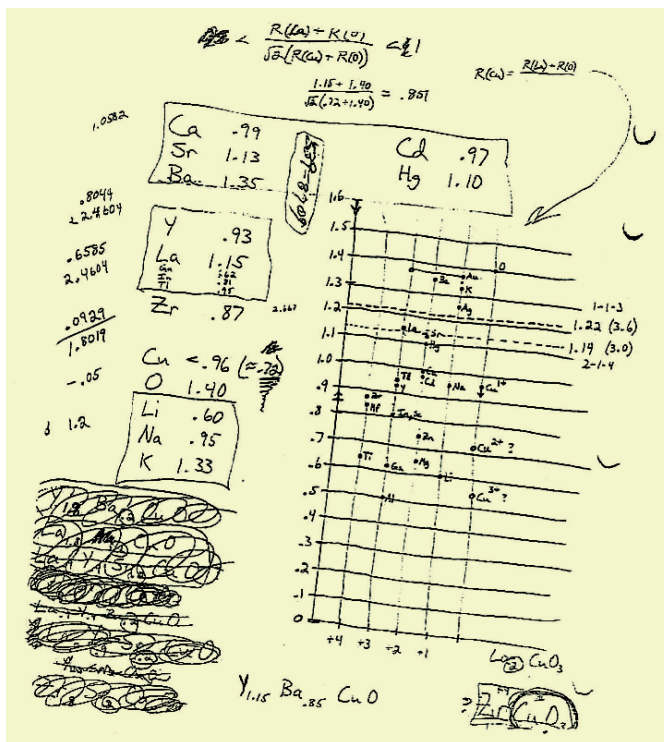


gaiban. Ezért látjuk itt indokoltnak röviden a versengésre, a vetélkedésre és a prioritásra is kitérni a szupravezetők tudományos kutatásában.

Ehhez az egyik út az, hogy igénybe vesszük *Robert Merton* [21, 22] talán a valaha élt legjelentősebb tudomány-szociológus nézeteit, miszerint a verseny, versengés a tudományban, illetve a kutatásban a fejlődés egyik legjelentősebb velejárója. Mint ahogy annak velejárója az eredetiség és a prioritás is [21]. Egy felfedezés, illetve az elért eredmény tulajdonjogát és elfogadását a kutatók természetesen saját maguknak igyekeznek vindikálni, annak minden morális és anyagi előnyével együtt. Mint említettük, a fentiekben a versengés a kulcsszó, amikor egészen különleges elismerések, mint a Nobel-díj vagy a kutatásokat finanszírozó anyagiak elérése is felmerülnek; a versengés helyett már a harc, csata vagy küzdelem fogalma is szóba kerül, mint azt bizonyos mértékben és más téma kapcsán már bemutattuk [24], és a továbbiakban itt is bemutatjuk. A magas hőmérsékletű szupravezetés első lépésének prioritása a reprodukálhatóság igazolása után Bednorz és Müller javára 1987-től kezdődően világszerte elismerésre talált. A fentebb említett lavina elindult, a reprodukálás után újabb, még magasabb hőmérsékleten működő vegyületek empirikus, de már Bednorz és Müller nyomdokain haladó előállítására útján. Mindezt megtoldva azzal a kinyilvánított véleményvel, miszerint a szupravezetés kutatási területén is „minden időben a kutatók elképzelt önállóságuk okán és állandó irigység folytán, gladiátorhelyzetben fegyvereiket és gyanakvó pillantásukat egymásra szegezve, háborús képzetben élnek” [25].

Az igazi nagy hőmérséklet-áttörés

Arra természetesen nincs itt sem helyünk, sem lehetőségünk, hogy a Bednorz és Müller 1986-beli felfedezése által fentebb már említett kutatási és publikálási lavinát részleteiben is ismertessük. Ezért a témáról szóló monográfiák [16,30] szerint a Bednorzot és Müllert követő versenytársak közül foglalkozunk itt azokkal, akik a legjellemzőbbeknek bizonyultak. Ezek közül a leginkább *Shoji Tanaka* (Tokiói Egyetem), *Paul Chu* (Houstoni Egyetem) és *Maew-Kuen Wu* (Alabama Egyetem) kerültek említésre. Publikálásban valószínűleg Tanaka tokiói csoportja jelentkezett elsőnek [26]. Ők a BaPbBiO perovszkitkerámia szupravezetését vizsgálták. Azonban 1980 közepére – negatív eredményeik hatására – türelmük határához értek, és az empiria jegyében éppen új vegyület keresésébe fogtak. Az 1987-ben publikált Bednorz és Müller- [20] cikk olvasása után villámgyorsan reprodukálták annak eredményeit, kiegészítve pozitív Meissner-effektusi mérésekkel. Paul Chu és csoportja, hogy a versengés stílusában fogalmazunk, az új szupravezetők keresésében ott lihegett Bednorzék és Tanakaék nyakában. Ő Kínában *Ching-wu Chuként* született, majd Tajvanon nevelkedett, és később a San Diego-i University of Californián PhD-fokozatot szerezve változtatta a nevét immár Paul Chura [27]. Chu csoportja reprodukálta és igazolta Bednorz és Müller LaBaCuO perovszkitkerámiával elért eredményeit, és kimutatta, hogy a szinterelt anyag hidrosztatikus nyomás alatt egy Kelvin-fok T_c -növekedést mutat egy kilobar nyomásnövelés hatására. Ezáltal 13 kilobarnál elérték a 40 K T_c -hőmérsékletet [28]. Folytatásként Chu és csoportja a mások által nagyon részletesen leírt empirikus kísérletezéseket folytatta az eredeti LaBaCuO perovszkitkerámia egyes elemeinek ritkaföldfém és alkáliföldfém elemekkel való helyettesítésével (például $La \rightarrow Y$, $Ba \rightarrow Sr$) [5,16] (6. ábra). 1987. január 12-én Chu egyesült államokbeli szabadalmi igényt is benyújtott több új ritkaföld-



6. ábra. Oldal Chu jegyzetfüzetéből, empirikus perovszkit-vizsgálatai során [33]

fém, illetve alkáliföldfém perovszkitkerámia anyagra, köztük az YBaCuO-ra, akkor még vegyes eredmények alapján.

1987. január 17-én Chu egyik végzős hallgatója, Maew-Kuen Wu, aki már a huntsville-i Alabamai Egyetemen kutatott, úgy találta [29], hogy az itriumot tartalmazó vegyület különösen biztatóan ígérkezik, de itriumot éppen akkor nem találtak a laborban. A Huntsville közelében fekvő Marshall Space Flight Centerben találtak ebből a ritkaföldfém-ből, és Wu és munkatársai szilárd fázisban porították, keverték (!), kalcinálták (!), illetve szinterelték a finoman porított itrium, bárium-oxidok és bárium-karbonát, illetve réz-oxid sztöchiometriás keverékét. 1987. január 29-én délután Wu felhívta Alabamából Chut, és közölte: „we have hit the jackpot” (megütöttük a főnyereményt) [29]. Wu még aznap Huntsville-be repült a mintával Chuhoz, ahol rögtön elvégezték a mindent igazoló mágneses szuszceptibilitási és a Meissner-effektus-méréseket is. A kemencéből előkerült kerámia szemmel láthatóan két különböző kristálytípust mutatott a nagy felbontású optikai mikroszkópban. Az egyik fázis zöld színű, kerekített élű, a másik fekete, átlátszatlan, szabályosabb és szögletesebb szélű kristályokból állt. Bár feltételezték, hogy a fekete fázis a szupravezető, mert ismert volt, hogy a legtöbb szupravezető anyag fekete és átlátszatlan, Chu bizonyosságot akart arról, hogy a két fázis közül melyik a valódi szupravezető tulajdonságú. A kérdést azonban csak úgy lehetett tisztázni, ha a mikroszkopikus méretű kristálykeveréket krisztallográfus szakember diffrakto-metriás mérésekkel megvizsgálja.

Chu és munkatársai, akik fizikusok és nem krisztallográfusok voltak (emlékezzünk rá, hogy e dolgozat elején említettük, hogy Bednorznak is a krisztallográfia volt a szakterülete), tartottak attól, hogy amennyiben a kristálymintát olyan helyre küldik a diffrakto-metriás és elektron-mikroszkopos vizsgálatok elvégzésére, ahol mint említettük, szintén részt vesznek az egyre magasabb hőmérsékletű szupravezetők világszerte terjedő kutatási hajszakájában, akkor prioritási igényeik, publikálatlan eredményekről lé-

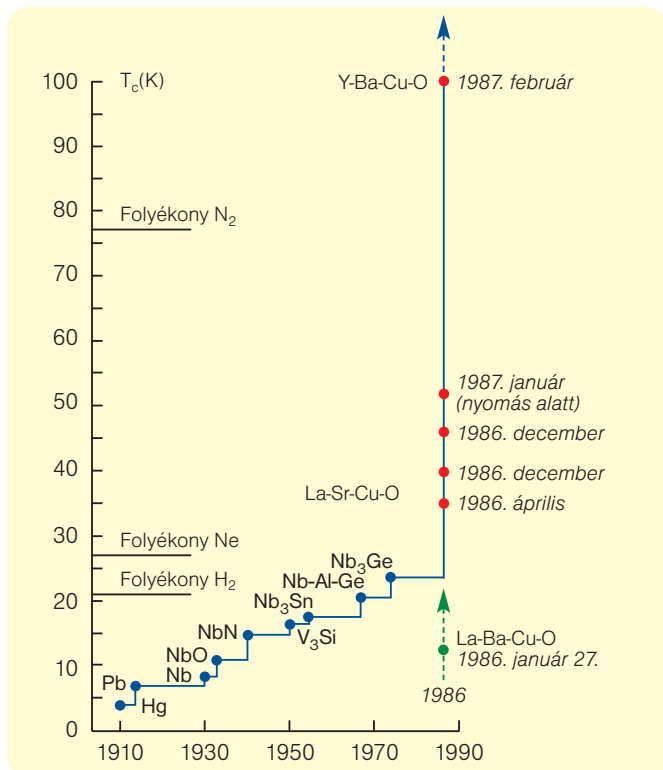
vén szó, veszélybe kerülhetnek. Ezért e célra a washingtoni Carnegie Intézet geofizikai laboratóriumában dolgozó Robert M. Hazen mineralógust [30] és munkatársait kérték fel, mert őket jó nevű, elismert diffrakto-metriás szakemberekként ismerték, de tudták róluk, hogy sokan másokkal ellentétben nem foglalkoznak új szupravezető anyagok, kerámiák, vegyületek keresésével. Hazenék rövidesen igazolták, hogy az YBaCuO zöld kristályok Y_2BaCuO_5 összetételűek, míg a feketeiket a mindent eldöntő magas hőmérsékletű, oxigénhiányos $YBa_2Cu_3O_7$, azaz a legendás 1-2-3 összetételű fekete, átlátszatlan kristályok képezik. Az eredményeket Chu, Wu és munkatársaik két közös cikkben írták le 1987-ben [31, 32]. A kéziratokat Chu 1987 februárjában küldte be a *Physical Review Letters* folyóirat szerkesztőségébe, és a cikkek a folyóirat 1987. márciusi számában jelentek meg [31, 32].

A prioritási, illetve publikálási versenyfutásra [30] a legjellemzőbb példát Chu mutatta be, amikor a *Physical Review Letters*-hez beküldött két cikk [31,32] kéziratában említett két vegyületet állítólag szándékos megtévesztésként YbBaCuO-ként (Yb!) írta le, és titkárnői gépelési hibára hivatkozva csak a cikk korrektúrájakor, 11 órával a megjelenés előtt módosította az Yb-ot Y-ra. A fáma szerint azért, mert tartott attól, hogy a folyóiratnál a szerkesztés közben az új perovszkit képlete (és a felfedezés híre) kiszivárog a *Phys. Rev. Lett.* szerkesztőségéből. Hazen könyvében említi a fentieket és azt is, hogy ő (Hazen) utólag kérdezte erről Chut, hogy így történt-e, de Chu megtagadta a választ [30].

A fizika Woodstockja

Az Amerikai Fizikai Társaság (American Physical Society, APS) 1987. március 16. és 20. között, a New York-i Hilton szállodába tervezte évi rendes szilárdtest-fizikai konferenciáját. Látva az 1987. elejére megjelent szupravezetési cikklavinát, a társaság utólag döntött úgy, hogy az évi közgyűléshez egy last-minute szekciót csatol, amiben lehetőséget nyújt a szupravezetés témában elért legeslegújabb eredmények bemutatására. A szekció előadásait az Amerikai Fizikai Társaságon belül működő History of Physics Division szervezésére bízták, az előkészítésre 1987. március 17-én került sor, és ott részletesen számba vették a szupravezetés közműltbéli eredményeit [34]. Az igazán különleges, a szupravezetés történetében mérföldkőnek emlegetett esemény a New York-i Hilton szállóban március 18-án délutánja volt, amikor délután fél hat körül a szálló báltermében körülbelül 2000 kutató szorongott, és körülbelül ugyanannyian tolongtak a kinti televízió-képernyők körül és a szomszéd helyiségekben. A szekció ülése fél nyolctól hajnali három óráig tartott, és az említett teremben az előadások közben a hallgatók még a csilláron is lógtak azért, hogy meghallgathassák az Ames, Brookhaven, Los Alamos, AT&T Labs, Tokió, Huntsville, Houston és Carnegie Intézet kutatóhelyeken működő szupravezetékutató csoportok vezetőinek eredményeit legújabb kutatásaikról [16].

Az Amerikai Fizikai Társaság márciusi konferenciájára 3080 összefoglalót küldtek be, közülük számosat, főleg a magas hőmérsékletű szupravezetőkkel foglalkozókat csak az ülés előtti pillanatokban. Előadásaihoz a kulcs emberek, például Alexander Müller és Paul Chu 10 perc időt kaptak a rendezőktől, a többiek csak 5-5 percet. A magas hőmérsékletű szupravezetőkről 51 előadás hangzott el az 1987. március 18-i ülésen, és azt az 1969-ben Woodstockban tartott, sokak számára még ma is emlékezetes zenei és művészeti woodstocki fesztivál nyomán azóta is a fizika Woodstockjaként emlegetik [35].



7. ábra. Szupravezetési átmeneti hőmérsékletek (T_c) 1911 és 1990 között [13]

Nobel-díj, 1987

A fenti eredményeket követően a Stockholmi Nobel-bizottság 1987 novemberében Johannes Georg Bednorz-nak és Karl Alex Müller-nek megosztva ítélte az 1987-es fizikai Nobel-díjat „a kerámiákban történő szupravezetéssel kapcsolatos úttörő felfedezéseikért” [36]. Tették ezt annak ellenére, hogy a Nobel-bizottság nem arról híres, hogy elkapkodja a díj, illetve a díjazott(ak) kijelölését, illetve nagyon gyorsan tiszteli meg a díjjal a felfedezőt, ugyanis néha, nem is kevészer, a díjat sok év, sőt évtized után adják ki. Bednorz és Müller esetében a megtiszteltetés villámgyorsan következett be. Az, hogy Bednorz és Müller mellett mások is részesültek volna-e a díjra, például Chu és Wu, még ma is nyitott kérdés. A 7. ábrán látható, hogy Chuék az YBaCuO perovszkitkerámia felfedezésével a T_c -t 100 K körüli értékre emelték. Itt talán Chuék felfedezésének még populárisabb alátámasztására megemlítendő, hogy míg a folyékony hélium literje például az ötcsillagos Hennessy konyak árával (6–14 ezer Ft), addig a folyékony nitrogén literjének ára egy liter tejével (200–400 Ft) egyenlő.

Hazen könyvében még azt is megemlíti, hogy azzal, hogy a Nobel-bizottság Bednorzot és Müllert már 1986 végén jelölte az 1987. évi fizikai díjra, eleve kizárta Chut a jelölésből, ugyanis az 1987. évi jelölés határideje 1987. január vége volt, viszont Chuék cikkei [31,32] csak 1987 márciusában jelentek meg. Mások Chut is Nobel-jelöltnek feltételezték, mint azt a *Houston Chronicle* amerikai napilap február 16-i számának címlaphíre is bizonyítja (8. ábra). A Nobel-bizottság mostoha álláspontját Chu teljesítményével szemben a kiváló amerikai folyóiratban, a *Science*-ben már 1988-ban is szóvá tették [33]. Az igazság kedvéért meg kell említeni, hogy később azért Chu sem maradt elismerések nélkül. Kíntüntették az *US National Medal of Science*-szel, a *Comstock Prize in Physics*-szel (1988-ban), az *American Physical Society In-*

ternational Prize for New Materialsszal és a *US News and World Report* folyóirat őt választotta a *Best Researcher in the US*-nek [27].

A szupravezetés elmélete körüli krízis

A bevezetésben már említett, 1957-ben kidolgozott BCS-elmélet óta – főleg fizikusok részéről – számos próbálkozás történt a szupravezetők működésének magyarázatára, beleértve azt, hogy elméleti alapon hogyan és hol lehet új szupravezető anyagokat, vegyületeket keresni, illetve találni. Itt e kérdés részleteivel nem kívánunk foglalkozni. Érdeklődő kutatóknak kitűnő összefoglalók állnak rendelkezésére, ezek címei is igazolják azt a tényt, hogy a szupravezetés minden elméleti fizikus által elfogadott magyarázata mindmáig nem született meg. Tanaka írta 2001-ben: „Az elektron-fonon, spin-spin kölcsönhatások, töltéssűrűség-hullámok, spinsűrűség-hullámok és más kölcsönhatások rendszerében olyan sok kölcsönhatásféle alakulhat ki, hogy csak most (2001-ben) kezdjük megérteni az ilyen komplex rendszerek fizikáját” [37]. Ez a vélemény 2006-ban sem változott. Akkor azt írták: „High- T_c : The mystery that defies solution” (Magas T_c : a megoldhatatlan rejtély) [38]. Ugyanez volt a helyzet 2011-ben: „Huszonöt évvel a felfedezés után, a magas hőmérsékletű szupravezetésre még mindig nincs megfelelő magyarázat” [39]. Sőt még 2013-ban sem, amikor az elméleti fizika két Nobel-díjas titánja, Laughlin és Anderson egymás szupravezetési elméletét bírálva összecsap, „Amid Superconductor Debate, Clash of Physics

8. ábra. Az amerikai Houston Chronicle című napilap 1987. február 17-i számának címlapja [30]

Monday
Feb. 16, 1987

Houston Chronicle
Houston's Family Newspaper

Discovery may earn billions, Nobel for UH

By CARLOS BYARS
Houston Chronicle Science Writer

at minus 367 degrees Fahrenheit, is more than high enough to allow the use of cheap, readily available liquid nitrogen as a coolant. Previously, the temperatures required for superconductivity could be achieved only by using much scarcer liquid helium, virtually precluding any possibility of widespread commercial use of superconductors.

The discovery holds the promise of major advances in the transmission and use of electrical power, including better detectors of low-level heat and radio signals, more powerful magnets and motors and new tools for medicine.

Chu's discovery was announced here and in a scientific paper accepted for publication by *Physical Review Letters*, considered the most important journal of physics. This was the fourth major increase in the temperature of superconductivity in the last three months, after 13 years without a breakthrough in the field.

The discovery appears to have put Chu and the University of Houston far ahead of several well-funded, highly competitive teams. At stake is more than the intense competition for scientific honors and awards. The organization that wins clear title to the basic patents stands to gain license fees amounting to billions of dollars.

Sharing credit for the discovery was M. K. Wu of the University of Alabama, who was listed as co-author with Chu of a separate paper in the same publication announcing a superconductor at 93 degrees Kelvin. Chu is one of Chu's former students.

Further advances are expected. Roy Weinstein, UH dean of natural science and mathematics, said the group has seen signs that superconductivity occurs

See SUPERCONDUCTOR on Page 5.

Superconductor could garner Nobel for UH

Continued from Page 1

above 148 degrees Kelvin (minus 312 degrees F.) and very preliminary results hint that Chu's line of research may result in superconductivity at or near room temperature. Such an astounding development has not previously been considered even a possibility by researchers in the field of low-temperature physics.

Chu's group includes P.H. Hor, R.L. Meng, Gao, Z.J. Huang and Y.Q. Wang of the University of Houston and Wu and J.H. Ashburn of the University of Alabama at Huntsville. They are in hot competition with other researchers including groups at AT&T Bell Labs, University of Tokyo, Argonne National Laboratory, IBM, Los Alamos National Laboratory and Stanford University.

Weinstein says the competition involves three major issues. The discovery of a superconductor from that material, which was first achieved at the University of Houston, and most important, Chu's discovery of the role of pressure in superconductivity, now called the "Chu effect."

"IBM-Zurich found some promising material. They didn't know how to make it a superconductor or how to vary it to get a superconductor, but they did get everybody started in the right direction," Weinstein said. "Paul is the leader in developing new techniques for making the superconductor material."

"There is some hope that Chu will get a Nobel Prize out of this," Weinstein added. "If he does, it will be for discovering the role of pressure."

Before Chu's discovery, pressure was not thought to have any effect on superconducting materials. But Chu found

that the superconductivity temperature rises when the new materials are squeezed under high pressure.

Weinstein said this was Chu's key clue that he was dealing with something new. But pressure is not used to build the material, he added.

"When you apply pressure you reduce the spacing between the individual parts of the molecules. What's important is to close up the internal spaces. This can be done by filling in those spaces with smaller atoms. You don't have to use pressure. You use a different approach," Weinstein said.

One different approach is to replace one of the ingredients with another that is physically smaller. The original recipe suggested by IBM was lanthanum, barium, copper and oxygen (copper oxide). Chu now is working with strontium instead of barium or yttrium instead of lanthanum.

Weinstein says the Chu effect has revealed a whole new group of substances which are, or may be, superconductors.

Another way to reduce the spaces is to lay the superconducting material a few atoms at a time on a fine crystalline base material. As the atoms are deposited on the base, they tend to line up in the same arrangement, as the crystals of the base, thus reducing the spaces.

"If Paul had a hundred Ph.D.s he would keep them all working on different systems," Weinstein said.

Weinstein said the university has applied for a patent on Chu's discoveries, claiming a huge variety of chemical processes to make superconductors.

But the secret to prodigious wealth is to turn the material into a wire. "If we can't make a wire it will be a very fine discovery but not much money," he said.

E. Jossion Deening / Chronicle
UH physics professor Paul Chu and associate R. L. Meng work on creating a material that becomes a superconductor at a temperature far higher than any known before.



9. ábra. Robert Laughlin (Nobel-díj: 1998) összecsapás közben [40]

Titans Resumes” (9. ábra) [40]. Egyikük (Laughlin) 2014-ben publikálta legújabb elméletét [41,42].

Ezekről még publikálásuk előtt írta Cho: „Robert Laughlin, the Nobel laureate at Stanford University in Palo Alto, California „argues” in a pair of papers that most physicists’ basic assumptions about the origins of high-temperature superconductivity ... are wrong” [40]. Valószínűleg az érdekesség kedvéért érdemes a fentiek mellett megemlíteni itt Jorge Hirsch amerikai fizikust is.

Az Argentínában született Jorge E. Hirsch [43] 1980-ban védte meg PhD-jét a University of Chicagón. Jelenleg a University of San Diego professzora, ahol oktatással és tudományos kutatással foglalkozik. Kutatási területe a szupravezetés és ferromágnesség. Egy 1989-ben tartott konferencián előadott dolgozatban Hirsch azt állította, hogy az alacsony hőmérsékletű szupravezetés általánosan elfogadott BCS-elmélete alapvetően téves. Abban az időben Hirsch még zöldfülű ismeretlennek számított a fizika nemzeti és nemzetközi társadalmában. Tudvalevő, hogy a tudomány ritkán bocsátja meg vagy nézi el az ilyen szentségtörést. Idolromboló előadása után a hasonló konferenciák tartózkodtak Hirsch meghívásától, a kollégák nem keresték együttműködéshez, a támogatók, ösztöndíjak elmaradtak, a nagy olvasottságú folyóiratok visszautasították kéziratait. Egy előző dolgozatunkban [44] hipotézisként kezeltük azt a feltételezést, amely szerint a fenti események hatására történő frusztráció készítette, motiválta Hirscht, hogy az azóta róla elnevezett [45] indexét megalkossa. Nem ennyire expliciten és természetesen – az indexe megemlézése nélkül – Hirsch is leírja szelmalomharcát és frusztrációját egy az Interneten publikált cikkben, amiben saját, a szupravezetést magyarázó, de mások által máig el nem fogadott elméletéről is említést tesz [46]. Őt az frusztrálja, hogy a szupravezetéssel foglalkozó kéziratait nem voltak hajlandók közölni az olyan nagy olvasottságú folyóiratok, mint a *Nature*, a *Science* vagy a *Physical Review Letters*. Nevezhetjük a sors különös fintorának, hogy míg a szupravezetés területén Hirsch kutatásai csak ellenérzéseket keltek, addig az ArXiv elnevezésű adatbázisban 2005-ben közzétett cikk már a megjelenését követő napokban szokatlan figyelmet kapott a tudományos médiában [47,48], és írásbeli reagálások, cikkek, elemzések, kommentárok valóságos özönét indította el, ami napjainkban is tart. Ehhez az is hozzájárult, hogy az eredeti cikk változatlan szöveggel 2005. november 15-én a világ egyik legtekintélyesebb folyóiratában is megjelent [49].

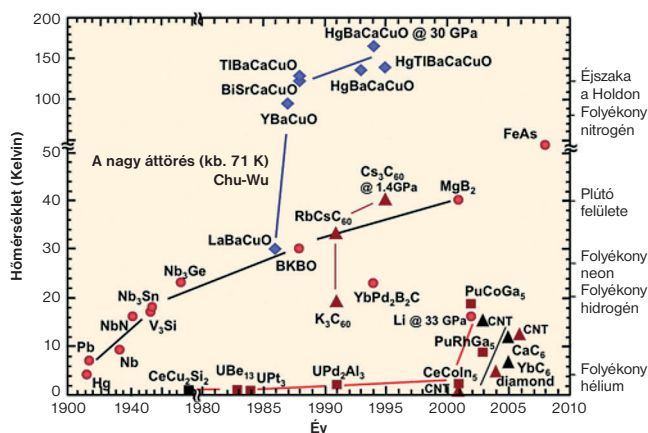
Mindez oda vezetett, hogy Hirsch, illetve az általa kreált index megkapta a lehető legnagyobb (tudományos), még a Nobel-díjnál is nagyobb megtiszteltetést, amit tudományos kutató megkaphat: eponimává vált.

Az *eponima* kifejezés a görög *epi* (jelentése: -ról, -ről) és *onima* (jelentése: név) szavakból származik. A tudomány területén

számos híres elmélet, törvény, hatás, elv stb. eponim, vagyis azokról a kutatókról van elnevezve, akik javasolták, vagy felfedezték ezeket. Merton meghatározása szerint az eponima „az a szokás, miszerint a kutató nevét odaillesztjük a felfedezéshez, vagy annak egy részéhez, mint például kopernikuszi rendszer, Hook-törvény, Planck-állandó vagy Halley-üstökös”. Az eponima számos funkciót szolgál, ráirányítja a figyelmet a jelzett fejlődésre, követendő példaként nevezi meg a kutatókat és motiválja a kutatást az elért eredmény jutalmazásával [50]. Persze, mindez valószínűleg hozzájárul Hirsch lelki megnyugvásához, de egy lépéssel sem hozza közelebb a szupravezetés fizikai elméletének jobb megértését. Az azonban nyugodtan kijelenthető, hogy a magyarázat hiánya ellenére a magas hőmérsékletű szupravezetésnek számos gyakorlati alkalmazása alakult ki az utóbbi időben. Helyhiány miatt itt ezekkel sem foglalkozunk részletesen, de utalunk egy figyelemre méltó összefoglalóra [37].

Végszó

E dolgozat előszavában körvonalaztuk azt, amivel a szupravezetés, különösképpen a magas hőmérsékletű szupravezetés témakörében foglalkozni kívántunk. Az ismertetésben a szupravezetés és szupravezetők képezték figyelmünk központját, de a hangsúlyt végig a kutatásukra helyeztük, azaz arra a társadalmi tevékenységre és annak emberi részleteire, aminek eredményeként e kérdésben ismereteink s tudásunk alakult és fejlődött.



10. ábra. Szupravezetési átmeneti hőmérsékletek (T_c) 1910 és 2010 között [19. kiegészítve]

Mint az a 10. ábrán látható, a LaBaCuO és a YBaCuO perovszkitkerámiákkal elért hőmérsékletek kutatása alatt és után az empiria jegyében számos más anyag, vegyület szupravezetését derítették fel részben új perovszkitok formájában (BiSrCaCuO; HgBaCaCuO; TlBaCaCuO; HgTlBaCaCuO; HgBaCaCuO), de más összetételű vegyületek esetében is (Cs₃C₆₀; MgB₂; FeAs; RbCsC₆₀). Mindez azon végső cél elérésének a jegyében, hogy végül majd empirikus, vagy elméleti alapon a kutatás felfedezze az ideális, pontosabban a szobahőmérsékleten szupravezető vegyületet, anyagot. Mint látható volt, a szupravezetőkutatás egy körülbelül 300 K hőmérsékleti skála keretében folyt. Ezen az eddigi körülbelül 100 év alatt sikerült körülbelül a skála feléig (körülbelül 150 K) eljutni. Ezért állíthatjuk, hogy a szupravezetőkutatás végső sikeréig terjedő út felé tartunk, és ezért szerepel a „félút” jelen dolgozat címében.

Nem hisszük, hogy lenne bármilyen tudományosnak mondható alap ahhoz, hogy jelenleg bárki megkísérelje megjósolni,



hogy mennyi időt igényel a kutatás az út második felének megtételéhez. Nem tekinthetjük lehetetlennek, hogy ez az idő nagyon rövid lesz, de azt sem, hogy legalább annyi időt igényel majd, mint az út első fele. Bármilyen rizikós is, annyit megjegyezhetünk, hogy a szupravezetés kutatásában még benne van a tizenötödik Nobel-díj. Utalnánk itt *Niels Bohr* közismert mondására, ami szerint „nehéz előre látni, főleg a jövőt”.

Önigazolásként álljon itt egy nemrég megjelent vélemény: „For over a century, physicists have tantalized engineers with just the thing: superconductors. But most superconductors work only at temperatures close to absolute zero. Despite sustained efforts, we are still only *halfway* to a superconductor that works at room temperature” [50].

És végül érdekességként visszatérve a 15. Nobel-díjra, annak – több véleményre támaszkodva – jelöltje a 2007-ben felfedezett szupravezető topológiás szigetelők szakértője, a kaliforniai Stanford Egyetemen kutató *Shoucheng Zhang* [51].

IRODALOM

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Heike_Kamerlingh_Onnes
- [2] A. Mourachkine, *Room-Temperature Superconductivity*, Cambridge International Science Publishing, 7 Meadow Walk Great Abington, Cambridge CB1 6AZ, UK, 2004.
- [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Mei%C3%9Fner-Ochsenfeld-Effekt>
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/BCS_theory
- [5] D.D.L.Chung (ed.) *The road to scientific success: inspiring life stories*, vol. 1, World Scientific, Boca Raton, 2006, 214.
- [6] http://www.ithaca.edu/depts/gallery_img/8638_full.jpg
- [7] http://physics.ithaca.edu/~physics/Seminars/PhysicsCafe/2009-SP-IMAGES/sc_levitation_S07.jpg
<http://www.mn.uio.no/fysikk/english/research/groups/amks/superconductivity/levitation/lines.gif>
- [8] J. G. Bednorz, K.A.Müller, *Possible high T_c superconductivity in the La-Ba-Cu-O system*, *Z.Phys.B*, Condensed Matter (1986) 64, 189.
- [9] M.Tinkham, M.R.Beasley, D.C.Larbaestier, A.F.Finnemore, *Workshop on Problems in Superconductivity*, Copper Mountain, Colorado, August, 1983,12.
- [10] M.L.Cohen, *The existence of a superconducting state in semiconductors*, *Rev. Mod. Phys.* (1964) 36, 240.
- [11] J. F. Scholey, W.R.Hosler, M.L.Cohen, *Superconductivity in semiconducting SrTiO₃*, *Phys.Rev.Lett.* (1964) 12,474.
- [12] E. S. Edelsack, *The rocky road to superconductivity*, *Compilation at NRL Publications on high temperature superconductivity*, Naval Research Laboratory, 1987.
- [13] J. G. Bednorz, K. A. Müller, *Perovskite-type oxides. The new approach to high- T_c superconductivity*, *Rev. Mod. Phys.* (1988) 60, 585.
- [14] R. A. Serway, W.Berlinger, K. A. Müller, R. W. Collins, *Electron paramagnetic resonance of three manganese centers in reduced SrTiO₃*, *Phys. Rev. B* (1977) 16, 4761.
- [15] R. M. Hazen, *Perovskites*, *Sci. American* (1988) Jun., 52.
- [16] P. F. Dahl, *Superconductivity: Its historical roots and development from mercury to ceramic oxides*, American Institute of Physics, New York, 1992.
- [17] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Szupravezet%C3%A9s>
- [18] A. P. Rusakov, S. G. Grigoryan, A. V. Omel'chenko, A. E. Kadyshevich, *Isomorphic phase transitions in CuCl at high pressures*, *Soviet Physics (JETP)* (1977) 45, 380.
- [19] http://en.wikipedia.org/wiki/High-temperature_superconductivity
- [20] J. G. Bednorz, M. Takashige, K. A. Müller, *Susceptibility Measurements Support High- T_c Superconductivity in the La-Ba-Cu-O System*, *Europhys. Lett.* (1987) 3, 379.

- [21] R. K. Merton, *Priorities in scientific discovery*, *Amer.Sociol.Rev.* (1957) 22, 635.
- [22] R. K. Merton, *The sociology of science*, *Chicago University Press*, Chicago, 1973.
- [23] http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_priority
- [24] Braun Tibor, *A DNS leképezése vízben: valóság vagy patológiás tudomány? Haditudósítás egy vitatott kutatási téma frontvonaláról*, *Magyar Kémikusok Lapja* (2014) 59, 27.
- [25] Th. Hobbes, *Leviathan* (1651) Reprinted 1952, Chicago: Encyclopedia Britannica, Inc. Great Books series, vol. 23, 86.
- [26] S.Tanaka, *Research on high- T_c superconductivity in Japan*, *Phys.Today* (1987) 53–58.
- [27] http://en.wikipedia.org/wiki/Chu_Ching-wu
- [28] C. W. Chu, P. H. Hor, R. L. Meng, L. Gao, Z. J. Huang, Y. Q. Wang, *Evidence for superconductivity above 40K in the La-Ba-Cu-O compound system*, *Phys. Rev. Lett.* (1987) 58, 405.
- [29] R. Pool, *Superconductor credits bypass Alabama*, *Science* (1988) 241, 655.
- [30] R. M. Hazen, *The breakthrough: The race for the superconductor*, *Amazon Books Editors*, 1988, <http://www.amazon.com/The-Breakthrough-Race-Superconductor/dp/0671658298>
- [31] M. K. Wu, J. R. Ashburn, C. J. Torng, P. H. Hor, R. L. Meng, L. Gao, Z. J. Huang, Y. Q. Wang, C. W. Chu, *Superconductivity at 93 K in a new mixed-phase Y-Ba-Cu-O compound system at ambient pressure*, *Phys. Rev. Lett.* (1987) 58, 908.
- [32] P. H. Hor, L. Gao, R. L. Meng, Z. J. Huang, Y. Q. Wang, K. Forster, J. Vassiliou, C. W. Chu, M. K. Wu, J. R. Ashburn, C. J. Torng, *High-pressure study of the new Y-Ba-Cu-O superconducting compound system*, *Phys. Rev. Lett.* (1987) 58, 911.
- [33] R. Pool, *Superconductor credits bypass Alabama*, *Science* (1988) 241, 655.
- [34] P. F. Dahl, *James Dewar, Walter Nerust and Heike Kamerlingh Onnes in events leading to superconductivity in 1911*, G. Baym, *Quantum theories of superconductivity, 1929–1933*, R. Schrieffer, *The development of the microscopic theory of superconductivity*, P.W. Anderson, *Its not over... the fat lady sings*, *Bull. Am. Phys. Soc.* (1987) 32, 619.
- [35] http://en.wikipedia.org/wiki/Woodstock_of_physics
- [36] http://hu.wikipedia.org/wiki/Fizikai_Nobel-d%C3%A9j
- [37] S. Tanaka, *High-Temperature Superconductivity: History and Outlook*, *IASP* (2001) 4, 17.
- [38] A. Cho, *High T_c : The Mystery That Defies Solution*, *Science* (2006) 314, 1072.
- [39] P. M. Grant, *The great quantum conundrum*, *Nature* (2011) 476, 37.
- [40] A. Cho, *Amid Superconductor Debate, Clash of Physics Titans Resumes*, *Science* (2013) 342,1427.
- [41] R. B.Laughlin, *Fermi-Liquid Computation of the Phase Diagram of High- T_c Cuprate Superconductors with an Orbital Antiferromagnetic Pseudogap*, *Phys. Rev. Lett.* (2014) 112, 17004.
- [42] R. B. Laughlin, *Hartree-Fock Computation of the High- T_c Cuprate Phase Diagram*, *Phys. Rev. B.* (2014) 89, 35134.
- [43] http://en.wikipedia.org/wiki/Jorge_E._Hirsch
- [44] Braun Tibor, *Egy tudományos kutató frusztrációjának következménye: a Hirsch-index*, *Magyar Tudomány* (2009) 8, 965.
- [45] J. E. Hirsch, *An index to quantify an individual's scientific output*, *arXiv: physics/0508025*, 2005.
- [46] J. E. Hirsch, *BCS theory of superconductivity: the world's largest Madoff scheme*, *arXiv: physics.gen-ph/0901.4099*, 2009.
- [47] Editorial: *Rating games*, *Nature* (2005) 436, 889.
- [48] T. Braun, *The Hirsch-Index for evaluating science and scientists. Its uses and misuses*, *Scientometrics Guidebooks Series*, vol 3, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2008.
- [49] J. E. Hirsch, *An index to quantify an individual's scientific output*, *Proc. Nat. Acad. Sci. (USA)* (2005) 102, 16569.
- [50] R. Webb, *Wonder stuff. Leaner, greener technologies depend on some intriguing materials. New Scientist probes seven revolution-in-waiting*, *New Scientist* (2014) 11 October, 36.
- [51] http://en.wikipedia.org/wiki/Shoucheng_Zhang

Tisztelt Főszerkesztő Úr!

Saját tapasztalatom alapján szeretném alátámasztani és kiegészíteni Kováts Ferencnek, a Chinoin nyugalmazott vezérigazgató-helyettesének írását, amely az MKL áprilisi számában, a *Visszhang* rovatban jelent meg.

1950 nyarán másodikos technikum hallgatóként a Chinoinban voltam kötelező szakmai gyakorlaton. Dr. König Rezső osztálya („König-labor”) akkor a penicillingyártás félévezetésén dolgozott. A laborban 80 literes, kevert üvegfermentorokban készült a penicillin. Az én feladatom a penicillin G meghatározása volt. Ha jól emlékszem, éteres kirázás után a penicillin G-t egy szerves bázissal kellett lecsapni. A kitermelést összehasonlítottuk a Chinoin közeli épületében félévezetés méretben előállított penicillin-kitermelés-

sel. Három műszakban dolgoztunk. Gyakran két műszakban is ott voltam, mert a fermentáció ideje nem egyezett a műszakok hosszával.

Talán ez, és még néhány más tapasztalatom is adalék lehet a Chinoin történetéhez.

Üdvözetekkel:

Billes Ferenc

egyetemi magántanár,
az MTA doktora

(Szívesen vennék a gyár idősebb munkatársaitól egy gyárról szóló történeti áttekintést – a szerk.)