

5. ábra. Asszortativitásra jellemző $k_{nn}(k)$ a mintavételezés után egy ER-gráfából kiindulva. A kék görbe a teljes mintavételezett hálózat asszortativitását mutatja, a többi csak azon nódusokét, amelyek affinitása a megadott tartományban van.

telezés után a hálózat asszortatív lesz (5. ábra). Érdekes módon még a görbe alakja is kifejezetten hasonlít az empirikus görbékre. Tehát ismét azt mondhatjuk, hogy az egyetlen kommunikációs csatorna adataiból látható asszortatív viselkedés ténye az eredeti szociális hálózatra nézve nem tekinthető bizonyítéknak. Itt is megvizsgáltuk, vajon mi történik, ha csak a nagy affinitású nódusokat vizsgáljuk, illetve csak azokat, amelyek affinitása egy kis tartományba esik. Ekkor visszakapjuk a ER-gráfra jellemző konstans affinitást.

Összefoglalva, azt vizsgáltuk, hogy mennyiben különbözik az egyetlen kommunikációs csatornán megfigyelhető tulajdonság a teljes szociális hálózatra jellemzőtől. Mivel az utóbbiról nincs elég adatunk, ezért a problémát fordítva vizsgáltuk. Alapvető és egyszerű feltevésekből kiindulva próbáltuk leírni az emberek viselkedését a kommunikációs csatornák használata során, és a teljes szociális hálózatot leegyszerűsítve modelleztük. Azt kaptuk, hogy az egyetlen

csatornára szűkített mintavételezés torzítja az eredeti hálózat tulajdonságait, mégpedig a nagyszámú egy-csatornás megfigyelés által szolgáltatott eredmények irányába. Ez a jelenség olyan erős lehet, hogy új tulajdonságok jelenhetnek meg (monotonitás a fokszám-eloszlásban), illetve erősödhetnek fel (fetételezhetően az asszortativitás esetében). A torzítás arra vezethető vissza, hogy egy csatorna használatánál nagy súllyal szerepelnek olyanok, akiknek az nem fő kommunikációs eszközük, és így az ő hálózatuk csak töredékesen jelentkezik. Ezt igazolták azok az empirikus adatokon és a modellen is végzett mérések, amelyek az „érett” felhasználók esetében a torzítások csökkenését mutatták. Megjegyezzük, hogy itt csak a modellt leegyszerűbb változatát ismertettük. Részletesebb vizsgálatok bebizonyították, hogy az említett torzítások függetlenek a modell részleteitől.

Az eredményeknek fontos tanulságuk van a kutatók és a felhasználók számára is. A kutatóknak az, hogy ha csak egyetlen csatorna információi állnak rendelkezésükre, akkor az eredmények a teljes szociális hálózat tulajdonságaira nézve félvezetők lehetnek, és a felhasználókat jobban közelíti, ha csupán a nagy affinitású („érett”) egyéneket veszik figyelembe. A felhasználóknak pedig tudniuk kell, hogy minél intenzívebben használ valaki egyfajta szolgáltatást, róla annál többet lehet tudni, hiszen kapcsolati hálójának annál nagyobb része válik elérhetővé.

Irodalom

1. Barabási A.-L.: *Villanások: A jövő kiszámítható.* (ford.: Kepes J.) Libri Könyvkiadó, Budapest (2016) ISBN 9789633105139.
2. Staar Gy.: Gráflimesz, könyvek és család. Beszélgetés Lovász László matematikussal. *Természet Világa* 145 (2014) 530–535.
3. *A cambridge analytica botrány.* dátum: 2018. május 29., https://index.hu/aktak/a_cambridge_analytica_botranyn
4. Barabási A.-L.: *Behálózva – A hálózatok új tudománya.* (ford.: Vicsek M.) Helikon Kiadó, Budapest (2013) ISBN 9789632272580.
5. J. Török, Y. Murase, H.-H. Jo, J. Kertész, K. Kaski: What Big Data tells: Sampling the social network by communication channels. *Physical Review E* 94 (2016) 052319.

SZERKEZETMEGHATÁROZÁS EGYETLEN, 100 FS-OS RÖNTGENIMPULZUSBÓL

Faigel Gyula

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Szilárdtestfizikai Intézet

Az anyagok atomi, illetve molekuláris szintű szerkezetének ismerete nem csupán az anyagi tulajdonságok elméleti leírásához nélkülözhetetlen, de a modern technológiák (félvezető-, bio-, gyógyszeripari technológiák stb.) kifejlesztésében is alapvető jelentőségű. Ezért nem meglepő, hogy e területre napjainkban is jelentős erőforrásokat koncentrálnak. A szerkezetmeghatározás egyik legfontosabb eleme a sugárforrás. Ezek biztosítják a mérőnyalábot (ami

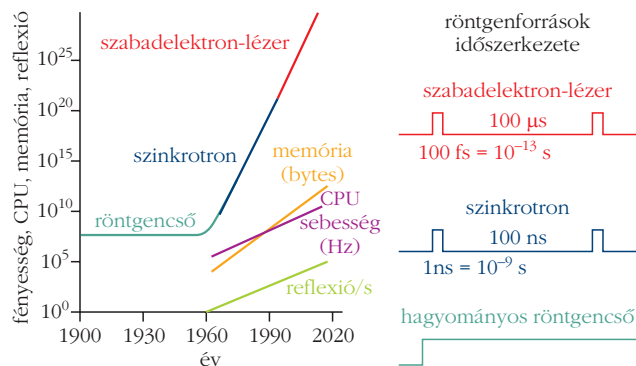
lehet elektron-, foton- vagy neutronnyaláb), amivel információt kaphatunk az anyagok mikroszerkezetéről. Bár a szerkezetmeghatározás alapelemeit több mint 100 éve felfedezték, és az alapvető módszereket megalkották, még ma is aktív kutatási terület az új szerkezetvizsgáló módszerek fejlesztése. Ehhez elsősorban az ad alapot, hogy a sugárforrások fejlődése teljesen új lehetőségeket nyit. A következőkben csak a röntgensugárforrásokkal foglalkozunk, bár megjeg-

gyezzük, hogy az elektron- és neutronforrások is jelentős fejlődésen mentek keresztül. Az 1. ábra a röntgensugárforrások két legfontosabb paramétere, a fényesség és az időbeli lefutás változását mutatja az évek függvényében.

Látható, hogy az 50-es évek végén bekövetkező változás, a szinkrotron sugárforrások megjelenése, majd napjainkban a röntgen szabadelektron-lézerek (XFEL, X-ray Free Electron Laser) kifejlesztése, sok nagyságrendes (20 nagyságrend) fényességnövekedést eredményezett és a próbanyalábok időszerkezete a folytonosból a nagyon rövid impulzusok felé tolódott el.

A mérőnyalábok ilyen mértékű megváltozása teljesen új kísérleti elrendezések, sőt új elvekre épülő mérések kidolgozására ad lehetőséget. Ezek közül egyet mutatunk be részletesebben, amelyben a kutatók azt próbálták meg elérni, hogy egyetlen, nagyon rövid (100 fs, 10^{-13} másodperc hosszú) röntgenimpulzussal határozzák meg egy kis biológiai részecske szerkezetét. Mielőtt e mérés ismertetésére rátérnénk, röviden áttekintjük a hagyományos szerkezetmeghatározás menetét, hogy ezzel háttérrel (összehasonlítási alapot) adjunk az olvasónak.

Tradicionális módszerekkel az atomi szintű szerkezet meghatározása kristályokon lehetséges. Erre egykristály-, illetve pordiffrakciós méréseket használunk. Ezek lényege, hogy a periodikus rendben elhelyezkedő atomokról röntgensugarakat szórunk és a szórás kép térbeli eloszlásának elemzéséből következtethetünk a szerkezetre. A továbbiak szempontjából fontos kiemelni, hogy egy ilyen mérésnél a minta bemenő nyálábhoz való relatív orientációját változtatnunk kell, illetve a nagy szórt intenzitású irányok (tehát a detektálás iránya) is változnak. A gyakorlatban egy ilyen mérést úgy tudunk megvalósítani, hogy a minta és a detektor helyzetének függvényében sorban, egymás után vesszük fel az intenzitásokat. Egy-egy ilyen mérés hagyományos röntgenforrások esetén több órát, míg szinkrotron sugárforrások esetén néhány percet vesz igénybe. Mintánk ezalatt gyakran jelentős sugárkárosodást szenvedhet (ami esetleg lehetetlené teszi a szerkezetmeghatározást). Minél kisebb a minta a sugárkárosodás mértéke annál nagyobb. Ugyanakkor a modern technológiák számára érdekes anyagokból olyan méretű egykristályokat előállítani, amelyeken a röntgendiffrakciós méréseket sikeresen el tudjuk végezni, gyakran nehéz. Számos esetben nem tudunk kristályt növesztetni, hiszen



1. ábra. A bal oldali grafikon a röntgenforrások fényességének időbeli változását mutatja az évek függvényében. Sokszor idézik a Moore-törvényt, amely a számítógépek teljesítménynövekedését írja le. Összehasonlításképpen ugyanezen grafikonon ábrázoltuk a számítógépek CPU-jának sebességváltozását, illetve a tipikus memóriaméretet. Látható, hogy a röntgenforrások teljesítménye még gyorsabban növekedett, mint a számítógépeké. Ezeket túl egyetlen diffrakciós csúcs mérési idejét is feltüntettük. A jobb oldalon a különböző röntgenforrások jellegzetes időszerkezete látható.

egyetlen molekula vagy egyedi atomcsoport szerkezetét kellene meghatározni. Egy ilyen kis mintán a tradicionális, statikus diffrakciós mérést nem lehet sikeresen elvégezni. Ennek oka, hogy a rugalmatlan folyamatok valószínűsége általában nagyobb, mint a rugalmasoké. A rugalmatlan folyamatok eredményeképpen a mérendő anyag energiát vesz fel a mérőnyalábból, és ettől szerkezete megváltozik, a minta lényegében szétesik (szétrobban). Információt a rugalmas szórás ad a szerkezetről, de mielőtt még elég információt gyűjtenénk, a minta tönkremegy. Ezért nem meglepő, hogy az ilyen egyedi részecskékre vonatkozó szerkezetmeghatározás fel sem merült a szerkezetvizsgálat első 100 évében. A 2000-es évek elején születtek meg azon lehetőségek, illetve ötletek – először elvi szinten –, amelyek mára már néhány, a gyakorlatban végrehajtott kísérlethez vezettek. Az áttörést a szabadelektron-lézerek felfedezése, majd megépítésük jelentette. Tehát a lehetőséget a legújabb röntgensugárforrások a szabadelektron-lézerek (X-ray Free Electron Laser, XFEL) adták. Miért? Ahogy az első ábra mutatja, e források nagyon rövid (10^{-13} másodperc), ugyanakkor nagyon intenzív (10^{12} foton/impulzus) impulzusokban nyújtják a próbanyalábot. Ezt R. Neutze és társai javaslata alapján [1], úgy lehet kihasználni, hogy a rugalmas szórás kísérletet olyan gyorsan végezzük el, amely idő alatt az atomok nem tudnak számottevően elmozdulni. Persze a kísérlet végére a minta szétrobban, de addigra a rugalmasan szórt fotonok detektálását már régen befejeztük. Ez egyszerűen hangzik, de a gyakorlati kivitelezés sok technikai és elvi probléma megoldását tette szükségessé. Itt csak egy, az ismertetendő kísérlettel kapcsolatban releváns nehézséget emelünk ki. Viszsga gondolva a tradicionális diffrakciós kísérletekről írottakra, világos, hogy a gyors méréseknél sem kerülhetjük el, hogy a mintáról különböző orientációkban vegyünk fel szórásképeket, ezek összességéből – elég bonyolult számolási eljárások után – kaphatjuk meg a szerkezetet. Azonban a gyors mérésnél a min-



Faigel Gyula fizikus, akadémikus, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Szilárdtestfizikai és Optikai Intézetének kutatóprofesszora. Kutatási területe a tradicionális röntgendiffrakció és röntgensugárzáson alapuló mérési eljárások fejlesztése. Ezen a területen nem csak a laboratóriumi röntgenforrásokon alapuló méréseket, hanem a szinkrotronoknál és röntgen szabadelektron-lézereknél végezhető technikák kifejlesztésében is részt vesz.

tánk egy adott állásban való szórásképfelvétele után szétrobban. Tehát ugyanarról a mintáról nem tudunk több ezer szórásképet felvenni. Ezt úgy oldhatjuk meg, hogy sok millió ugyanolyan mintát készítünk és ezeket sorban egymás után lőjük be a mérőnyaládba. Például egy vírus esetén, ha tudunk ilyen „tenyésztést” csinálni, ez elvileg végrehajtható. A vírusokat oldatba véve, és azt egy nagyon vékony speciális fűvőkával a röntgennyaládba spriccelve elérhetjük, hogy a nagyon rövid impulzus idején is legyen néha egy-egy vírus a nyaládban. Ilyen mintabevitel mellett azonban a vírus orientációja (a próbanyalábhöz és a detektálási irányhoz viszonyított helyzet) ismeretlen, ami nagyban megnehezíti a kiértékelést. A kutatók speciális programokat fejlesztettek ki, amelyekkel a mért képekből mintegy visszafelé határozzák meg a minta méréskori orientációját. Ezek a kiértékelések nagyon számításgényesek és csak a mai legmodernebb számítógépekkel végezhetők. Tehát ilyen mérésekhez nemcsak modern röntgenforrásokra, hanem fejlett számítástechnikai háttérre is szükség van. Itt nem kívánjuk részletesen tárgyalni, de a harmadik fontos elem, ami még ilyen mérésekhez kell, a detektor. Sok millió dolláros projekteket indítottak megfelelő kétdimenziós, tehát egy felületen érzékeny, nagyon gyors detektorok kifejlesztésére.

Ha az eddig felsorolt három alapvető egység rendelkezésünkre áll, és már közel rutinszerűen tudunk a fent leírt módon szerkezetet meghatározni [2], akkor kezdetünk gondolkodni arról, lehetséges-e kikerülni azt a nehézséget, hogy sok millió azonos részecske növesztésével, s ezeken felvett sok ezer képből kapjuk meg a szerkezetet. Lehet-e egyetlen impulzusból is szerkezetet meghatározni. A következőkben egy erre irányuló érdekes próbálkozást mutatunk be.

Továbbvisszük azt az ötletet, hogy csak egy kis részecskét lővünk a nyaládba és a rugalmas szórási képet szétrobbanása előtt vesszük fel – a fentiekhez képest eddig semmi új nincs a mérésben. Azonban ezen túl egy második, úgynevezett referenciarészecskét adunk hozzá a szórási folyamathoz. E célból egy

egészen kicsi (néhány ezer atomos) közel gömb alakú részecskéket előállítani képes berendezést készítünk, és az így gyártott atomfürtöket a vizsgálni kívánt vírussal együtt lőjük a próbanyaládba. A kísérlet vázlatát a 2. ábra mutatja.

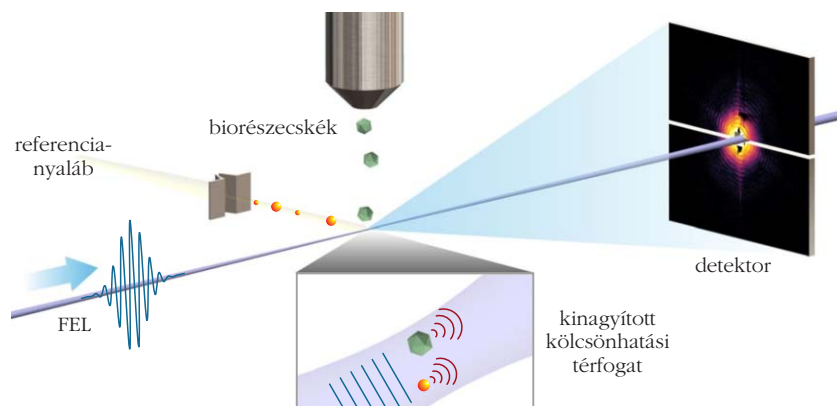
Miért lehet előnyös egy második részecske jelenléte? Az ötletet a holográfia adta. A holografikus leképezés lényege, hogy az ismeretlen tárgy által szórt nyalábhöz egy ismert referencianyalábot keverünk. Ennek segítségével a mért interferenciaképből (annak intenzitásában) kódoljuk a szórt nyaláb fázisát, ami egy normál diffrakciós mérésben elvesz. Egy ilyen többletinformációval könnyebb a szerkezet rekonstrukciója, és egy kép is elég lehet a 3 dimenziós szerkezetmeghatározáshoz. Mérésünkben a belőtt ismert részecske által szórt sugárzás adja a referencianyalábot. Ez azt feltételezi, hogy ismerjük a referenciarészecske méretét, alakját és az ismeretlen mintához való relatív elhelyezkedését. A valóságban ezek egyike sem pontosan ismert. Még ha ezek ismertek lennének is, a tradicionális holografikus rekonstrukció végrehajthatóságához annak a feltételnek is teljesülnie kellene, hogy a minta által szórt nyaláb amplitúdója sokkal kisebb, mint a referencianyalábé. Ez a gyakorlatban nem áll fenn, hiszen referenciarészecskéknek a mintához képest kicsinek kell lennie, mert ennek mérete szabja meg a mérés térbeli felbontását. A fentiekből látható, hogy számos problémát kell megoldani ahhoz, hogy ez a mérés kiértékelhető legyen.

Kísérleti oldalról – többek között – azt, hogy két független részecskeforrásból egyszerre (10^{-15} másodperces pontossággal), egy nagyon kis térfogatba (kiseb, mint 1 fm^3) érkezzon a két részecske és a röntgenimpulzus. Ezen túl biztosítani kell, hogy a két szórt nyaláb interferenciájának eredményeképpen keletkező szórásképet minél nagyobb térszögben és viszonylag nagy szögfelbontással (tehát igen sok pixelből álló kétdimenziós detektorral) rögzítsük. A nagy térszögre azért van szükség, hogy megfelelő 3D-s információt kaphassunk, a jó szögfelbontásra pedig azért, mert a referenciarészecske és a minta távolsága szabja meg a

mért intenzitás térbeli változásának tipikus frekvenciáját, mégpedig úgy, hogy a változás gyorsasága arányos a távolsággal. Mivel a gyakorlatban ez a távolság a részecskék méreténél sokkal nagyobb, ezért azok méretéből eredő tipikus térbeli frekvenciáknál sokkal nagyobb frekvenciájú változásokat is meg kell mérnünk. A számunkra érdekes részecskeméret (5–500 nm) és elérhető távolságok (10 fm nagyságrend) $10^4 \times 10^4$ pixeles detektorokat feltételeznek. Ezek jelenleg még nem állnak rendelkezésünkre.

Elméleti oldalról is számos probléma merül fel. Csak a legfontosabbakat említve: (i) hogyan pótoljuk a

2. ábra. Kétrészecske szórási kísérlet vázlatja. A felső rész mutatja a mérési elrendezést. A balról érkező röntgennyaládba lőjük a referenciarészecskét (vízszintes nyaláb) és a mérendő mintát (függőleges nyaláb). Jobb oldalon van a 2D helyzetérzékeny detektor. Az ábra alsó része a kinagyított kölcsönhatási térfogatot mutatja.



referenciárészecske nem ismert paramétereit; (ii) milyen módszert használjunk a térbeli kép megkapására, ha nem teljesül a tradicionális holografikus rekonstrukció feltétele (gyenge objektum, erős referenciahullám); (iii) hogyan kezeljük a kisdetektor-problémát (kiváltható-e, hogy a detektorunk csak $10^3 \times 10^3$ pixel, 100-szor kisebb mint amire szükség lenne)?

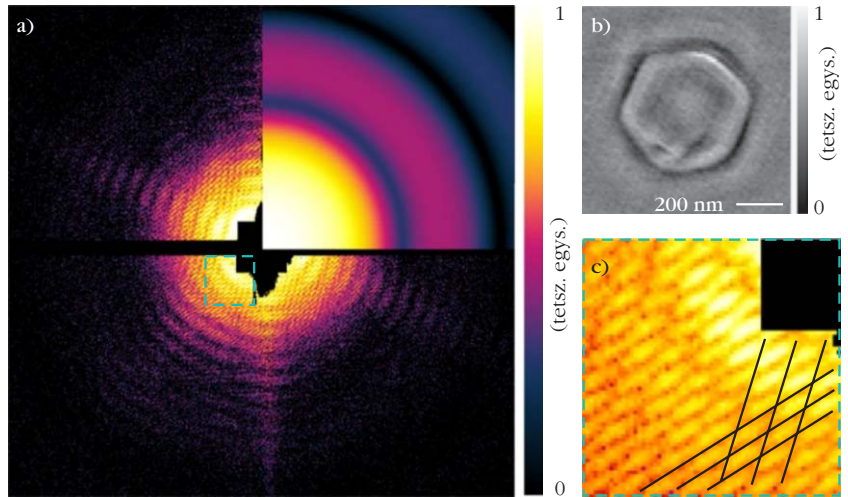
Látható, hogy sok probléma merül fel egy ilyen méréssel kapcsolatban. Azonban éppen ezért kell elkezdni a kísérleteket, hogy tapasztalatot gyűjtsünk a problémák megoldásához.

A következőkben bemutatjuk, hogy mit látnak az első ilyen mérés alkalmával [3]. A mért szórásképet a *3.a ábra* mutatja.

A kapott kép megértéséhez modellszámolásokat végeztünk egy egyszerűsített rendszeren. Két kis gömb szórásképét számoltuk ki három elrendezés esetén. Ezt mutatja a *4. ábra*.

A következő jellegzetességekre hívjuk fel a figyelmet: mindhárom kép egy közel hengerszimmetrikus, középről kifelé haladva oszcilláló intenzitású hátteret mutat. Ez alapvetően az egyrészecske-szórás kép. Erre rakódik a különböző geometriájú elrendezések hatása. A két egyforma részecske csak függőlegesen eltolva (*4.a ábra*) adja a legegyszerűbb képet, függőleges vonlak jelennek meg a képen. Ha az egyik részecske méretét megváltoztatjuk (*4.b ábra*), akkor az egyrészecske-szórás kép koncentrikus köreinek szerkezete változik, ami magával vonja a függőleges vonalrendszer változását is. Ha a két részecske nem csak függőlegesen, hanem a detektálás síkjára merőlegesen is el van tolván (*4.c ábra*), akkor a finom vonalrendszer egyenesből hajlottá válik. Ennek ismeretében, kvalitativan érthetjük meg a mért szórásképet (*3.a ábra*). A kép csak közelít a hengerszimmetrikushoz, ezt mutatja

a modellszámolás és mérés közötti hasonlóság az intenzitás középről kifelé való csökkenésével. A hengerszimmetriától való eltérés mutatja, hogy a részecske nem gömb alakú. Végül a kinagyított részen jól látható, hogy két finom vonalrendszer (gyors térbeli intenzitásozcilláció) lép fel. Ez azt jelenti, hogy nem egy, hanem két referenciárészecskénk van. A részecskék elhelyezkedéséről és alakjáról pontosabb képet kapunk, ha vesszük a mérés 2D-s Fourier-transzformáltját. Megmutatható, hogy ez az elektronsűrűség vetületének autokorrelációs függvényét adja. Ezt mutatja az *5.a ábra*. Ez az adott kísérleti feltételek mellett centroszimmetrikus és



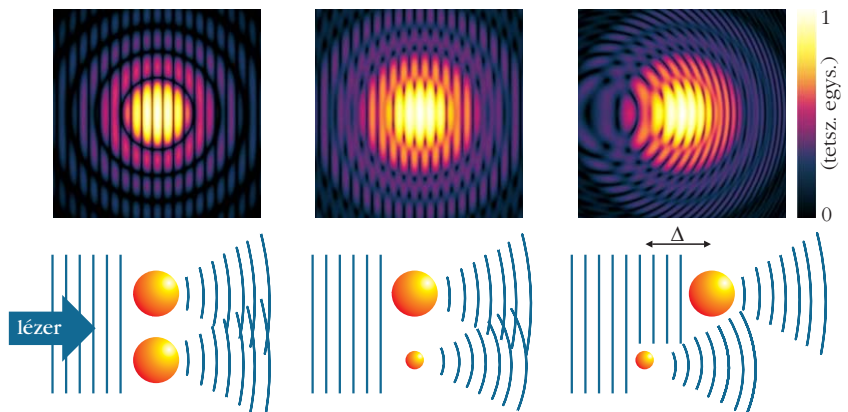
3. ábra. A bal oldali (a) ábra a mért szórási kép (a háttérlevonás és detektorérzékenységre való korrekció után). Az ábra jobb felső sarkában egy, a mintával körülbelül azonos nagyságú, gömbszerű részecske számolt intenzitáseloszlása fedi a mért képet. A jobb oldali alsó (c) ábra a mérés kinagyított részlete, míg a jobb oldali felső (b) ábra a minta rekonstruált 2D-s vetülete.

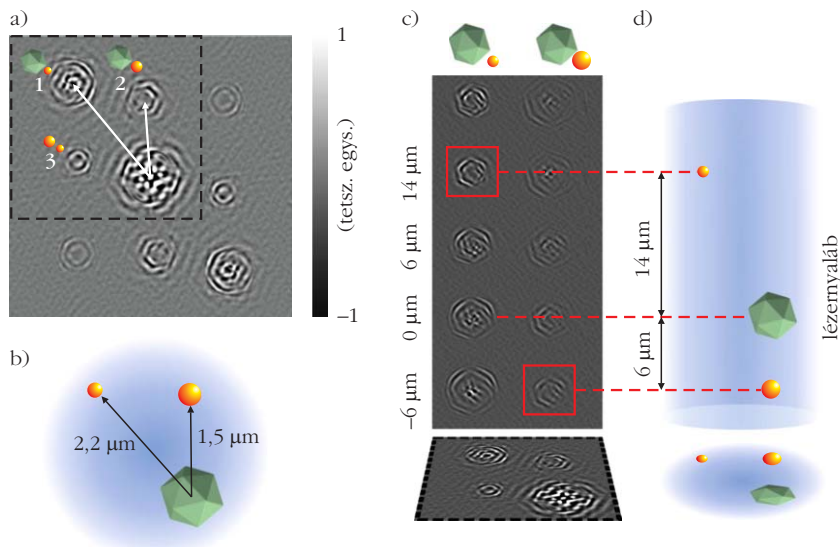
a bal oldali szaggatott vonallal bekeretezett rész mutatja, hogy melyik képrészlet minek felel meg. Az (1) jelölt rész a kis referenciárészecske és a minta korrelációs függvénye, a (2) rész a nagyobb referencia, a részecske és a minta korrelációs függvénye, a (3) rész pedig a két referenciárészecske korrelációs függvénye. Az *5.b ábra* a három részecske vetületének egymáshoz képesti elhelyezkedését mutatja. A minta és a részecskék harmadik dimenzióban való helyzetét (a detektorsíkra merőleges távolságot), úgy kaphatjuk meg, hogy a mért képet egy, a 3. dimenzió szerinti távolságnak megfelelő fázisfaktorial megszorozva végezzük el a Fourier-transzformációt és a kapott eredményt így vizsgáljuk a távolság függvényében. Amikor eltaláljuk a referencia és minta közötti távolságot, akkor mintegy kiélesedik a kép, ezt mutatja az *5.c ábra*. Az *5.d ábra* pedig három részecske röntgennyalábbban elfoglalt helyzetét mutatja, amelyet az *5.c ábrából* következtethetünk ki.



Összefoglalva látható, hogy a röntgen szabadelektrom-lézerek teljesen új utakat nyitnak a szerkezetkuta-

4. ábra. Két gömb alakú részecske szórási képe, a két gömb különböző nagysága és elhelyezkedése függvényében: (a) ábra, két egyforma gömb a detektor síkjától egyenlő távolságra, (b) ábra két különböző méretű gömb a detektor síkjától egyenlő távolságra, (c) ábra két különböző méretű gömb a detektor síkjától különböző távolságra.





5. ábra. (a) a részecskék elektronsűrűsége vetületének autókorrrelációs függvénye, (b) a részecskék elhelyezkedése röntgenyaláb keresztmetszetében, (c) a hosszirány különböző távolságaira a fázissal korrigált mérés Fourier-transzformáltja, (d) a részecskék elhelyezkedése a nyaláb hosszirányában.

tás területén. Erre az egy röntgenimpulzusban lévő nagyon sok foton és az impulzus nagyon rövid volta ad lehetőséget. A tradicionális diffrakciós mérések mellett megjelennek az egyedi, kis részecskéken (pél-

dául vírusokon) való szerkezetvizsgálati módszerek. Első lépésben az ilyen méréseket sorosan végezzük, azaz egymás után lövünk a nyalábba azonos mintákat és e mérések összességéből próbáljuk meghatározni a szerkezetet. A cikkben egy ennél még újabb próbálkozást mutattunk be, az egyetlen röntgenimpulzusból való szerkezetmeghatározást. Látható, hogy a jelenleg rendelkezésre álló technikai eszközökkel e mérések még nem adnak részletes 3D képet a mintáról, azonban az itt kidolgozott kiértékelési módszerek, illetve technikai eszközök kifejlesztése előre vetíti a sikeres mérés lehetőségét.

Irodalom

1. R. Neutze, R. Wouts, D. Van der Spoel, E. Weckert, J. Hajdu: Potential for biomolecular imaging with femtosecond X-ray pulses. *Nature* 406 (2000) 752–757.
2. M. M. Seibert et al.: Single mimivirus particles intercepted and imaged with an X-ray laser. *Nature* 470 (2011) 78–81.
3. T. Gorkhover et al.: Femtosecond X-ray Fourier holography imaging of free-flying nanoparticles. *Nature Photonics* 12 (2018) 150–153.

VÉLEMÉNYEK

ALVAJÁRUNK?

Ván Péter

MTA Wigner FK, Részecske- és Magfizikai Intézet,
BME, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék,
Montavid Termodinamikai Kutatócsoport

A lap hasábjain megjelent írárok hatására újra elolvastam *Koestler Artúr* tudományról írt nagyszerű könyvét, az *Alvajárókat* [1]. Az alábbiak néhány szemponttal kiegészítik *Geszti Tamás* gondolatait és *Radnóti Katalin* remek ismertetőjét [2].

Koestler könyve kényelmetlen könyv a fizikusok és a fizikát szeretők számára. Az volt már megírásakor és maig az. Azért kényelmetlen, mert Koestler tudó-

mánytörténetileg viszonylag alapos: megszámlolta *Kopernikusz* epiciklusait, elolvasta *Kepler* és *Galilei* leveleit és Galilei periratait is. Ezek a dokumentumok pedig nem egészen azt a képet mutatják, amit az egyetemes tudomány és kultúrtörténet ezen nagy embereiről tanultunk vagy gondoltunk. Koestler könyvében a tudomány hőseinek gyarlósága nagyon kézzelfogható.

A szerző szándéka persze nem a deheroizálás volt. Két dolgot vizsgált – és utána nem tudományos, hanem irodalmi eszközökkel épített koherens történetként mutatja be a válaszait. Első kérdése az volt, hogy szükségszerű volt-e a tudomány vallásmentesítése, amely Galileinél kezdődött és a francia racionalistákkal végződött. Válasza az, hogy egyáltalán nem. Ha Galilei kezdetben nem haragítja magára a kopernikuszi rendszer iránt jóindulatú pápát és a teljes jezsuita rendet a kor legkiválóbb csillagászaival, akkor szerinte tudomány és vallás sokkal nagyobb barátságban kerül ki a kopernikuszi fordulatból. Meglátása szerint



Ván Péter fizikus, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske és Magfizikai Intézet Elméleti Fizikai Főosztályának és a BME Gépészmérnöki Kar Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszékének tudományos főmunkatársa. Kutatási területe a nemegyensúlyi termodinamika, illetve ehhez kapcsolódóan klasszikus kontinuumok, téridő, nehézion-fizika, gravitáció. Az utóbbi években ő koordinálja a Wigner FK Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratóriumának kutatásait.