



5. ábra. (a) a részecskék elektronsűrűsége vetületének autókorrrelációs függvénye, (b) a részecskék elhelyezkedése röntgennyaláb keresztmetszetében, (c) a hosszirányú 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 írások 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 is és máig 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.

itt nem a „bigott” egyház volt a hunyó, hanem a zeniális vitakozó és tudománymenedzser Galilei, aki kigúnyolta a pápát és a korabeli élenjáró tudományt. Pedig azok csak annyit kértek tőle, hogy olyat állítson, amit be is tud bizonyítani. Galileinek ugyanis nem volt egyértelmű bizonyítéka arra, hogy a Földrendszer helyett Naprendszerben kell gondolkodni. Erre vonatkozóan élete végére dolgozta ki legjobb érvét, az árapályelméletet, az viszont hibás. Mindemellett pedig Galilei saját érdekeit – nem az igazságot – sok esetben gátlástalanul érvényesítette, egyáltalán nem volt egy rokonszenves egyéniség.

Ez pedig Koestler második vizsgált kérdéséhez kapcsolódik. Mi a tudós személyiségének szerepe a tudományban? Ebben az ügyben *Polányi Mihályhoz*, barátjához és eszmetársához csatlakozik, aki a tudományos módszer helyett a személyes aspektusok szerepére alapozta ismeretelméletét. Koestler könyve bizonyos értelemben e tudományfilozófiai gondolatkör történeti alátámasztása, vagy legalábbis reflexiója. Nem kellemes belegondolni, hogy esetleg az a fajta önzés, agresszivitás, excentricitás és megszállottság amely Kopernikust, Galileit, *Tycho Brachét* vagy Keplert jellemezte mennyire volt szükséges feltétele úttörő tudományos eredményeknek, vagy máig tartó hírnevüknek.

A magyar kiadáshoz tanulságos előszót ír *Csányi Vilmos* a könyv legfontosabb gondolataként azt emeli ki, hogy a tudomány építőkövei a valóság modelljei. Ezért a tudományos igazság szükségszerűen relatív, mindig van érvényességi köre, még ha sokszor nem is ismerjük pontosan a határait. Ez a gondolat itt egyúttal egyfajta elhatárolódáshoz segíti az olvasót: ezt ma már jobban tudjuk, érdekes ez a történet, de nem fontos – gondolhatjuk. A fizika a lényeg, azt pedig mi már jobban ismerjük.

Ezt a könyvet szerintem minden tudományszerető embernek el kell olvasnia. Nem feltétlenül a súlyosan érdekes régi történetek, vagy az igazabb igazság miatt. A könyvben számomra az a megdöbbentő, hogy az emberibb történetek sokkal lelkesítőbbek és tanulságosabbak a ma fizikusa számára, mint a leegyszerűsített legendák. Elgondolkodtatók például az alábbi kérdések:

1) Azonnal az alkalmazhatóságot, a gyakorlati hasznot kell keresnünk tudományban?

„A káldeusok megfigyelései bámulatosan pontosak voltak; az év hosszát 0,001 százalékos hibával állapították meg, s a Nap és a Hold mozgására vonatkozó méréseik hibája csupán háromszorosa volt a mamutteleszkópokkal felszerelt tizenkilencedik századi csillagászok mérési pontatlanságának. E tekintetben övék volt tehát az Egzakt Tudomány; megfigyeléseik hitelesek voltak, és segítségükkel képesek voltak előre jelezni a csillagászati eseményeket – az elmélet működött.” Olvashatjuk a könyv 25. oldalán. A kopernikuszi fordulatban vajmi kevés szerepe volt bármilyen alkalmazhatóságnak.

Ki hallott például *Isocrates* híres iskolájáról az ókori Athénban? Ez az iskola azt hirdette, hogy pontos gyakorlati ismereteket ad a jövő politikusaiknak, jogászai-

nak, építőmestereinek ezért érdemes ott tanulni. Nem foglalkozott olyan értelmetlen haszontalanságokkal, hogy mi a szépség, az igazság, vagy a helyes gondolkodás. Ezekről a város egy másik, rivális iskolájában lehetett tanulni. Ott a mestert *Platónnak* hívták... [4]

2) Mi is a tudományos teljesítmény, a hatás jó mérceje?

Kopernikusz kalandosan megjelent könyvét – *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Az égi pályák körforgásáról) – a kortársak elutasítják, mert semmilyen alaposabb tudományos elemzést nem áll ki, olvashatatlan, kusza, hibás és ellentmondásos. Később is olvasatlan maradt: négyszáz év alatt 4-szer adták ki és első angol fordítása 1952-ben jelent meg. Ugyanakkor a *Ptolemaiosz Almagesztje* (Nagy Könyv) és a rendszerét ismertető másik három korabeli mű az 16. század végéig összesen száz kiadást ért meg. Ugyanis Kopernikusz rendszere nem heliocentrikus, hanem vákuumcentrikus: a bolygópályáknak még a síkja sem megy át a Napon. Az epiciklusok számát nem csökkenti, hanem növeli. Mindez azért, mert sem gondolatilag, sem technikailag nem tudott elszakadni a körpályákban megtestesülő tökéletesség eszméjétől. Mégis, mindennek ellenére, övé volt az igazság, vagy legalábbis a nagyobbik része. Kik voltak akkoriban, akik ezt át tudták látni?

Tanulságos például egy *Osiander* nevű csillagász levele: „A könyvben az elméletek esetén nem hitről, és igazságról van szó, hanem a számítások megalapozottságáról, s egészen közömbös, hogy igazak-e vagy hamisak, ha a látható valóságot pontosan ábrázolják.” [1, 227. o.] Kopernikusz könyvének első kiadásához feltehetően ő írta az előszót, amelyben azt fejtegeti, hogy mennyire valószínűtlene a könyvben kifejtett hipotézisek és mennyire hihetetlenek a kapott számítások eredményei.

Nekünk már könnyű. Mi már TUDJUK, hogy a bolygók ellipszispályákon keringenek, hátrább tessékeltük, és megváltoztattuk a szépség és a tökéletesség hajdani eszméit. De vajon tudásunk mely része igaz? Miről ismerjük fel, hogyan döntjük el egyáltalán, hogy mi fontos? Pedig minden tudományok közül talán a fizikában a legkönnyebb a dolgunk. Elgondolkozhatunk arról is, hogy vajon miféle hatáshoz vagy hivatkozottsághoz van ennek köze?

3) Milyen személyes feltételei vannak a fontos tudományos eredményeknek? Melyik képességünket fejlesszük, mire törekedjünk?

Talán a nagy ötlet a fontos? Kopernikusz eszméit a régi görögök is tudták és Kopernikusz is tudta, hogy a görögök tudták...

Vagy marketing és gyakorlati érzék, erőforrás és pénz? A hiú, féltékeny és önelégült Galilei, aki tökélyre fejlesztette a vitakozást és megalkotta a tudományos nyelvet, és ellenfelei nevetségessé tételét fontosabbnak tartotta a kutatásnál? Amikor holland minta alapján elkészítette saját távcsövét, néhány héten belül már a velencei szenátusnak a Szent Márk toronyból mutogatta, és utána levélben fejtegette, hogy milyen nagy szolgálattal tette a városnak a tá-

madó hadihajók gyors észlelésében, ... a hálás szenátus pedig megduplázta Galilei fizetését.

Talán a minél részletesebb szaktudás és pontos vízió? A hatalmas tudású Kepler vérbeli misztikus, gondolatait a szférák zenéje motiválta és rejtély, hogy fő művéből, a *Harmonia Mundiból* (*A világ harmóniái*) Newton hogyan hámozta ki a Mars pályájának adatait...

Mindebből kié lesz végül a dicsőség? Tudni kell, hogy Newton első törvényét az egyenesvonalú egyenletes mozgásról feltehetően *Descartes* fogalmazta meg először és Galileinek semmiképpen nincs köze hozzá, ő azt állította, hogy a testek természetük szerint körösen mozognak.

Valahogy az a lelkesítő, hogy a tudománytörténet legnagyobb géniusza egyáltalán nem csillagokkalivilágított sugárúton haladtak a számukra elrendeltetett örökkévaló dicsőség és elismerés felé. Pontosan nem tudom megmondani, miért is lelkesít ez. Talán azért, mert akkor mindenki számára van esély: a gondolati akadályok, az ellipszispályák meglátása sokszor a véletlenül, a megfelelő előismeretek kombinációján és a nyitott elmén múlik. Vagy talán azért, mert azt mutatja, hogy a mai nagy elméleteink, modelljeink sem biztos, hogy tökéletesek – javítgatjuk, toldozgatjuk őket egyre újabb körökkel, körös-körül. Csak a középpontot kell meglátni valahogy...

Az *Alvajárók* megosztó könyv. Kétféle szélsőséges elfogultsággal olvasva is értelmes. Egyrészt hihetjük

azt, hogy tanulunk a múltból és manapság, az ipari tudomány és a tiszta módszertan által termelt veretes igazságok korában nem kell tartanunk a kézművestermékek hibáitól. Másrészt azt is kiolvashatjuk belőle, hogy az ep ciklusokhoz hasonló méretes zsákutcák léte a mai tudományban sem kérdés, folyamatosan termeljük őket, és ráadásul látásunk és módszerünk sincs ez ellen.

Természetesen Koestler második kérdésének gyakorlati hasznosítása is érdekelhet bennünket. Ifjú tudósként gondolkodhatunk azon, hogy fontos tudományos eredmények eléréséhez milyenné kell válnunk, mi a jó személyes stratégia. Ez esetben ne feledjük, hogy Koestler tanulsága csak egy nem túl fontos alapálláspont, csak egy kezdeti feltétel lehet bármely életpályához. Nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy vannak a fizikától független, általánosabb igazságok:

„Nem az jut legmesszebbre az úton, aki a leggyorsabb vagy a legszívósabb, hanem aki nem hagyja abba a járást.” – ahogy egyik kedvenc mesekönyvem írta... [5].

Irodalom

1. Athur Koestler: *Alvajárók*. (ford. Makovecz Benjamin) Európa, Budapest 1996 (eredeti címe: *The Sleepwalkers*, 1959)
2. Geszti Tamás: Galileiről, fél évszázaddal Koestler után. *Fizikai Szemle* 56/12 (2016) 431.; Radnóti Katalin: Arthur Koestler: *Alvajárók*. *Fizikai Szemle* 57/3 (2017) 105–107.
3. Polányi Mihály: *Személyes tudás*. Atlantisz, Budapest, 1994.
4. Carlo Rovelli: *Physics Needs Philosophy. Philosophy Needs Physics*. *Foundations of Physics* 48 (2018) 481–491.
5. Jane Goldenlane: *Napnak fénye*. Delta Vision, Budapest, 2015.

A FIZIKA TANÍTÁSA

MIÉRT TUDJA KIMUTATNI A LIGO A GRAVITÁCIÓS HULLÁMOT?

Bokor Nándor
BME Fizika Tanszék

A tréfás istenség és a táguló Univerzum

Képzeljünk el egy játékos kedvű istenséget, aki kívülről figyelni világunkat, és elhatározza, hogy megtréfál bennünket: egyszer csak az egész emberi világ méretét – az összes objektumot és a köztük levő távolságokat – varázsütésre százszorosára tágítja. (Szigorúan véve nem idézhető elő olyan pillanatszerű változás, amely az egész világon mindenhol abszolút értelemben egyidejűleg következik be, hiszen az egyidejűségnek nincsen abszolút jelentése, de most ne hagyjuk, hogy ez megzavarja a töprengésünket.) Észrevennénk-e világunk hirtelen méretnövekedését, ha a hossz mérésre csak hagyományos műszerek – méterrudak, vonalzó, mérőszalagok – állnának rendelkezésre? Úgy tűnik, hogy nem vennénk észre, hiszen

mérőeszközeink is a világ egészével együtt arányosan változtatnák (az istenség nézőpontjából) méretüket. Külső, isteni nézőpont híján nem szereznénk tudomást arról, hogy itt bármi történt.

Az Univerzum, isteni tréfától függetlenül, *ténylegesen* tágul. Ezt a tágulást éppen azért tudjuk értelmezni és kimutatni, mert nem minden méret növekszik. Ami tágul, az a mérőeszközeinkben távolságetalonként használt hosszegységhez *képe*st teszi. Csillagászati mértékű távolságok mérése technológiai, sőt fogalmi nehézségekkel is jár, hiszen ilyenkor egymás mellé fektetett méterrudakat már nem használhatunk, és nem magától értetődő, hogy egyáltalán mit érthetünk távolság alatt [1], de ha eltekintünk az ilyen fogalmi problémáktól, akkor leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy a tapasztalatok szerint, „métrerúdaink-