

umban őrzött kisebb-nagyobb meteoritmintát tekinthetett meg a szépszámú érdeklődő (5., 6. ábra).

A kiállítás megnyitásának napján egymás mellett volt látható az eredeti kabai meteorit és a néhány nappal korábban elkészült jó minőségű másolata, feladva a leckét a nézőknek, melyik az igazi.

Délután a megemlékezés Kabán folytatódott. A meteorit már említett, erre az alkalomra készített másolatát *Fekete Károly*, a Hittudományi Egyetem professzora és Nagy Mihály fizikatanár, a Református Kollégium Gimnáziumának volt igazgatója ünnepélyes keretek között adták át a város polgármesterének.

A kabai meteoritról rendezett *tudományos ülés*-szakra került sor április 16-án délután, a Kollégium Dísztermében. Az ülészak levezető elnöke *Kiss Árpád Zoltán*, az MTA Atommagkutató Intézetének tudományos tanácsadója volt.

Az első előadó *Kálmán Béla*, az MTA Napfizikai Observatóriumának főmunkatársa volt, *A Naprendszer, ahogy ma látjuk* címmel tartott előadást. *Rózsa Péter*, a Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszék docense előadásának címe *A Naprendszer vándorai, a meteoritok* volt. Nagy Mihály a *kabai meteorit rövid történetét* foglalta össze. A negyedik, utolsó előadást *Bérczi Szaniszló*, az ELTE docense tartotta, *Vizsgálatok a kabai meteoriton* címmel.

Befejezésül a meteoritkiállítás vendégkönyvében olvasható egyik bejegyzést idézzük: „Kislánykoromtól sokat hallottam erről a különleges meteoritról Kabán született és élt nagyszüleimtől. Különleges élmény saját szememmel látni.” Az aláírásokból kiderült, hogy az édesanya kisfiával együtt tekintette meg a kiállítást.

A kabai meteorit története immár négy nemzedék érdeklődését tartja ébren.

Irodalom

1. Bérczi Sz.: *Kis atlasz a Naprendszerrel (1)*. Budapest, 2000.
2. Sztrokyay, Tolnay, Földváriné: A kabai meteorit. *Földtani Közlemény XCI*. 2. Füzet 197.
3. Török József: Értesítés a kaba-debreceni lebkőről. *Magyar Akadémiai Értesítő XVIII*. (1858) 313–318.
4. Meteor-kő. *Vasárnapi Újság IV*. 18. sz. Pest, 1857. május 3. 152.
5. Török J.v.: Ueber den Kaba-Debreczin-Meteorit. *Poggendorff's Annalen d. Physik 105* (1858) 329.
6. Wöhler C.M.: Über die Bestandteile des Meteorsteines von Kaba in Ungarn. *Sitzungsber. der math. Naturw. Cl. D. Akademie der Wissenschaften in Wien 33* (1858) 205.
7. Wöhler C.M.: Die organische Substanz im Meteorsteine von Kaba. *Sitzungsber. Der math. Naturw. Cl. D. Akademie der Wissenschaften in Wien 34* (1859) 7.
8. Hoffer András: A kabai meteorit története. *Debreceni Szemle II*. 1928. jún. 332–346.
9. TIREL. II. 1. d. 15 *Tanárkari gyűlések jegyzőkönyve*. 1856–57. isk. év, 116. szám.
10. TIREL. II. *Közgyűlési iratok*. 1858/2829.

REZGŐ TÜKRÖK A KVANTUMVILÁG HATÁRÁN

Geszi Tamás

ELTE TTK, Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

A nanomechanika – a mikrométernél kisebb eszközök mechanikája – óriási lendületet vett az utóbbi évtizedekben [1]. Kicsiny, rugalmas nyelvek kihajlásának észlelésén alapul a pásztázó atomerő-mikroszkópia számos változata, köztük az egyes paramágneses elektronspineket is érzékelni képes mágneses erődetektor [2]. Ha majd sikerül az érzékenységet odáig fokozni és a termikus zajt annyira kicsívni, hogy az eszköz már magspineket is érzékelni tudjon, az a szerkezeti kémia forradalmi megújulásához vezethet.

A fizikai alap kutatás világa – *Marshall* és munkatársai 2003-as úttörő cikkét [3] követő rövid szélcsend után – a 2006-os évben kezdte komolyan venni, hogy a nanomechanikai oszcillátorok a kvantummechanika alapvető tulajdonságainak megértésére irányuló vizsgálatoknak is új és nélkülözhetetlen eszközeit jelenthetik.

A kihívást a kvantummechanika és a klasszikus mechanika közötti átmenet természetének megértése jelenti. Az anyaghullámok rövidhullámú határesetre – a jól ismert WKB-közelítés – csak annyit mond, hogy ebben a határesetben a hullámcsomagok mozgása követi a klasszikus mechanika törvényeit, de ettől az

még hullámmozgás marad, vagyis interferenciára képes, amit viszont makroszkopikus tárgyaknál – homokszemnél, ribizliszemnél, macskánál – sohase észlelünk. A környezet okozta dekoherencia sikeres elmélete leírja az interferencia elvesztését, de nem ad számot a mérési folyamat furcsaságairól: a véletlen megjelenéséről és a versengő detektorok korrelált, látszólag egymást figyelő viselkedéséről.

A méteres repülési távolságú atom-interferométerek, de a legkisebb, ultratisztaságú, 1 K alá hűtött félvezető eszközök – kvantumpöttyök – is igazolják, hogy az átmenetet nem érdemes a méretektől való függés következményei között keresni: a könnyű elektronok és nem annyira könnyű atomok és molekulák még makroszkopikus távolságokban is megőrzik a hullámmozgás koherenciáját. A döntő tulajdonság a *tömeg* lehet: a legnehezebb fullerén-molekula, amellyel még sikerült interferenciakísérletet végezni (nehezebb molekulák már nem párolognak el), és a máig gyártott legkönnyebb nanomechanikai oszcillátor között tömegben 9–10 nagyságrendnyi a távolság. Ezen a kiterjedt senki földjén jól elérhetnek markáns fizikai effektusok, amelyek meghatározhatják a kvantum-klasszikus határ természetét.

Ezen a téren a nanomechanika nyújtotta lehetőségek kiaknázásához két dolog szükséges:

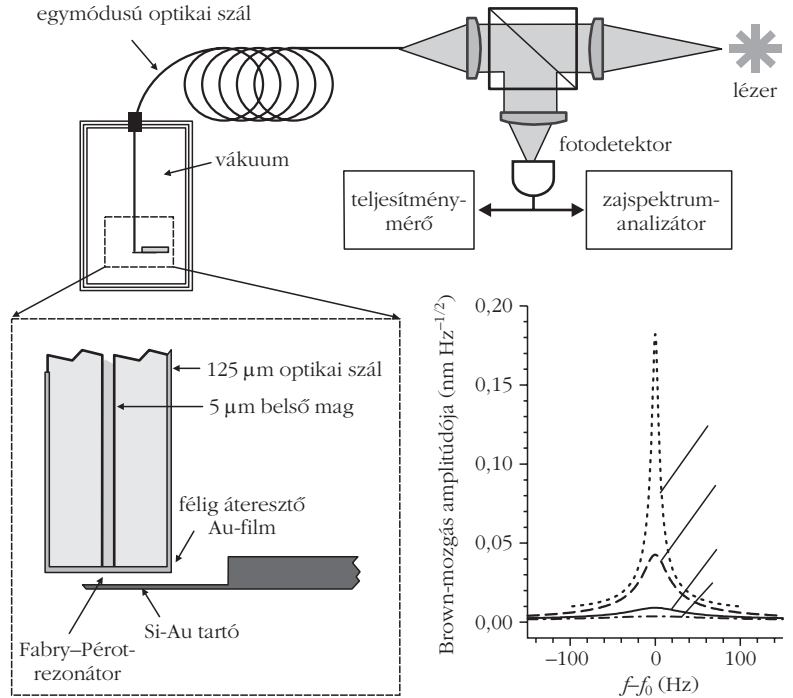
- A környezet termikus zajának kiküszöbölésére a nanomechanikai oszcillátorokat le kell hűteni a kvantummechanikai alapállapot közelébe, ami egy ν frekvenciájú oszcillátor esetén olyan alacsony hőmérsékletet jelent, hogy $kT/b\nu$ egységnyi nagyságrendű legyen (k a Boltzmann-állandó, b a Planck-állandó). Ez még GHz-es oszcillátornál is 0,01 K körüli hőmérsékletet jelent, kisebb frekvenciájúknál még alacsonyabban.

- A várt kvantumos viselkedés megfigyelése céljából elég erősen csatolni kell az oszcillátorokat olyan mikro- és nano-rendszerekhez, amelyek kvantumos viselkedését már megbízható kísérletek igazolják: optikai rezonátorba zárt, és onnan kicsatolva, detektorral észlelhető fotonokhoz, kicsiny szupravezető szigeteken vagy hurkokon mozgó Cooper-féle elektronpárokhoz, vagy félvezető „kvantumpöttyökön” átalagutazó elektronokhoz, amelyek mind képesek arra, hogy a nanomechanikai oszcillátor mozgását elektromos jellé alakítsák. A kihívás abban áll, hogy a kvantummechanika által jószolt elmozdulások roppant csekélyek: nagyságrendjük az atommag átmérőjével összemérhető. A felsorolt eszközök azonban ekkora elmozdulások észlelésére is alkalmasak.

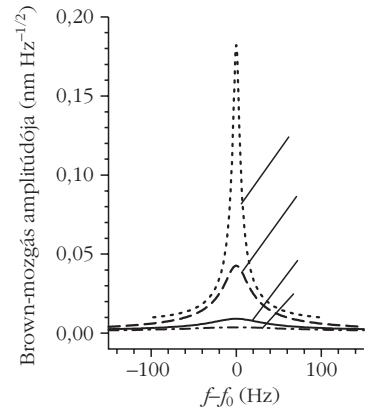
A címben említett tükrök a nanomechanikai oszcillátor és a foton összekapcsolásának eszközei. A megálmodott és részben megvalósított kísérletek sorában egy Fabry–Pérot-rezonátor egyik végét ilyen, egy rugalmas rezgő nyelvhez erősített tükröz zárja le. A rezonátor interferencia által jelzi az oszcillátor kicsiny elmozdulását. Ez a mozgás detektálásának sokszorosan érzékenyebb eszköze, mint régi laboratóriumokban látott elődje: egy elforduló tükröz által visszavert sugár geometriai elmozdulása a falon.

A GHz-es nanooszcillátorok már megszülettek, a századkelvines hűtés határát is átléptük, de, ahogy a vicc mondja, a két jóból egyszerre csak egy valósul meg: a legnagyobb frekvenciájú oszcillátorokat nehezebb lehűteni, de nehezebb is hozzácsatolni más kvantumrendszerekhez, mert a nagy frekvencia kemény, nehezen hajló anyagot feltételez. Az előrehaladás kulcsa mindenképpen a hatékonyabb hűtés, és éppen ezen a területen hihetetlenül intenzív fejlesztés indult meg az utolsó egy-két évben.

A hűtés a hőmozgás lefékezését, vagyis bármilyen irányú impulzusának lecsökkentését jelenti, melegítés nélkül. Ez paradoxonnak tűnhet, mert a fékezés hét-



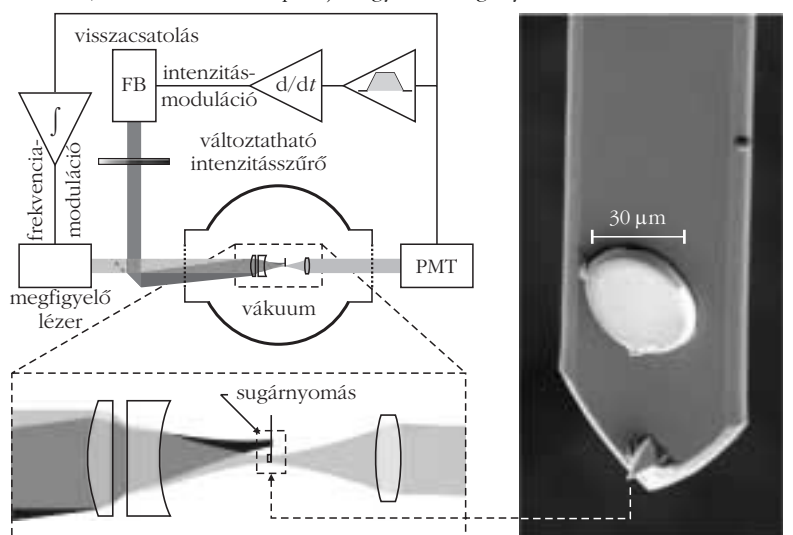
1. ábra. Hűtés késve reagáló hideg fényvel, *Höbberger-Metzger és Karrai* [4] nyomán: felül és balra a kísérlet elrendezése (az optikai szál pumpálja és letapogatja a rezgő tükröz lezárt rezonátort); jobbra alul a mért zajspektrum változása a hűtés előrehaladásával.



köznapi eszköze a sűrűdés, ami általában hőt termel. Az atomok lézeres hűtése már sikeresen túllépett ezen a paradoxonon, mivel az atomok az impulzusátadással felvett energiát spontán, esetleg stimulált emisszióval messzire tudják küldeni maguktól. Ez az eszköz azonban a sok nagyságrenddel nagyobb rezgő nyelvek esetén nem működik.

Ami viszont működni látszik, az a rezonátorban felhalmozott koherens fény egy speciális tulajdonsága: az, hogy *késve* reagál a rezonátor egyik falát alkotó tükröz mozgására. Ez természetes, hiszen a $\Delta\omega\Delta t \geq \frac{1}{2}$ idő-frek-

2. ábra. Hűtés aktív visszacsatolással, *Kleckner és Bouwmeester* [5] nyomán. A PMT fotoelektron-sokszorozó jeléből numerikus differenciálással kapott sebességgel vezérelt FB visszacsatoló lézér fénynyomása fékezi le a tükröz rezgését. Jobbra a tükröz hordozó, atomerő-mikroszkóp céljaira gyártott rezgőnyelv.



vencia határozatlansági reláció miatt minél jobb a rezonátor, vagyis minél élesebb a rezonancia, annál hosszabb idő kell a sokszorosan oda-vissza pattogó fényt rezonáltató állapot felépüléséhez. A tükör mozgására késve felépülő koherens fénypárna nyomása emiatt a mozgó tükör *sebességétől* függ, ami súrlódási erőnek felel meg.

A fékező impulzusátadással, persze, most is jár energiaátadás, de most az energiát a fény veszi fel, ami később a rezonátorból kiszökve segíti az energia kipumpálását. A rezonátor fénypárnája tehát egy hűtőgép hűtőközegének felel meg; a rezgő tükör mindig *hideg fénnel* találkozik. Ezt a mechanizmust több kutatócsoport is használta hűtésre (1. ábra), elméletével is több csoport foglalkozik.

Ezzel párhuzamosan kialakult azonban a rezgő tükrök hűtésének egy másik, lényegesen különböző elven alapuló módszere is. Ez a módszer, amit általában *aktív hűtésnek* neveznek, *Maxwell* démonára emlékeztet. A rezonátorból kiszökő fény gyors információt ad a tükör lassan fluktuáló rezgésének pillanatnyi helyzetéről–sebességéről. Ezt az információt egy elektronikus jelfeldolgozó áramkör arra használja, hogy egy másik lézerek az oszcillátorra irányított fénynyomását mindig éppen a fékezés irányába szabályozza (2. ábra).

Az ízlések különbözők. Az elektronikus szabályozás szakembereit elbűvölő megoldást a fizikusok talán kevésbé érzik elegánsnak, mint a késleltetett fény-

nyomás hideg súrlódását. A verseny pillanatnyi állása azonban az, hogy a rezgő tükrök világrekordját 3 mK hőmérséklettel éppen egy elektronikus szabályozást használó aktív hűtési séma tartja.

A rezgő tükör és a foton összefonódását először felvető cikk [3] konkrét elképzeléseiben hibásnak bizonyult [6], de az elmúlt év során sokat ígérő újabb változatai jelentek meg, amelyek talán több eséllyel foghatnak hozzá a kvantum–klasszikus határ bontogatásához.

A nanomechanikai oszcillátorok és a fotonokat–elektronokat hozzájuk csatoló tükrök, félvezető vagy szupravezető egy-elektron tranzisztorok világa napról-napra új felfedezésekkel kápráztatja el a témára figyelő fizikusokat. A szokatlan pezsgés azt jelzi, sokan komolyan hiszik, hogy ezen a viharosan táguló jelenségkörön keresztül néhány éven belül jobban megismerhetjük a klasszikus–kvantum határ egzotikus vidékét.

Irodalom

1. K.C. Schwab, M.L. Roukes, *Physics Today* 58/7(2005) 36; (letölthető a nano.caltech.edu/publicat.html weboldalról)
2. D. Rugar, R. Budakian, H.J. Mamin, B.W. Chui, *Nature* 430 (2004) 329.
3. W. Marshall, C. Simon, R. Penrose, D. Bouwmeester, *Phys. Rev. Lett.* 91 (2003) 130401.
4. C. Höhberger-Metzger, K. Karrai, *Nature* 432(2004) 1002.
5. D. Kleckner, D. Bouwmeester, *Nature* 444(2006) 75.
6. J.Zs. Bernád, L. Diósi, T. Geszti, *Phys. Rev. Lett.* 97 (2006) 250404.

A DEFORMÁCIÓS ANIZOTRÓPIA DISZLOKÁCIÓS MODELLE

Ungár Tamás

ELTE Fizikai Intézet, Anyagfizikai Tanszék

A minket körülvevő világot ezernyi különböző anyag alkotja. Ezeket a legkülönbözőbb módokon próbáljuk azonosítani, jellemezni, rendszerezni. Azt mondjuk, hogy vannak szerves vagy szervetlen, lágy vagy szilárd, élő vagy élettelen, vagy éppen kristályos vagy üvegszerű anyagok. Az anyagok besorolásának talán legnagyobb mesterei a krisztallográfusok. Ők valamikor 18. században jelentek meg, amikor a felvilágosodás korában a természettudományok is lendületet kaptak. Először csak azt vették észre, hogy a különböző, a természetben található anyagokat, amelyeket ásványoknak nevezünk, legtöbbször jól meghatározott és mindig jellemző módon ismétlődő sík lapok határolják. Ebből már akkor arra következtettek, hogy ezeknek az anyagoknak feltehetően nagyon szabályos, a természet által meghatározott szerkezete kell, hogy legyen. Az ilyen szerkezetet kristályszerke-

zetnek nevezték. Figyelemre méltó, hogy pusztán az ásványi anyagok külső határoló lapjainak megfigyelése alapján, elméleti geometriai és matematikai módszerek segítségével, már az első időkben megteremtették a krisztallográfia alapjait. Ez a tudományág a mai napig is azzal foglalkozik, hogy leírja és meghatározza az anyagok építőköveiben rejlő ismétlődő szabályosságokat, a rácperiodicitást. Itt rácson az anyag építőköveinek rácsát kell értenünk. A 18. századtól mintegy 200 évnek kellett eltelnie, amíg a 20. század első éveiben, több felfedezés szerencsés összjátékának köszönhetően, egyértelműen bizonyítottá vált, hogy

(1) a minket körülvevő anyagok építőkövei atomok és molekulák,

(2) ezeknek az anyagoknak igen jelentős hányada kristályos szerkezetű,

(3) valamint, hogy ezek az anyagok olyan háromdimenziós rácsot alkothatnak, amelyen bizonyos sugárzások ugyanúgy elhajlanak, mint a látható fény az optikai rácson.

A Philadelphiában működő ICDD (International Committee for Diffraction Data, Diffrakciós Adatok Nemzetközi Szervezete) 2007-ben a szerzőnek ítélte a Hanawalt-díjat.