

## Kitekintés

Az elmúlt több mint ötven év sikerének tekinthető, hogy az előbbieken bemutatott bioérzékelő-rendszerek és mérőeszközök mára már széles körben elterjedtek. A terület dinamikus fejlődését és térhódítását látva könnyen elképzelhető, hogy ugyanúgy, ahogy ma a mobiltelefonok, a jövőben ezek is mindennapjaink részét képezik majd. Ehhez azonban nem csupán e készülékek érzékenységén és a mérések megbízhatóságán kell javítani, valamint nem elegendő az árakat csökkenteni. Olyan kis méretű alkalmazásokat kell építeni, amelyek folyamatos és nem invazív módon képesek detektálni úgy, hogy mindenképpen a lehető legkevesebb minta felhasználásával a lehető legtöbb paraméter együttes meghatározását teszik lehetővé. Az ilyen irányú törekvéseket a lab-on-a-chip fejlesztések segítik, amelyek célja a miniatürizált diagnosztikai laboratóriumok chip méretű megvalósítása. Ezen eszközök lehetőséget nyitnak a point-of-care vizsgálatokra is, amelyek a beteg közvetlen közelében, az orvosi rendelőben, a kórházi ágy mellett, otthonainkban vagy akár a mentőautóban is gyors és széleskörű vizsgálatok elvégzését te-

szik lehetővé. A miniatürizált laborkészülékkel akár néhány percen belül elvégezhető helyszíni tesztek a vizsgálatot végző orvos számára azonnali és rendkívül fontos információt szolgáltatnak majd a beteg állapotáról. A gyors és pontos diagnózis alapján történő azonnali beavatkozás pedig életet menthet.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők hálával tartoznak Horváth Gábornak, valamint a Balassi Intézetnek a Magyar Állami Eötvös Ösztöndíj keretén belül nyújtott támogatásáért.

## Irodalom

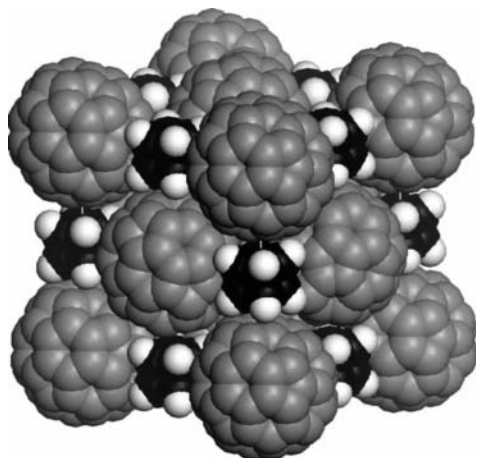
1. L. C. Clark, C. Lyons: Electrode systems for continuous monitoring in cardiovascular surgery. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 102(1962) 29–45.
2. A. P. F. Turner: Preface. In: A. P. F. Turner, I. Karube, G. S. Wilson (eds.): *Biosensors: Fundamentals and Applications*. Oxford Univ. Press (1987) pp. v–vii.
3. P. Kozma, F. Kehl, E. Ehrentreich-Förster, C. Stamm, F. F. Bier: Integrated planar optical waveguide interferometer biosensors: A comparative review. *Biosens. Bioelectron.* 58 (2014) 287–307.
4. M. S. Z. Kellermayer: Visualizing and manipulating individual protein molecules. *Physiol. Meas.* 26 (2005) R119.
5. I. Derényi: *A biofizika alapjai*. [http://angel.elte.hu/~derenyi/A\\_biofizika\\_alapjai.pdf](http://angel.elte.hu/~derenyi/A_biofizika_alapjai.pdf), 2013.
6. K. Namba, F. Vonderviszt: Molecular architecture of bacterial flagellum. *Q. Rev. Biophys.* 30 (1997) 1–65.

# KUBÁN-FULLERÉN KOKRISTÁLYOK FÁZISÁTALAKULÁSÁNAK INFRAVÖRÖS SPEKTROSKÓPIÁS VIZSGÁLATA

Németh Gergely, Klupp Gyöngyi, Kováts Éva, Pekker Sándor, Kamarás Katalin  
MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Szilárdtestfizikai és Optikai Intézet

A magas szimmetriájú  $C_{60} \cdot C_8H_8$  kristály a rotor-sztator rendszerek alapvegyülete (1. ábra) [1, 2]. A kristályban a sztator szerepét a konkáv felületű kubán játssza, míg a rotor szerepét a fullerén. A gömbszerű fullerén forgása alacsony hőmérsékleten drasztikusan lelassul és 140 K körül a lapcentrált köbös szerkezet átalakul rombossá. Ezt a változást spektroszkópiái

1. ábra. A kubán-fullerén lapcentrált köbös kokristály modellje.



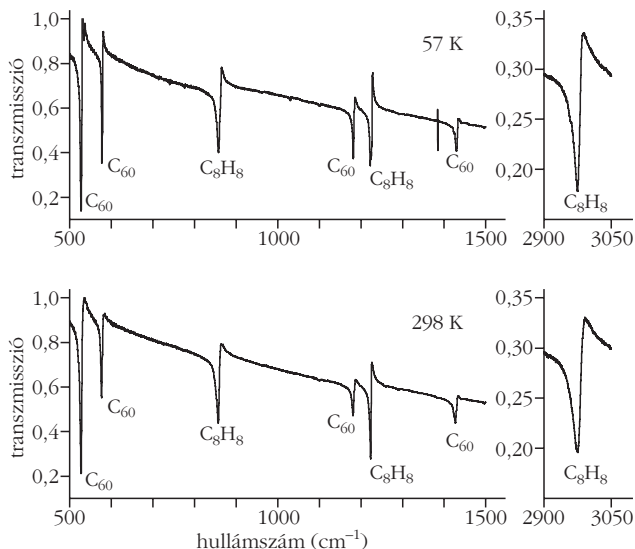
módszerekkel meg lehet figyelni. A lelassult forgás következtében a kristályban a molekulák környezetük hatására, meghatározott szimmetriát vesznek fel. Ez kisebb a  $C_{60}$  eredeti magas szimmetriájánál, így a rezgési gerjesztések vonalai felhasadnak. A hőmérsékletet 50 K-től 300 K-ig változtatva infravörös spektroszkópiával követtük a bekövetkező fázisátalakulást.

A korábban detektált rombos szerkezetnek öt különféle tércsoport is megfelel, amelyek közül a röntgendiffrakciós mérések részletes analízise és a kohé-

1. táblázat

**$C_8H_8$  és  $C_{60}$  situs szimmetriái különböző tércsoportok esetén**

	$C_{60}$ (situs)	$C_8H_8$ (situs)	
$P_{212121}$	$C_1$	$C_1$	$D_2$
$P_{mc21}$	$C_s$	$C_s$	$C_{2v}$
$P_{mm21}$	$C_s$	$C_s$	$\bar{C}_{2v}$
$P_{na21}$	$C_1$	$C_1$	$C_{2v}$
$P_{nma}$	$C_s$	$C_s$	$D_{2b}$



2. ábra.  $C_{60}\bullet C_8H_8$  kristály infravörös spektrumai alacsony és magas (szoba) hőmérsékleten.

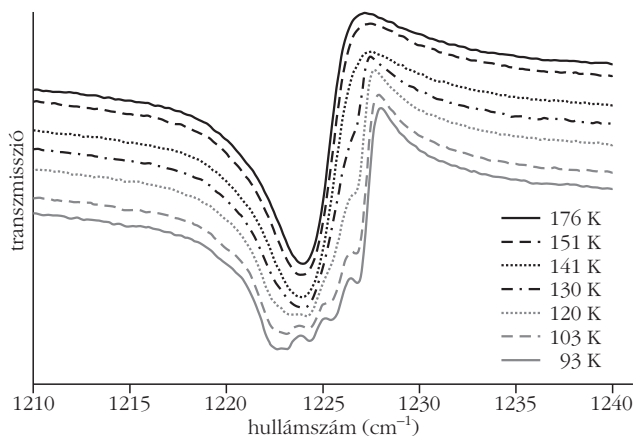
zióenergia-számolások a  $P_{nma}$  tércsoportra vezettek (1. táblázat) [2]. Csoportelméleti számolásokat kísérleteinkkel összevetve megállapítottuk, hogy az infravörös spektrumban talált felhasadások egyértelműen alátámasztják ezt a tércsoportot.

## Mérési módszer

A mérést Fourier-transzformációs spektrométerrel végeztük. A mérendő pormintából kálium-bromid pasztillát készítettünk, amely egyrészt az erősen abszorbens anyag hígítására szolgál, másfelől a részecsékén való fényszórást csökkenti. 57 K hőmérsékletű mintán több próbát végezve,  $0,25\text{ cm}^{-1}$  felbontásra volt szükség a felhasadás értékelhető megfigyeléséhez.

A felhasadások elméleti meghatározása céljából, az úgynevezett korrelációs módszerhez [3] fordultunk. Ezzel meghatározható, hogy ha az adott pontcsoportú molekula a megfelelő situs szimmetriájú pontcsoportba torzul, hogyan hasadnak fel a degenerált rezgési

3. ábra. A kubán  $1224\text{ cm}^{-1}$ -nél lévő elnyelési vonalának felhasadása a hőmérséklet csökkenésével.



2. táblázat

**Korrelációs táblázat különböző pontcsoportba történő torzulások esetén**

$I_b \rightarrow$ $T_{1u}$	$C_1 \rightarrow$ $3A$	$D_2$ $3(A + B_1 + B_2 + B_3)$	12 db
$I_b \rightarrow$ $T_{1u}$	$C_s \rightarrow$ $2A' + A''$	$C_{2v}$ $2(A_1 + B_1) + B_2$	5 db
$I_b \rightarrow$ $T_{1u}$	$C_1 \rightarrow$ $3A$	$C_{2v}$ $3(A_1 + B_1 + B_2)$	9 db
$I_b \rightarrow$ $T_{1u}$	$C_s \rightarrow$ $2A' + A''$	$D_{2b}$ $2(B_{1u} + B_{3u}) + B_{2u}$	5 db

módusok. A számolás során az  $I_b$  ( $C_{60}$ ) és  $O_b$  (kubán) minden irreducibilis reprezentációját redukálni kell a megfelelő torzult pontcsoportok szerint. Példának okáért a  $T_{1u}$  reprezentáció karakterei a  $C_s$  pontcsoportban ( $C_{60}$  esetén):

$$\begin{array}{ccc} \mathbf{R} & \mathbf{E} & \sigma_b \\ \chi_R(T_{1u}) & 3 & 1 \end{array}$$

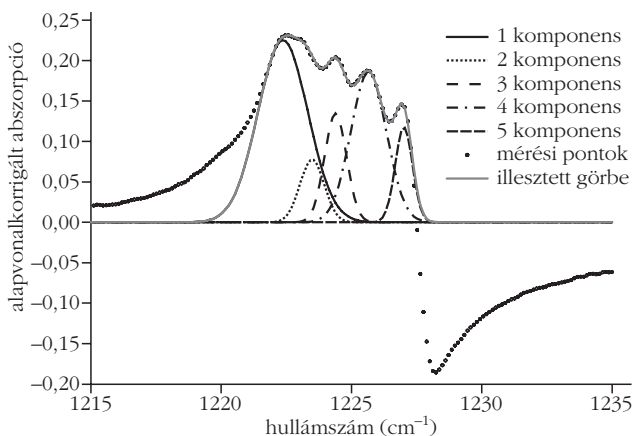
Tovább a redukciós képletből számolhatunk:

$$n(\Gamma_i) = \frac{1}{2} \sum_{i=R}^2 \chi_R(T_{1u}) \chi_R(\Gamma_i).$$

Ha egy elemi cellában több inekvivalens ugyanolyan situs szimmetriájú molekula van, azok rezeghetnek azonos és különböző fázisban is. Az eltérő fázisú rezgések kissé eltérő frekvenciákon jelennek meg, ez a Davydov-felhasadás. Meghatározásához az adott pontcsoport irreducibilis reprezentációit kell összevetnünk a kristály tércsoportjához tartozó pontcsoportéval. Az infravörös spektrumban a  $T_{1u}$  módus felhasadásait a 2. (korrelációs) táblázat foglalja össze a kubán esetén.

A 2. ábrán a minta infravörös spektrumának számunkra releváns részei láthatók 57 K, illetve 298 K hőmérsékleten.

4. ábra. A kubán  $1224\text{ cm}^{-1}$ -nél lévő elnyelési vonalának felhasadása az 5 illesztett csúccsal.



Ha ebből kiemeljük a kubán  $1224 \text{ cm}^{-1}$ -nél lévő elnyelési vonalát (3. ábra), és a különböző hőmérsékleten szemügyre vesszük látható, hogy  $140 \text{ K}$  környékén figyelhető meg az átalakulás. Továbbá észrevehető, hogy 5-szörös felhasadás következett be, amit a 4. ábrán illesztéssel is bizonyítottunk.

Az illesztés alapján látható, hogy ötszörös felhasadás jött létre. Ennek alapján kizárható a  $P_{2,2,2}$ , és a  $P_{na2}$  tércsoport. A maradék 3 tércsoport közötti döntésben a kis intenzitású csúcsok száma adja meg a választ. Mivel csak kevés ilyen csúcs jelent meg, ezért arra lehet következtetni, hogy a legmagasabb szimmetriájú tércsoport valósul meg. Ez pedig a röntgen-

diffrakciós mérések által megmutatott  $P_{nma}$  tércsoportra vezet, mivel e tércsoport pontcsoportja a legmagasabb szimmetriájú.

#### Irodalom

1. G. Bortel, S. Pekker, É. Kováts: Low Temperature Structure and Supramolecular Interactions of the  $C_{60}$ -Cubane Cocrystal. *Crystal Growth Design* 11 (2011) 865–874.
2. S. Pekker, É. Kováts, G. Oszlányi, G. Bényei, G. Klupp, G. Bortel, I. Jalsovszky, E. Jakab, F. Borondics, K. Kamarás, M. Bokor, G. Kríza, K. Tompa, G. Faigel: Rotor-stator molecular crystals of fullerenes with cubane. *Nature Materials* 4 (2005) 764–767.
3. W. G. Fateley, F. R. Doolittle, N. T. McDavit, F. F. Bentley: *Infrared and Raman Selection Rules for Molecular and Lattice Vibrations: The Correlation Method*. Wiley-Interscience, 1972.

## KÉSEI MEGEMLÉKEZÉS SOMOGYI ANTALRÓL

Uray László  
Budapest

Hajdani professzorom és szakdolgozatom témavezetője, Somogyi Antal életének kilencvenedik évében, 2010 októberében hunyt el, de haláláról csak később, a *Fizikai Szemléből* értesültem, ahol három munkatársa (Erdős Géza, Kecskeméty Károly és Király Péter) számolt be munkásságáról [1]. Már ekkor felmerült bennem a gondolat, hogy nekem is kellene írnom a hozzá kapcsolódó emlékeimről.

Én magam korán elkerültem a KFKI-ból, a kozmikus sugárzás fizikájától távol eső területen dolgoztam (fémfizika, különös tekintettel a volfrámra). Úgy érzem, hogy a *Fizikai Szemle* olvasói számára tanulságos lehet, ha felidézem emlékeimet a KFKI-ban az 1960-as évek elején végzett kozmikus sugárzási kutatásokról. Az elemi részecskék gyorsító vizsgálata legtöbb országban ekkor még gyermekcipőben járt, és a nagyenergiájú fizika kutatói gyakran a kozmikus sugárzást használták olcsó, bár eléggé kis intenzitású forrásként. Azóta sokszorosára nőtt a gyorsítókkal elérhető energia, de még mindig nagyságrendekkel elmarad a Földünk légkörébe érkező kozmikus sugárzási részecskék legnagyobb energiájától.

### Így kerültem kapcsolatba a kozmikus sugárzási kutatásokkal

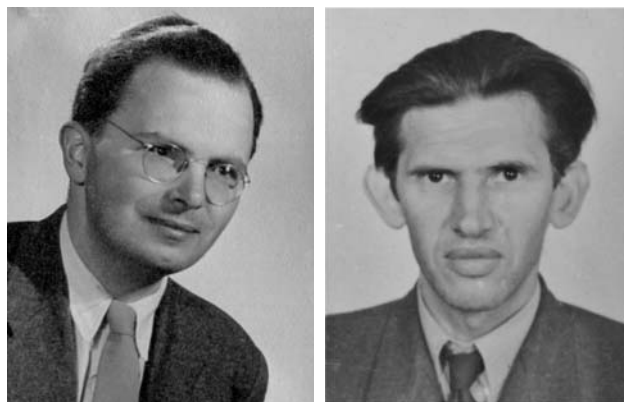
Egyetemi tanulmányaimat az ELTE Természettudományi Kara Fizikus Szakán végeztem 1956–61 között. Szakdolgozatom témájaként a kozmikus sugárzást választottam, talán mert ez a téma érdekesnek látszott a modern magfizika szempontjából, és mert a téma ismerős volt Jánossy Lajos *A kozmikus sugárzás* című népszerű könyvéből [2], amit már középiskolásként olvastam. A kozmikus sugárzás témaválasztással ke-

rültem Jánossy professzor tanszékére, ahol a szakdolgozatomat Somogyi Antal (1. ábra) irányítása alatt készítettem el.

Jánossy Lajos, aki a kozmikus sugárzás tanulmányozásában és kutatásában nemzetközileg elismert hírnevet szerzett, a KFKI-ban a beérkező nagyenergiájú kozmikus sugarak vizsgálatára egy koincidencia-berendezéssel működő soklemezű Wilson-féle ködkamrát építtetett [3].

Az már akkoriban is ismert volt, hogy a Föld légkörébe elég nagy energiával érkező protonok vagy más atommagok a felső légkörben töltött vagy semleges  $\pi$ - és K-mezonokat (pionokat és kaonokat) és más elemi részecskéket hoznak létre, majd a semleges pionok két gamma-fotonra bomlanak, míg a töltött pionok részben további kölcsönhatásokban újabb pionokat és egyéb erősen kölcsönható részecskéket keltenek, részben nagy áthatoló képességű müonokká bomlanak. A semleges pionok a légkörben elektronokból és gamma-sugarakból álló elektromágneses kaszkádokat keltenek. Ha a légkörbe belépő részecske energiája elég nagy, akkor a kiterjedt légizáporok egyes részecskéi a tengerszintig is eljut-

1. ábra. Somogyi Antal és Jánossy Lajos.



Köszönetet mondok Király Péternek, aki eredeti kéziratomat átnézte, javította és a kozmikus sugárzási kutatások újabb fejleményeivel kibővítette, valamint Kecskeméty Károlynak a hasznos konzultációkért.