fizikai szemle

2020/12

nka

Tájékoztató az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2021. évi tagdíjairól

Tisztelt Társulati Tagjaink!

Mindenekelőtt szeretném tolmácsolni a **Társulat Elnökségének üdvözletét, karácsonyi és újévi jókívánságait** a Társulat tagjainak, a fizika barátainak és a ***Fizikai Szemle*** valamennyi olvasójának. A Társulat és a *Fizikai Szemle* 2021. évben is változatlan erővel kívánja megvalósítani mindazokat a feladatokat, amelyek betöltésére Alapszabályában vállalkozott.

Kérem, hogy **a 2021. évre vonatkozó tagdíj**ukat, amelynek összege **a 2019. és 2020. évihez képest sem változott,**[1] az alábbiak figyelembevételével szíveskedjenek befizetni.

Ha Ön a Társulatunk **rendes tag**ja és
- a *Fizikai Szemle* számait **elektronikus formában** kéri, akkor a 2021. évi tagdíja **8400 Ft.**
- a *Fizikai Szemle* számait **papíralapú terjesztéssel** kéri, akkor a 2021. évi tagdíja **9000 Ft.**

Ha Ön a Társulat rendes tagjaként **általános vagy középiskolai tanár** és
- a *Fizikai Szemle* számait **elektronikus formában** kéri, akkor 2021. évi tagdíja **800 Ft** alaptagdíj + **4600 Ft** kiegészítő tagdíj, azaz összesen **5400 Ft.**
- a *Fizikai Szemle* számait **papíralapú terjesztéssel** kéri, akkor 2021. évi tagdíja **800 Ft** alaptagdíj + **5200 Ft** kiegészítő tagdíj, azaz összesen **6000 Ft.**

Az alap- és kiegészítő tagdíjat együtt kérjük befizetni.

Ha Ön **nyugdíjas**ként rendes tagja a Társulatnak és
- a *Fizikai Szemle* számait **elektronikus formában** kéri, akkor 2021. évi tagdíja **3400 Ft.**
- a *Fizikai Szemle* számait **papíralapú terjesztéssel** kéri, akkor 2021. évi tagdíja **4000 Ft.**

Ezúttal is tisztelettel kérem azokat a nyugdíjas korú tagjainkat, akik nyugdíjuk mellett teljes munkaviszonnyal vagy közalkalmazotti jogviszonnyal rendelkeznek, hogy a tagdíjfizetés szempontjából ne tekintsék magukat nyugdíjasnak.

Ha Ön rendes tagként az **Ijúsági Tagozatnak** is **tagja** vagy a Társulat **ifjúsági tagja,** azaz felsőoktatási intézmény munkaviszonnyal nem rendelkező hallgatója vagy középiskolai tanuló és
- a *Fizikai Szemle* számait **elektronikus formában** kéri, akkor **nem kell tagdíjat fizetnie,**
- a *Fizikai Szemle* számait **papíralapú terjesztéssel** kéri, akkor kedvezményes tagdíja **4000 Ft.**

A fiataloknak szóló **kedvezmény érvényesítéséhez** szükség van arra, hogy a tag **felsőoktatási hallgatói jogviszonyáról** minden évben **nyilatkozatot adjon le** a Társulat titkárságának (**elft@elft.hu**).

[1] A *Fizikai Szemle* ára 2020-tól 1000 Ft, a duplaszámé 2000 Ft.

Kérem, hogy bármilyen adatváltoztatást (például lakcím, e-mailcím megváltozása) e-mailben legyenek szívesek megírni az **elft@elft.hu** címre.

Kérem, hogy tagdíjukat mielőbb szíveskedjenek rendezni. A tagjainknak tagsági jogon járó *Fizikai Szemle* folyamatos küldését csak azok számára tudjuk biztosítani, akik 2021. évi tagdíjukat rendezték. Felhívom ugyanakkor szíves figyelmüket arra a lehetőségre, hogy tagdíjuk megfizetését esetleg munkahelyük is átvállalhatja. Továbbá felhívom szíves figyelmüket az **önkéntes többletfizetés** lehetőségére. Kérem, hogy a leírtakra – különösen az utóbbira – külföldön élő ismerőseiknek is hívják fel a figyelmét. Nekik a *Fizikai Szemlét* elektronikus formában, e-mailen küldjük el; ha nyomtatott Szemlét kérnének, akkor kérjük, a lényegesen magasabb postázási költséget vegyék figyelembe.

Az újonnan belépni kívánók a Társulat honlapján – **http://elft.hu/jelentkezes-a-tarsulatba** – jelentkezhetnek társulati tagnak.

Amennyiben lehetőségük van rá, kérem, hogy a **tagdíj befizetését átutalással** szíveskedjenek rendezni **a K&H Banknál vezetett 10200830-32310274-00000000** számú folyószámlánkra. A közlemény rovatba a befizető nevét, városát kérjük feltüntetni. A Titkárságon (1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint 3.) lehetőség van készpénzes befizetésre is, illetve csekk is kérhető.

Az Európai Fizikai Társulatba (EPS) a továbbiakban csak egyéni tagként lehet belépni. **Kérem a kollégákat, hogy a hazai fizika megfelelő képviselete érdekében az EPS-be minél nagyobb számban lépjenek be.** Az EPS-be annak weblapján, a **www.eps.org** címen lehet belépni; ugyanott fizetheti be az EPS-tagdíjat is. Mivel az ELFT az EPS tagegyesülete, az ELFT tagjai az EPS legkedvezőbb egyéni tagdíját fizetik.

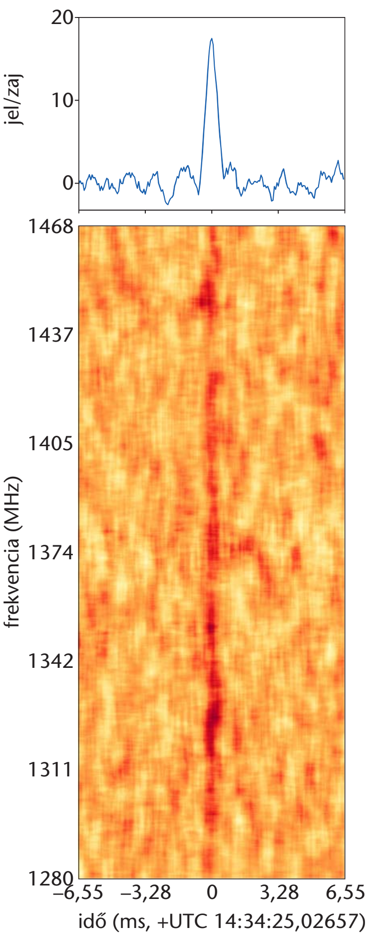
Felhívás tagjainkhoz és a fizika minden barátjához

Tájékoztatom a Társulat tagjait és a *Fizikai Szemle* olvasóit, hogy a 2018. évről szóló jövedelemadó-bevalláshoz kapcsolódó felajánlások révén az Eötvös Társulat 2020-ban **793 789 Ft** bevételhez jutott, amit a korábbi évekhez hasonlóan teljes egészében a *Fizikai Szemle* megjelentetési költségeinek részbeni fedezeteként használtunk fel. Ez a támogatás tette lehetővé többek között azt is, hogy tagjaink folyamatosan megkaphatták társulatunk folyóiratát, amiért köszönetünket fejezzük ki a Társulat javára rendelkezőknek. Kérem a fizika minden barátját, hogy ha teheti, az idén is rendelkezzen **személyi jövedelemadója 1%-ának** a Társulat céljaira való felajánlásáról és buzdítsa erre barátait, ismerőseit is. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak a nyilatkozaton feltüntetendő adószáma **19815644-2-43.**

Tisztelettel:
Groma István
az ELFT főtitkára

Folyóiratunk 2007. májusi címlapját követően a *Nature* 2020. április 16-i száma is címlapon hozta a Szuperkamiokande-kísérlet víztartályát körülölelő Cserenkov-detektorokat.

Egy ezred másodperces időskálán lezajlott gyors rádiókitörés (FRB) „fénygörbéje” (fent) és frekvencia szerinti színképe (lent) 2020. április 28-án.



2020-AS ÉRDEKESSÉGEK

Szokás szerint az évfolyam utolsó, jelenlegi számában jelenik meg a *Fizikai Szemle* éves tartalomjegyzéke. Ennek átfutásával mindenki felidézheti cikkeink közül a számára legérdekesebbeket, vagy észrevehet olyanokat, amelyek felett korábban esetleg átsiklott. Ilyenkor, év végén, amúgy is divat visszatekinteni az évre és megemlékezni a legfontosabb eseményekről, eredményekről. Persze minden ilyen leg-es rangsor vitatható, mégis érdeklődéssel olvassuk azokat. A *Nature* internetes hírlevele, a *Nature Briefing,* az év során megjelent „News and Views” (Újdonságok és Vélemények) cikkeket szemlézve választotta ki az összes tudományterületen publikáltak közül az év tíz legfontosabbnak ítélt felfedezését. A tíz közül kettőt a fizika területéről választottak.

Az egyik a Japánban, a Kamioka Obszervatóriumban folyó T2K (Tokai-to-Kamiokande) kísérlet áprilisban megjelent közleménye (*Nature 580,* 339–344) arról, hogy először sikerült kísérletileg megfigyelni CP-szimmetriasértést a leptoncsoportban, amiről a *Fizikai Szemle* hasábjain is olvashattunk (2020/7–8. szám, 245. oldal). A T2K arról számol be, hogy a neutrínók ízátalakulásaik során a CP-szimmetriasértés jeleit mutathatják. Az alapvető kérdés az anyag-antianyag aszimmetriával kapcsolatos, vagyis azzal, hogy miért van csak anyag a Világegyetemben, tehát hogyan sérült meg az ősrobbanást követően a kezdeti barion-antibarion szimmetria. A T2K által közölt eredmény azért nagyjelentőségű, mert az anyag-antianyag aszimmetria kialakulásának egyik lehetséges magyarázata olyan elemi folyamatok létezése, amelyekben fellép a CP-szimmetriasértés. A háromféle „ízben” (müon, elektron és tau) létező neutrínók változtathatják ízüket. Ha a CP-szimmetria fennállna, akkor a $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$, illetve a CP-transzformált $\overline{\nu}_\mu \rightarrow \overline{\nu}_e$ neutrínókonverzió oszcillációs valószínűsége megegyezne. A T2K kísérletben a Földön keresztül 295 kilométert megtett neutrínókat (vagy antineutrínókat) észlelik a képen látható föld alatti detektor segítségével a japán Kamioka Obszervatóriumban. (A neutrínóoszcillációkról és a Kamioka Obszervatóriumról is olvashattunk már a *Fizikai Szemlében,* lásd 2015/12. szám 420. oldal, illetve 2016/2. szám 42. oldal.) A T2K kísérlet eredményei 95%-os megbízhatósági szinten kizárják a CP-szimmetria megőrzését ezen oszcillációk során, és az eredmények arra utalnak, hogy az észlelt CP-szimmetriasértés elegendően nagymértékű lehet ahhoz, hogy a makrovilágban tapasztalt anyag-antianyag aszimmetriát megmagyarázza.

A másik, a *Nature Briefing* által kiemelt, fizikával kapcsolatos eredmény egy, a mi galaxisunkból származó gyors rádiókitörés (Fast Radio Burst, rövidítve FRB) észlelése. A gyors rádiókitörés elnevezés jól leírja a jelenséget: nagyjából milliszekundumos idő alatt kisugárzott nagyintenzitású rádióhullámokról van szó. Rövid élettartamuk miatt az FRB-k észlelése nehéz, ez magyarázza, hogy először 2007-ben figyelték meg. Észlelésük mellett különösen nagy kihívást jelent meghatározni forrásuk helyzetét. Három 2020-ban megjelent *Nature*-cikk (*Nature 587,* 54–58; *Nature 587,* 59–62; *Nature 587,* 63–65) számol be egy, a mi galaxisunkban elhelyezkedő forrásból származó FRB-ről. Ezen FRB egyik érdekessége, hogy röntgensugárzás kísérte. A felfedezést több űrbeli és földi teleszkóp megfigyelésének összesítése alapján tették. Ez az FRB az első, amelynek forrása a Tejútrendszerben található, az első, amelyet röntgensugárzás kísért és az első, amelynek forrása egy magnetár volt (a magnetárok rendkívül erős mágneses térrel rendelkező neutroncsillagok). A megfigyelés bizonyítja, hogy a magnetárok FRB-források lehetnek.

Lendvai János
főszerkesztő

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Mathematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Mathematikai és Physikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata. Támogatók: a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya, az Emberi Erőforrások Minisztériuma, a Magyar Biofizikai Társaság, a Magyar Nukleáris Társaság és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

A folyóirat e-mailcíme:
szerkesztok@fizikaiszemle.hu
A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A beküldött tudományos, ismeretterjesztő és fizikatanítási cikkek a Szerkesztőbizottság, illetve az általa felkért, a témában elismert szakértő jóváhagyó véleménye után jelenhetnek meg.

A folyóirat honlapja:
http://www.fizikaiszemle.hu

A címlapon:
Telihold előtt elhúzó kétfedeles repülőgép (Egri Ádám fotója, 2014. július 12., 21:08, Körmend, NIKON D3200, 300 mm, ISO: 800, 1/160 s, f: 5.6), az írást lásd a 412–418. oldalakon.

TARTALOM

VERSENYFELADATOK AZ EÖTVÖS-INGA BŰVÖLETÉBEN – 2. rész

Radnai Gyula
ELTE, Anyagtudományi Tanszék
Cserti József
ELTE, Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

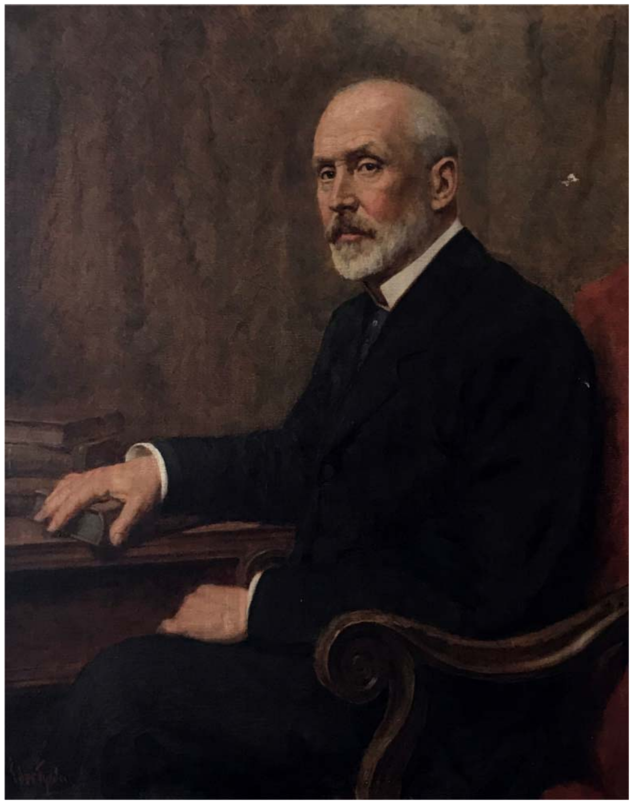
Eötvös Lorándra emlékezve

„Közöttünk már csak emléke él tovább, nem mint szellemóriásé, akit csak bámulni tudnánk, hanem mint úttörő munkásé, akit követhetünk" – szólt a tudósok nevében *Eötvös Loránd* a csaknem száz évet élt *Jedlik Ányosra* emlékezve az Akadémián [18].

Eötvös Loránd (*15. ábra*) halálának centenáriumán *Lovász László,* az Akadémia akkori elnöke így emlékezett Eötvösre: „Nevét viseli a folyadékok felületi feszültségének hőmérsékletfüggését leíró Eötvös-törvény, a Föld tengely körüli forgása következtében a keleti és nyugati irányban mozgó testek súlykülönbségét megmagyarázó Eötvös-hatás. Mindezek alapja és betetőzése, hogy kísérleti fizikusként megalkotta a súlyos és a tehetetlen tömeg arányosságának kimutatására alkalmas Eötvös-féle torziós ingát. … Eötvös elismertségét és a magyar tudományosság külföldi elfogadottságát is mutatta, hogy a Párizsi Világkiállításon bemutatták a torziós ingát, amely nagydíjat nyert." [19].

Az immár 70 éve Eötvös nevét viselő egyetem rektora, *Borhy László* pedig így nyilatkozott: „Eötvös Loránd igazán sokoldalú tehetség volt, olyan ember, aki saját ügyével mindig igyekezett másokat is szolgálni. Egyszerre volt a tanítás iránt elkötelezett tudós, kutató és oktató, aki miniszterként népe felemelésén, míg a Magyar Tudományos Akadémia elnökeként a tudomány és műveltség megbecsültségéért munkálkodott." [19].

Az UNESCO-val együttműködésben a világ tudományos közössége 2019-ben emlékezett meg Eötvös halálának 100. évfordulójáról. E centenáriumi évben, a tudományos rendezvények és kiállítások sorozatának részeként a *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok,* valamint az Ortvay-verseny feladataiban is felidéztük Eötvös emlékét. A cél az volt, hogy néhány olyan problémát tűzzünk ki, amelyek a tudós máig is aktuális, mind elméleti, mind alkalmazás szempontjából nemzetközileg is meghatározó munkásságához kapcsolódnak.



15. ábra. Eötvös Loránd. Éder Gyula (1875–1945) 1941-ben készült festménye az ELTE Elmélet Fizikai Tanszékén látható. A kép alapja Székely Aladár (1870–1940) fotóművész 1912-ben készült portréja.

Idézzük fel először a *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* (*KöMaL*) azután a tavaly éppen ötven éves jubileumát is ünneplő Ortvay-verseny ide illő feladatait!

Fizikai versenyfeladatok a *KöMaL*-ban

Bármilyen hihetetlen, de Eötvös Loránd kultuszminisztersége idején, 1895 januárjában csupán fizikafeladatokat tűzött ki *Arany Dániel* az előző évben meg-

---

Köszönjük *Dávid Gyulának* a jubileumi Ortvay-verseny 2. feladat megoldásával kapcsolatos észrevételeit és az Ortvay-versenyről írt gondolatait.

Radnai Gyula ny. egyetemi docens, kandidátus, matematika-fizika tanári szakon végzett 1962-ben. Az ELTE Kísérleti Fizika tanszékén kapcsolódott be a tanárképzésbe. A hazai fizika kultúrtörténetének kutatója a ’70-es évektől, amelyet a *Physics in Budapest* című könyv, a *Fizikai Szemlében* és a *Természet Világában* megjelent számos publikációja fémjelez. 1973-tól volt az Eötvös-versenybizottság tagja, *Vermes Miklóst* követően, 1988-tól 2013-ig vezetője. 1989-től vezeti a *KöMaL* fizikai szerkesztőbizottságát.

Cserti József 1982-ben végezett az ELTE fizikus szakán, majd az ELTE korábbi Szilárdtestfizika Tanszékén kezdte oktatói munkáját. 2004-ben habilitált, 2010 óta az MTA doktora, 2013-tól az ELTE Komplex Rendszerek Fizikája tanszéken professzor. Kutatási területe a nanofizikai rendszerek, normál-szupravezető rendszerek, spintronika, grafén és a topologikus szigetelők. 2005 óta szervezi az ELTE-n az Atomoktól a csillagokig előadás-sorozatot középiskolásoknak.

indított *Középiskolai Mathematikai Lapokban*. Azután 1896-ban átadta a szerkesztést *Rátz Lászlónak,* s a fizika fokozatosan háttérbe szorult. Csak 1925-ben, amikor *Faragó Andor* vette kézbe az újság kiadását és szerkesztését, került vissza a fizika a most már új néven megindított *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapokba*.

A háborús években, nemcsak az első, de a második világháború idején se jelent meg az újság. 1945 után 1947-ben Szegeden indult újra útjára, a matematikus *Surányi János* aktív közreműködésével. *Kunfalvi Rezsőnek* köszönhető, hogy 1959 őszétől már „Fizika rovattal bővítve” jelent meg, és megindult benne a fizikai versenyfeladatokkal folyó pontverseny is. A havonta megjelenő folyóiratban kitűzött feladatok megoldásán ma is egy hónapig törhetik fejüket a diákok – jó felkészülés ez az országos versenyekre és az egyetemi felvételikre. Az Eötvös-verseny nyertesei például rendszeresen a *KöMaL* versenyfeladatainak sikeres megoldói közül kerülnek ki.

A *Középiskolai Matematikai Lapokat* az 1980-as években kezdték *KöMaL*-nak hívni, ez maradt a rövidítése az után is, hogy 1992-től ismét *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* lett a neve és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat kiadásában két társulat közös lapjaként, a Minisztérium és további alapítványok pályázatai, cégek szponzorálása segítségével jelent meg 2006-ig. 2007 óta a *KöMaL* anyagi támogatása érdekében létrejött közhasznú MATFUND Középiskolai Matematikai és Fizikai Alapítvány a lap kiadója [20].

A *KöMaL* versenyfeladatai az illetékes szerkesztőbizottság tagjainak közös döntése alapján kerülnek kitűzésre. A 2019-es Eötvös-centenáriumhoz kapcsolódóan két torziós ingás feladat is kiválasztásra került. Az egyik a 2019/2020-as tanév elején, novemberben, a másik, amelynek megoldásához már ötletet adhatott az előző feladat megoldásának megjelenése, a tanév végén, májusban jelent meg.

Lássuk ezt a két feladatot. Az elsőben ugyanúgy a torziós ingára távolból ható test gravitációs erőhatását kell vizsgálni, mint az 1998-as Eötvös-verseny feladatában, de most azt kell kideríteni, hogy miként áll a torziós inga rúdja, amikor a legnagyobb forgatónyomaték hat rá. A második is hasonlít az említett Eötvös-verseny feladatára, de most nem egy távoli, hanem két közeli test hatására módosulnak a lengésidők, amelyek itt nem adottak, hanem – két speciális esetben – éppen ezeket kell meghatározni.

Álló ingás *KöMaL*-feladat

(2019. november)

Egy Eötvös-inga $2r$ = 40 cm-es rúdjának végeire egy-egy m = 30 g tömegű, kicsiny testet erősítünk. A rendkívül könnyű rúd egy hajszálvékony fémszálon függ, vízszintes helyzetben. Közepétől mérve R = 3 m távolságban, vele azonos magasságban egy m^* = 100 kg tömegű ólomgolyót helyeztek el.

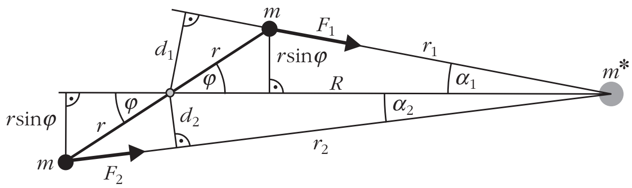
a) Mekkora forgatónyomatékot gyakorol az ólomgolyó az ingára, amikor a golyót és az ingarúd közepét összekötő egyenes φ szöget zár be a rúd irányával?

b) Ábrázoljuk a forgatónyomatékot φ függvényében! Mekkora szögnél lesz maximális a forgatónyomaték?

(*Cserti József*)

Megoldás

A hivatalos megoldás a *KöMaL*-ban jelent meg [21]. Tekintsük *16. ábrán* látható helyzetet, és alkalmazzuk az ábra jelöléseit!



16. ábra. A rúd két végén lévő m tömegű testre ható erők.

Az m tömegű, kicsiny testek és az m^* tömegű ólomgolyó között ható erők nagysága:

$$F_1 = \frac{\gamma\, m\, m^*}{r_1^2} = \frac{\gamma\, m\, m^*}{R^2 - 2\, r\, R \cos\varphi + r^2},$$

illetve

$$F_2 = \frac{\gamma\, m\, m^*}{r_2^2} = \frac{\gamma\, m\, m^*}{R^2 + 2\, r\, R \cos\varphi + r^2}.$$

Ezek az erők (a rúd középpontjára vonatkoztatott) forgatónyomatékot fejtenek ki a rúdra:

$$\begin{aligned} M(\varphi) &= -F_1\, d_1 + F_2\, d_2 = \\ &= \gamma\, m\, m^*\, r R \sin\varphi \left(\frac{1}{r_2^3} - \frac{1}{r_1^3} \right) = \\ &= \gamma\, m\, m^*\, r R \sin\varphi \Big[\left(R^2 + 2\, r R \cos\varphi + r^2\right)^{-\frac{3}{2}} - \\ &\qquad - \left(R^2 - 2\, r R \cos\varphi + r^2\right)^{-\frac{3}{2}} \Big], \end{aligned}$$

ahol

$$d_1 = R \sin\alpha_1 = \frac{R\, r}{r_1} \sin\varphi \quad \text{és} \quad d_2 = R \sin\alpha_2 = \frac{R\, r}{r_2} \sin\varphi$$

az ábra alapján számolt erőkarok. A forgatónyomaték vektora az ábra síkjára merőleges és abból kifelé mutat.

Ez a kifejezés, mivel $r_1 \neq r_2$, általában nem nulla, de ha $\varphi \approx 0$ vagy $\varphi \approx 90°$, akkor a forgatónyomaték nagyon kicsi, határesetben nulla lesz. Az első esetben d_1 és d_2 válik kicsivé, emiatt tűnik el a forgatónyomaték, a második esetben pedig $r_1 \approx r_2$, és így $F_1 \approx F_2$, ekkor a két kis testre ható, csaknem azonos nagyságú, de ellentétes irányú forgatónyomaték kiegyensúlyozza egymást.

Az $M(\varphi)$ függvény a megadott számértékek behelyettesítése után (például a Wolfram Alpha használatával [22]) ábrázolható, és maximumhelye is megtalálható. Van azonban egy másik út is. Vegyük észre, hogy r egy nagyságrenddel kisebb, mint R, hiszen

$$\frac{r}{R} \equiv \varepsilon = \frac{20\ \text{cm}}{3\ \text{m}} = 0{,}067 \ll 1,$$

emiatt nem tévedhetünk sokat, ha ε magasabb hatványait elhanyagoljuk ε legkisebb kitevőjű (de nem nulla együtthatójú) tagja mellett. Az előző feladatban használt, jól ismert $(1+\varepsilon)^n \approx 1+n\varepsilon$ közelítő formulát alkalmazva az eredő forgatónyomatékra kapjuk:

$$M(\varphi) = -\gamma\, m\, m^* \frac{6\, r^2}{R^3} \sin\varphi \cos\varphi =$$

$$= -\gamma\, m\, m^* \frac{3\, r^2}{R^3} \sin(2\varphi).$$

A negatív előjel azt fejezi ki, hogy a forgatónyomaték a kitéréssel ellentétes irányú. A $\varphi = 0$ és a $\varphi = 180°$-os helyzet stabil, míg $\varphi = 90°$-os helyzet labilis egyensúlynak felel meg.

A forgatónyomaték abszolút értéke $\varphi = \pm 45°$-nál a legnagyobb, és értéke

$$|M|_{\text{max}} = \gamma\, m\, m^* \frac{3\, r^2}{R^3} = 9 \cdot 10^{-13}\ \text{N m}.$$

Ha a legnagyobb forgatónyomatékot numerikusan, a fenti közelítés alkalmazása nélkül határozzuk meg, a maximum helyére 44,9°-ot kapunk, és $M(\varphi)$ grafikusan ábrázolt képe gyakorlatilag megegyezik a $\sin(2\varphi)$ állandószorosának képével.

Megjegyzések

1. A feladat motivációját a *Dicke* által vezetett kísérleti csoport nevezetes cikkükben [23] olvasható állítás adta, miszerint az Eötvös-inga mellett ülő ember inga rúdjának végén lévő kis tömegekre ható forgatónyomatéka, a fenti megoldással összhangban, 45°-nál a legnagyobb. A cikkben megmutatták azt is – ami első hangzásra meglepőnek tűnik –, hogy például egy 100 kg tömegű embernek legalább 30 m távolságban kell lennie az ingától, hogy az általa kifejtett forgatónyomaték hatása kisebb legyen Eötvös ekvivalenciaelvvel kapcsolatos méréseinek pontosságánál, azaz a súlyos és tehetetlen tömeg arányának 1-től való 10^{-11}-nyi eltérésénél.

2. Ha az Eötvös által használt torziós inga direkciós nyomatékára (egységnyi szögkitéréshez tartozó visszatérítő forgatónyomatékra) nagyságrendileg $D_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ Nm értéket veszünk, akkor a 30 méter távolságra lévő 100 kg-os ember által az ingára kifejtett gravitációs forgatónyomaték hatására az inga rúdja 3,7 szögmásodpercet fordulna el.

Lengő ingás *KöMaL*-feladat

(2020. május)

Egy vékony, elhanyagolható tömegű, 21 cm hosszú, merev rúd végein egy-egy azonos tömegű, pontszerűnek tekinthető, kicsiny test van. Ezt a rudat a közepénél fogva felfüggesztjük egy olyan vékony, rugalmas szálra, hogy az így kapott torziós inga kis kitérések esetén mérhető lengésideje viszonylag nagy, 600 másodperc legyen. Ezután az ingát belógatjuk két, egyenként 600 kg tömegű, nagy ólomgolyó közé, középre. Az ólomgolyók középpontjai egymástól 70 cm-re vannak. Mennyi lesz az inga lengésideje kis kitérések esetén, ha az ingarúd kezdetben a) a két golyó középpontját összekötő vízszintes szakaszon van; b) az előbbi esetre merőleges helyzetű?

Megjegyzés: hasonló módon határozta meg Eötvös Loránd a gravitációs állandót két, mintegy 600 kg tömegű ólomhasáb és egy hasonlóan nagy lengésidejű torziós inga segítségével. A feladatban a gravitációs állandó ismert értékének felhasználásával kell a kétféle lengésidőt kiszámítani. (Lásd még a P. 5166. feladat megoldását a *KöMaL* 2020. évi márciusi számában [21].)

(*Radnai Gyula*)

Megoldás

A hivatalos megoldás a *KöMaL*-ban jelent meg [24].

Jelöljük a rúd hosszát $2r$-rel, az ólomgolyók középpontjainak távolságát $2R$-rel, az ólomgolyók tömegét m^*-gal, a rúd végén lévő egy-egy kicsiny test tömegét m-mel, a torziós szál direkciós nyomatékát (egységnyi szögkitéréshez tartozó visszatérítő forgatónyomatékot) pedig D_0-val. Az inga lengésideje eredetileg T_0. A feladat adatai szerint: $r = 0{,}105$ m, $R = 0{,}35$ m, $m^* = 600$ kg, $T_0 = 600$ s. (Az m tömeg nagyságát nem ismerjük, de mint látni fogjuk, arra nem is lesz szükségünk, mert kiesik a képletekből.)

A torziós inga lengésideje

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\Theta}{D_0}} = 2\pi \sqrt{\frac{2\, m\, r^2}{D_0}}\,,$$

ahol $\Theta = 2\,m r^2$ a rúd végén lévő m tömegű testek tehetetlenségi nyomatéka. Ha valamilyen ok, például a gravitációs vonzóerők hatása miatt a direkciós nyomaték megváltozik, akkor ennek megfelelően a lengésidő is más lesz. Feladatunk tehát a gravitációs erők $M(\varphi)$ forgatónyomatékának meghatározása az egyensúlyi helyzettől mért (nagyon kicsiny) φ szögkitérésnél. Amennyiben

$$M_{\text{grav}}(\varphi) \approx -D_{\text{grav}} \cdot \varphi,$$

vagyis a gravitáció hatása úgy jelentkezik, mintha egy D_{grav} direkciós nyomatékú „torziós szál” segítené (vagy rontaná) a rugalmas szál visszahúzó hatását, ekkor a lengésidő

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{2\,m\,r^2}{D_0 + D_{\mathrm{grav}}}}$$

értékre változna.

Legyen kezdetben az ingarúd az ólomgolyók középpontjait összekötő vízszintes egyenesen, majd térítsük ki egy kicsiny φ szöggel. A rúdra ható eredő forgatónyomaték (lásd az előző két feladat, illetve a P. 5166. feladat megoldását [21]):

$$M(\varphi) =$$

$$-2\gamma\, m\, m^*\, r R \sin\varphi \left[\left(R^2 + 2\, r R\cos\varphi + r^2\right)^{-\frac{3}{2}} - \right. \tag{3}$$

$$\left. - \left(R^2 - 2\, r R\cos\varphi + r^2\right)^{-\frac{3}{2}}\right].$$

A képlet eleji kettes faktor a két ólomgolyót veszi figyelembe. A negatív előjel azt fejezi ki, hogy a forgatónyomaték visszatérítő, vagyis a kitérés szögével ellentétes előjelű. A továbbiakban kiszámoljuk a D_{grav} direkciós nyomatékot, ha az ingarúd kezdetben a) a két golyó középpontját összekötő vízszintes szakaszon van, b) az előbbi esetre merőleges helyzetű.

a) Kis szögeknél $\sin\varphi \approx \varphi$ és $\cos\varphi \approx 1$, ezért a forgatónyomaték közelítő alakja így írható:

$$M(\varphi) \approx -D_{\mathrm{grav}}^{(a)} \cdot \varphi,$$

ahol

$$D_{\mathrm{grav}}^{(a)} = 2\gamma\, m\, m^*\, r R\left[\frac{1}{(R-r)^3} - \frac{1}{(R+r)^3}\right] > 0.$$

b) A merőleges helyzethez közeli helyzetekben a forgatónyomatékot úgy kaphatjuk meg a (3) általános összefüggésből, hogy φ-t $\pi/2+x$ alakban írjuk fel, ahol x az inga merőleges egyensúlyi helyzetéből való kitérési szöge, $x \ll 1$. Ekkor $\sin x \approx x$ és $\cos x \approx 1$, és így írhatjuk:

$$M(x) = 2\gamma\, m\, m^*\, r R\left[\left(R^2 + r^2 - 2\, R\, r\, x\right)^{-\frac{3}{2}} - \right.$$

$$\left. - \left(R^2 + r^2 + 2\, R\, r\, x\right)^{-\frac{3}{2}}\right].$$

A fenti kifejezés szögletes zárójele két tagjából kiemelve R^2+r^2-t, és ismét felhasználva az $(1+x)^n \approx 1+nx$ közelítő formulát, kapjuk

$$M(x) \approx -D_{\mathrm{grav}}^{(b)} \cdot x,$$

ahol

$$D_{\mathrm{grav}}^{(b)} = -12\gamma\, m\, m^*\,\frac{R^2\, r^2}{(R^2 + r^2)^{5/2}} < 0.$$

Mivel $D_{\mathrm{grav}}^{(b)} < 0$, a gravitációs erők a kitéréssel megegyező irányban akarják forgatni a torziós ingát, a rúd merőleges állású helyzete tehát a rugalmas szál nélkül instabil lenne.

Ezután felhasználva T_0 alakját, és a $D_{\mathrm{grav}}^{(a)}$, valamint a $D_{\mathrm{grav}}^{(b)}$ direkciós nyomatékokat beírva a lengési idő fenti képletébe a két esetnek megfelelő torziós lengés periódusideje:

$$T^{(a)} = 580\ \mathrm{s} \quad \text{és} \quad T^{(b)} = 613\ \mathrm{s}.$$

Látható, hogy m nagyságára valóban nem volt szükségünk.

Megjegyzések

1. Mint már a feladat kitűzésében is szerepelt, hasonló módon határozta meg Eötvös Loránd a gravitációs állandót, két, mintegy 600 kg tömegű ólomhasáb és egy hasonlóan nagy lengésidejű torziós inga segítségével. Tervezte a mérés még pontosabbá tételét is, amikor a kísérletet „a megbízhatatlan ólomhasábok helyett valóban homogén higannyal” és légüres térben végezné el, erre azonban már nem került sor.

2. A D_{grav} direkciós nyomatékot úgy is megkaphatjuk, mint az $M(\varphi)$ függvény deriváltjának (-1)-szerese, mégpedig az a) esetben $\varphi = 0$, a b) esetben pedig $\varphi = \pi/2$ szögnél.

Egyetemi versenyfeladatok az Ortvay-versenyen

Az ELTE TTK Fizikus Diákköre, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat és a Magyar Fizikus Hallgatók Egyesülete által minden évben meghirdetett Ortvay Rudolf fizikai feladatmegoldó verseny 2020-ban ünnepli félszáz éves jubileumát: tavaly ősszel zajlott le az ötvenedik verseny.

A kezdetben „A Fizikus Diákkör problémamegoldó versenye” néven futó rendezvényt 1970-ben indította útjára az ELTE TTK két fiatal oktatója, *Major János* és *Tichy Géza*.

Az Ortvay-versenyen minden – hazai és külföldi – egyetemi hallgató indulhat. A doktoranduszok külön kategóriát alkotnak. A feladatok megoldására 10 nap áll rendelkezésre. Egy versenyző maximálisan 10 feladat megoldását adhatja be. Minden feladat megoldása maximálisan 100 pontot ér. A feladatok megoldásához bármilyen segédeszköz használható. Könyvre, folyóiratcikkre hivatkozni lehet.

Az Ortvay-versenyen kitűzött feladatok nem az iskolás jellegű feladatmegoldó rutint, hanem a fizikai gondolkodás, problémafelismerés, a megfelelő matematikai eszközök megválasztásának képességeit mozgósítják. A feladatok önálló szellemi termékek, kitűzőik különböző egyetemeken és kutatóintézetekben dolgozó fizikusok, jelentős részük maga is hajdani versenyző. Az utóbbi időben örvendetes módon egyre több egyetemi hallgató is rászánta magát, hogy tömör és frappáns feladatot fogalmazzon társainak, emellett vállalja a beérkezett megoldások elbírálásának felelősségét is.

A megoldások értékelése évfolyamonként történik, így már az alsóbb éves hallgatók is komoly sikerélményhez és értékes díjakhoz juthatnak. Egyre gyakrabban fordul elő, hogy 11–12. évfolyamos középiskolások is részt vesznek az elsőévesek versenyében, többször igen jó helyezést elérve.

Az Ortvay-verseny 1998 óta nemzetközi, a feladatokat angol nyelven is kitűzzük. Ma már a világ számos országából érkeznek megoldások, az utóbbi években a résztvevők mintegy fele külföldi.

A verseny lebonyolítása egy ideje teljesen elektronikusan történik. Az eddigi ötven év összes feladata elérhető a verseny https://ortvay.elte.hu weblapján, az utóbbi 22 év feladatai angolul is.

Egyes feladatok megoldatlan, nyitott tudományos kérdésekhez vezetik el a versenyzőket, az ilyen problémákban való elmélyedés későbbi tudományos témaválasztásukra is ösztönzően hathat. Az eredményhirdetést követő részletes diszkussziók során egyes nehezebb feladatok tanulságos, olykor tudományos igényű vitákat indukálnak.

A verseny az évek folyamán komoly rangot vívott ki, szakdolgozati témák, doktori és külföldi ösztöndíjak odaítélésekor fontos szempont az Ortvay-versenyen elért helyezés vagy dicséret. Az Ortvay-verseny hajdani résztvevői és díjazottai között ma már számos nemzetközi rangú kutatót találunk.

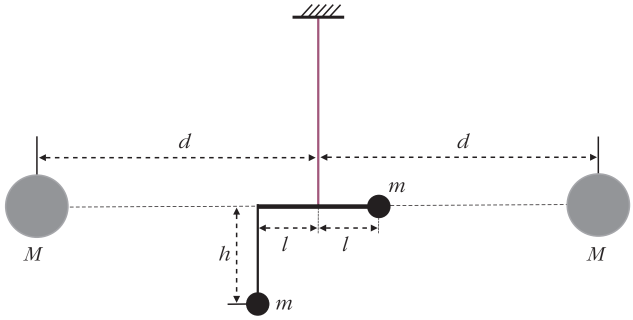
A több évtizede futó Ortvay-verseny mintájára és részben annak feladatait felhasználva az ELTE Fizikai Intézete 2016 óta rendszeresen meghirdeti fizikatanár szakos hallgatók számára a Károlyházy Frigyes problémamegoldó versenyt. Ennek célja a hallgatók felkészítése a tanári szerepre, tudományos látókörük bővítése és tapasztalatok szerzése majdani munkájukhoz.

A jubileumi, 50. Ortvay-verseny 1. feladata

(2019. október 25. – november 4.)

A *17. ábrán* látható két M tömegű, egymástól $2d$ távolságra lévő test között középen elhelyezett Eötvös-inga az egyensúlyi helyzete körül kis amplitúdójú torziós rezgéseket végez. Az Eötvös-ingában a vízszintes, $2l$ hosszúságú rúd két végéhez egy-egy m tömegű test van rögzítve, amelyek közül az egyik test h hosszúságú fonalon lóg. A rúd középen a két M tömegű testet összekötő egyenesre merőleges irányba

17. ábra. Az Eötvös-inga két M tömegű test között.



mutató vékony, D_0 direkciós nyomatékú (csavarási nyomatékú) torziós szálhoz van erősítve (az eredeti kitűzésben D). Határozzuk meg az inga torziós rezgésének (az m tömegek torziós szálirányú tengely körüli elfordulásának) periódusidejét! Függ-e a periódusidő h-tól? Tegyük fel, hogy l, $h \ll d$ és $m \ll M$! [25]

(Cserti József)

Megoldás

Az eddig bemutatott számolásokban közvetlenül a forgatónyomatékot határoztuk meg, figyelembe véve a testre ható erők nagyságát és irányát. Ezért a levezetés során gondosan számításba kellett venni az elrendezés geometriáját. A következőkben egy olyan módszert mutatunk be, amelyben nem a testre ható erőkkel, hanem a testek gravitációs potenciális energiáinak összegéből határozzuk meg az ingára ható forgatónyomatékot (a forgatónyomaték-vektor szálirányú komponensének előjeles nagyságát).

Az m tömegű, pontszerű testre a $V(\boldsymbol{r})$ gravitációs potenciálban ható

$$\boldsymbol{F} = -m\,\frac{\mathrm{d}V(\boldsymbol{r})}{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}$$

erő által kifejtett forgatónyomaték

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{r}\times\boldsymbol{F},$$

ahol $\boldsymbol{r}$ egy rögzített középponttól az erő támadáspontjába mutató vektor. Tegyük fel, hogy a pontszerű test $\mathrm{d}\varphi$ infinitezimális szöget fordul el a rögzített ponton átmenő és az $\boldsymbol{n}$ egységvektor irányában mutató tengely körül! Ez lehet például az inga fonalának iránya. Ekkor a test elmozdulása

$$\mathrm{d}\boldsymbol{r} = (\boldsymbol{n}\times\boldsymbol{r})\,\mathrm{d}\varphi.$$

Legyen a forgatónyomaték $\boldsymbol{n}$ egységvektor irányú komponense M_n nagyságú! A fentiek szerint

$$M_n = \boldsymbol{n}\,(\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{F}) = \boldsymbol{F}\,(\boldsymbol{n}\times\boldsymbol{r}) = \boldsymbol{F}\,\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}\varphi}.$$

Felhasználva az erő potenciállal kifejezett alakját és a deriválásra érvényes láncszabályt, az alábbi összefüggést kapjuk a forgatónyomaték-vektor $\boldsymbol{n}$ irányú komponensére:

$$M_n(\boldsymbol{r}) = \boldsymbol{n}\,\boldsymbol{M} = -m\,\frac{\mathrm{d}V(\boldsymbol{r})}{\mathrm{d}\varphi}. \qquad (4)$$

A továbbiakban ezt az általános képletet használjuk a forgatónyomaték kiszámítására. Itt jegyezzük meg, hogy az előző feladatokban ugyanazt az eredményt kapnánk, ha a megfelelő potenciál deriváltjából számolnánk a forgatónyomatékot.

Legyen a Descartes-féle koordináta-rendszer középpontja az a pont, ahol az inga rúdja annak fonalához van rögzítve. A koordináta-rendszer z tengelye az inga fonalának irányában függőlegesen felfelé, az x tengelye a két M tömegű testet összekötő egyenes mentén „jobbra” mutat, míg az y tengely ezekre merőleges, jobbsodrású rendszert alkotva!

Ekkor az ábra szerint a jobb és bal oldali M tömegű testek helyvektorai:

$$\boldsymbol{R}_1 = (d, 0, 0) \text{ és } \boldsymbol{R}_2 = (-d, 0, 0).$$

Ha az inga rúdja az x-y síkban φ szöget zár be az x tengellyel, akkor az inga rúdján lévő jobb és bal oldali m tömegű testek helyvektorai:

$$\boldsymbol{r}_1 = (l\cos\varphi,\ l\sin\varphi,\ 0)$$

és

$$\boldsymbol{r}_2 = (-l\cos\varphi,\ -l\sin\varphi,\ -h).$$

Az egyik m tömegű kis test által a másik m tömeg helyén létrehozott gravitációs potenciált a számolás során figyelmen kívül hagyhatjuk, hiszen a kis testek távolságának állandó volta miatt ez a potenciálérték nem változik az inga elfordulásakor. Ekkor az $\boldsymbol{R}_1$ és $\boldsymbol{R}_2$ pontban lévő M tömegek által létrehozott gravitációs potenciál az $\boldsymbol{r}_1$ és az $\boldsymbol{r}_2$ pontokban:

$$V_1(\boldsymbol{r}_1) = -\gamma\left[\frac{M}{|\boldsymbol{r}_1-\boldsymbol{R}_1|}+\frac{M}{|\boldsymbol{r}_1-\boldsymbol{R}_2|}\right]$$

és (5)

$$V_2(\boldsymbol{r}_2) = -\gamma\left[\frac{M}{|\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{R}_1|}+\frac{M}{|\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{R}_2|}\right].$$

Az $\boldsymbol{n}$ egységvektort z irányban véve, a rúdra ható forgatónyomaték a két m tömegű test potenciális energiájának φ szerinti deriváltjából számítható ki. Algebrai átalakítások után kapjuk:

$$\begin{aligned} M_z &= -m\frac{\partial(V_1+V_2)}{\partial\varphi} = \\ &= -\gamma\, m M d\, l \sin\varphi\left[\frac{1}{\left(d^2+l^2-2\,d\,l\cos\varphi\right)^{\frac{3}{2}}}-\right. \\ &\quad -\frac{1}{\left(d^2+l^2+2\,d\,l\cos\varphi\right)^{\frac{3}{2}}}- \qquad (6) \\ &\quad -\frac{1}{\left(d^2+l^2+h^2+2\,d\,l\cos\varphi\right)^{\frac{3}{2}}}+ \\ &\quad \left.+\frac{1}{\left(d^2+l^2+h^2-2\,d\,l\cos\varphi\right)^{\frac{3}{2}}}\right]. \end{aligned}$$

Ha nem lenne a gravitációs forgatónyomaték, akkor a torziós inga lengési körfrekvenciája

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{D_0}{\Theta}}$$

lenne, ahol $\Theta = 2\,m\,l^2$ az inga tehetetlenségi nyomatéka és D_0 – az előzőeknek megfelelően – a torziós szál direkciós nyomatékát (egységnyi szögkitéréshez tartozó visszatérítő forgatónyomatékot) jelöli. A gravitációs erők hatását úgy vehetjük figyelembe, hogy a (6) egyenletben adott visszatérítő forgatónyomatékot kis φ szögekre sorba fejtjük (kis szögeknél $\sin\varphi \approx \varphi$ és $\cos\varphi \approx 1$):

$$M_z \approx -D_{\text{grav}}\cdot\varphi,$$

ahol

$$\begin{aligned} D_{\text{grav}} = \gamma\, m M d\, l &\left[\frac{1}{(d-l)^3}-\frac{1}{(d+l)^3}+\right. \\ &+\frac{1}{\left[(d-l)^2+h^2\right]^{3/2}}- \qquad (7) \\ &\left.-\frac{1}{\left[(d+l)^2+h^2\right]^{3/2}}\right]. \end{aligned}$$

Itt jegyezzük meg, hogy ugyanezt az eredményt kapjuk, ha az $m(V_1+V_2)$ gravitációs energiát $\varphi = 0$ körül másodrendig sorba fejtjük, és összehasonlítva az

$$\frac{1}{2}D_{\text{grav}}\cdot\varphi^2$$

alakkal, leolvassuk a D_{grav} direkciós nyomatékot.

Így a torziós szál és a gravitáció együttes hatásaként a direkciós nyomaték $D = D_0 + D_{\text{grav}}$ és a lengési körfrekvencia:

$$\omega = \sqrt{\frac{D}{\Theta}} = \sqrt{\omega_0^2+\frac{D_{\text{grav}}}{\Theta}}. \qquad (8)$$

Felhasználva, hogy $h,\ l \ll d$, a D_{grav} direkciós nyomatékot kis h-ra és l-re másodrendig sorba fejtve kapjuk (például Wolfram Alphát használva [22]):

$$\omega \approx \sqrt{\omega_0^2+\frac{6\,\gamma M}{d^3}\left(1+\frac{10\,l^2}{3\,d^2}-\frac{5\,h^2}{4\,d^2}\right)}. \qquad (9)$$

Ezt érdemes összevetni az Eötvös és munkatársai által kapott eredménnyel, amely az 1906-ban kiírt Beneke-pályázatra beadott [26] tanulmányban szerepel. Eötvös a forgatónyomaték ezen képletét használta a gravitációs erőtér helyfüggésének kiértékeléséhez. Felhasználva az egyetemi oktatásban jól ismert modern matematikai formalizmust, [27] nyomán a jelen cikk jelöléseivel írhatjuk:

$$\begin{aligned} -M_z = &\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}-\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)\Theta\frac{\sin 2\varphi}{2}+\frac{\partial^2 U}{\partial x\,\partial y}\Theta\cos 2\varphi + \qquad (10) \\ &+\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y\,\partial z}\cos\varphi-\frac{\partial^2 U}{\partial x\,\partial z}\sin\varphi\right) m\,h\,l. \end{aligned}$$

Itt az $U(\boldsymbol{r})$ gravitációs potenciál deriváltjait az inga tömegközéppontjában kell kiértékelni. Jelen esetben a két M tömegű test által létrehozott $U(\boldsymbol{r})$ gravitációs potenciál az $\boldsymbol{r} = (x, y, z)$ pontban:

$$U(\boldsymbol{r}) = -\gamma M\left[\frac{1}{|\boldsymbol{R}_1-\boldsymbol{r}|}+\frac{1}{|\boldsymbol{R}_2-\boldsymbol{r}|}\right] =$$

$$= -\gamma M\left[\frac{1}{\sqrt{(x-d)^2+y^2+z^2}}+\right. \qquad (11)$$

$$\left. +\frac{1}{\sqrt{(x+d)^2+y^2+z^2}}\right].$$

Kiszámolhatjuk az $U(\boldsymbol{r})$ potenciál második deriváltjait az inga rúdjának felfüggesztési pontjában, azaz az $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{0}$ pontban:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x_i \partial x_j} = -\frac{2\gamma M}{d^3}\begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}, \qquad (12)$$

ahol $i, j = x, y, z$. Látható, hogy a gravitációs potenciál második vegyes deriváltjai zérusok. Ez a potenciál speciális szimmetriájának a következménye. Innen és a (10) egyenletben az M_z forgatónyomatékot sorba fejtve $\varphi \ll 1$-re, a direkciós nyomatékra a következőt kapjuk:

$$D_{\mathrm{grav}} \approx \frac{6\gamma M}{d^3}\Theta,$$

és így

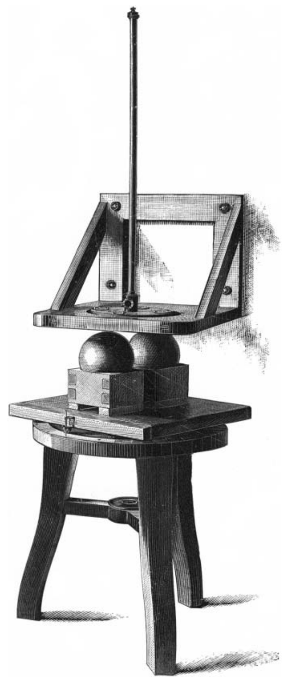
$$\omega \approx \sqrt{\omega_0^2 + \frac{6\gamma M}{d^3}}. \qquad (13)$$

Az Eötvös-ingára ható forgatónyomaték és a frekvencia vezető rendben nem függ h-tól. Ezért az Eötvös-inga frekvenciája véges $h \ll d$ esetén független lesz h-tól. A (9) egyenletben a vezető renden túli tagokat (az l^2/d^2 és h^2/d^2 tagok) az Eötvös-ingával már nem lehet kimutatni.

A jubileumi, 50. Ortvay-verseny 2. feladata

(2019. október 25. – november 4.)

A ma róla elnevezett budapesti tudományegyetemen 1886-ra felépült fizikai (D) épületben a *18. ábrán látható* eszközt tervezte és építtette meg Eötvös Loránd a gravitációs állandó mérésére. Az eredeti Cavendish-féle kísérletet úgy módosította, hogy a torziós szálon függő, könnyű alumíniumrúd végein lévő m tömegű kis testeket nem ezekkel azonos magasságban elhelyezett testek vonzásával térítette el, hanem az alumíniumrúd alatt helyezte el a vízszintes síkban körbe forgatható, M tömegű két nagy golyót, ahogyan ez az ábrán is látható. Jelöljük d-vel a kis testek tömegközéppontjainak egymástól való távolságát, és legyen ugyanennyi a nagy golyók tömegközéppontjainak egymástól mért távolsága is, továbbá jelöljük a kis, valamint a nagy testek tömegközéppontjain átmenő vízszintes síkok távolságát h-val!



18. ábra. Eötvös Loránd eszköze a gravitációs állandó laboratóriumi, hallgatói mérésére.

Határozzuk meg, hogy mekkora szöget zár be ezekkel a vízszintes síkokkal az az egyenes, amely az egyik kis test és a hozzá közelebbi nagy golyó tömegközéppontján halad át akkor, amikor a nagy golyók tömegvonzása a legnagyobb forgatónyomatékot fejti ki a torziós ingára!

Numerikus számítással határozzuk meg, hogy hogyan függ ez a szög a h távolságtól! Becsüljük meg ezt a szöget a $R < h \ll d$ határesetben, ahol R a nagy golyók sugara! [28].

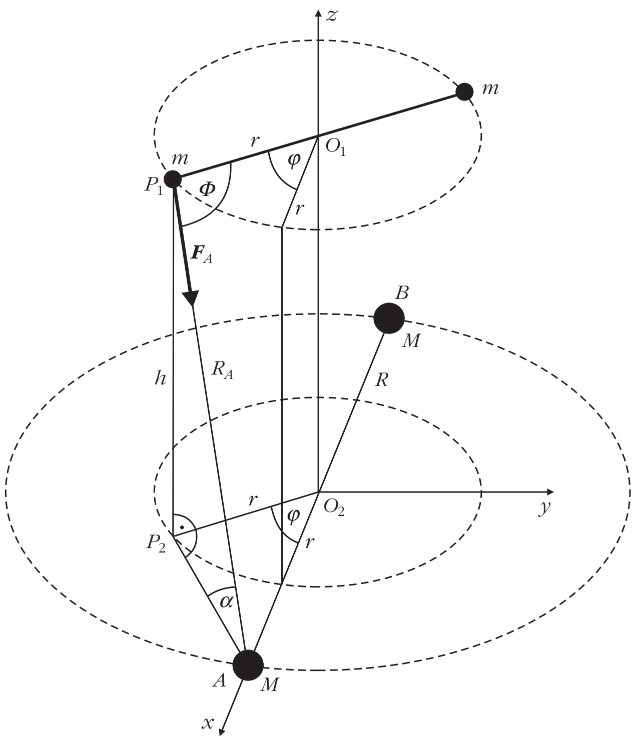
Az ábra forrása Eötvös Loránd 1896-ban, az *Annalen der Physik und Chemie*-ben közölt cikke, melyet *Selényi Pál* is közölt 1953-ban, *Eötvös Loránd összegyűjtött munkái* című művében [2].

(Radnai Gyula és Cserti József)

Megoldás

Mielőtt ismertetnénk a feladat megoldását, érdemes lesz felidéznünk Eötvös Loránd nevezetes, 1896-os publikációját, amelyben erről a kísérletről is beszél, s a feladathoz is mellékelt ábrát közli. Eötvös többek között ezt írja: „A vonzó-tömegek ugyanis a rúd alatt lévő vízszintes lapon abba a helyzetbe hozhatók, a melyben hatásuk a rúdra maximalis lesz. Így lesz az például golyók vonzásának esetében, ha a középpontjaikat a rúd golyóinak középpontjaival összekötő egyenesek a rúdra merőlegesen állván, a vízszintessel közel 55 foknyi szöget képeznek. Ebben a maximumnak megfelelő állásban elég, ha az egymásra ható tömegek viszonyos helyzetének meghatározásánál csak függélyes távolságuk lemérésére fordítunk gondot, ez pedig minden nehézség nélkül eszközölhető." [6].

A feladat egyfajta általánosításaként, kibővítéseként tegyük fel hogy az M tömegű testek távolsága na-



19. ábra. Az inga helyzete a két *M* tömegű golyóhoz viszonyítva.

gyobb vagy egyenlő az inga rúdjának hosszánál, azaz $D = 2R \geq d = 2r$, ahogy ezt a *19. ábra* mutatja! Az *M* tömegű nagy golyók az *x-y* síkban fekvő O_2 középpontú, *R* sugarú körnek az *x* tengely mentén átmenő átmérőjének két végén, az ábrán az *A,* illetve *B* pontban vannak.

Az *m* tömegek az *x-y* síktól *h* magasságban, azzal párhuzamos síkban fekvő O_1 középpontú, *r* sugarú kör mentén mozoghatnak.

Tegyük fel, hogy a két *m* tömeget összekötő inga rúdjának (az *x-y* síkra vetített) függőleges vetülete, az ábrának megfelelően, az *x* tengellyel φ szöget zár be! Ekkor az *M* tömegű testek helyvektora: $\boldsymbol{R}_1 = (\mathrm{R}, 0, 0)$ és $\boldsymbol{R}_2 = -\boldsymbol{R}_1$. Az inga rúdjának két végén lévő *m* tömegű test helyvektora $\boldsymbol{r}_1 = (r\cos\varphi,\ r\sin\varphi,\ h)$ és $\boldsymbol{r}_2 = (-r\cos\varphi,\ -r\sin\varphi,\ h)$.

A feladat szerint a keresett α szög megegyezik az egyik kis test és a hozzá közelebbi nagy golyó tömegközéppontján áthaladó egyenes és a vízszintes sík által bezárt szöggel, azaz az $\boldsymbol{r}_1 - \boldsymbol{R}_1$ vektor, valamint a vízszintes sík által bezárt szöggel. Adott $0 < \varphi < \pi$ elfordulási szög esetén geometriailag belátható, hogy erre az α szögre:

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{h}{\sqrt{R^2 + r^2 - 2\,R\,r\cos\varphi}}. \qquad (14)$$

Az inga két végén lévő pontban a gravitációs potenciálokat ismét az (5) képletből számolhatjuk ki, csak az $\boldsymbol{R}_{1,2}$ és $\boldsymbol{r}_{1,2}$ helyvektorokat kell kicserélni a mostani feladatban adott értékekre. A *z* irányú forgatónyomatékot az előző feladathoz hasonlóan a (4) képletből számolhatjuk ki. Így az inga rúdjának két végén lévő *m* tömegű testekre ható eredő forgatónyomaték:

$$\begin{aligned} M_z(\varphi) &= -m\,\frac{\partial\left(V_1 + V_2\right)}{\partial\varphi} = \\ &= -2\,\gamma\,m\,M\,R\,r\sin\varphi\,\cdot \\ &\cdot\left[\frac{1}{\left(R^2 + r^2 + h^2 - 2\,R\,r\cos\varphi\right)^{\frac{3}{2}}} - \right. \\ &\left. - \frac{1}{\left(R^2 + r^2 + h^2 + 2\,R\,r\cos\varphi\right)^{\frac{3}{2}}}\right], \end{aligned} \qquad (15)$$

ami az egzakt eredmény a forgatónyomatékra. Közelítő megoldásnak azt tekintjük, amikor az *m* tömegre csak a közelebbi *M* tömeg hatását vesszük figyelembe. Ennek megfelelően a fenti egyenlet *első tagja* adja az $M_z^*(\varphi)$ *közelítő* forgatónyomatékot. Ebből a kifejezésből kiindulva az $M_z^*(\varphi)$ függvény φ szerinti deriválással analitikusan is meghatározhatjuk a feladatban kérdezett szöget. Megjegyezzük, hogy ha mind a két *M* tömeg hatását figyelembe vesszük, akkor a maximum helyét csak numerikusan lehet meghatározni. A közelítő $M_z^*(\varphi)$ forgatónyomatékot használva a szélsőérték-probléma $\cos\varphi$-re egy másodfokú egyenletre vezet, amelynek fizikailag lehetséges megoldása:

$$\cos\varphi^* = \frac{\sqrt{12\,D^2\,d^2 + \left(D^2 + d^2 + 4\,h^2\right)^2} - \left(D^2 + d^2 + 4\,h^2\right)}{2\,D\,d}. \qquad (16)$$

Ezt beírva a (14) összefüggésbe, adott *D, d* és *h* paraméterek mellett az α szögre a következőt kapjuk:

$$\mathrm{tg}\alpha^* = \frac{2\,h}{\sqrt{2\,D^2 + 2\,d^2 + 4\,h^2 - \sqrt{12\,D^2\,d^2 + \left(D^2 + d^2 + 4\,h^2\right)^2}}}. \qquad (17)$$

Ahogy az alábbiakban látni fogjuk, különösen érdekes az az eset – amit Eötvös is hangsúlyozott a fenti idézetben –, amikor az inga rúdja merőleges az egyik *m* tömeg és a hozzá közelebbi *M* tömeg középpontjait összekötő egyenesre, azaz ha $\Phi = 90°$. Ebben az esetben a *D, d* és *h* paraméterek már nem függetlenek. Valóban, az ábrából látható, hogy ekkor az AP_2O_2 háromszög derékszögű, és így

$$\cos\varphi = \frac{r}{R} = \frac{d}{D}.$$

Ha ezt az értéket egyenlővé tesszük a (16) egyenletben kapott szélsőértékkel, és megoldjuk a $\cos\varphi^* = d/D$ egyenletet *D*-re, akkor a következő megszorítást kapjuk a *D, d* és *h* paraméterek között:

$$D = \sqrt{d^2 + 2\,h^2}\,.$$

Ha ezt az összefüggést behelyettesítjük a (17) képletbe, akkor az α szögre egy *univerzális* értéket kapunk, *függetlenül d* és *h* értékétől:

$$\alpha^* = \operatorname{arctg}\sqrt{2} = 54{,}7°. \tag{18}$$

Megjegyezzük, hogy a közelítő forgatónyomaték φ szerinti második deriválásával megmutatható, hogy

$$D = \sqrt{d^2 + 2\,h^2}$$

esetén a forgatónyomatéknak valóban maximuma van. A D és d a kísérletben rögzített értékek, h változtatásával lehetett kikeresni a maximális forgatónyomatékhoz tartozó helyzetet. Erre utalhatott Eötvös a fent idézett utolsó mondatában.

Összefoglalva, ha $D = (d^2 + 2h^2)^{1/2}$, akkor a kis testekre ható forgatónyomaték az inga rúdjának annál a φ^* elfordulási szögénél maximális, amelyre $\cos\varphi^* = d/D$. Továbbá ebben a helyzetben d és h értékétől függetlenül az egyik kis test és a hozzá közelebbi nagy golyó tömegközéppontján áthaladó egyenesnek a vízszintes síkkal bezárt szöge $\alpha^* = \operatorname{arctg}\sqrt{2} = 54{,}7°$, és ez az egyenes merőleges az inga rúdjára.

Ez a szög abban az esetben közvetlenül is megkapható, amikor d és D ugyan egyenlők, de olyan nagyok már, hogy a körívek, amelyeken a testek elmozdulhatnak, függőleges síkban levő vízszintes, egymással párhuzamos egyenes szakaszoknak tekinthetők. Csupán a közelebbi M tömeg hatását véve figyelembe, az m tömegre ható és a rúdra merőleges erő a köztük lévő távolság négyzetével fordítottan, tehát a keresett α szög szinuszának négyzetével egyenesen arányos. Forgatónyomatékot viszont csak az erő vízszintes komponense létesít, ezért a forgatónyomaték maximuma annál a szögnél következik be, amelynél a $\sin^2\alpha\cos\alpha$ mennyiség maximális lesz. Ez a szög pedig éppen $\alpha^* = \operatorname{arctg}\sqrt{2} = 54{,}7°$.

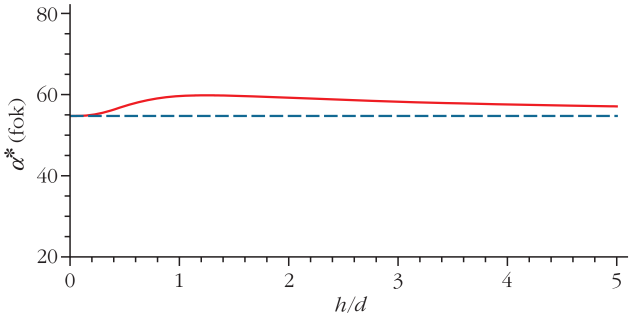
Vizsgáljuk meg, hogy a fenti közelítésben (azaz elhanyagolva a kis testektől távolabbi nagy golyó vonzó hatását) adódó $\alpha^* = \operatorname{arctg}\sqrt{2} = 54{,}7°$ szög mennyire tér el az egzakt (15) forgatónyomatékból kapható értékektől a $K = h/d$ paraméter függvényében $D = (d^2 + 2h^2)^{1/2}$ esetén! Az eredményt a *20. ábra* mutatja. Látható, hogy a legnagyobb eltérés $h/d \approx 1{,}25$-nél van, de ez sem nagyobb 5°-nál.

Végül vizsgáljuk meg azt az esetet, amikor a feladat szerint $D = d$! Ekkor A (16) és a (17) kifejezések az alábbi alakba írhatók:

$$\cos\varphi^* = 2\sqrt{1 + K^2 + K^4} - 1 - 2\,K^2,$$

$$\operatorname{tg}\alpha^* = \sqrt{1 + K^2 + \sqrt{1 + K^2 + K^4}}\ .$$

Látható, hogy $h \to 0$ határesetben (rögzített d mellett $K \to 0$ esetén) $\alpha^* = \operatorname{arctg}\sqrt{2} = 54{,}7°$ határértékhez tart. Természetesen a $h \to 0$ határeset csak matematikailag lehetséges, ugyanis a kis testek és az alattuk lévő nagy gömbök középpontjain átmenő két vízszintes sík nem lehet közelebb a kis test és nagy gömb sugarainak összegénél.



20. ábra. Az α^* szög $K = h/d$ paraméter függvényében, amennyiben $D = (d^2 + 2h^2)^{1/2}$. A folytonos vonal az egzakt, a vízszintes, szaggatott vonal a közelítésből kapott $\alpha^* = 54{,}7°$ szögnek felel meg.

A fenti kísérleti eszköz ma már nem található meg az egyetemen, az 1886-ra elkészült, nevezetes D épületben, amelyet éppen az Eötvös-ingával folyó kísérletek első helyszíneként nyilvánított fizikatörténeti emlékhellyé 2018-ban az Európai Fizikai Társulat, együttműködve a hazai, Eötvös Loránd emlékét a nevében is őrző Eötvös Loránd Fizikai Társulattal [29]. Minden valószínűség szerint a többszöri átalakítások áldozatául esett, hiszen nem is a tanteremben, hanem laboratóriumban volt felállítva, és hallgatói mérésre szolgált. A mérés kiértékelése szempontjából nagy előnye volt, hogy mivel az inga a forgatónyomaték maximuma körül lengett néhány fokos amplitúdóval, fel lehetett tételezni a vonzóerő állandóságát, akár csak egy rugón függő súly esetén, amely ma már középiskolai fizikaórán is szereplő mérés. Azonban, ha a távolabbi golyó hatását nem vette figyelembe a hallgató, ez a mérésben néhány százalékos hibát okozhatott.

A gravitációs állandó igazi meghatározására Eötvös Loránd nem is ezt az eszközt használta, hanem azt a két ólomhasáb között lengetett ingát, amelyről a fenti második *KöMaL* feladat kapcsán emlékeztünk meg. Ezen mérés Eötvös általi kiértékelése sokkal bonyolultabb, lásd például [6], illetve [27].

A gravitációs állandó Eötvös Loránd által mért értéke, amelyet 1896-ban megjelent [6] tanulmányában közölt, csupán 0,36%-kal kisebb, mint a ma, 2020-ban elfogadott legpontosabb érték. Eötvös Loránd kivételes fizikusi nagyságára a mai fizikusok, geofizikusok és fizikatanárok számára nem is kell ennél jobb bizonyíték.

Irodalom

18. Környei Elek (szerk.): *Eötvös Loránd: A tudós és művelődéspolitikus írásaiból.* Gondolat Kiadó, Budapest (1964); részletek: https://www.antikvarium.hu/konyv/eotvos-lorand-262699
19. *Eötvös Loránd emlékalbum.* Kossuth Kiadó, Budapest (2019); részletek: https://www.kossuth.hu/adatlap/konyv/5168/eotvos-lorand-emlekalbum
20. Részletesebb tudnivalók a *KöMaL* teljes archívumának anyagáról: http://db.komal.hu/KomalHU/tortenet.phtml
21. A P. 5166. *KöMaL* feladat (2019. november) megoldása: https://www.komal.hu/feladat?a=feladat&f=P5166
22. Wolfram Alpha szimbolikus és numerikus matematikai kifejezések kiértékelésére használható online programcsomag: https://www.wolframalpha.com
23. P. G. Roll, R. Krotkov, R. H. Dicke: The Equivalence of Inertial and Passive Gravitational Mass. *Annals of Physics 26* (1964) 442–517; letölthető: http://physics.princeton.edu/romalis/papers/Roll_1964.pdf

24. A P. 5239. *KöMaL* feladat (2020. május) megoldása: https://www.komal.hu/feladat?a=feladat&f=P5239
25. Ortvay nemzetközi fizikai problémamegoldó verseny 2019., 1. feladat; letölthető: https://ortvay.elte.hu/hmain.html
26. Eötvös R., Pekár D., Fekete E.: Beiträge zum Gesetze der Proportionalität von Trägheit und Gravität. *Annalen der Physik (Leipzig) 68* (1922) 11–66; angol fordítás: R. v. Eötvös, D. Pekár, E. Fekete: Contribution to the law of proportionality of inertia and gravitation. *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Rolando Eötvös Nominatae. Sectio geologica 7* (1963) 111–165; lásd https://matarka.hu/cikk_list.php?fusz=137841
27. Cserti József, Dávid Gyula: Az Eötvös-inga képletei. *Fizikai Szemle 69/7–8* (2019) 219–227; letölthető: http://fizikaiszemle.hu/uploads/2019/08/fizszem-20190708-cserti-david_09_56_51_1567151811.4595.pdf
28. Ortvay nemzetközi fizikai problémamegoldó verseny 2019., 2. feladat; letölthető: https://ortvay.elte.hu/hmain.html
29. Lendvai János: EPS Fizikatörténeti Emlékhely a Trefort-kerti D épület. *Fizikai Szemle 68/11* (2018) 365; Sólyom Jenő: Fizikatörténeti emlékhely a Puskin utcában. Ugyanott, 367. oldal; letölthető: http://fizikaiszemle.hu/uploads/2018/11/fizszem-2018 11-tartalom_12_18_47_1543576727.9004.pdf

A HOLDILLÚZIÓ PSZICHOFIZIKAI VIZSGÁLATA FESTMÉNYEKEN ÉS TERMÉSZETFOTÓKON

1. rész: amit a holdillúzióról tudni érdemes

Kovács Zoltán, Udvarnoki Zoltán, Papp Eszter, Horváth Gábor
ELTE, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium

Holdillúziónak nevezik azon optikai érzékcsalódást, amikor az emberek a horizont közelében lévő hold- és napkorongot vagy csillagképet nagyobbnak érzékelik, mint az égbolton magasabban (például a zenit közelében) elhelyezkedőt. Kialakulásának okára több elmélet is született, de még manapság sincs általánosan elfogadott magyarázat e vizuális illúzióra. Cikkünk 1. részében összefoglaljuk a holdillúziót magyarázni próbáló híresebb elméleteket, valamint röviden ismertetjük e vizuális érzékcsalódást vizsgáló jelentősebb pszichofizikai kísérleteket és azok eredményeit. Írásunk 2. részében saját holdillúziós pszichofizikai kísérleteinket és eredményeit mutatjuk be [1, 2].

A holdillúzió

Tudományos körökben (de mondhatjuk hétköznapi tapasztalatunk alapján is) már régóta ismert jelenség, hogy a horizonthoz közeli telihold korongja nagyobbnak látszik, mint amikor magasabban helyezkedik el. E jelenséget nevezik holdillúziónak (*1. ábra*). Ugyanez igaz a napkorongra és a csillagképekre is. A Föld körüli keringése során a Földről nézve a holdkorong átmérője legföljebb 15%-ot változik. A Föld Nap körüli keringésekor a napkorong Földről nézett átmérője legföljebb 3,4%-ot módosul. A Hold és a Nap szögátmérője egyaránt közel 0,5°, ezért alakulhatnak ki tel-

Kovács Zoltán az ELTE TTK-n szerezte fizikus BSc diplomáját 2020-ban, és jelenleg ugyanitt folytatja tanulmányait fizikus mesterképzésen. Fő érdeklődési területe a biofizika és annak határterületei. Tanulmányai mellett fontosnak tartja a tudománynépszerűsítést és a hallgatói érdekképviseletet az egyetemen.

Udvarnoki Zoltán fizikus, az ELTE Fizika Doktori Iskola doktorandusza a Statisztikus fizika, biológiai fizika és kvantumrendszerek fizikája programban, *Csabai István* témavezetésével. Kutatási területe a gépi tanulási módszerek a tudományban, azon belül főként bioinformatikai alkalmazási lehetőségek kidolgozása és adatintenzív elemzések végrehajtása.

Papp Eszter az ELTE TTK első éves fizikus doktorandusza. Elsősorban fehérjék kvantumos vezetési tulajdonságainak vizsgálatával foglalkozik, ami mellett más biofizikai jelenségeket is érdekesnek talál. Lelkes természetjáró fotósként készítette el a cikkben használt természetfotókat. Fontosnak tartja a fizika megszerettetését a fiatalabb korosztállyal, ezért élményalapú fizikaórákat tart általános és középiskolás csoportok számára.

Horváth Gábor fizikus, az MTA doktora, egyetemi tanár, az ELTE Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumának vezetője. A vizuális környezet optikai sajátságait és az állatok látását tanulmányozza, továbbá biomechanikai kutatásokat folytat. Számos szakmai díj és kitüntetés tulajdonosa. Évtizedek óta aktív tudományos ismeretterjesztői munkát is folytat előadások és cikkek formájában.

jes napfogyatkozások a Földről nézve. A csillagképeket alkotó égitestek oly távol vannak a Naprendszertől, hogy a Földről nézett szögkiterjedésük időbeli változása gyakorlatilag elhanyagolható.

Az ókorban a légkörön történő fénytöréssel próbálták magyarázni a holdillúziót, de később kiderült, hogy e fénytörés pont fordított hatást vált ki, amennyiben a horizont közelében a nap- és holdkorong, valamint a csillagképek függőleges szögkiterjedését kissé összenyomja. Először *Alhazen* (*Abu Ali Muhammad ibn al-Haszan,* 965, Baszra – 1040, Kairó, arab fizikus, csillagász és matematikus) írta le 1011 és 1022 között, hogy ez az illúzió pusztán pszichológiai eredetű. Érdekes módon, a horizontot súroló fénysugarak irányának atmoszférikus fénytörés miatti eltérülése éppen 0,5° körüli, miáltal amikor a 0,5° szögátmérőjű hold/napkorong legalsó pontja éppen érinteni látszik a horizontot, légkör nélkül már a korong legfelső pontja is a horizont alatt lenne.

1. ábra. *Fernando de Gorocica* 2012-ben alkotott, *Ella y los Pescadores* című festményén az általunk mért Q = 42,65 holdillúzió-mérték (ennyiszer nagyobb a festett napkorong a valóságosnál) kiemelkedően nagynak számít (forrás: Wikimedia).

A Hold szögátmérője – magasságától függetlenül – valójában mindig közelítőleg 0,5°, viszont a holdillúzió miatt a megfigyelők a horizonton lévő Holdat majdnem kétszer akkorának érzékelik, mint amikor a zeniten helyezkedik el. A holdillúziónak több különböző összetevője, kiváltója is lehet: a távolság, a szögkiterjedés és a geometriai/fizikai átmérő. Az évszázadok alatt több elméletet is kiagyaltak a holdillúzió magyarázatára, de napjainkra egyik sem vált egyeduralkodóvá.

A holdillúzió látszólagostávolság-elmélete

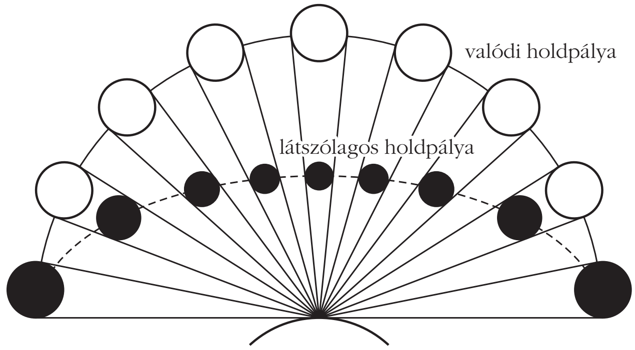
A holdillúzió magyarázatául legszélesebb körben elterjedt *látszólagostávolság-elmélet* föltételezi, hogy a Hold szögátmérőjét mindig ugyanakkorának (0,5°) érzékeljük, akárhol is helyezkedjen el az égbolton. Ezen Alhazentől származó, *belapult égbolt elmélet* szerint, mivel a horizonton lévő Holdat távolabb hiszik az emberek, mint amikor följebb van, ezért a horizonton az állandóan 0,5° átmérőjű holdkorong látszólagos átmérője jelentősen megnő (*2. ábra*). Az Emmert-féle törvény szerint ugyanis a retinán ugyanakkora képet alkotó, azaz ugyanakkora szögátmérőjű tárgyak agyunk által érzékelt mérete a távolságukkal egyenesen arányos, vagyis minél távolabbi egy tárgy, annál nagyobbnak érzékeljük.

Egyesek szerint ez az elmélet hibás, mert ha igaz lenne, akkor egy megfigyelő azt mondaná, hogy: „a horizonton lévő Hold távolabbinak tűnik, mint a zeniten lévő”. Viszont az emberek nagy része úgy írja le a holdillúziót, hogy: „a horizonton lévő Hold nagyobbnak és közelebbinek látszik, mint a zeniten”. Ez az ellentmondás a *méret-távolság paradoxon*. Egyes kritikusok e paradoxonra hivatkozva nem fogadják el a látszólagostávolság-elméletet a holdillúzió magyarázatául.

A holdillúzió távolabb-nagyobb-közelebb elmélete

A méret-távolság paradoxon feloldására fogalmazták meg a *távolabb-nagyobb-közelebb elméletet,* aminek alapja a tudatalatti látszólagos távolság és a tudatos látszólagos távolság megkülönböztetése: a megfigyelő először a tudatalatti távolság alapján nagyobbnak érzékeli a Holdat, viszont ezután már tudatosan a nagyobb méretből következtet annak kisebb távolságára. Azonban eme elmélet legnagyobb hibája, hogy a

2. ábra. A Hold képe, ahogy Alhazen belapult égbolt elmélete szerint érzékeljük (forrás: [3]).



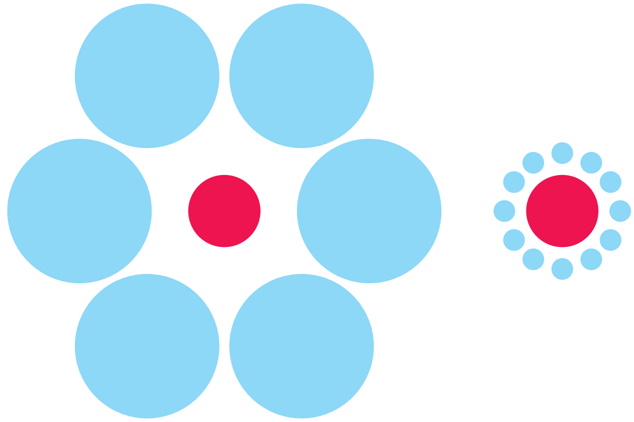
nagyobb holdméret a szögátmérőt jelentené, ami viszont a korábban említett föltételezés szerint az égbolton állandó. Így a méret-távolság paradoxont ez az elmélet sem képes feloldani.

A holdillúzió vizuális szögkontraszt-elmélete

A harmadik népszerű elmélet a holdillúzió okát a szögátmérők kontrasztjával próbálja magyarázni: a horizonton lévő Hold közelében látszó tereptárgyak (például távoli épületek, hegyek, fák) általában 0,5°-nál kisebb szögátmérőjűek. Ezzel szemben a zenitközeli tiszta (felhőtlen) égbolton a Hold egyedül van, így nincs mivel összehasonlítani, vagy viszonylag nagy térszöget lefedő felhők veszik körül, amelyeknél sokkal kisebbnek tűnik. Itt naivan levonhatnánk a következtetést, hogy – a zeniten lévő Holddal összehasonlítva – a horizonton lévő Hold nagyobbnak fog látszani, de ez logikailag hibás lenne, ugyanis a két külön-külön igaz állítás ezt nem eredményezi. A szögkontraszt talán legismertebb példája az *Ebbinghaus-illúzió,* amit a *3. ábra* mutat.

Ha a *3. ábra* bal oldali nagy kék köreit a zenitközeli felhőknek, a kicsinek tűnő piros körét pedig a zenitközeli Holdnak feleltetjük meg, míg a jobb oldali kicsi kék köröket a horizontközeli tereptárgyakkal, a nagynak tűnő piros kört pedig a horizonton lévő Holddal azonosítjuk, akkor a holdillúzió *vizuális szögkontraszt-elmélete* igaznak tűnhet. De ha nem egyszerre, hanem különkülön vizsgáljuk a *3. ábra* bal és jobb oldalán a szögkontrasztokat, mint ahogyan a zenit vagy horizont közelében lévő Holdnál is külön adódna, akkor nem lehet semmilyen következtetést levonni a Hold (piros kör) méretére: a bal oldali piros kör kisebb, mint a körülötte lévő kékek, a jobb oldali piros kör pedig nagyobb a körülötte lévő kékeknél, de egyik piros körre sem tudjuk megállapítani, hogy szögátmérője kisebb, azonos vagy nagyobb 0,5°-nál.

Egy másik értelmezés szerint a Holdat körülvevő nagyobb vagy kisebb térszögű tereptárgyak (például felhők, tárgyak, növények) távolságot jelző információk. Például a *3. ábra* Ebbinghaus-illúziója esetén, ha ugyanakkora átmérőjűnek vesszük a kék köröket, akkor a jobb oldali kisebbek távolabbinak tűnnek a bal oldali nagyobbaknál, és így a köztük lévő jobb oldali piros kör szögátmérőjét nagyobbnak érzékeljük.



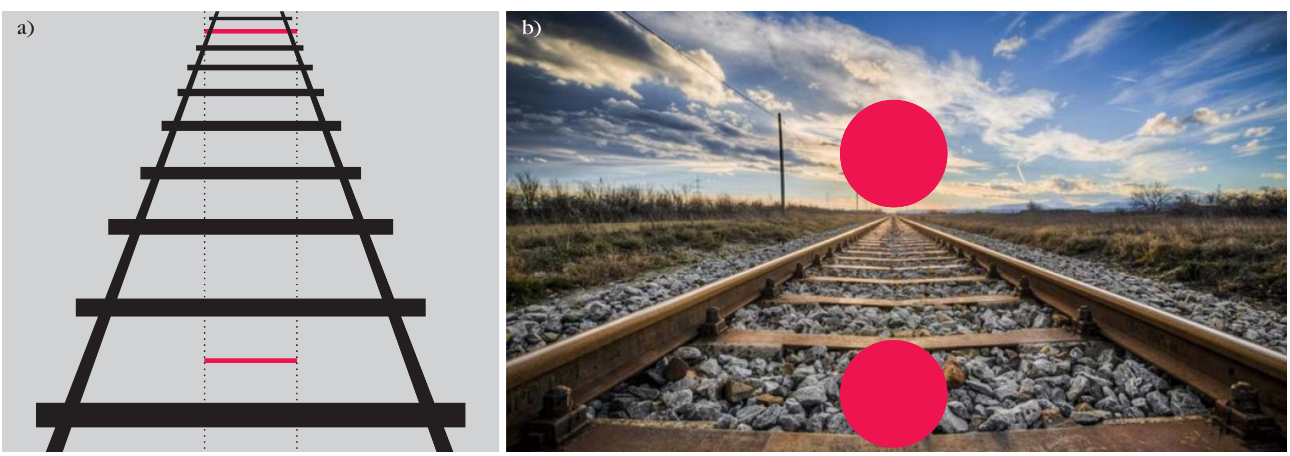
3. ábra. Ebbinghaus-illúzió: a nagy (balra) és kicsi (jobbra) világoskék körök közötti piros körök egyforma méretűek (amiről szabad szemmel úgy győződhetünk meg, hogy a világoskék köröket letakarva nézzük a pirosakat), mégis agyunk számára a bal piros kör kisebbnek tűnik a jobb oldalinál.

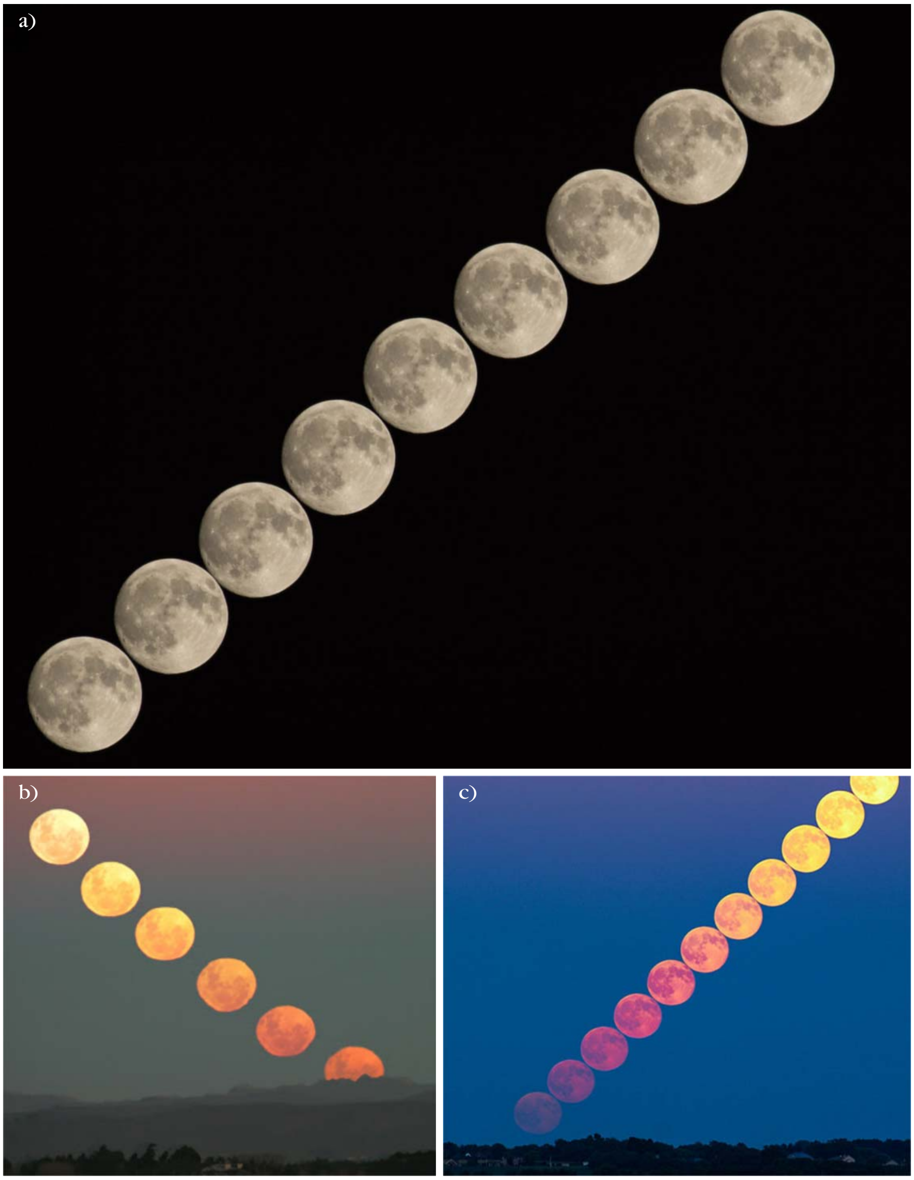
Összességében a vizuális szögkontraszt-elmélet már jobb irányból közelíti meg a holdillúziót, és számol a szögátmérő változásának érzékcsalódásával is.

A Ponzo-illúzió

A holdillúziót szokás a *Ponzo-illúzióval* is magyarázni (https://hu.wikipedia.org/wiki/Holdillúzió). Ebben az illúzióban két egyforma méretű téglalap vagy kör látható sínpárszerűen összefutó egyenesek között (*4. ábra*). A vonalpár perspektívajelzőként szolgál, miáltal a szemlélőnek úgy tűnik, mintha távolodna, így az összetartó felső végénél lévő téglalap vagy kör nagyobbnak látszik a vonalpár alsó végénél levőnél, mert a különböző távolságokban észlelt tárgyak retinára vetülő képe csak akkor lehet egyforma, ha a távolabbi tárgyak egyben nagyobbak is.

4. ábra. Ponzo-illúzió egy messzeségbe futó sínpár között egy vázlatos grafikán (a) és egy fényképen (b). A felső piros vízszintes pálcika és piros kör nagyobbnak látszik az alsónál, pedig méretűk egyforma.





5. ábra. A telihold égen mozgó korongjának vízszintes átmérője változatlan (a), csak a nyugvó (b) és kelő (c) teliholdkorong függőleges átmérője csökken kissé a horizont fölötti szögmagasság csökkenésével a légköri fénytörés miatt (források: a: https://www.123rf.com/photo_32013204.html, b: http://www.starrynightphotos.com/moon/moon_rise_composite.htm, c: https://amazingsky.net/tag/blue-moon).

A Ponzo-illúziónak kétféle elterjedt értelmezése ismeretes:

1. Az első pusztán a lineáris méretre alapul. Mivel a *4.a ábrán* azonos szögátmérőjűnek látjuk a két vízszintes piros vonalat, viszont a fönti távolabbinak tűnik, így annak lineáris méretét (hosszát) nagyobbnak érezzük. Ez megegyezik a látszólagostávolság-elmélettel.

2. A másik értelmezés szerint a *4.a ábrán* látható két piros vonal vagy a *4.b ábra* két piros köre a képen ugyanolyan távol van a megfigyelő szemeitől, így ugyanakkora méretűnek kellene őket érzékelni, mégis az emberek nagy része nemcsak lineáris méretükben (hosszukban, átmérőjükben), hanem szögátmérőjükben is eltérőnek érzékeli őket, amely különbség akár a 10%-ot is elérheti. Ez két elmélettel is magyarázható: az egyik a vizuális szögkontraszt-elmélet, a másik a következőként tárgyalandó okulomotoros mikropszia és makropszia.

Okulomotoros mikropszia és makropszia

A legújabb elméletek szerint az úgynevezett okulomotoros mikropszia és makropszia eredményezi a holdillúziót. A megfigyelések azt mutatták, hogy a Hold érzékelt térszöge korrelál a távolságot jelző vizuális jelek változásával, amit az elmélet meg is magyaráz. A *mikropszia* (tárgyak valódinál kisebbnek érzékelése) és a vele ellentétes *makropszia* (tárgyak valódinál nagyobbnak érzékelése) is a szemmozgató izmok aktivitásváltozása miatt jön létre. Mikropszia esetén a szem egy tárgy valós távolságánál közelebb fókuszál, így a megfigyelt tárgy szögátmérője kisebb a valódinál. Makropszia felléptekor ennek ellentéte játszódik le: a szem a tárgy valós távolságánál távolabb fókuszál, így a megfigyelt tárgy szögátmérője nagyobb a valódinál.

Amikor a horizonton lévő Holdat nézzük, szemünk az optikai végtelenbe fókuszál. Ekkor makropszia lép föl, így a Hold szögátmérője a valós 0,5°-nál nagyobb lesz. Ha pedig a zeniten lévő Holdat nézzük, szemünk nem tud jól fókuszálni, mert általában túl kevés vizuális távolságjelző (felhő) van a környezetében. Ilyenkor szemünk visszatér a nyugalmi fókuszáláshoz, ami körülbelül 1-2 méter tárgytávolságot jelent. Az ekkor föllépő mikropszia miatt a Hold a valós 0,5°-nál kisebbnek látszik.

A fent leírtakkal az a fő probléma, hogy szemünk hajszálpontosan képes a holdkorongra fókuszálni: egyrészt a retinán élesre állítja a holdkorong sötétebb környezethez képest fényesebb peremét, másrészt a fényes holdkorong sötét tengereinek peremét. Ez viszont azt jelenti, hogy nem léphet fel sem mikropszia, sem makropszia. Továbbá, a horizonton lévő holdkorong is gyakorlatilag az optikai végtelenben van, így az optikai végtelenre fókuszáló szemben nem léphet föl makropszia.

A holdillúziós elméletek összegzése

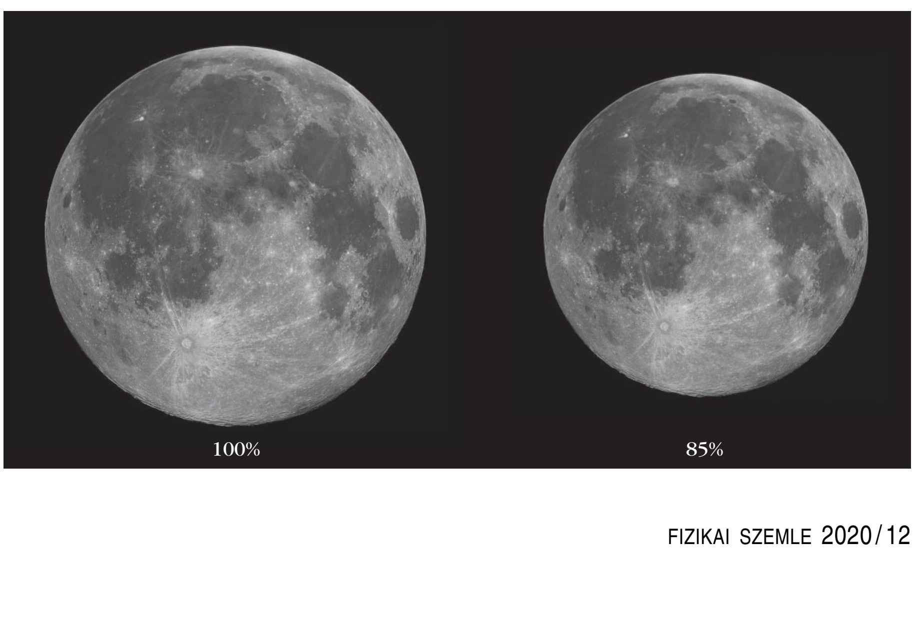
A fönt ismertetett elméleteken kívül még sok más teóriával is próbálták magyarázni a holdillúziót, de a különböző szakmai körök egyiket sem fogadják el általános magyarázatként. Csak a következőket állíthatjuk bizonyossággal:

- A legtöbb ember nagyobb szögátmérőjűnek és közelebbinek érzékeli a Holdat/Napot, amikor a horizonton van, mint amikor az égbolt zenithez közeli részén helyezkedik el.
- E vizuális érzékcsalódásnak nem lehet fizikai/optikai oka, hiszen a Hold/Nap valós szögátmérője gyakorlatilag állandó, amit szemléletesen a hold/nap-pálya fényképezésével lehet bizonyítani (*5. ábra*).

A szuperhold nem tévesztendő össze a holdillúzióval

A *szuperhold* fogalma *Richard Nolle* asztrológustól származik, aki 1979-ben használta a Hold megnövekedett árapálykeltő hatásának jellemzésére [4]. Tehát először nem a Hold megnőtt látványára alkalmazták, mint manapság. Újhold és telihold idején a Nap és a Hold együttállásakor (a Nap–Föld–Hold-rendszer szizigiumakor) az eredő gravitáció miatt az átlagosnál erősebb az általuk keltett árapály. Ha a Hold ugyanekkor földközelben is van, az árapályhatás még nagyobb. Nolle eredeti meghatározása szerint akkor van szó szuperholdról, amikor a telihold és a Hold legkisebb földközelsége (perigeuma) nagyjából egybeesik. Ugyanis a Hold ellipszispályán kering a Föld körül, aminek átlagos perigeumtávolsága 362 ezer km, átlagos földtávoli (apogeum) távolsága 405 ezer km. Szuperholdkor tehát a telihold vagy újhold időben egybeesik a perigeummal, vagy időben közel vannak egymáshoz.

Egyes vélelmek szerint szuperholdkor a megnőtt árapályhatás miatt nagyobb a földrengések és/vagy vulkánkitörések esélye, de ezt tudományosan még se nem bizonyították, se nem cáfolták [4]. Más hiedelmek szerint a szupertelihold sokkal (akár 3-szor is) nagyobbnak és fényesebbnek látszik az átlagos vagy földtávoli teliholdaknál. Csillagászati tény, hogy a szuperhold látszó átmérője csak 15%-kal nagyobb a földtávoli Holdénál. Ha e két holdkorongot egymás mellett ábrázoljuk, a különbség szembeötlő (*6. ábra*). Az égen persze ezt nem érzékeljük, mert e két holdkorong nem azonos időben jelenik meg, emlékezetből pedig nem tudjuk a holdkorong átmérőjét és/vagy fényességét a több hónappal korábbi teliholdéval összehasonlítani.



6. ábra. A telihold Földről nézett korongjának maximális méretváltozása 15% a Föld körüli ellipszispályán való keringése során.

A vele kapcsolatos tévhitek ellenére a szuperhold létező jelenség, aminek bekövetkezte csillagászatilag pontosan kiszámítható. A szuperhold ugyanakkor nem tévesztendő össze a holdillúzióval, vagyis amikor a kelő vagy nyugvó Holdat nagyobb átmérőjűnek érzékeljük, mint amikor magasan jár az égen.

Korábbi holdillúziós pszichofizikai kísérletek

A holdillúzió vizsgálatára több pszichofizikai kísérletet is végeztek, amelyek eredményei azonban gyakran cáfolták egymást:

1. Az első híres kísérletben *A. H. Holway* és *E. G. Boring* egy tükröt használt a telihold képének több irányba történő kivetítésére a Harvard Egyetem egyik épületének termében [5]. A kísérletben résztvevők szemből nézve vízszintes vagy fölemelt szemtengellyel, állva vagy fekve figyelve becsülték meg a különböző horizont fölötti szögmagasságokba kivetített holdkorong méretét. Azt kapták, hogy a látszólagos holdméret csak a szem koponyabeli emelkedési szögétől függ. Ha a résztvevők a Hold alá néztek és csak a szemtengelyüket emelték fel, akkor jelentkezett a várt holdillúzió, s ekkor kisebbnek érzékelték a Holdat a horizonton lévőnél. Ha a fejüket megemelték és szemtengelyük vízszintesen nézett a Holdra, e kisebbítő hatás eltűnt, és a horizonton lévő Holdhoz hasonlóan újra nagyobbnak látták a Holdat. A holdillúzió mértékére Q = 1,76 és 1,8 közti értékeket kaptak [5].

2. *D. W. Taylor* és Boring kültéri teliholdas kísérleteket végzett, amikor a tesztalanyok fél szemmel is nézték a Holdat [6]. Eredményeik szerint a Q = 1,64-szoros holdillúzió szükséges feltétele az egyszerre két szemmel való nézés. Ez azonban ellentmondott azon korábbi elméletüknek, miszerint a szem fejbeli emelkedési szöge okozza a holdillúziót, így később fel is hagytak a további kísérletezéssel.

3. *L. Kaufman* és *I. Rock* egy planetáriumban kísérleteztek. Először a planetárium félgömbkupolájára teljes sötétségben vetítettek ki egy-egy fehér koron-

got a zenitre és a horizontra, majd a tesztszemélyeknek e korongok méretét kellett összehasonlítaniuk. Az eredmények [7, 8] szerint e két korong mérete közel megegyezett, amiből azt a következtetést vonták le, hogy teljes sötétségben a holdillúzió megszűnik. Ez viszont több korábbi eredménynek is ellentmondott. Kaufman és Rock egy olyan holdkivetítő eszközt is használtak, ami a holdkorongot az optikai végtelenbe vetítette ki egy fénynyaláb-párhuzamosító (kollimátor) lencse segítségével [7, 8]. E változtatható méretű mesterséges holdkorongot egy félig áteresztő tükörrel tudták megjeleníteni a valós horizonton vagy égbolton. E kísérlettel megcáfolták Taylor és Boring szemtengely-emelkedéstől függő holdillúziós hipotézisét [6], mert a kísérleti alanyok a horizontra és a zenitre nézve is ugyanakkorának érzékelték a Hold méretét. Legfontosabb megfigyelésük az volt, hogy a horizont látszólagos távolsága nagyban befolyásolta a holdillúzió erősségét. Ezt az eredményt a holdillúzió látszólagostávolság-elmélete bizonyítékának tekintették.

4. A Kaufman és Rock által alkalmazott holdkivetítő berendezés [7, 8] használatával és továbbfejlesztésével *S. N. Roscoe* végzett fontos kísérleteket [9]. Ő a korábbiaktól eltérően a résztvevők látóterének részleges kitakarásával manipulálta a tereptárgyak távolságát és horizonthoz képesti szögsüllyedését. A kísérlet közben lézeres optométerrel mérte a tesztalanyok szemfókuszálásának változását. Az eredmények alapján a mesterséges holdkorong tesztalanyok által érzékelt mérete nagyban függött a szemfókusz nyugalmi állapotától való eltéréstől.

5. *J. T. Enright* is hasonló eredményre jutott, aki Kaufman és Rock kivetítő eszközét [7, 8] úgy fejlesztette tovább, hogy már kétszemes megfigyelésekre is alkalmas volt [10]. Ő nemcsak a szem fókusztávolsága, hanem a pupillaátmérő és a szemvergencia (vagyis a szemtengelyek egyidejű ellentétes irányú mozgása) holdillúzióban játszott szerepét is vizsgálta, mert ezek eredményezik az *Okulomotoros…* fejezetben említett mikropsziát és makropsziát. A kísérletben eredményként Q = 1,21-ot kapott a horizonton és a zeniten lévő mesterséges holdkorong átmérőjének arányára. Amikor Enright a kísérletében a kivetített holdkorong látszólagos távolságát 3 km-ről 80 m-re csökkentette, a tesztalanyok helyesen, sokkal közelebbinek érezték azt, viszont a korong érzékelt méretében csak 8%-os növekedés (Q = 1,08) következett be. Ebből azt a következtetést vonta le, hogy a holdillúzió nem a távolság miatti tudatos vagy tudatalatti méretkompenzálás miatt lép fel, amely konklúzió azonban ellentmondott a látszólagostávolság-elméletnek.

6. L. Kaufman és *J. H. Kaufman* a kísérletükben már nem egy, hanem egyszerre két mesterséges holdkorongot vetítettek az égboltra [11]. Egy kétlencsés fekete lemez alá helyezett képernyőn egyidejűleg két pár holdkorongot jelenítettek meg, egy lencse alatt két koronggal. A lemez fölé egy állítható szögű, félig áteresztő tükröt szereltek, amire a négy holdképet vetítették ki. A tükrön átnézve a két pár holdkorong összeolvadt, és így az égbolton végül egy pár holdképet láttak a résztvevők. A két holdkorong közül az egyik látszólagos távolsága állítható volt, míg a másik referenciahold mindig a horizonton látszódott. A tesztalanyok az állítható holdkorong látszólagos távolságát egy gomb megnyomásával tudták változtatni. Az volt a feladatuk, hogy a bal holdkorongot próbálják meg a megfigyelő és a referenciahold közti távolság felére beállítani. E kísérlet eredménye az lett, hogy a horizonton lévő holdkorongot több mint négyszer messzebb lévőnek látták a megfigyelők, mint a zeniten lévőt. Ezt a holdillúzió látszólagostávolság-elmélete bizonyítékának vélték.

Az Emmert-törvény szerint a megfigyelőtől eltérő távolságú, de ugyanakkora szögátmérőjű tárgyakat különböző méretűnek érzékeli a megfigyelő. A Kaufman és Kaufman Emmert-törvényt tanulmányozó másik kísérletében részt vevő tesztszemélyeknek az állítható holdkorongot úgy kellett beállítaniuk, hogy feleakkora legyen, mint a referencia-holdkorong [11]. Az eredmények szerint az érzékelt holdméret nem volt arányos az érzékelt távolsággal, így arra a következtetésre jutottak, hogy az Emmert-törvény nagyon nagy távolságokra már nem érvényes, és így nem is magyarázhatja a holdillúziót. Ennek ellenére a holdillúzió látszólagostávolság-elméletét ez az eredmény is bizonyította. Átlagosan a horizonton lévő Hold 1,5-szer olyan távol volt, mint a zeniten lévő, amikor a kísérletben résztvevők úgy érezték, hogy a mérete a felére csökkent.

7. *K. Suzuki* japán kutató Taylor és Boring, valamint Kaufman és Rock eredményeit [6–8] vizsgálta tovább több kísérletben [12–14]. Suzuki megpróbálta reprodukálni Kaufman és Rock [7, 8] eredményeit, de ő nem egy holdkivetítőt használt, hanem a tesztalanyok retinájában keletkező utóképet [12]. A kör alakú utóképet egy piros fényű stroboszkóppal váltotta ki, amit a résztvevőknek a horizontra vagy a zenitre kellett helyezniük, ahol egy mérőszalagon állították be az utóképkorong látszólagos méretét. A végeredmény egyezett a Kaufman és Rock által tapasztaltakkal: a horizonton lévő utókép Q = 1,5-szer akkorának látszott, mint a zeniten lévő. Viszont Kaufman és Rock [7, 8] eredményével ellentétben, Suzuki pozitív összefüggést talált a szemtengely emelkedési szöge, valamint a horizonton és zeniten lévő utókép méretének aránya között [12].

Suzuki kísérletileg tanulmányozta a holdillúzió teljes sötétségben való fellépését [13]. Kaufman és Rock arra jutottak, hogy teljes sötétségben a holdillúzió csak elhanyagolható mértékben alakult ki [7]. Suzuki a Niigatai Természettudományi Múzeum planetáriumában egymástól 3,5°-ra lévő két lézernyalábot vetített ki a kupolára [13]. 16 tesztszeméllyel megbecsültette e két fényfolt távolságát a horizonton és a zeniten. E kísérletet elvégezte teljes sötétségben, bekapcsolt világítással és csak a horizont és a csillagok képével/fényével is. Teljes sötétségben a tesztalanyokat letakart szemmel kísérték a planetárium közepére, ahol kinyitott szemmel csak a lézerfoltokat látták. Minden tesztszemélynél először e kísérletet végezték el, aminek az lett az eredménye, hogy a két lézerfolt távolsága a holdillúzióhoz hasonló nagyobbodást szenvedett, amennyiben a horizonton Q = 1,3-szer tűnt nagyobbnak, mint a zeniten. A kivilágított planetáriumban azonban a holdillúzió megszűnt. Suzuki ezt azzal magyarázta, hogy a világos planetárium belseje a tesztszemélyeknek elegendő vizuális jeleket adott a távolságok és méretek érzékeléséhez, így a résztvevők képesek voltak a két fényfolt távolságát pontosan meghatározni [13]. A sötét planetáriumkupolára a csillagokat és a horizontot kivetítve, megint föllépett a holdillúzió: ekkor a horizonton lévő fényfoltpár távolsága Q = 1,2-szer tűnt nagyobbnak a zeniten lévőénél.

Suzuki egy másik kísérletben Taylor és Boring egyszemes és kétszemes megfigyelésre kapott [6] eredményeit vizsgálta [14]. A helyszín ismét egy planetárium volt, ahol a korábbihoz hasonlóan két, egymástól 2°-ra lévő fénypont egymás közti távolságát kellett megbecsülniük a résztvevőknek. A tesztalanyokat két csoportra osztotta: az egyikben először egy szemmel (monokulárisan), a másikban először két szemmel (binokulárisan) figyelték meg a fénypontokat, aztán mindkét csoport fordítva. Az eredmény az lett, hogy a kétszemes megfigyeléseknél mindig föllépett a holdillúzió, amennyiben a holdkorongnak megfelelő pontpár közti távolságot Q = 1,21-szor (binokulárisan), illetve Q = 1,42-szor (monokulárisan) nagyobbnak érezték. Az egyszemes megfigyeléseknél csak akkor jelentkezett a holdillúzió, ha azt kétszemes megfigyelés előzte meg, viszont a látszólagos nagyobbodás mértéke ekkor is kisebb volt a kétszemes megfigyelésben érzékeltnél: Q = 1,26 a kétszemes esetben és Q = 1,19 az egyszemesnél. A szemtengely koponyabeli emelkedési szögének vizsgálatánál a fölfelé néző és a vízszintesen előre néző helyzetekben tapasztalt látszólagos nagyobbodás mértéke Q = 1,08 és Q = 1,16 volt a két binokuláris megfigyelésnél, viszont a monokuláris megfigyeléseknél ilyen nagyobbodás nem lépett föl.

8. A cikkünk második részében ismertetendő kísérleteinkhez leginkább hasonlót *H. Ross* és *A. Cowie* végzett, akik 4–12 éves gyerekeken és 21 év körüli felnőtteken vizsgálták a holdillúziót [15]. A kísérletben résztvevőknek egy A4-es lapra kinyomtatott tájra kellett ceruzával berajzolniuk a Holdat, először a horizontra, utána pedig egy másik, ugyanolyan lapon az égboltra. Azt az eredményt kapták, hogy a 4 éveseknél még nem, de az idősebb korosztályokban már kialakult a holdillúzió, és az idősebbek a horizonton lévő teliholdat Q = 1,5-szer akkorának rajzolták, mint az égbolton lévőt.

✧

A holdillúziót tanulmányozó korábbi pszichofizikai kísérletekből levonható a következtetés, hogy az eddig született eredmények gyakran ellentmondók, miáltal nem alakult ki tudományos konszenzus sem a jelenségben, sem annak okában/magyarázatában.

1. táblázat

A holdillúziót tanulmányozó néhány híres pszichofizikai kísérlet

kísérletek vezetői, dátuma	*holdillúzió Q mértéke*
Holway, Boring [5], 1940.	1,76; 1,80
Taylor, Boring [6], 1942.	1,64
Kaufman, Rock [7, 8], 1962.	1,0; 1,50
Enright [10], 1989.	1,08; 1,21
Suzuki [12], 1984.	1,50
Suzuki [13], 1991.	1,0; 1,20; 1,30
Suzuki [14], 1998.	1,0; 1,08; 1,16; 1,19; 1,21; 1,26; 1,42
Ross, Cowie [15], 2010.	1,0; 1,50

A végeredményül kapott $Q = \alpha_{\text{érzékelt}}/\alpha_{\text{valós}}$, ahol $\alpha_{\text{érzékelt}}$ a kivetített hold/napkorong vagy fénypontok közti távolság vagy retinális utóképfolt tesztalanyok által érzékelt szögátmérője, $\alpha_{\text{valós}}$ pedig a valós szögátmérő, illetve $\alpha_{\text{érzékelt}}$ a horizonton látszó mesterséges holdkorong szögátmérője és $\alpha_{\text{valós}}$ a zeniten látszó korongé.

Az *1. táblázat* a holdillúzió fönt tárgyalt pszichofizikai kísérletekben végeredményül kapott Q mértékét foglalja össze.

Irodalom

1. Kovács Zoltán: *A holdillúzió pszichofizikai vizsgálata festményeken és természetfotókon.* B.Sc. Diplomamunka (2020), ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium, Budapest, 63 o. (témavezető: Horváth Gábor)
2. Kovács Z., Udvarnoki Z., Papp E., Horváth G. Psychophysical study of the moon illusion in paintings and landscape photos. *Proceedings of the Royal Society A* (2020) 20200737 (doi: 10.1098/rspa.2020.0737)
3. Csépe Valéria, Győri Miklós, Ragó Anett: *Általános pszichológia 1–3. – 1. Észlelés és figyelem.* Osiris Kiadó, Budapest (2008)
4. Both Előd: Szuper vagy nem a Hold? *Természet Világa 145/9* (2014) 399.
5. Holway A. H., Boring E. G.: The moon illusion and the angle of regard. *American Journal of Psychology 53* (1940) 109–116.
6. Taylor D. W., Boring E. G.: The moon illusion as a function of binocular regard. *American Journal of Psychology 55* (1942) 189–201.
7. Kaufman L., Rock I.: The moon illusion I. *Science 136* (1962) 953–962.
8. Rock I., Kaufman L.: The moon illusion II. *Science 136* (1962) 1023–1036.
9. Roscoe S. N.: The zoom-lens hypothesis. In: H. Hershenson (ed.) *The Moon Illusion*. Lawrence Erlbaum & Associates, Hillsdale, NJ (1989) 31–57.
10. Enright J. T.: The eye, the brain, and the size of the moon: toward a unified oculomotor hypothesis. In: H. Hershenson (ed.) *The Moon Illusion*. Lawrence Erlbaum & Associates, Hillsdale, NJ (1989) 59–121.
11. Kaufman L., Kaufman J. H.: Explaining the moon illusion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 97* (2000) 500–505.
12. Suzuki K.: Projected afterimages and the moon illusion. Paper presented at the 3rd Convention of the Japanese Psychonomic Society, Sophia University, Tokyo (1984)
13. Suzuki K.: Moon illusion simulated in complete darkness: planetarium experiment reexamined. *Perception and Psychophysics 49* (1991) 349–354.
14. Suzuki K.: The role of binocular viewing in aspacing illusion arising in a darkened surround. *Perception 27* (1998) 355–361.
15. Ross H., Cowie A.: The moon illusion in children's drawings. *International Journal of Arts and Technology 3* (2010) 275–287.

BESZÉLGETÉS A KEZDETEKRŐL
– a 90 éves Angeli István köszöntése

Kardos Ádám
Debreceni Egyetem, Kísérleti Fizikai Tanszék

Angeli István, a Debreceni Egyetem Fizikai Intézetének nyugalmazott egyetemi tanára 2020. utolsó hónapjában tölti be 90. életévét. A cikk azon beszélgetés rövid leirata, amelyet e jeles alkalomból folytattunk. Az interjú során próbáltunk kitérni Angeli tanár úr élete kezdetének meghatározó állomásaira, bízva abban, hogy az elmondottak jó példát mutatnak a fiatalabb kutatógenerációk számára.

– *Először is köszönöm tanár úrnak, hogy elfogadta a felkérést az interjúra, aminek apropója tanár úr 90. születésnapja. E nagyon szép évfordulóhoz én is őszintén gratulálok. Az évek során hatalmas élet- és szakmai tapasztalatra tehetett szert, és ez is oka, hogy megkértem e beszélgetésre. Úgy vélem, hogy az ifjú fizikus és tágabb értelemben vett kutató generációnak nem elégséges pusztán szakmai tudást adni és átadni, de ugyanilyen fontos, hogy inspirációt és motivációt merítsenek az idősebb kollégáiktól. Tudna esetleg egy kicsit mesélni a gyerekkoráról?*

– 1930. december 18-án születtem a Veszprém megyei Peremartonban, amelyet pár évvel később Berhidához csatoltak. Ezért azt szoktam mondani, hogy Peremartonban születtem, de Berhidára jártam haza. Ketten voltunk testvérek, de a második világháború kettészakította a családot, és bátyám a háború után nem tért haza Magyarországra, hanem Belgiumban telepedett le, ott alapított családot.

– *Milyen volt akkoriban gyereknek lenni?*

– Véleményem szerint nagyon boldog gyerekkorom volt, mert falun nőttem fel, ahol minden házhoz tartozott udvar és sok állat is, így elmondhatom magamról, hogy nem csak az állatkertből ismerhetem az állatokat.

– *Hogyan teltek az általános iskolai évek?*

– Viszonylagos frusztrációval kezdődött, mert nagyon nehezen tanultam meg írni. Ma biztosan diszgráfiát állapítanának meg nálam. Máig sem tudok rendesen írni. Hadd vessem közbe, hogy gimnáziumban volt szerencsém a következő értékeléssel visszakapni matematikadolgozatot: „tartalom: jeles, külalak: minősíthetetlen”. A *g* és *d* betűket pedig a mai napig összetévesztem, talán ezért is volt megváltás számomra a számítógép.

– *Az általános iskola után pedig következett a gimnázium.*

– Igen, azzal az apró módosítással, hogy annak idején még elemi iskolának hívták és csupán 5 osztályos volt. Ezután következett a már 8 osztályos gimnázium. Viszont, mivel minden létező gyerekbetegséget elkaptam és elég vézna is voltam, szüleim egy évet otthon marasztaltak, és majd csak 1942-ben kezdtem el a gimnáziumot Szombathelyen, a Premontrei rend gimnáziumában.

– *Ez az egy év késés később nem vált kárára tanár úrnak?*

– Éppen ellenkezőleg! Az elemi iskola után sokakat sokként ért a kemény latin és matematika, így hiába voltak jó képességűek, mégsem bírták azt a tempót, amit a tanári kar diktált. Viszont én, mivel már egy évvel idősebb voltam, már könnyebben vettem az akadályokat.

– *A mai fiataloknak nagyon idegennek tűnhet egy rend által irányított gimnázium, az ember azt gondolná, hogy a szigor átjárt mindent.*

– Mindig egyenletes, jó teljesítmény volt az elvárás, nem volt elég csupán a hét egy-két napján teljesíteni. A fegyelmet igen jól tudták tartani. Amikor elkezdtem az első osztályt, 62-en voltunk az osztályban, mégis tudtak rendet és fegyelmet tartani.

– *A gimnáziumban mi volt a kedvenc tantárgya?*

– A gimnázium elkezdése előtt nagyon sokan ijesztgettek a latinnal, ezért nagyon tartottam tőle. Elhatároztam, hogy mindent megtanulok, nem csak a szavakat, de teljes mondatokat és olvasmányokat is. Ez később nagy hasznomra vált a további nyelvek tanulásánál.

– *A latin mellett mit szeretett még nagyon?*

– Az olvasást! Miután megtanultam olvasni az vált a legnagyobb örömömmé egész felnőtt életemben. Azt szokták mondani, hogy a könyvek örök barátaink. Viszont sosem vonzott a gyerekkönyvek gügyögő világa. Ma talán *vadnyugatinak* hívnák, viszont annak idején mi csak *cowboy*-regénynek neveztük azokat a vadnyugaton játszódó könyveket, amelyeken ténylegesen megtanultam az olvasás technikáját. Aztán keresztanyámnak hála *Gárdonyi Géza* regényeit kezdtem el olvasni, és rá kellett jönnöm, hogy nem csak a vadnyugati regények lehetnek érdekesek. Persze ezután jött a többi: *Verne Gyula, May Károly*[1] stb.

A szerző köszönetet mond *Trócsányi Zoltánnak,* akinek segítsége és támogatása nélkül ez a cikk nem jött volna létre.

Kardos Ádám fizikus (Debreceni Egyetem, 2009), Phd (DE Fizikai Tudományok Doktori Iskola, kvantum-színdinamikai számítások partonzápor programokhoz való illesztésének témakörében, 2012). 2012 és 2014 között a milánói Bicocca Egyetem posztdoktor kutatója, majd 2014-től az MTA–DE Részecskefizikai Kutatócsoport tagja, 2020 szeptemberétől a DE Kísérleti Fizikai Tanszék adjunktusa. Fő kutatási területe a kvantum-színdinamika sugárzási korrekcióinak számítása.

[1] Ma már Jules Verne és Karl May, de annak idején minden gyerek csak a magyarosított néven ismerte őket.

– *A fizikával hogyan került először kapcsolatba?*

– Szombathelyen egy könyvesbolt kirakatában megláttam egy könyvet *Suhanó szárnyak* címmel, amelyen egy nagy fehérszárnyú repülő volt látható. Talán ez volt az első alkalom, hogy megfogott a technika és a fizika.

– *Amikor gimnáziumba járt, javában dúlt a második világháború. Abból mit éreztek?*

– 1942-től 1946-ig jártam a Premontrei rend intézetébe. A háborúval 1944 decemberében találkoztunk, mert a falunk beleesett a hadműveleti zónába. El kellett hagynunk a szülői házat, és többek között keresztanyámnál, Veszprémben találtunk menedékre.

– *A háború végeztével történtek változások?*

– Igen, ugyanis édesapám a *B-listázás* áldozatává vált, és elbocsátották a munkahelyéről úgy, hogy elvették a már letöltött szolgálati éveit is. 1946 nyarán jártunk. A családnak meg is kellett élni valamiből, ezért amikor a cséplőgéphez kerestek munkásokat, ott kezdtem el dolgozni. Kezdetben igen nehezen bírtam a munkát – napkeltétől napnyugtáig tartott –, de egy-két hét alatt hozzászoktam, amihez az is nagyban hozzájárult, hogy az ember alkalmazkodó képessége 16 éves korában a legjobb.

– *Ez a kemény fizikai munka gondolom kihatással volt az állóképességére is. Sikerült a családnak anyagilag segíteni?*

– A munka hat hétig tartott és a hatodik hét végére valóban megerősödtem és sikerült annyi pénzt keresni, hogy abból egy évre elegendő búzát, az állatoknak takarmányt vegyünk, és némi készpénzt is sikerült hazavinnem. Így vált belőlem családfenntartó.

– *Más munkát is elvállalt azért, hogy segítsen a családján?*

– Igen, nem messze tőlünk volt a Péti Nitrogén Művek. Azonban édesapám azt javasolta, hogy pihenjek pár napot, mielőtt munkába állok, ezért előbb elutaztam nagybátyám családjához Enyingre.

– *Itt került közeli kapcsolatba a természettudományokkal. Hogyan is volt ez pontosan?*

– 1946 augusztusában a pengő olyan gyorsan inflálódott, hogy az a pénz, amit édesapám a visszaútra adott már nem volt elég a vonatra. Arról viszont lebeszéltek, hogy gyalog induljak neki az útnak, még akkor sem, ha csak 15 km volt a távolság, ugyanis nem volt ritka, hogy lelőttek embereket egy karóra, vagy egy ruha miatt. Így azt javasolták, hogy maradjak a forint bevezetéséig. Akkor nagybátyám úgyis kap fizetést, így lesz miből hazautaznom. Amikor már mindent kiolvastam a lakásban, akkor unokatestvérem egy nagy, vastag könyvet nyomott a kezembe, hogy inkább ezt olvassam, mint a Grimm-meséket, és az életem akkor változott meg teljesen.

– *Ez a könyv az oka, hogy fizikus lett?*

– Igen, habár tanultam én már kémiát, de az nagyon tananyag ízű volt. Ez a könyv viszont nagyon olvasmányosan foglalta össze azt a kémiai tudást, aminek a 40-es évek elején a birtokában voltunk.

– *A nyári munkák után pedig folytatódtak a gimnazista évek, ugye?*

Angeli István történeteket mesél magáról és a fizikáról alma matere fennállásának 300. évfordulóján.

– Igen, azzal a különbséggel, hogy átkerültem a veszprémi Piarista Gimnáziumba (ma Lovassy László Gimnázium), ami már közelebb volt és bejárós lehettem. Itt már körvonalazódott bennem, hogy kémiával vagy fizikával akarok foglalkozni.

– *És a kémiából hogyan lett fizika?*

– Veszprém környékén sok vegyiüzem létesült, akkor nyitották meg a Veszprémi Nehézvegyipari Egyetemet és úgy gondoltam, hogy vegyészmérnökként könnyen el fogok tudni ott helyezkedni. Azonban az érettségi előtt egy gyárlátogatáson kellett rádöbbennem, hogy súlyos képleteket kell megjegyezni és a memorizálás sosem volt erősségem.

– *Ezért úgy döntött, hogy inkább fizikus lesz.*

– Igen. A felvételi lapomra inkább azt írtam, hogy Eötvös Loránd Tudományegyetem, fizikus szak. A gimnáziumot azonban 1948-ban államosították, én pedig 1950-ben érettségiztem. Időközben nagy változások voltak a tanári karban és az igazgató nem tudott arról, hogy ilyen szak létezne, ezért kijavíttatta a felvételi papíromon a fizikus szakot matematika–fizikára. Azt pedig, hogy felvettek egyetemre ennek köszönhettem, hiszen édesapám miatt egyéb besorolású voltam.

– *1950-ben kezdte az egyetemet az ELTE-n, kik voltak még akkor ott, akikre sokan emlékezhetnek?*

– Amikor én első éves voltam *Marx György* akkor volt negyed éves és sok igen érdekes speciális kollégiumot tartott nekünk. De tartott gyakorlatot *Kisdi Dávid,* ott volt *Császár Ákos, Györgyi Géza, Károlyházy Frigyes* és mások is. Emlékszem egyszer Károlyházy Frigyes mutatott egy könyvet Györgyi Gézának és azt mondta, hogy: „Ide figyelj ecsém, ha olyan okos akarsz lenni, mint az Isten, akkor ezt a könyvet olvasd el.” Nézem, mi a címe: *Groupentheorie.*

– *Akkor mondhatjuk, szerencsés volt, hogy ilyen környezetbe került?*

– Igen, nagyon szerencsésnek érzem magam, mert tényleg olyan környezetben voltam, amely képes volt az embert a jó irányba terelni. Az évfolyamomon is kiváló emberek voltak: *Lovas Pista, Zimányi Jozsó, Abonyi Iván, Németh Jutka*.

– *Tanár úr pont akkor járt egyetemre, amikor a legsötétebb 50-es évek voltak, ezt hol érezték meg?*

– Mindenki nagyon ágról szakadt volt. Az albérletben, ahol harmadmagammal laktam télen, ha hófúvás volt éjszaka, akkor reggel az ágyunkon is sokszor porhó volt, ugyanis az ablak csak részben volt beüvegezve. A mosakodó lavórban pedig reggelre mindig vékony jégréteg képződött.

– *Az egyetem végeztével az Atomkiban kapott állást. Hogyan sikerült ide kerülni Budapestről?*

– 1954-ben végeztem el a negyedik évfolyamot és akkor az volt a szokás, hogy már végzés előtt állásba kerültek az emberek. Ekkor történt, hogy az Akadémia új intézeteibe új kutatók kellettek. Ennek köszönhetem, hogy Debrecenbe kerültem, ami véletlen eredménye volt, mert akinek eredetileg felajánlották az állást, tősgyökeres budapesti révén visszautasította. Én viszont kapva-kaptam az alkalmon. Tehát így kerültem Debrecenbe 1954. július 1-jével. Az MTA négy állást hirdetett meg és így jelentkeztünk rá négyen: *Pesti László,* Lovas István, *Regus Gyula* és én. A feladat pedig urán keresése volt a Magyarországon előforduló szenekben.

– *Csak ez volt az egyetlen elképzelés az urán utáni kutatásra, vagy voltak más ötletek is?*

– Megpróbáltuk a forrásvizek urántartalmát is megmérni, és abból következtetést levonni a rétegek urántartalmára, ami azt jelentette, hogy igen sok forrást fel kellett kereshünk. Ehhez szükségünk volt olyan térképekre, amelyeken minden kis részlet jelölve volt. Ilyen térképeket végül a Hadügyminisztérium bocsátott a rendelkezésünkre, ugyanis a korabeli turistatérképek éberségi okokból el voltak torzítva.

– *Szűkebb értelemben vett tudományban is sikerült előre lépni?*

– *Szalay Sándornak* volt egy ötlete arról, hogyan lehet gerjesztési függvényt felvenni polóniumizotóppal, amit a nátriumra alkalmaztam és ebből lett meg a doktori értekezésem.

– *Az uránkeresés és a doktori cím megszerzése után milyen munkákat végzett?*

– A 60-as évek közepén az intézetbe érkező új gyorsítókhoz sugárvédelmi számításokat végeztem, valamint teljes neutronszórási hatáskeresztmetszetet mértünk, amire igen nagy érdeklődés mutatkozott a Nemzetközi Atomenergia Ügynökségtől. Olyannyira, hogy nem-anyagi jellegű támogatásként neutronforrást, műszereket és detektorokat kaptunk.

– *A 60-as évek után a figyelme az atommagsugár mérése felé fordítódott.*

– Igen, 1974-ben töltéseloszlási sugarakat határoztunk meg kísérleti adatokból, aminek folyományaként két alkalommal, 83-ban és 84-ben Orsay-ben is vendégeskedtem. Ott reakció-hatáskeresztmetszetekből határoztunk meg magsugarakat.[2]

– *Mikor lépett az egyetem kötelékébe?*

– 1967-ben az MTA megtiltotta, hogy ugyanazon ember több intézet igazgatója is legyen, így Szalay Sándor az Atomkit választotta, és az idén szintén 90 éves *Csikai Gyula* lett a *Kísérleti Fizika Tanszék* vezetője. Ő hívott át engem is adjunktusnak.

– *A modern fizika elképzelhetetlen számítógép nélkül. Mik az emlékei az első számítógépek megjelenésével kapcsolatban?*

– Nem sokkal azután, hogy átkerültem a Kísérleti Fizika Tanszékre jelent meg az első számítógép az intézetben, egy ODRA 1013-as lengyel gép, amelyet a fizikusok oktatásában azonnal fel is használtunk és a *Számítógép-programozás* tárgyat is én kezdtem el tanítani.

– *Az egyetemi oktatás szerves része nem csak az előadások megtartása, de a tanulást segítő segédanyagok, jegyzetek készítése is. Tanár úr sok ilyen jegyzetet készített. Melyik áll nagyon közel Önhöz?*

– Elméleti magfizikából *Platt* és *Weisskopf Elméleti magfizika* című könyve volt a biblia számunkra, de kísérleti módszerekhez nagyon sok, szerteágazó szakirodalom tartozott, így a kollégákkal úgy döntöttünk, hogy írunk egy háromkötetes jegyzetet *Magfizikai mérőmódszerek* címmel.

– *Jól sejtem, hogy ezekből nőttek ki a* Detektorok *és* Részecskegyorsítók *című kurzusok, amelyeket nekem is volt szerencsém hallgatni?*

– Igen, az első kötet a magsugárzás és az anyag kölcsönhatásával foglalkozott, a második a detektorokkal és a harmadik a gyorsítóknak volt szentelve. Mivel ekkor már dolgoztam a neutrongenerátorral, így testközelből, a gyakorlatban tapasztalhattam meg működésüket. Ezt az anyagot volt szerencsém továbbfejleszteni, amikor később a CERN gyorsítós nyári iskolája Egerben kapott helyet, ahova én is el tudtam menni. Így a legfrissebb technológiák is helyet kaphattak az új változatban.

– *A kötetek közül melyikre a legbüszkébb?*

– Az elsőre! Amíg a gyorsítók és detektorok jönnek-mehetnek, addig az alapfolyamatok nem változnak.

– *Kutatóintézetből átkerülni egy egyetemre azt is jelentette, hogy az idő nagy részét oktatással kell eltölteni. A programozás és magfizikai kísérleti technikák mellett még mit kezdett el oktatni?*

– Oktatási feladataim közé tartozott *laboratóriumi gyakorlatok* vezetése és a *Mérési adatok feldolgozása* című tárgy megtartása is. Ehhez hozzátartozik, hogy az egyetem alatt pont *Fizikai laborból* és *Numerikus és grafikus módszerekből* volt közepesem, és most ezeket kellett tanítanom.

– *Tanár úr, köszönöm szépen a beszélgetést. További jó egészséget és a jelenlegihez hasonló tettrekészséget kívánok. Isten éltesse sokáig!*

---

[2]Itt érdemes megemlítenünk, hogy Angeli István 82 évesen publikálta K. P. Marinova társzerzőjével a *Table of experimental nuclear ground state charge radii: An update* című összefoglalóját (*Atomic Data and Nuclear Data Tables 99/1* (2013) 69-95), amelyre az MTMT 643 hivatkozást tart nyilván. Gratulálunk! – *K.Á.*

FIZIKA ÉS KÉPZŐMŰVÉSZET – MŰELEMZÉSEK FIZIKUS SZEMMEL – 1. rész

Ujfaludi László
Eszterházy Károly Egyetem, Fizika Tanszék

„Az egzakt tudomány és annak gyakorlati mozzanatai nemhogy akadályoznák, hanem éppenséggel segítik és bátorítják a nagy költők munkáját… Ezért a költemény szépsége nem más, mint a tudomány kivirágzása.”
(*Walt Whitman*)

Az ember törekvései a világ megértésére két irányban fejlődtek. Az egyik az ok-okozati összefüggések keresése, azaz a tudományos megismerés, a másik az esztétikai kifejezés, vagyis a művészi ábrázolás. Az egzakt tudományok születése táján (nagyjából *Galilei* munkássága idején) kezdett a köztudatban gyökeret verni az a meggyőződés, hogy művészet és tudomány egymásnak szöges ellentétei. A 20. századra a humán és a természettudományos műveltség olyannyira eltávolodott egymástól, hogy sokan már a kultúra kettészakadásáról, sőt két kultúráról beszéltek. A kettészakadási folyamat megállítására 20. században jelentős kezdeményezések történtek és a század végére már mozgalommá terebélyesedett azok köre, akik a két kultúra újraegyesítését tűzték ki célul.

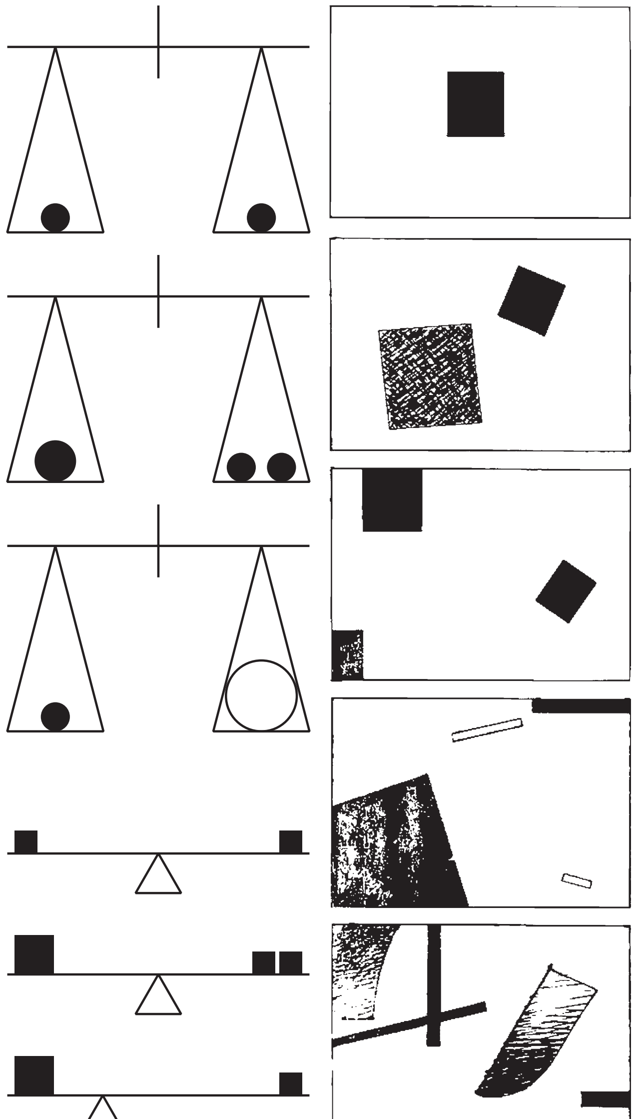
Jelen tanulmány kísérlet arra, hogy megmutassam: számtalan kapcsolódási pont létezik a fizika és a szépművészet között. Fizikus szemmel nézve a műalkotásokat új felismerésekkel gazdagíthatjuk a szokványos műelemzéseket. Másfél évtizedes vizsgálódásaim alatt sok szempontból próbáltam kikutatni a fizika és a képzőművészet, e két – látszólag távoli – kulturális terület összefüggéseit.

Rövid beszámolómban a kutatásaim során felismert legszembetűnőbb empirikus összefüggéseket próbálom röviden összefoglalni. Ennek során mindig fizikai jelenségekből indulok ki és az azokhoz társítható műalkotások rövid elemzését mondom el úgy, ahogy azt egy fizikus szemszögéből látom.

A vizsgált fizikai jelenségek a következők: *egyensúly, mozgás, áramlás, erőterek* – ezekben a kapcsolatok és analógiák könnyen felismerhetők; az olyan, elvontabb fizikai fogalom, mint az *entrópia,* már nehezebben kezelhető, de az egyes művészeti stílusok összehasonlítása útján ez is szemléltethető. A képzőművészeti példák legtöbbjét a modern művészetből vettem, ami nem véletlen: a 20. század és különösen az avantgárd művészeit ihlették leginkább a tudo-

Ujfaludi László fizikus, az Eszterházy Károly Egyetem (EKE) professzor emeritusa. Közel két és fél évtizedes kutató-fejlesztő tevékenység (VIDEOTON, TUNGSRAM, VITUKI) után 1990-től az EKE Fizika Tanszékének oktatója. Alapítása (2006) óta vezeti az egri Varázstorony planetáriumát. Másfél évtizede foglalkozik a „két kultúra”, ezen belül elsősorban a fizika és a képzőművészet kapcsolatával. E témakörben számos tanulmányt publikált és több konferencia-előadást tartott.

1. kép. Egyensúly, balra a fizikában, míg jobbra a képzőművészetben (Kepes György: *A látás nyelve*).



2. kép. Leonardo: *Sziklás Madonna.* A háromszög-kompozíció nyugalmat stabilitást áraszt.

3. kép. Pisanello: *A Madonna megjelenése Szent Antalnak és Szent Györgynek* – szintén háromszög-kompozíció.

mány és a technika eredményei. (Ezért a fenti Whitman-idézet a modern képzőművészetre éppúgy igaz, mint a költészetre.)

Úgy gondolom, hogy az itt ismertetett módszer továbbfejleszthető és kiterjeszthető más fizikai jelenségekre és további műalkotásokra. Az ilyen műelemzések hasznosak lehetnek mind a művészetpedagógia, mind a fizikaoktatás gyakorlatában.

Egyensúly

A testek és a több testből álló rendszerek fizikai egyensúlyával a mechanika „statika” című fejezete foglalkozik. A művészi kompozíció egyensúlya a festő, fotográfus, képzőművészeti író *Kepes Györgyöt* (1906–2001) is foglalkoztatta. A magyarul *A látás nyelve* címen megjelent könyvéből idézzük az első két képet. A fizikai egyensúly feltétele: a súlypontra vonatkoztatott forgatónyomaték minden irányban egyenlő; ezt mutatja különböző változatokban az *1. kép* bal oldala.

A műalkotások vizuális egyensúlyát azonban sokkal kevésbé szigorú feltételek teljesülése esetén is hiánytalannak érezzük (*1. kép,* jobbra), sőt az egyensúly hiánya olykor – esztétikai többletként – különleges feszültséget kölcsönözhet a képnek. A vizuális egyensúly tehát mást jelent, mint a fizikai egyensúly.

A háromszöget a legtöbben ösztönösen stabilnak, szilárdnak érezzük (súlypontja magasságának harmadában, tehát alacsonyan van), ezért a háromszög-kompozíció egy festményen, például a reneszánsz alkotó *Leonardo da Vinci* (1452–1519) *Sziklás madonnáján* (*2. kép*) a nyugalom és harmónia érzetét kelti.

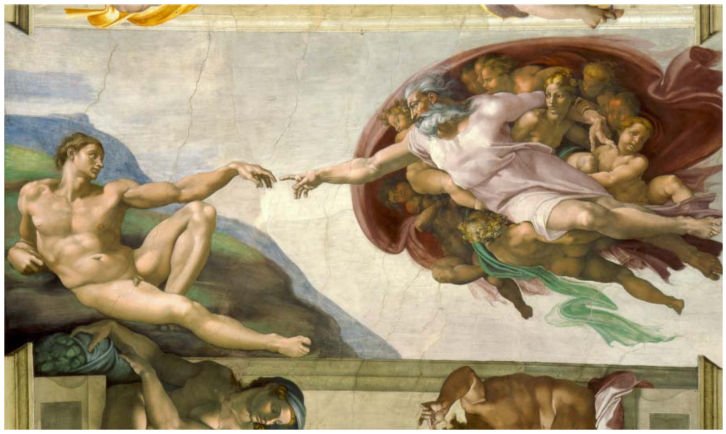
A háromszög-kompozíció igen gyakori a reneszánsz-kori festményeken, szobrokon. Elsősorban Madonna-képeken találunk rá számos példát, ide sorolható a kora reneszánsz festő és éremművész *Vittore Pisanello* (aki *Antonio di Puccio Pisanóként* is ismert) (1380/95–1450/55): *A Madonna megjelenése Szent Antalnak és Szent Györgynek* című festménye (*3. kép*) és még számtalan egyházi és világi tárgyú műalkotás.

A négyszög-kompozíció egyensúlya bonyolultabb. A tökéletes egyensúly – a szimmetrikus elrendezés – helyett a festők gyakran alkalmazzák a képsík aranymetszés szabálya szerinti felosztását. Az aranymetszés egy síkfelület vagy egy egyenes szakasz olyan felosztása, ahol a kisebb rész úgy aránylik a nagyobbhoz, mint a nagyobb az egészhez. A reneszánsz másik nagy óriása, *Michelangelo Buonarroti* (1475–1564) – akinek öregkori *Piétáját* (Firenze, Opera de Duomo) már a háromszögkompozíció kapcsán megemlíthettük volna – a Sixtus-kápolna mennyezetfreskója *Ádám teremtése* című jelenetén Ádám és az Úr ujjai éppen aranymetszésben találkoznának (*4. kép*).

Az egyik legjelentősebb japán képzőművész, a hosszú élete alatt több mint harmincezer művet alkotó *Kacusika Hokuszai* (1760–1849) talán leghíresebb metszetsorozatának, *A Fuji 36 látképe* egyik legszebb darabja *A nagy hullám Kanagavánál* (*5. kép*) az aranymetszés tipikus példája. Hokuszai metszetén balról indulva a hullám tetőpontja, jobbról indulva a szent hegy, a Fuji csúcsa az a pont, amely vízszintesen éppen az aranymetszésnek megfelelő arányban osztja ketté a képet.

A francia *Raoul Dufy* (1877–1953), „az öröm festője”, textiltervező *Három napernyő* című képét (*6. kép*) a színek sorozatos ismétlődése teszi mozgalmassá: a piros napernyő a kép geometriai középpontjától kissé balra helyezkedik el, ezt a kis aszimmetriát a jobb szélen lévő, távolabbi ernyő kis vörös foltja ellensúlyozza. Ezen kívül a kép közepén lévő három ernyő színei a fent és jobbra feszülő francia trikolór színeit ismétlik fordított sorrendben; míg a kép jobb szélén a napernyők a középső ernyők színeit ismétlik.

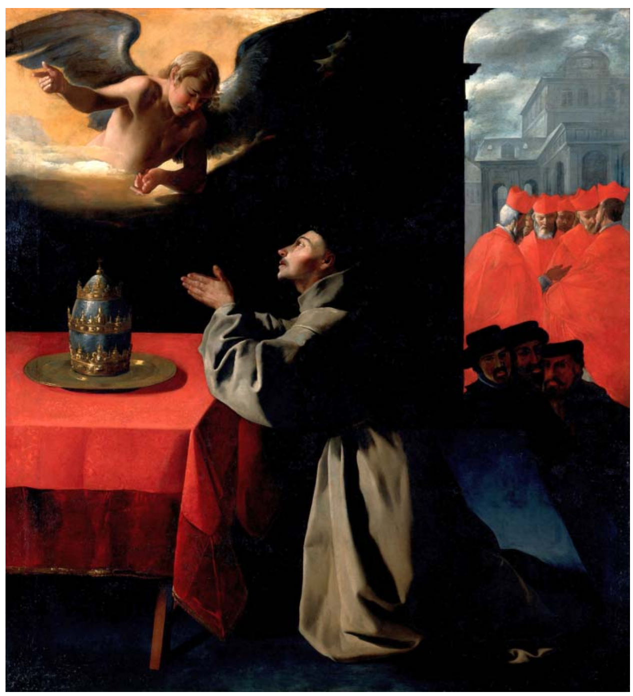
A mesteri ellenpontozás mintapéldája a spanyol aranykorból *Francisco de Zurbarán* (1598–1664) *Szent Bonaventura imája* című festménye (*7. kép*). A jobb oldalon álló főpapok (élete vége felé Bonaventurát is püspökké nevezte ki a pápa) csoportjának vörös színfoltját a bal oldali asztal (vagy oltár) vörös felülete az átló irányában ellensú-



4. kép. Michelangelo: *Ádám teremtése* – mennyezetfreskó, Ádám és az Úr ujjai pontosan aranymetszésben érnének össze.

5. kép. Hokuszai: *A nagy hullám Kanagavánál* – aranymetszés a hullám tetőpontjánál és a Fuji csúcsán.

7. kép. Zurbarán: *Szent Bonaventura imája* – az ellenpontozás.



6. kép. Dufy: *Három napernyő* – a színek sorozatos ismétlődése.

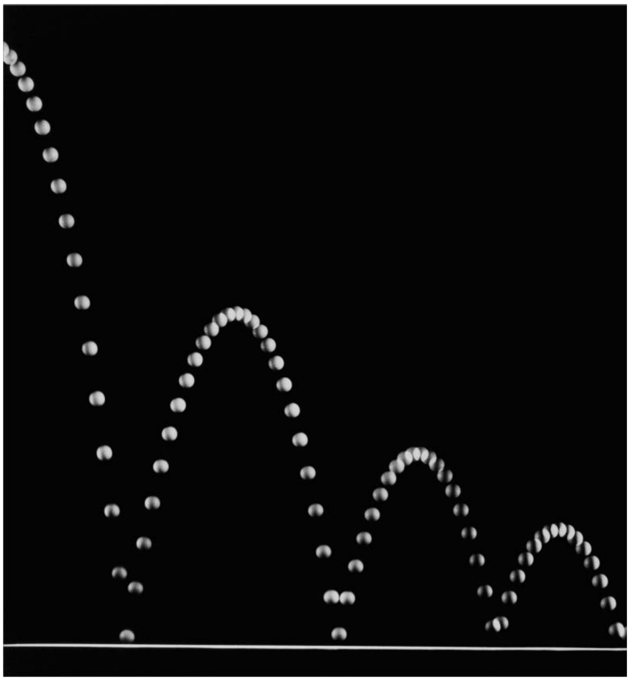
lyozza; ezt még egy másik, átlós egyensúly is kiegészíti: a szent látomásában megjelenő angyal és annak ellenpontja a kép jobb alsó szöglete néhány sötét ruhás egyházi személlyel.

Mozgás

A 20. század elején a fotográfia technikájának fejlődése lehetővé tette a mozgások egyes fázisainak képi rögzítését. A festészet is hamarosan csatlakozott az új törekvéshez; különösen a futuristák szerették ezt a technikát; a modern idők általuk oly fontosnak tartott dinamizmusát kívánták ily módon kifejezni.

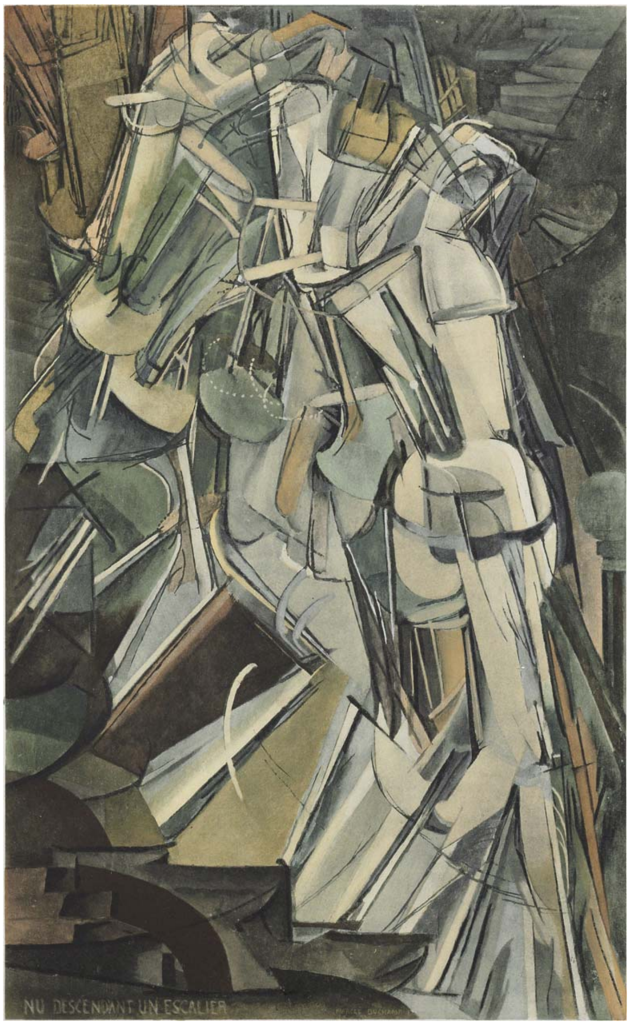
A labda mozgásfotó-sorozatán (*8. kép*) látható, hogy az energiaveszteség miatt a labda balról jobbra haladva egyre alacsonyabbra pattan fel. Itt a mozgó test, függőleges le-fel mozgása közben haladó mozgást is végez.

A francia–amerikai festő, szobrász, sakkjátékos, író, a kubizmus, a dadaizmus és a konceptuális művészet egyik meghatározó alakja, *Marcel Duchamp* (1887–1968) *Lépcsőn lemenő akt* című festményének (*9. kép*) ábrázolásmódja a labdáéval rokon: a modell lefelé lépked és közben haladó mozgást is végez, a kép megihlette az albán származású amerikai *Gjon Mili* (1904–1984) fotográfust – aki villamosmérnöki oklevelet szerzett az MIT-n és kutatómérnökként a színes fényképezéshez használható wolframszálat fejlesztett a Westinghouse-nál, majd szabadúszóként a *Life* magazinnak dolgozott, mennyire közel lehet egy emberben is a tudomány és a művészet (!) – (*10. kép*).

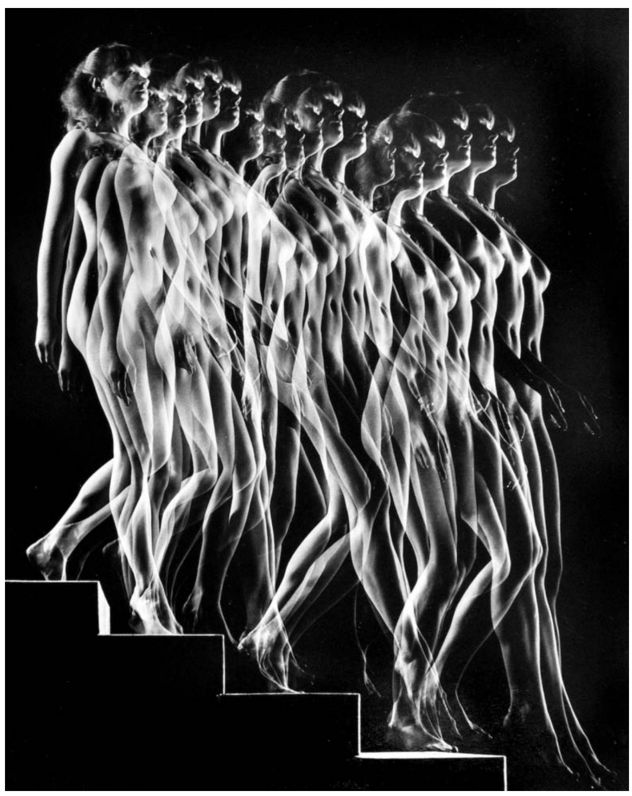


8. kép. Pattogó labda stroboszkopikus fotója (*Berenice Abbott,* 1898–1991).

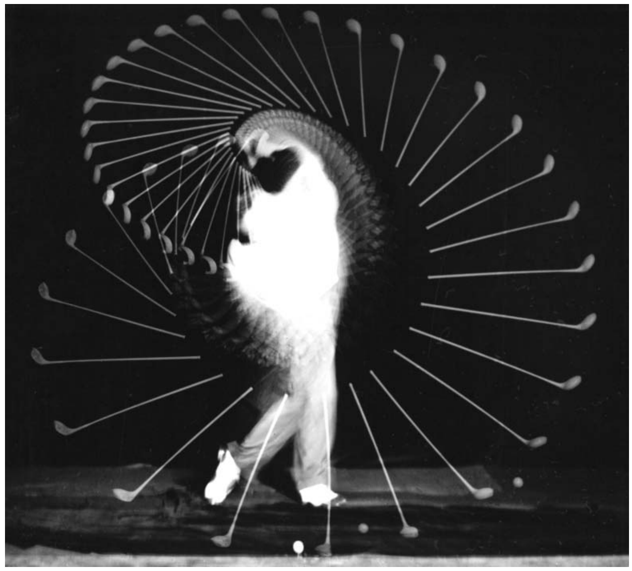
9. kép. Duchamp: *Lépcsőn lemenő akt* – a haladó mozgás ábrázolása.



10. kép. Lépcsőn lemenő akt – a fotográfus Mili szemével.



11. kép. Boccioni: *Folytonossági formák* – az elfolyó alak három dimenzióban jeleníti meg a mozgást.



12. kép. Golfjátékos mozgásfotója, az alak áll, csak a karja lendül – *Harold Eugene Edgerton* (1903–1990).

A futurista olasz festő és szobrász, *Umberto Boccioni* (1882–1916) *Folytonossági formák* című, gyalogló férfit ábrázoló szobra az igen ritka térbeli mozgásábrázolás szép példája (*11. kép*).

A golfjátékos mozgásfotóján (*12. kép*) a játékos áll, csak karja és felső teste mozog egy (változó sugarú) ív mentén. Boccioni *Kerékpáros* című festményére (*13. kép*) a golfjátékos ábrázolásmódja jellemző: az egymás utáni mozgásfázisok képe egymás fölé torlódik és a képen – bár a valóságban a kerékpáros nyilvánvalóan előre halad – nem követhető a haladó mozgás. (A képen látható hatás nagyjából megvalósítható lenne egy szobakerékpárt hajtó személy mozgásfázisainak egymásra kopírozásával.)

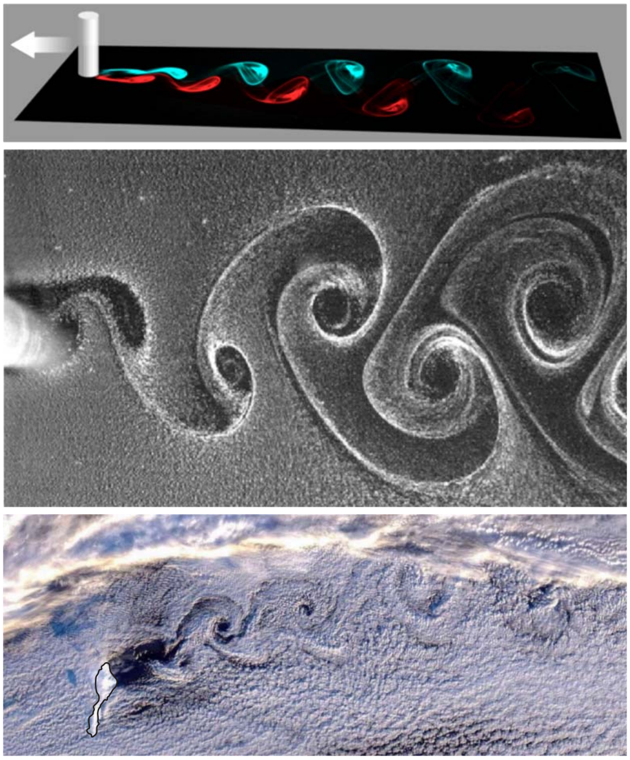
13. kép. Boccioni: *Kerékpáros* – a mozdulat fontosabb a haladó mozgásnál.

Áramlások

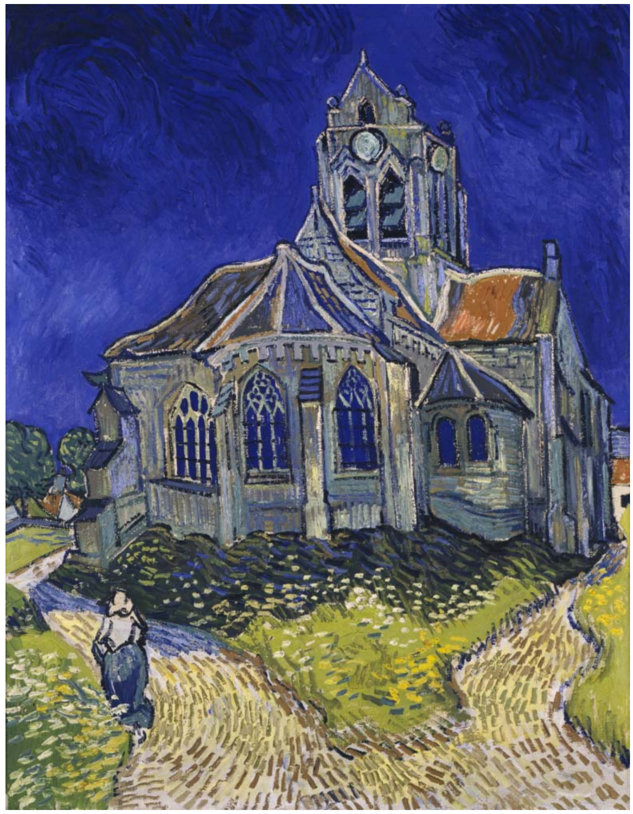
A posztimpresszionista-expresszionista *Vincent van Gogh* (1853–1890) *Csillagos éj* című festményén (*14. kép*) szinte minden áramlik és örvénylik. Az előtérben álló ciprus lángoszlop módjára emelkedik az ég felé, amely hatalmas, örvénylő folyamra emlékeztet. A középső, egymásba fonódó légtömegek a Kármán-féle örvényekre emlékeztetnek. A *15. kép* felül egy henger mögött keletkező Kármán-féle örvénysor számítógépes szimulációját, közepén hidrogénbuborékokkal láthatóvá tett laboratóriumi kísérletét, míg alul Grönlandi-tengeren lévő Jan Mayen sziget 2300 m magas vulkánja által előidézett felhőörvények műholdfelvételét mutatja.

Egyes elemzők a középső, összefonódó két örvényben a kínai jin és jang szimbólumokat vélik felismerni, ami a kép keletkezése idején Európában divatossá vált kínai és japán metszetek nyomán elképzelhető. A Hold és a csillagok

14. kép. Van Gogh: *Csillagos éj* – minden áramlik-örvénylik.

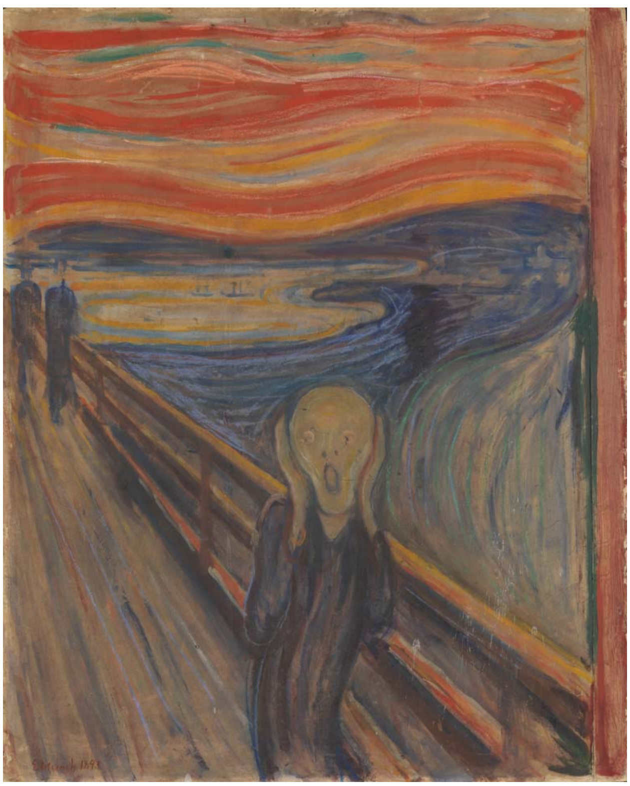


15. kép. Kármán-féle örvénysor számítógépes szimulációja, laboratóriumi kísérletben és a természetben.



16. kép. Van Gogh: *Az auvers-i templom* – ami a valóságban egyenes, statikus, a képen meggörbül, mozog, hömpölyög. A templom felé menő asszony viszont mozdulatlannak tűnik, csak a méretek jelzésére szolgál.

17. kép. Munch: *Sikoly* – az áramló környezet felerősíti a rémület kifejezését.



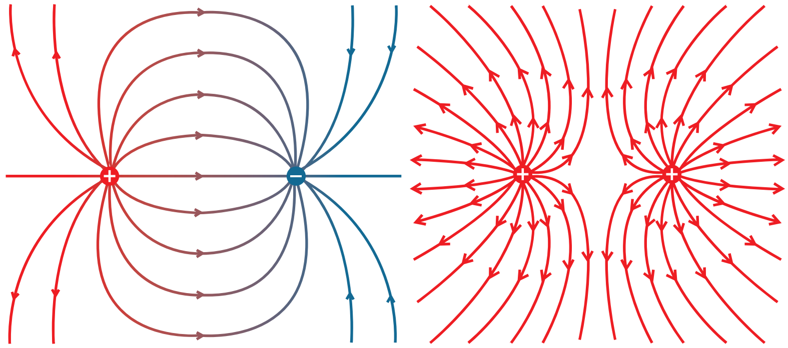
ábrázolása a képen a forgó testek érzetét kelti. Van Goghnak minden bizonnyal nem állt szándékában áramlási és örvényképeket festeni. A *Csillagos éj* és élete végén keletkezett tájképeinek nagy része nyugtalan lelkiállapotának szubjektív kivetítése a tájba – ismeretes, hogy a kép festése idején egyre súlyosbodó elmezavarban szenvedett.

Életének utolsó éveiből származik *Az auvers-i templom* című képe is, amelyen az épületet körül ölelő út olyan, mintha egy kettéágazó, hömpölygő folyam lenne (*16. kép*), a templom falai remegni látszanak. Az égen fent viharfelhők örvénylenek; a táj vészjósló nyugtalanságot sugároz.

Az expresszionista *Edvard Munch* (1863–1944) *Sikoly* című festményén (*17. kép*) a viharos égbolt látványa és a haragos tengeráramlás felerősíti a főalak lelkiállapotának kifejezését. A kép előterében álló alak kézmozdulata rémületet fejez ki, amelynek forrása a képen nem látható. A rémület érzetét fokozza a halálfejhez hasonló arc.

A háttérben közönyösen álldogáló két alak szemlátomást nem szerez tudomást a rémület okáról. A főalak láthatóan igyekszik menekülni, vagy legalább távol tartani magát a riasztó jelenségtől. Munch a jelenetet több változatban is megfestette, az itt látható (leghíresebb) változat 1893-ban keletkezett. A valószínűtlenül vörös égbolt oka, hogy az indonéziai Krakatau sziget vulkánjának 1883. évi, ötezer hirosimai atombomba erejű kitörésekor nagy mennyiségű kén-dioxid került a sztratoszférába, ahol igen távoli vidékekre is eljutott, s még Észak-Európában is vörösre festette az égboltot. Az eseményről a korabeli norvég lapok is beszámoltak.

Munch festményét az utóbbi években kétszer is elrabolták az oslói Nemzeti Galériából: először 1994-ben, akkor hamarosan előkerült. A 2004-es rablás után, amikor fényes nappal fegyveresek hurcolták el a képet, csak két év után került elő, de igen rossz állapotban és csak hosszas restaurálás után lehetett újra kiállítani. A festmény egyes kommentárok szerint a 20. század előképe lehetne; a századvég műalkotása az emberiségre a következő században váró példátlan szenvedéseket vetíti előre.



18. kép. Különböző (balra) és azonos elektromos töltések (jobbra) között kialakuló erővonalkép.

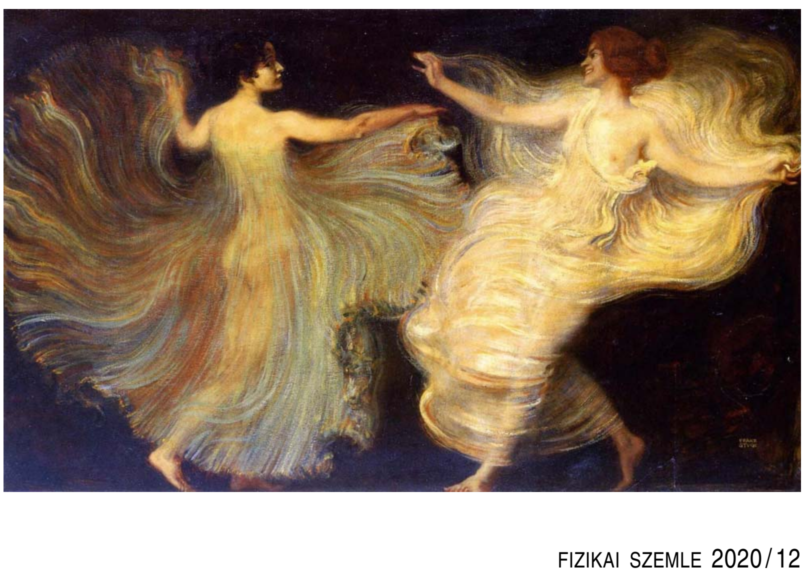
Erőterek

Az elektromágnesség-tanból ismeretes, hogy az azonos elektromos töltések és mágneses pólusok taszítják, a különneműek vonzzák egymást. A különnemű elektromos töltések között összetartó, konvergens erővonalkép alakul ki: az egyik töltésből kiinduló erővonalak a másikban végződnek (*18. kép* bal oldala). Az egynemű töltések viszont taszítják egymást, a belőlük kiinduló erővonalak széttartóak, divergensek (*18. kép* jobb oldala). Hasonló erővonalrendszer alakul ki a mágnespólusok környezetében, az ellentétes pólusok (É–D) között konvergens, az azonos pólusok (É–É, vagy D–D) között divergens erővonalak.

A vonzásos erőterek konvergens, a taszító terek divergens erővonalaival analóg jelenség a köpenyredőkön kialakuló tetszetős alakzatok, amelyekre számos festményről és szoborról hozhatnánk fel példákat. Itt csak kettőt mutatunk be: *Agostino Duccio* (1418–1481) korai reneszánsz itáliai szobrász *A szűz* című domborművét a bolygók szimbólumait és jeleit

19. kép. Duccio: *A szűz.*

20. kép. Von Stuck: *Táncosnők.*



21. kép. Signac *Félix Fénéon a bűvész* – háttérben az erővonalrendszer.

ábrázoló sorozatából a Riminiben található Malatesta templomból (*19. kép*) és *Franz von Stuck* (1863–1928) szobrász-festőművész, a müncheni szecesszió előkészítője *Táncosnők* című szimbolista reliefjét és festményét (*20. kép*).

Paul Signac (1863–1935), a pointilizmus egyik élharcosa *Félix Fénéon a bűvész* című festményének (*21. kép*) hátterében bonyolult erővonalrendszer látszik, amely minden bizonnyal a varázslat körül kialakuló bűvös erőteret jelképezi.

Az entrópia szemléltetése műalkotásokkal

Az entrópia a fizikában a rendezetlenség mértékét fejezi ki. A rendezett állapotot alacsony, míg a rendezetlen állapotot magas entrópia jellemzi. Képzeljünk el egy dobozt, amelynek egyik felében fekete, másikban fehér golyók vannak, éles határvonallal elválasztva; legyen ez rendszerünk 1. állapota. Ezután keverjük össze a golyókat, például a doboz alapos összerázásával, ekkor mindenütt lesznek fekete és fehér golyók; legyen ez a rendszer 2. állapota. Az első állapot rendezett, mivel a golyók egy határozott logika szerint lettek a dobozba helyezve, ennek entrópiája alacsony. A második állapot rendezetlen, a golyók véletlenszerűen helyezkednek el, az entrópia (azaz a rendezetlenség mértéke) nagy.

A rendezett rendszer érzékeny az egyes elemek cseréjére; a fenti példában az 1. állapotban két elem (akár már két golyó) felcserélése felborítja az eredeti rendet, a 2. állapot erre teljesen érzéketlen. Az élő szervezetek, sőt már egy sejt is, alacsony entrópiájú rendszerek; egy sejten belül minden atom, molekula csakis meghatározott helyen lehet, a legkisebb változás a sejt struktúráját oly mértékben módosítja, hogy az a sejt pusztulását okozhatja. Az élettelen rendszerek között viszont sok magas entrópiájú rendszert találunk, például egy tartályban lévő gáz, vagy egy edényben tárolt víz molekuláinak elhelyezkedése semmilyen felismerhető struktúrát nem mutat, az elrendezés módosulásának hatására a gáz vagy a víz tulajdonságai nem változnak észrevehetően.

Az entrópia másrészt szorosan kapcsolódik a rendszerben tárolt információtartalomhoz. Alacsony entrópiájú rendszerek nagy mennyiségű információt tartalmazhatnak, míg a magas entrópiájú rendszerek információtartalma csekély. Gondoljunk az élő sejtre: annak DNS-állománya hatalmas mennyiségű genetikai információt hordoz. Ugyanakkor a tartályban lévő gáz információtartalma minimális: állapota néhány egyszerű fizikai paraméterrel (például nyomás, térfogat, hőmérséklet) leírható. Amikor a sejt elpusztul, a benne lévő molekulastruktúrák egyre rendezetlenebbé válnak, entrópiája egyre nő, információtartalma végül teljesen elvész.

Az entrópia növekedése műalkotások segítségével is szemléltethető. A régebbi korszakok (nagyjából a 19. század végéig terjedő időszak) alkotásai általában alacsony entrópiával jellemezhetők: magas fokú (logikai) rendezettség és gazdag információtartalom jellemzi őket, más szóval gazdag jelentéstartalmuk van. A 20. század új művészeti irányzatai minden tekintetben jelentős változást hoztak. A változás az entrópia növekedésével is jellemezhető. Jelen tanulmány korlátozott terjedelme miatt itt csak egy példa: az absztrakció kialakulásának rövid interpretációjára teszek kísérletet. A felsorolt képek időrendben egymás után

22. kép. Renoir: *Moulin de la Galette* – mozgalmas, mégis rendezett.

23. kép. Severini: *A Tabarin bár dinamikus hieroglifái* – már csak a tánc forgataga és néhány útbaigazítás jelenik meg.

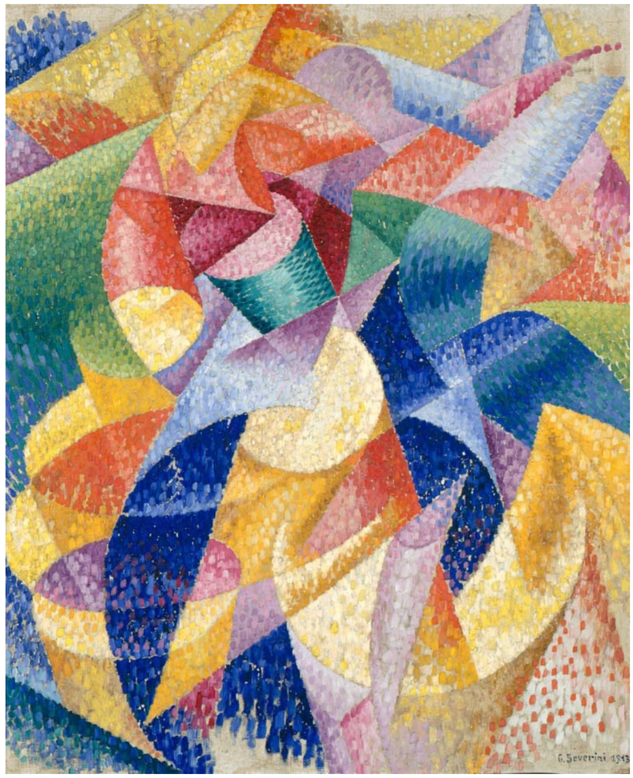
születtek, az impresszionizmus fénykorától a 20. század közepéig (az első idézett kép keletkezési dátuma 1873, az utolsóé 1950.)

A *22. kép Pierre-Auguste Renoir* (1841–1919) *Moulin de la Galette* című nagyméretű olajképe népes táncjelenet egy párizsi mulatóból. Bár a kép akkoriban modernnek számított, a továbbiakhoz képest mégis konvencionális ábrázolásnak tekinthető.

Gino Severini (1883–1966) a futurizmus és a kubizmus egyesítője *A Tabarin bár dinamikus hieroglifái* festménye (*23. kép*) szintén táncjelenet; de már csak a tánc forgatagát jelzi, bár van még néhány konkrét utalás, amely a nézőt útbaigazítja, a POLKA és a VALSE (keringő) felirat. Két szimbolikus figura is felismerhető a kép felső részén: egy ollón lovagló meztelen nő és egy lovagló beduin; előbbi valószínűleg a Boszorkányszombatra, utóbbi talán az Ezeregyéjszakára történő utalás. A kép határesetet képez a figuratív és az absztrakt alkotások között; még tartalmaz (hagyományos) képi elemeket, domináns kifejezésmódja azonban a hangulat- és mozgásábrázolás.

A *24. kép,* Severini *Táncosnője* már semmilyen konvencionális elemet nem tartalmaz, itt már csak a mozgás, a ruharedők hullámzása érzékelhető. Alkotója azonban – a cím is erre utal – még igényt tart arra, hogy a képen konkrét jelentéstartalmat fedezzünk fel.

Vaszilij Kandinszkij (1866–1944) *VII. kompozíciója* (*25. kép*) és *Jackson Pollock* (1912–1956) két, „action painting” technikával készült alkotá-

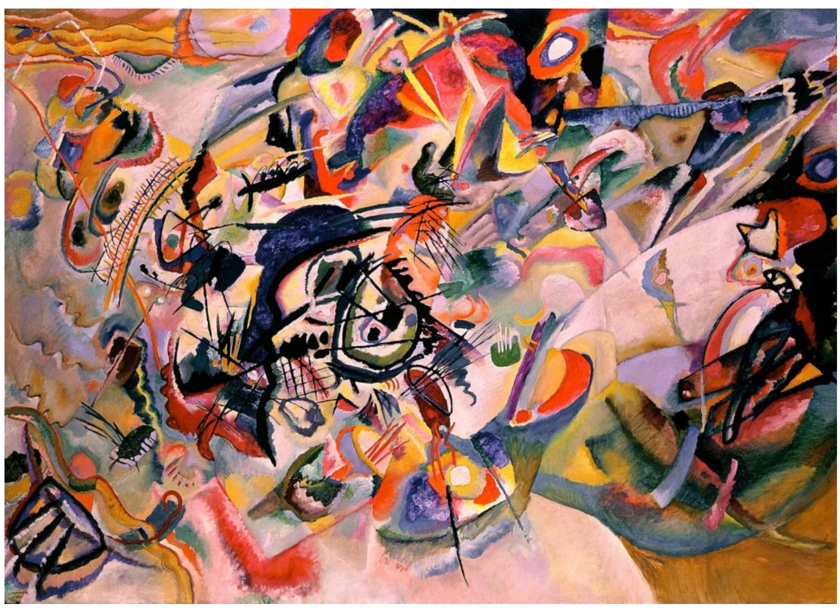


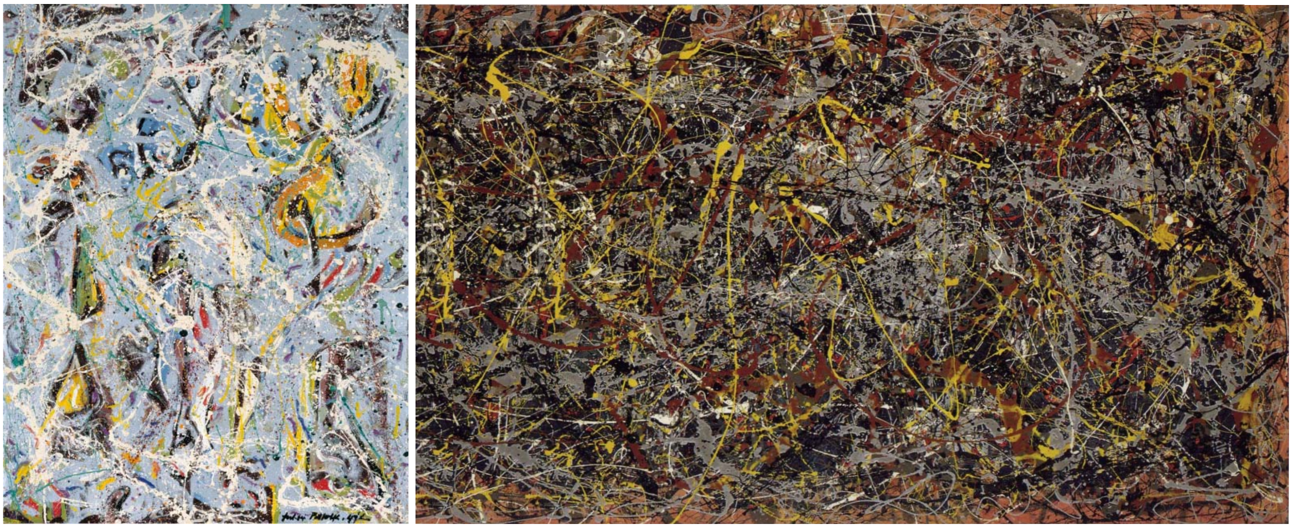
24. kép. Severini: *Táncosnő* – már csak a mozgás, de címében még konkrét jelentéstartalmat hordoz.

sa (*26. kép*) az absztrakt festészet példái; itt már nincs szó konkrét jelentésről.

A *27. kép* a folyamat összefoglalása. Egyfajta kompozíciós rend az absztrakt műveknél is felismerhető, a színek, vonalak ritmusa stb., de egyúttal nyilvánvaló a hagyományos festészeti elvek teljes tagadása. Az idézett alkotásoknál nyomon követhető a (hagyományos értelemben vett) jelentéstartalom fokozatos elvesztése; a *25.* és *26. képeken* már csak jelentéstartalom nélküli alkotásokról beszélhetünk.

25. kép. Kandinszkij: *VII. kompozíció* – gyakorlatilag már cím sincs.





26. kép. Pollock: *Galaxis* (balra) és *No. 5* (jobbra) – már a festmény készítése is magas entrópiájú.

Németh Lajos A művészet sorsfordulója című könyvében *Fülep Lajos* megállapítását idézi: „Minden kompozíció célja az önkény kiküszöbölése és bizonyos szükségszerűség megállapítása. A szükségszerűség azt jelenti, hogy a képen vagy a szobron minden csakis abban a formában lehetséges, amelyben van, egyik rész olyan szorosan függ össze a másikkal és függ a másiktól, hogy a legcsekélyebb megváltoztatása valamennyi többi rész megváltozását vonja maga után. … Valódi analogonja tehát a logikai vagy a matematikai tétel, amelyben bizonyos premisszákból csak bizonyos konklúzió következhetik.”

Ha ennek szellemében vizsgáljuk a fent idézett modern műalkotásokat, feltűnő a kompozíció esetlegessége, „az egész lehetne másképp is” érzése. Bizonyos részek felcserélhetők lennének anélkül, hogy ez különösebb következménnyel járna a kép jelentéstartalmára. Ez pedig (lásd a jelen fejezet első szakaszát) a magas entrópiájú, rendezetlen, információszegény rendszerek sajátossága. Itt tehát teljes összhangban van a fizikai és a művészetfilozófiai értékelés!

27. kép. Az entrópia növekedése, a rend, illetve az információ elvesztése.

Irodalom

Berger, R.: *A festészet felfedezése*. Gondolat Kiadó, Budapest, 1973.

De Micheli, M.: *Az avantgardizmus*. Képzőművészeti Alap Kiadóvállalata, Budapest, 1978.

Kepes, Gy.: *A világ új képe a művészetben és a tudományban*. Corvina Kiadó, Budapest, 1979.

Kepes, Gy.: *A látás nyelve*. Gondolat Kiadó, Budapest, 1979.

Németh, L.: *A művészet sorsfordulója*. Ciceró Kiadó, Budapest, 1999.

Read, H.: *A modern festészet*. Corvina Kiadó, Budapest, 1965.

Tuffelli, N.: *A 19. század művészete*. Larousse–Helikon Kiadó, Budapest, 2001.

Ujfaludi, L.: A szépség rejtett dimenziói – Fizika és képzőművészet. *Acta Academia Agriensis, Sectio Pericemonologica, XXXVI.* Eger, 2009.

Szerkesztőség: 1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint III., Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682
A Társulat Internet honlapja http://www.elft.hu, e-postacíme: elft@elft.hu
Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős kiadó Groma István főtitkár, felelős szerkesztő Lendvai János főszerkesztő.
Kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.
Nyomdai előkészítés: Kármán Stúdió, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.
Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyszámlán.
Megjelenik havonta (nyáron duplaszámmal), egyes szám ára: 1000.- Ft (duplaszámé 2000.- Ft) + postaköltség.
HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és **HU ISSN 1588–0540** (online)

BÚCSÚZUNK HALÁSZ TIBOR TANÁR ÚRTÓL

Halász Tibor sokat hangoztatott és saját munkája során mindig szem előtt tartott hitvallása kell, hogy irányítson minden tanárképzéssel foglalkozó oktatót: „Annak adok jó szívvel tanári diplomát, akire rá merném bízni az unokáim tanítását is."

Sajnos már nem kapunk több útmutatót tőle, 88 éves korában itt hagyott bennünket a fizikatanárok mentora, a fizikatankönyv-írás meghatározó alakja.

Halász Tibor 1932-ben született Csanádpalotán, középiskolai tanulmányait a makói Csanád Vezér Gimnáziumban végezte, majd 1954-ben matematika–fizika szakos tanári diplomát szerzett a Szegedi Tudományegyetemen. Ezt követően nyolc évig a kaposvári Táncsics Mihály Gimnáziumban tanított, közben szakfelügyelőként segítette a Somogy megyei fizikatanárok munkáját. Egy évig tanított Szegeden, a Radnóti Miklós Gimnáziumban, majd 1963-tól 1995-ig – nyugdíjazásáig – a szegedi Juhász Gyula Tanárképző Főiskola Fizika Tanszékének oktatója volt. Itt kezdetben adjunktusként, majd docensként dolgozott, 1996-ban címzetes főiskolai tanári címet kapott. 6 évig volt a Főiskola főigazgató-helyettese.


Halász Tibor a Rátz Tanár Úr Életműdíj átvételekor (2013).

Munkáját mindig áthatotta az a meggyőződés, hogy a tanárképzés legfontosabb feladata a tantárgyi ismeretek átadásán túl a tanítani tudás átadása. A sikeres tanításhoz pedig nagy segítséget adhat a jó tankönyv. 1973-ban megszervezett kutatócsoportja által – az ő szakmai irányítása mellett, alkotószerkesztői és társszerzői feladatvállalásával – írt, több millió példányban megjelent, rendkívül sikeres tankönyvek, tanári segédkönyvek, feladatgyűjtemények, oktatási segédletek több évtizeden át meghatározták és segítették a hazai fizikaoktatást és fizikatanulást az általános és középiskolákban. Az alkotóközösség tagjai fáradtságot nem ismerve, sokszor éjszakába nyúlóan vitatkoztak annak érdekében, hogy a szakmaiság csorbulása nélkül, de érthetően, érdekesen, helyes nyelvezettel készüljenek el a fizikatankönyvek.

A közoktatás diákjain kívül a tanárképző főiskolák hallgatóinak is írt tankönyvet, *Mechanika* jegyzetéből a jövő pedagógusai, sok száz leendő fizikatanár tanult.

Jelentős szerepet vállalt a fizikatantervek kidolgozásában is: az 1978-as fizikatanterv, majd 1993-tól az első Nemzeti alaptanterv fizika fejezetének kidolgozásában vett részt.

A fizika tanításán túl szívügyének tekintette annak népszerűsítését is. Ennek országos színtere volt, hogy 1978–1981 között részt vett a Magyar Televízió *Képes fizika* című sorozatában szakmai forgatókönyvíróként és előadóként.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat meghatározó tagja, két évig a társulat egyik főtitkárhelyettese is volt. Évtizedeken keresztül segítette az ELFT Oktatási Szakcsoportja munkáját. Lenyűgöző előadásai a Társulat által évente megrendezésre kerülő Országos Fizikatanári Ankétjai – amelyeken minden évben több száz fizikatanár vett részt az ország minden részéről – gyöngyszemei voltak.

A tehetséggondozást is kiemelkedően fontosnak tartotta, úgy vélte, hogy az emberiség nagy problémáinak megoldásához a természettudományokban, azon belül a fizikában járatos generációkat kell nevelnünk. Ezért az Öveges József Kárpát-medencei Fizikaverseny feladatkitűző és feladatjavító bizottsága munkájában is nagy szerepet vállalt. Neki is köszönhető, hogy 2020-ban már 30. alkalommal került megrendezésre ez a verseny.

Halász Tanár úr ízig-vérig pedagógus volt. Fantasztikus előadásokat tartott, valamennyi tanórája élményszámba ment. Magával ragadó stílusa miatt nem lehetett nem szeretni a fizikát, és egyéni szemléletmódjával a fizikát már jól ismerőknek is rendre újat tudott mutatni. Személyiségéhez hozzátartozott az a megingathatatlan hite, hogy humorral, szeretettel, okos magyarázattal minden diák meggyőzhető, minden feladat megoldható, minden jelenség megérthető. Még azokban a diákokban is fel tudta kelteni az érdeklődést, akik „nemszeretemafizikát" érzéssel kerültek elé, s ki tudta váltani bennük a „jé, hát ezt értem" boldog megnyilvánulást. A szakmai és nem szakmai összejöveteleken is briliáns előadó, kitűnő mesélő, s látva a fennmaradt videoanyagokat, elragadó szereplő is volt.

Kimagasló munkáját bizonyítják díjai, kitüntetési is: MTV Nívódíj, Pro Iuventute Emlékérem, Eötvös-érem, Apáczai Csere János-díj, Honor Pro Meritis kitüntetés, Mikola Sándor-díj és Rátz Tanár Úr Életműdíj.

Kedves Tibor!

Szegényebb lesz a magyar fizikatanár-társadalom nélküled. Hiányozni fognak bölcs, segítő, biztató mondataid. Ígérjük, nem feledjük a test–tulajdonság–mennyiség „szentháromságát", ígérjük, hogy tovább visszük azt a szellemiséget, amit ránk hagytál, mert *Juhász Gyulával* mi is hisszük, hogy

„Nem múlnak ők el, kik szívünkben élnek,
Hiába szállnak árnyak, álmok, évek."

Fájdalommal búcsúzunk Tőled a Pedagógusképző Kar, valamennyi diákod, volt kollégáid és minden fizikatanár nevében.

SZTE JGYPK
Általános és Környezetfizikai Tanszék

Közös emlékeink

Halász Tibor tanár úr 2020. október 25-i halálhíre az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Általános Iskolai Oktatási Szakcsoportjának tagságát is megrendítette.

Azon túl, hogy évtizedeken át tankönyveiből tanítottunk, használtuk segédkönyveit, munkafüzeteit, szemléltetéshez vetítettük a fizikai jelenségek bemutatásához készített filmjeit, sok-sok lelkes előadását élvezettel hallgattuk, csodáltuk lelkesedését, küzdelmét a fizikatanításért, az óraszámok csökkentése ellen, mi más oldaláról is megismerhettük.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulatba már 1978-ban belépett, de itt nyugdíjas éveiben volt a legaktívabb. Ezt ismerte el szakcsoportunk tagsága, amikor 2011-ben elnökségi tagnak választotta. Az ELFT Díjbizottsági tagja volt 2012–2019-ig, 2014–2019-ig az Ericsson–Rátz Díjbizottságban is dolgozott. Ezek mellett 2013, 2014-ben a Társulat főtitkárhelyetteseként képviselte az általános iskolai fizikatanítást, a fizikatanárokat.

Minden feladatban szívesen működött közre. Részt vett a Nemzeti Köznevelési Törvény, a Nemzeti Alaptanterv, a Kerettantervek, a Pedagógus életpályamodell véleményezésében. Az Öveges József Kárpát-medencei Fizikaversenyen feladatkitűzői, az országos döntőn rendezői, javítói feladatokat látott el, lektorálta a feladatsorokat. A döntőt követően az abszolút első helyezettnek és felkészítőjének – a névre szóló vésetés után – saját iskolájában, a diák- és tanártársak előtt, az évzárón adta át az Öveges emlékérmet.

A középiskolásokkal közösen rendezett fizikatanári ankétoknak is aktív segítője volt, üléselnöki szerepet vállalt, foglalkozást tartott.

Minden alkalmat megragadott a fizika tantárgy népszerűsítéséért. E cél érdekében nem ismert lehetetlent. Konferenciákon és más rendezvényeken aktívan képviselte a szakcsoportot, hallatta szavát a fizikatanítás érdekében.

Hasznos ötleteivel, tapasztalataival a közös munkát segítette az elnökségben.

Sok értékes és emlékezetes vitát folytatott az energia általános iskolai oktatásának mikéntjéről. Egy biztos: neki rengeteg energiája volt, még arra is futotta, hogy mások hitét erősítse, lelkesítsen a megkezdett munka folytatására.

Köszönet mindenért! Nyugodj békében, Tibor!

ELFT Általános Iskolai Oktatási Szakcsoportja

LEVÉL A SZERKESZTŐSÉGNEK

Tisztelt Szerkesztőség!

A *Fizikai Szemle* 2020. évi 10. számában *Fizikaoktatásunk margójára* címmel *Holics László* írt cikket. Ebben felhívja a figyelmet egy, a síktükör képalkotásával kapcsolatos, tankönyvekben is megjelenő *hibás* állításra: „A tükör által alkotott kép egyenes állású, de *a bal és jobb oldalt felcseréli.*” A négy bemutatott tankönyv közé bekerült egy olyan, amelyhez személyes szálak is fűznek. (Egyrészt szerzője az édesapám: *Zátonyi Sándor,* másrészt a könyv egy korábbi változatának magam is társszerzője voltam.) A cikket átfutva megdöbbentem, nem értettem, hogyan kerülhetett a könyvbe egy ilyen durva hiba. Figyelmesebben elolvasva a cikket, kiderült, hogy *a könyvből idézett rész nem is tartalmazza a cikk szerzője által egyébként jogosan kifogásolt, hibás megállapítást.*

Holics László a cikkben egy fotót és a hozzá kapcsolódó képaláírást, továbbá egy bekezdést idéz a könyvből.

- A képen egy nő áll egy tükör előtt és egyik kezével a haját igazítja. A fotón látszik a nő tükörképe is. A képaláírás a következő: „Tükörkép a fürdőszobai tükörben. Melyik kezével nyúl a fiatal nő a hajához? És a tükörképen?” – Ebben tehát semmilyen hibás állítás nincs. Hétköznapi jelenséget mutat be, és ebből kiindulva megfigyelésre, gondolkodásra készteti a tanulókat.
- Az idézett bekezdés pedig a következő: „*Térbeliség.* A síkra vonatkozó tükrözés érdekes tulajdonsága, hogy felcseréli a térbeli irányítottságot. Jobb és bal kezünk térbeli irányítottsága éppen ellentétes. Ez azt jelenti, hogy nem tudjuk jobb kezünket olyan helyzetbe mozgatni, hogy fedésbe kerüljön a ballal. Ha azonban például jobb tenyerünket egy tükörhöz érintjük, akkor tükörképe olyan lesz, mint bal kezünk. Ugyanez okozza azt, hogy a tükörben látott szöveget alig tudjuk elolvasni (tükörírás).” – Ebben sem található helytelen állítás.

Ezután végigolvastam a könyvben is a kérdéses fejezetet, de abban sem találtam a Holics László által jelzett hibát. Kíváncsiságból elővettem édesapám korábbi könyveit, de egyikben sem, még a *Kovács Zoltánnal* írt, 1964-ben megjelent könyvében sem szerepelt a kifogásolt állítás.

Bár ezt nem idézte Holics László, de érdemes figyelembe venni azt is, hogy a kifogásolt tankönyvnek ugyanebben a fejezetében szerepel a következő: „A rajz alapján azt is észrevehetjük, hogy a tárgy és a kép egymásnak geometriai értelemben vett tükörképei. (*Síkra történő tükrözés.*)” – Ez viszont matematikai értelemben pontosan leírja, hogy a síktükörnél milyen leképezésről van szó, és ehhez egy helyes ábrát is közöl.

ifj. Zátonyi Sándor

Inzelt György:
TERMÉSZETTUDOMÁNY HÁBORÚBAN ÉS BÉKEIDŐBEN – KÉMIKUSOK, TALÁLMÁNYOK, FELFEDEZÉSEK

Typotex Kiadó, 2020, 321 oldal

Kiváló könyv jelent meg *Inzelt György* tollából, amely vegyészek, fizikusok és tanárok számára is sok érdekességgel szolgálhat. A könyv hét fő fejezetét kiegészíti az előszó, a bevezetés, a több mint száz irodalmi ajánlás, továbbá a közel 700 nevet tartalmazó névmutató. A szerző alapvetően négy tudós és két nagy történelmi korszak köré csoportosítja mondandóját.

Az alapos kutatómunka eredményeként az adott *korszak tudósai, tudományos elitjén keresztül láthatjuk a történelmi eseményeket.* A szerző komplexen szemléli az eseményeket, például a kiegyezéshez vezető ok a Habsburg Birodalom több fronton is elszenvedett katonai veresége, amely többek közt az egységes Olaszország kialakulásához vezetett.

A szerző sok példával alátámasztva mutatja be, hogy a kiegyezés utáni évtizedekben, a „boldog békeidőkben” az ország milyen komoly ipari fejlődésen ment keresztül, amelyben jelentős szerepe volt a mérnöki és a természettudományoknak, kiemelve a kémiát. Ez egyben üzenet értékű is: a napjainkban visszaszoruló kémia- és fizikaoktatás komoly gazdasági hátrányokat okoz majd az elkövetkezendő évtizedekben. A szerző példák hosszú sorával mutatja be, hogy a globalizáció már a huszadik század elején elkezdődött.

Az első fejezet *Lomonoszov* életével és munkásságával foglalkozik, Inzelt egészen más képet fest Lomonoszovról, mint azt megszoktuk. Mielőtt a rátérne a tudományos életműre, részletesen bemutatja a Lomonoszov életére ható kor orosz történelmének fontos részleteit. Tárgyalja érdekes magánéletét, ifjúkorát, tanulmányainak alakulását német földön és izgalmas hazatérését, házasságát, majd későbbi szerteágazó munkásságát, amelybe a természettudományok szinte minden ágán túl még Lomonoszov költészete, hozzájárulása az orosz nyelv alakításához, és a róla elnevezett egyetem megalapítása is beletartozik.

E fejezetben foglalkozik a legtöbbet az adott személy tudományos munkásságának bemutatásával. Rámutat, hogy Lomonoszovot valójában a szovjet-orosz érában találták meg, mert természettudományos szemlélete, materialista beállítottsága megfelelt e korszak ideológiájának. Munkái azonban nem sok hatást gyakoroltak korának természettudományos fejlődésére. Nem végzett alapvető kísérleteket, írásaiban, előadásaiban inkább a korszak már meglévő tudományos eredményeit népszerűsítette.

A második fejezet a biológusok számára ismerős *Kitaibel Pál* kémiai munkásságával foglalkozik. A fejezet szakmai érdekessége – a klórmész és a későbbi évtizedekben az ásványvizek magyar kémikusokra jellemző vizsgálatai mellett – a tellúr felfedezésével kapcsolatos vita. A fejezet végén a szerző megfogalmazza azt a kutatókkal szemben napjainkban is fontos követelményt, hogy vezessenek laboratóriumi jegyzőkönyvet, amelyben feltüntetik a mérés idejét is, továbbá időben publikálják eredményeiket.

A harmadik fejezet *Than Károly* és a szerves kémia kapcsolatával foglalkozik egy, a témában írt korabeli könyve kapcsán, amely csak 2015-ben jelent meg. Bemutatja Than Károly egyetemi munkásságát, oktatási és számos egyéb feladatát, „mindenféle gyűlések, ülések, bírálatok…”, amelyek napjainkra is jellemzők.

A negyedik fejezet a fizikai kémia születését mutatja be *Wilhelm Ostwald* életén, munkásságán keresztül.

Az ötödik fejezet a kiegyezés utáni időszakkal foglalkozik. A fejezetben képet kaphatunk arról a rendkívüli műszaki-technikai fejlődésről – előtérbe állítva a vegyipart –, amely ezt a korszakot jellemezte. A felsőoktatás és a tudományos kutatás hazai lehetőségeinek elemzése során ismét előkerül Than Károly.

A hatodik fejezet témája az előzőben felidézett korszak végét jelentő első világháború tragédiája, elsősorban a természettudományok területén dolgozó tudósok életének alakulásán keresztül szemlélve. A szerző bemutatja, hogy kik melyik oldalon álltak, milyen cselekményekben vettek részt, miként szolgálták hazájukat, majd – akik nem haltak értelmetlen halált a harcok közepette – tértek vissza tudományos életükhöz. E rendkívül gazdag fejezetet számtalan kép, ábra, korabeli bélyeg illusztrálja.

A hetedik, egyben záró fejezetben nagyot ugrunk az időben előre, egészen 2019-ig, amelyet a periódusos rendszer nemzetközi évének nyilvánítottak. Ebben a szerző bemutatja az IUPAC, *Nemzetközi Elméleti és Alkalmazott Kémiai Szövetség* szerepét és az új elemek elnevezésének módját. Továbbá képet kap az olvasó a legújabb négy elem felfedezésének történetéből.

Összességében nagyon izgalmas könyvet kap kezébe az olvasó. Segítségével történelmi korokat, folyamatokat ismerhet meg, kiemelve a kémia, a vegyipar és a műszaki fejlődés szerepét.

Radnóti Katalin

A FIZIKAI SZEMLE LXX. ÉVFOLYAMÁNAK TARTALOMJEGYZÉKE

VÉLEMÉNYEK

A FIZIKA TANÍTÁSA

KÖNYVESPOLC

SZÓRAKOZTATÓ FIZIKA

HÍREK – ESEMÉNYEK

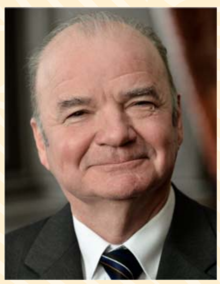
www.fizikaiszemle.hu/mellekletek

AZ EÖTVÖS TÁRSULAT 2020. ÉVI DÍJAZOTTJAI

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2020. évi Küldöttgyűlése adott alkalmat a társulati díjak átadásának. A koronavírus-veszély miatt akkor nem mindenki tudta személyesen átvenni megérdemelt kitüntetését, de később a Társulat titkárságán pótolta azt.

Deme Sándor, a magyar sugárvédelem kiemelkedő szereplője, az MTA KFKI AEKI nyugalmazott tudományos főmunkatársa Bozóky László-díjat érdemelt ki. Deme Sándor 1960 óta dolgozott a Központi Fizikai Kutatóintézet és utódszervezeteinek Sugárvédelmi Főosztályán, a Paksi Atomerőműben, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökségben, a dubnai Egyesített Atomkutató Intézetben, oktatott a Szent István Egyetemen. Legfőbb tevékenysége a dozimetria, az ehhez kapcsolódó detektorok fejlesztése, majd a paksi erőmű sugárbiztonsági rendszerének folyamatos felügyelete és korszerűsítése volt. Emellett meghatározó szerepet játszott a Nemzetközi Űrállomáson működő Pille dózismérő fejlesztésében és az általa gyűjtött adatok értékelésében. Számos nemzetközi szervezetnek volt szakértője, tankönyvek és monográfiák szerzője. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakcsoportjának egyik alapító tagja és 14 éven át vezetőségi tagja volt.

A 2020. évi Prométheusz-díjban részesült *Jarosievitz Beáta* a kolozsvári Babeş-Bolyai Tudományegyetemen szerzett fizikus–fizikatanári diplomát 1990-ben. Egyetemi doktori disszertációját a BME Nukleáris Technikai Intézetében védte meg, PhD fokozatot pedig az ELTE-n szerzett neveléstudományi szakterületen. Alapszakja mellé az ELTE-n még számítástechnikai szakot is végzett, a BME-n pedig közoktatás vezetői diplomát szerzett. 2014 óta mesterpedagógus, tanfelügyeleti szakértő. Jarosievitz Beáta pedagógus családból származik, onnan kapta az indíttatást a tanítás szeretetére és a pedagógus pálya tiszteletére. Minden eddigi munkahelyén – kollégiumban, iskolában, főiskolán – a fizika és a természettudományok szeretetére motiválja, neveli diákjait. Eredményeit sok kitüntetés és díj ismerte el már eddig is. A teljesség igénye nélkül: tanítványaival végzett kutatómunkáját háromszor is elismerték MTA Pedagógus Kutatói Pályadíjjal (2000, 2006, 2012), kapott Arany Katedra díjat (2002), a Magyar Köztársaság Bronz Érdemkereszt kitüntetést (2005), elnyerte az Ericsson-díjat a fizika népszerűsítéséért (2010), valamint tanítványai javaslatára a MOL MesterM díját (2015). A fizikatanárok nagy családjával szoros kapcsolatot ápol: ő volt a nagyon sikeres CERN-i tanártovábbképzések hazai főszervezője és 10 éven keresztül vezetője, neki köszönhető, hogy magyar fizikatanárok csoportja reagált a világon először a CERN felhívására. Nevéhez fűződik az *Öveges Tanár Úr Utódai* rendezvények évenkénti megszervezése a *Kutatók Éjszakáján* az Ericsson székházában, immár nyolcadik éve. A fizikatanítás nemzetközi közösségével is élénk és élő kapcsolata van: aktívan vett részt az European Schoolnet több projektjében (Xperimania, Spice, Scientix projektek, több anyagát 23 nyelvre is lefordították), valamint 2011 óta a GIREP (Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique) a fizikatanítás kutatásával foglalkozó nemzetközi szervezetben képviseli a magyar fizikatanárokat. Jarosievitz Beáta volt az elnöke és hazai főszervezője a 2019-ben Budapesten rendezett nagy sikerű, nemzetközi GIREP2019 fizikatanítási konferenciának, ahol a GIREP az Anniversary Medal kitüntetéssel ismerte el eredményeit. Jarosievitz Beáta eddigi munkássága nemcsak országosan, hanem nemzetközileg is hozzájárult a fizikai műveltség terjesztéséhez.



Kovács Lászlónak, a szombathelyi Berzsenyi Dániel Főiskola nyugalmazott főiskolai tanárának Marx György Felsőoktatási Díjat adományozott a Társulat. Kovács László pályáját a nagykanizsai Landler Jenő Gimnázium tanáraként kezdte. 1983-ban, Szombathelyen kiváló kollégákat maga mellé véve alapította meg a Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskola Fizika Tanszékét. A tanszék programjának megalkotásakor lényeges szempontnak tekintette azt, hogy a magas szakmai színvonal mellett a hallgatókat megtarthassák a pályán, sokoldalú módon fejlesszék őket, emberségesen bánjanak velük. A tanárjelöltek szakmai fejlesztése érdekében a tanárképző főiskolák között elsőként itt vezették be kötelező tárgyként a csillagászatot, a környezetvédelmet, a fizikatörténetet és az elméleti fizikát, C típusú izotóplaboratóriumot létesítettek. Az elméleti képzés mellett a jövendő tanárokkal terepi, magashegyi méréseket végeztek, kísérleti eszközöket építettek, arra ösztönözve őket, hogy pályájuk során majd változatos módon igyekezzenek a tanulókkal megszerettetni a fizikát. Kovács László a magyar fizika történetének elkötelezett kutatója és népszerűsítője, ebben a minőségében kötetek sorát írta meg szerzőként, illetve adta ki a *Studia Physica Savariensa* sorozat szerkesztőjeként (többek között: *Jedlik Ányos, Bay Zoltán, Békésy György, Eötvös Loránd* életét és munkásságát összefoglalva). Kiemelkedő jelentőségű az ELFT centenáriumára a szerkesztésében megjelent *Fejezetek a magyar fizika elmúlt száz esztendejéből (1891–1991)* című kötet és a *Fizikai Szemle* mellékleteként többször bővítve (1992, 1996, 2000) kiadott, általa írott *Fizikus útikönyv*. Sokat dolgozott az Eötvös Loránd Fizikai Társulatban, volt a Vas Megyei Csoport, a Fizikatörténeti Szakcsoport elnöke, és a Társulat alelnöke is. 2019-ben az Eötvös Loránd Jubileumi Emlékverseny szervezésében versenybizottsági tagként töltött be fontos szerepet. Az Eötvös Loránd emlékév során előadások sorát tartotta, egyik szerzője volt az Eötvös Loránd emlékalbumnak.

Kutasi Kingát, a Wigner Fizikai Kutatóközpont Szilárdtestfizikai és Optikai Intézete tudományos főmunkatársát Schmid Rezső-díjjal tüntették ki. Kutasi Kinga nemzetközi együttműködésben világszínvonalú eredményeket ért el a mikrohullámú felületi hullámmal keltett gázkisülések és utókisülések kutatásában. Környezettudatos életszemléletét új kutatási témái is kiemelik, legújabb témája víz alkalmazhatóságának növelése plazmaaktivizálással, vegyi beavatkozás mellőzésével, például a mezőgazdaságban és biotechnológiában. Az általa kifejlesztett plazma- és hidrodinamikai modellek segítségével optimalizálta az oxigén, illetve a nitrogén-oxigén tartalmú felületeken létrejövő mikrohullámú kisülési rendszereket, különös tekintettel a gyakorlati alkalmazások szempontjából. Modellezési eredményeire támaszkodva számos nemzetközi együttműködés keretében részt vett bio- és nanotechnológiai kísérleti berendezések építésében, amelyek a zöld jövő szempontjából ígéretes technológiák alapjait teremtik meg. Legfőbb tudományos és egyben gyakorlati eredményeként bizonyította, hogy az aktiváló kisülés és áramlás paraméterei jelentősen befolyásolják a gyógyászatban és mezőgazdaságban alkalmazott plazmaaktivált folyadékok kémiai összetételét.

Lenk Sándor, a BME TTK Atomfizika Tanszék egyetemi docense Budó Ágoston-díjat kapott. Lenk Sándor jelentős eredményeket ért el a biopolimerek és biológiai rendszerek optikai tulajdonságainak vizsgálata területén. Az optikai és a pásztázó szondás mikroszkópiát ötvözve vizsgálta a növények fluoreszcenciáját és a biopolimerek gélesedését. Egy újfajta, tér- és időbeli felbontásban működő fluoriméter-berendezést fejlesztett ki növényi levelek vizsgálatára. A fluoreszcencia időfelbontása révén lehetővé vált a fotoszintézis folyamatának részletes tanulmányozása, valamint egyes növényi megbetegedések, mint például a dohány mozaikvírus korai detektálása is. A fejlesztések olyan optikai rendszer megalkotásához vezettek, amely nem invazív módon és távolról (akár 1 méterről) teszi lehetővé a növények élettani folyamatainak és egészségi állapotának monitorozását. Ehhez a munkához kapcsolódóan szabadalom is született, amelynek Lenk Sándor társszerzője.

Pásztor Gabriellát, az ELTE Atomfizikai Tanszék tudományos munkatársát, az MTA–ELTE Lendület CMS Részecske- és Magfizikai Kutatócsoport vezetőjét Jánossy Lajos-díjjal tüntették ki. Pásztor Gabriella vezető szerepet játszott a CERN LHC ATLAS kísérletében a nagy kihívást jelentő, kis transzverzális impulzusú elektronok és müonok rekonstrukciójában. Ezen mérések vezettek el a b-kvark keletkezési hatáskeresztmetszetének első meghatározásához. Az általuk gondosan kidolgozott adatalapú háttérmeghatározás az elektronok és müonok detektálásával együtt lehetővé tette a Higgs-bozon keresését négyleptonos folyamatokban. Munkásságának ezen része a Higgs-bozon felfedezésében és differenciális hatáskeresztmetszetének pontos meghatározásában csúcsosodott ki, amely hozzájárult a részecskefizika Standard Modelljének teljessé tételéhez.

Temleitner László, a Wigner Fizikai Kutatóközpont tudományos főmunkatársa Gyulai Zoltán-díjban részesült. Temleitner László a folyadékok, amorf anyagok és rendezetlen kristályok szerkezetének vizsgálatában végzett eredményes kísérleti, számítógépes modellezési, illetve berendezésfejlesztési tevékenységet. Társszerzője a fordított Monte-Carlo-módszer egyik lényeges szoftverét (RMC++) ismertető műnek. Ő dolgozta ki a mérési adatok korrekciójára vonatkozó részt, valamint a program gondozásában is komoly szerepe volt az évek folyamán. Szintén társszerzője a 2015-ben a *Chemical Reviews*-ban megjelent cikknek, amelyben a kristályszerkezetre vonatkozó rész az ő egyéni munkája, de lényegi hozzájárulásokat tett a módszertani részekhez is. Egyéni kutatási potenciálját mutatja be egyszerzős, a CBr_4 folyadék fázisáról szóló műve.

A *Fizikai Szemle* szerkesztői és a Társulat vezetői még egyszer gratulálnak az Eötvös Loránd Fizikai Társulat összes idei kitüntetettjének. Reméljük, hogy 2021-ben már maszkmentes Küldöttgyűlésen, mindenki ünnepélyesen veheti át jól megérdemelt díját.