

MIT JELENT A TÉR A FIZIKÁNAK ÉS A MŰVÉSZETNEK?

Stonawski Tamás – Nyíregyházi Egyetem

Fülöp Csilla – Madách Imre Gimnázium, Budapest

A fizika határterületei egyre fontosabbá válnak a 21. században. A technológiai környezet fejlődése új utakat nyit meg a különböző tudományok találkozásához, beleértve a természet- és társadalomtudományokat, valamint a művészetet is.

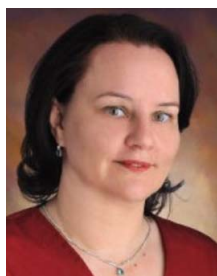
Mi van a térben? Ez lehet az egymástól eltávolodott tudományterületek közös kérdése. A tér (ebben egyetértés van) soha nem üres: kitöltheti anyag, sebesség- és erővektorok, energia stb. A térben lejátszódó folyamatok sok esetben a szemnek láthatatlanok (például gravitáció, elektromos erőhatások), de vizuális szemléltetésükre például erőtereket és áramvonalakat használunk. A művészet is vállalkozik a tér bizonyos láthatatlan tulajdonságainak művészi ábrázolására, de sokszor jóval összetettebb és szabadabb formában. Mindkét terület mesterséges konstrukciót alkalmaz a mélyebb összefüggések feltárása érdekében. Ha a tudományos és művészeti erővonalakat párhuzamba tudjuk állítani, azaz olyan festményeket választunk ki, amelyek bizonyos fizikai tereket fedezünk fel, és megmutatjuk tanítványainknak, elemezzük velük, színesebbé-vonzóbbá tehetjük a fizikaórákat, és még a különféle erőterek memorizálásában is segítséget adunk.

A tanulmány a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgy-pedagógiai Kutatási Programja támogatásával készült.

A szerzők köszönetüket fejezik ki *Jubász Andrásnak, Tél Tamásnak, Pirk Lászlónak, Beszeda Imrénének és Tarján Péternek.*



Stonawski Tamás a Nyíregyházi Egyetemen főiskolai adjunktus. Doktori címét 2016-ban az ELTE Fizika Tanítása doktori program keretében szerezte. Kutatási területe a digitális média alkalmazása a tanulói kreativitás, problémamegoldás és önálló kísérletezés fejlesztésére általános és középiskolában.



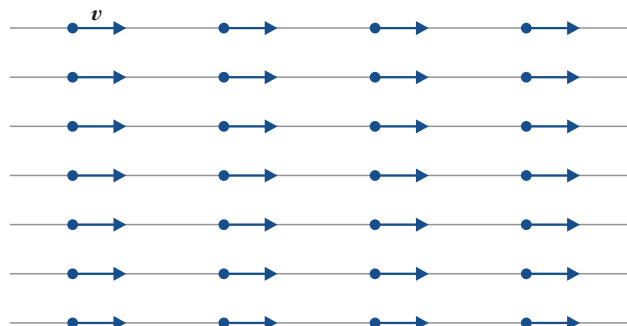
Fülöp Csilla az ELTE TTK-n szerzett matematika-fizika-angol szaktanári szakos diplomát. A közoktatás széles skáláján szerzett tanári tapasztalatot: angliai magániskolában, főiskolai vezetőtanárként, szakgimnáziumban, reál hatosztályos és humán elitgimnáziumban. Érdeklődési területe a fizika új didaktikai lehetőségei, különös tekintettel a humán vonatkozásokra. Doktori értekezését 2018-ban védte meg az ELTE-n.

A valóságban léteznek erővonalak?

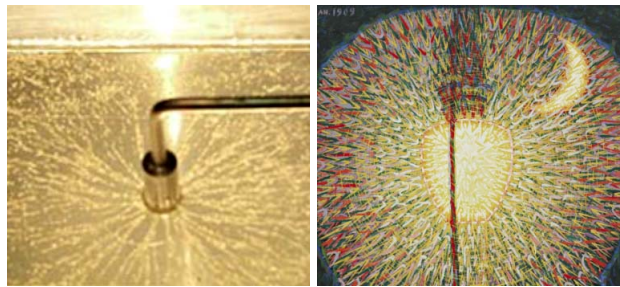
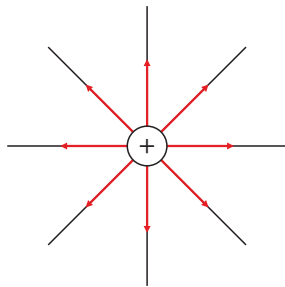
A bennünket körülvevő tér tehát fizikai szempontból soha nem üres, hiszen a részecskék különböző tulajdonságú halmazai (testek, közegek) és a fizikai mezők (erőterek, áramlási terek) töltik ki. A makroszkopikus testek többnyire szabad szemmel láthatók (kivételt képez, ha a közeg és az átlátszó test közel azonos törésmutatójú), az erőterek (fizikai mezők) viszont szemünk számára láthatatlanok, kimutatásukhoz érzékeny műszerek szükségesek. A láthatatlan fizikai mezők jellemzésére a fizikusok (elsősorban *Faraday* nagy érdeme) vizuálisan is megjeleníthető matematikai alapú segédfogalmakat alkottak (például erővonalak, trajektóriák, áramlási vonalak, potenciálfelületek stb.). Ezekkel a formalizmusokkal a középiskolai fizikaórákon már találkozunk, de értelmezésük – éppen elvont tartalmuk okán – a diákok számára nem egyszerű feladat (*1. ábra*).

A legtöbb zavar oka az lehet, hogy a diákok az ábrázolt segédfogalmakat gyakran fizikai valóságnak tekintik, de mindennapi tapasztalataikban nem találják meg azokat. Ezek a formalizmusok valójában a valóság megismerését és leírását közvetetten segítő tér- vagy síkbeli vonalrendszerek, amelyekkel a nem látható térbeli tulajdonságokat – a fizikai mennyiségekhez igazítva – vizuálissá transzformálják. Az absztrakt fizikai erővonalak megértését azzal is segíthetjük, ha párhuzamot vonunk a fizikai erőterek vizuális jellemzése és a festészetben a kép tartalmi kifejezésére használt technikai megoldások között. A kétféle ábrázolás párhuzamba állításakor – a hasonlóság mellett – hangsúlyozni kell a lényegi különbségeket is, nehogy a fogalmak profán összeolvadása következzen be a tanulók tudatában. A tudomány az erőter vizualizálá-

1. ábra. Sűrűdásmentes áramlás párhuzamos áramvonalai a sebességvektorokkal.



sával objektív mennyiségi leírást ad. Egyazon erőter esetén minden fizikus azonos, de legalábbis nagyon hasonló ábrát készít, illetve az egyforma erőterábrákat azonosan értelmezi. A művészet viszont, lényegéből adódóan, szubjektív látásmódot közvetít (ugyanazon tárgyi valóságot minden művész személyes emocionális szűrőjén keresztül ábrázolja és a műelemzők is eltérő szubjektív véleményeket fogalmazhatnak meg), így az alkotások azonos téma esetén is lényegesen különbözhetnek az egyes művészek interpretációiban. Nem ritkán az is előfordul, hogy egyazon művész többször is megfest egy témát, és ekkor is számottevő különbség jelenik meg alkotásaiban (például a pillanatnyi hangulat befolyásoló hatása, fényviszonyok változása, az idő múlása stb.).



2. ábra. Tankönyvi ábra a ponttöltés erőterére (a), kísérlettel előállított centrális erővonalkép (b) és G. Balla 1909-ben készült festménye, *Utcai lámpa* (c).

tesen sugárirányban elhelyezkedő grízszemek nem minden pontban adják meg helyesen a térerősségvektor irányát, és a sűrűségeloszlás esetlegessége sem elég ahhoz, hogy belőle a térerősségvektor nagyságát pontosan lehessen kiszámolni. Ha más méretű darálmánnal kísérletezünk, az erővonalkép is megváltozik (például sűrűsége, de alapvető jellege, centrikus volta megmarad).

A centrális elektrosztatikus tér szintén nem egyezik meg, de hasonlóságot mutat a pontszerű forrás (lámpa) fényeloszlásával. Rendkívül szemléletesen ábrázolja ezt G. Balla olasz futurista művész 1909-ben festett, utcai lámpát ábrázoló képén. A forrásból centrálisan szétterjedő fényt a festő sugarasan elhelyezett színes vonalakkal érzékelteti, és azzal, hogy a fényerősség a lámpától távolodva rohamosan csökken. A kép külön érdekessége, hogy a művész a fizika korabeli eredményeit is ábrázolja a képen. A fényt megjelenítő apró, szivárványszínű vonalakkal a fehér fény köztudott összetettségét és a fény fotonszemléletét jelzik. A festményen a dagadó Hold is megjelenik, ami egyrészt sugallja az éjszakai időpontot, másrészt rokonságot mutat a lámpával, hiszen a Hold másodlagos fényforrásként veri vissza a napfényt. Így – a természetes fény mellett – a festményen az ember által felfedezett mesterséges fényforrás az azt körülvevő tér jellemzőivel jelenik meg.

A tudományos és „művészeti erőterek” párhuzamba állítása

Centrális erőterek

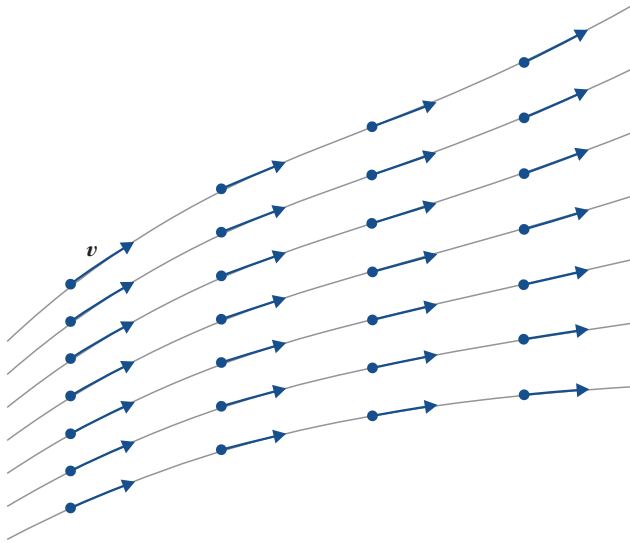
A fizika tanításában először az elektrosztatikában kap hangsúlyt az erőter. A tér forrása az elektromos töltés. Egyetlen pontszerű töltés által keltett elektromos mező esetén vezetjük be a tér bármely pontjában értelmezhető térerősség-vektorokat, az erővonalakokat, az ekvipotenciális szintvonalakat, és ezek kapcsolatát, majd a leírást bonyolultabb terek esetére is kiterjesztjük. Egyszerű ponttöltés körül kialakuló centrális erőteret meghatározhatjuk a Coulomb-törvényen alapuló számítással, de kísérleti módszerrel is. Ez utóbbi esetén egy kerek lapos üvegtábla vékony rétegben olajat öntünk, közepére fémkorongot helyezünk, és azt megosztógépre kapcsoljuk. A feltöltött fémkorong körüli térbe helyezett grízszemek elektromos dipólusá válnak, és ellentétes pólusaikkal egymás felé fordulva rendeződnek a térerősség-vonalak mentén. A tálat átvilágítva a ponttöltés erővonalképe kivetíthető (2. ábra). A kísérlettel kapott kép érzékletesen mutatja, hogy az erőter centruma (forrása) a töltés. A töltéshez közel az erővonal-sűrűség nagy, távolodva a sugarasan rendeződő búzadaravonalak eltávolodnak egymástól. Az erővonal-sűrűség változását így a térerősség változásával hozzuk kapcsolatba.

A kísérletileg előállított erővonalkép szemléletes ugyan, de nem egyezik meg a fizikai erőterrel, hiszen a nem tökéle-

Van Gogh Magvetőjén a kelő Napot (és a magot is), mint szimbólumot láthatjuk (3. ábra, balra). A növény fejlődésének elsődleges energiaforrása a Nap. A belőle kiinduló áramlás eléri a földfelszínt, és átszínezi

3. ábra. a) Vincent Van Gogh: *A Magvető* (The sower, 1888, olaj, vásznon, 64×80 cm) és b) *Fűzfák naplementében* (Willows at Sunset, Arles, 1888, olaj, kartonon, 31,5×34,5 cm). Mindkettő Kröller-Müller Múzeum, Otterlo, Hollandia.



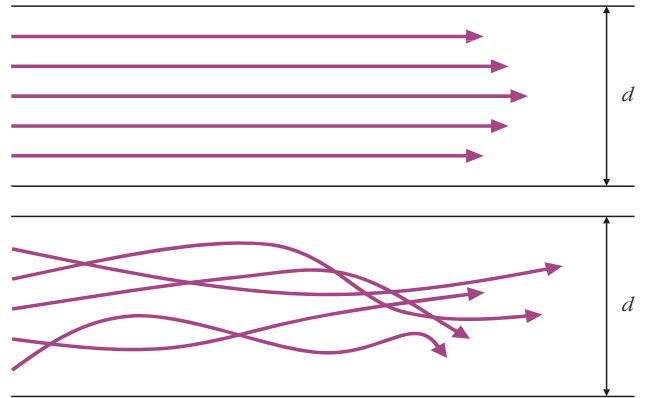


4. ábra. Folytonos közeg áramlási vonalai a sebességvektorokkal.

azt. A kiáramlás rajzolata nagyon hasonlít a magányos ponttöltés erővonalaihoz. Napot ábrázoló más festményén is alkalmazta ezt a centralitást, lásd a 3. ábra jobb oldalát.

Áramvonalak

A folytonos közegek áramlásának jellemzésére a fizika pályagörbéket, illetve áramlási vonalakat (röviden áramvonalakat) használ. Az áramvonalak azonban nem csak kvalitatív szemléltetői az áramlás tulajdonságainak, hanem kvantitatív leírást is ad. Azaz az áramvonalakat pontosan olyan alakúaknak és sokaságukat olyan sűrűségűnek vesszük fel, hogy az (irányított) áramvonal tetszőleges pontjába húzott érintő megadja az adott pontban a folyadékrezecskék sebességének irányát, a sebesség nagyságát pedig az áramvonalakra merőleges egységnyi felületen áthaladó áramvonalak száma (fluxusa) határozza meg (4. ábra). Ez a meglehetősen önkényes rajzi leírás eredményezi a fizikai egzakttságot, ugyanakkor végérvényesen szakít az áramvonalak valóságos térbeli létével. E kijelentést az áramvonalak életre keltésének egyik módjával lehet igazolni: az áramlási térbe egyenletesen színezéket juttatunk, ekkor a színezék trajektóriája az áramvonalak alakját veszi fel, ha viszont az áramlási sebességet



5. ábra. Az áramlási sebesség növelésekor a párhuzamos áramvonalak (fölül) összekuszálódnak (alul).

(megfelelő határok között) növeljük, a színezék trajektóriái nem sűrűsödnek be.

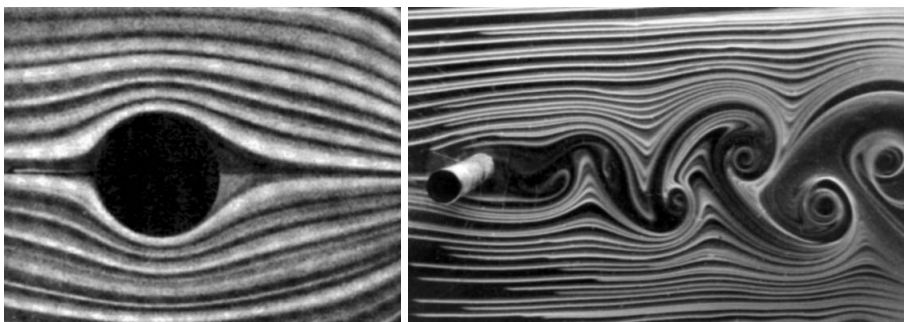
Lassú, sűrűlő áramlások esetén jellemző, hogy a folyadékok rétegesen, konstans sebességgel mozognak, ilyenkor az áramlási vonalak és a pályagörbék hasonló párhuzamos egyenesek (lásd az 5. ábrát fölül). Nagy sebességű áramlások esetén, különösen, ha akadályok nehezítik a közeg mozgását, az áramlás rendezettsége megbomlik, az áramvonalak görbültté válnak (örvények keletkeznek), összekuszálódnak (5. ábra, alul) és követhetetlenül folytonosan változnak (a kísérletek során a színes trajektóriák összekeverednek, elmosódnak, de mégis kirajzolnak egy az áramlásra jellemző profilt).

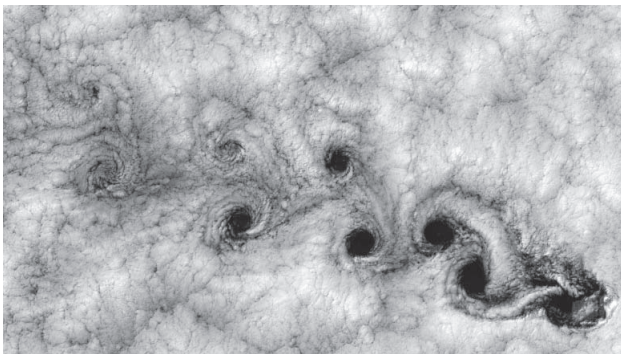
Ilyenkor turbulens áramlásról beszélünk. Az áramvonalképek tehát különböző áramlások esetén jellegükben is megváltoznak (6. ábra).

Az áramvonalak ábrázolása a festészetben is gyakran megjelenik. Bizonyos közegek mozgásának (például szél vagy folyók, vízesések) érzékeltetése érdekében a művész kilép a pillanat ábrázolásából: folyamatban jeleníti meg a teret, ezzel nyitva áll a lehetőség mélyebb tartalmak megjelenítésére is. Így például Van Gogh csillagos egén megfigyelhető örvényes áramlás közeli vihart vagy nagy erejű szelet idéz meg. A képen jól megfigyelhető a Kármán-féle örvénysor, ami az intenzív áramlás útjában álló akadályok (itt hegyek) mögött keletkezik. Ahogy a hegyek, úgy a szigetek is örvényáramokat keltenek az őket nagy sebességgel elérő légáramlatokban (7. ábra). Mind a két képen egymásba fonódó csikóhal-szerű minták fedezhetők fel.

A művészet azonban gyakran túl is lép a természeti jelenségek ábrázolásán, például amikor nagy sebességű örvényes és turbulens áramlások képi megjelenítését érzelmi hatáskeltésre alkalmazza. A viharos pusztító szél, a mindent elragadó rohanó ár képe ugyanis az emberek többségében a félelem és bizonytalanság érzetével társul.

6. ábra. Lassú, réteges áramlás akadály körül (balra) és a Kármán-féle örvények akadály mögött (jobbra).





7. ábra. Vincent Van Gogh: *Csillagos éj* (The Starry Night, 1889, olaj, vásznon 73×92 cm), az örvényáramok pirossal kiemelve (fö-lül). Egy kis sziget, mint akadály az áramlásban (alul): Alejandro Selkirk (Photo: Jeff Schmaltz / NASA)

Edvard Munch norvég expresszionista festő *Sikoly* című világhírű képén (8. ábra, balra) csak a perspektívát adó híd az egyenes vonal (ami a valóságos térbeli helyszín érzetét is adja), minden egyéb hullámzik, mozog és örvénylik, ami lényeges hozzájárulást közvetít, hogy a kép a teljes bizonytalanság érzetét keltsen a szemlélőben. A mű eredeti címe *A természet sikolya*. Munch naplójegyzetében olvashatjuk, hogy egyik

8. ábra. Edvard Munch: *Sikoly* (The Scream, 1893) képén látható különleges égbolt nagy hasonlóságot mutat a ritkán előforduló sztratoszférikus felhőkkel.



9. ábra. Héjja Andrea: *Ilyen a hétfő* – Munch „baktériumsikolya” (fotó: Pöstényi Zita / SYNLAB).

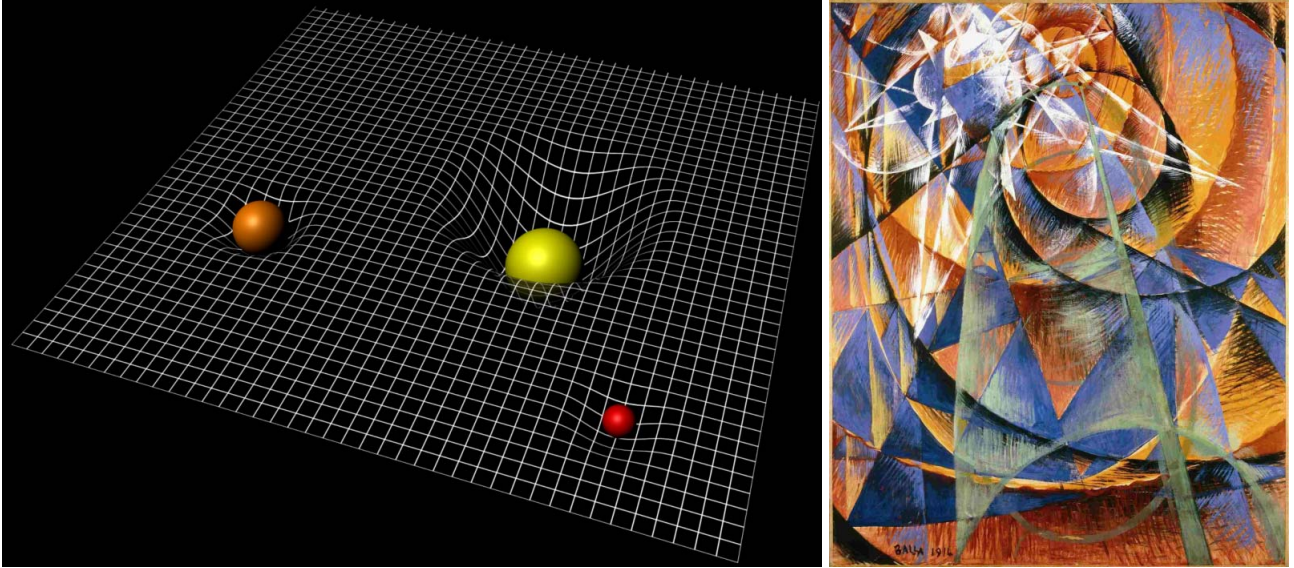
alkalommal fáradtan és betegen figyelte meg a naplementét (innen érthető a vörös égbolt) az Oslo-fjordban (konkrét helyszínen), így érzéseiben a táj félelmetes volt és úgy tűnt, mintha sikoltott volna.

Egyes elemzők szerint a Krakatau-vulkán kitörése okozhatta a művészt megérintő légköri jelenséget, de mivel ezt a kavargó vörös eget csak egy nap tapasztalta Munch (naplójegyzetei szerint), ezért kizárható. Egy másik tanulmány szerint [1] a különleges vörös égbolt oka a téli időszakban 20-30 km fölötti magasságban megjelenő sejtelenesen fénylő poláris sztratoszférikus felhők (8. ábra, jobbra) lehetnek [2].

Érdekesesség: a művészet és a tudomány a mikrobiológiánál is találkozik (ilyen például az Amerikai Mikrobiológiai Társaság évenkénti Agar Art versenye, ahol 2019-ben Héjja Andrea *Ilyen a hétfő* – Munch sikolya – alkotása 3. díjat, míg Pöstényi Zita *Magyar népművészete* közönségdíjat kapott), amikor a tudósok festékként élő mikroorganizmusokat alkalmaznak képi megjelenítésre [3]. Különböző színű baktériumokat, gombákat tenyésztettek ki a Petri-csésze elhatárolt tartományjaiban (9. ábra).

A téridő görbültsége

A gravitáció einsteini elméletében nem létezik gravitációs erőter, a gravitációnak tulajdonított kölcsönhatás látszatát csupán az anyagi objektumok téridőre gyakorolt hatása okozza, amit téridő-görbültségnek nevezünk. A téridő szemléltetése viszont korántsem egyszerű. A kétdimenziós



10. ábra. A téridő szemléltetésére alkalmazott modell és G. Balla: *A Merkúr elbalad a Nap előtt* (Mercury Passing in Front of the Sun).

felületek görbültsége még jól szemléltethető, hiszen készíthetünk például kúpfelület alakú makettet (3D), s ezen tanulmányozhatjuk a sík és a görbült felületek közötti különbségeket (10. ábra, balra). A görbültséget tehát csak akkor láthatjuk, ha egy további (itt: harmadik) dimenzióban eltávolodunk a felülettől. Ezt a 3 tér- és 1 idődimenziót magában foglaló téridővel csak úgy tehetnénk meg, ha az 5. dimenzióba lépnénk ki, ami számunkra elképzelhetetlen.

Nem kis feladatra vállalkozik a festőművész, amikor az anyag jelenlététől megváltozott tér ábrázolására vállalkozik. G. Balla *A Merkúr elbalad a Nap előtt* című festményén a Merkúr pályamozgását ábrázolja az őt körülvevő térszerkezet megfestésével (10. ábra, jobbra). A töredezett térformák a tér inhomogenitását sugallják, a spirális vonal pedig a pálya időbeli változását szemlélteti, akár csak a fizikai trajektóriáknál tapasztalhatóan.

Érdeklőség: a *Csillagok között* (Interstellar, 2014) című filmben a terünknel nagyobb dimenziók szemléltetésére vállalkoznak a film készítői.

A fizikai erővonalak direkt hatása a festészetre

A fent említett példák arra utaltak, milyen hasonlóságokat találhatunk a fizika és a művészet térfelfogásával kapcsolatban. A mai modern művészetben azonban nem egyedülálló, ha valamelyik műalkotás bizonyos fizikai fogalmak átgondolásáról szólnak, ilyenek például entrópia, energia, sebesség stb. Pirk László festőművész *Fűga* sorozata a mágneses erővonalakra épül. Kapcsolatot teremt a képen a zene, a fizika (mágneses erőter), a fény elemen-

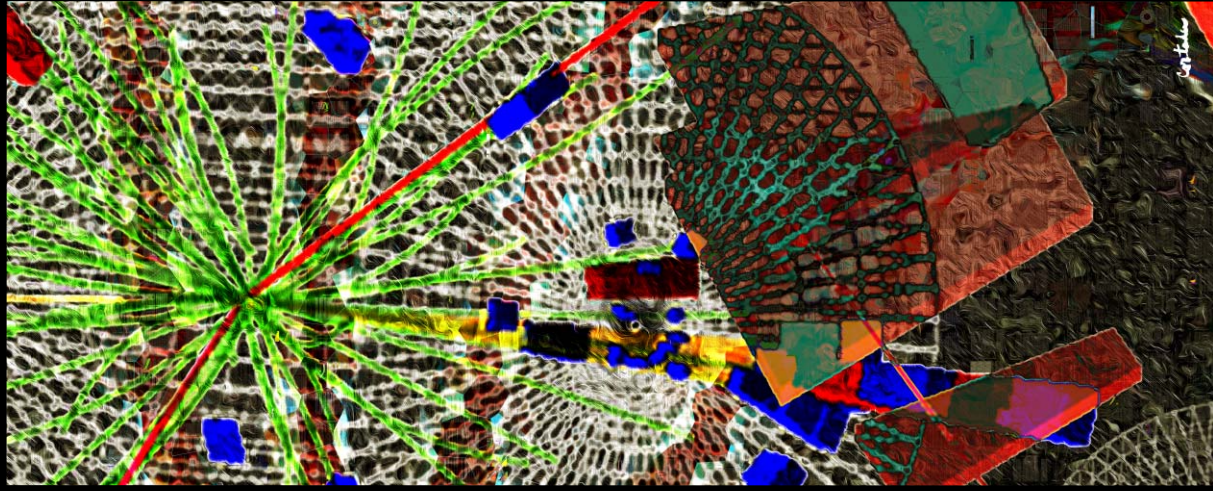
táris léte, a forma és a festészet között. A *Kupola fűga* című festményének (11. ábra) tanórai elemzése nemcsak jó példája a tudomány és a művészet integrációjára, hanem a fizikát tanuló diákok szemléletét is befolyásolhatja, segítve ezzel a tantárgy jobb megítélését.

Irodalom

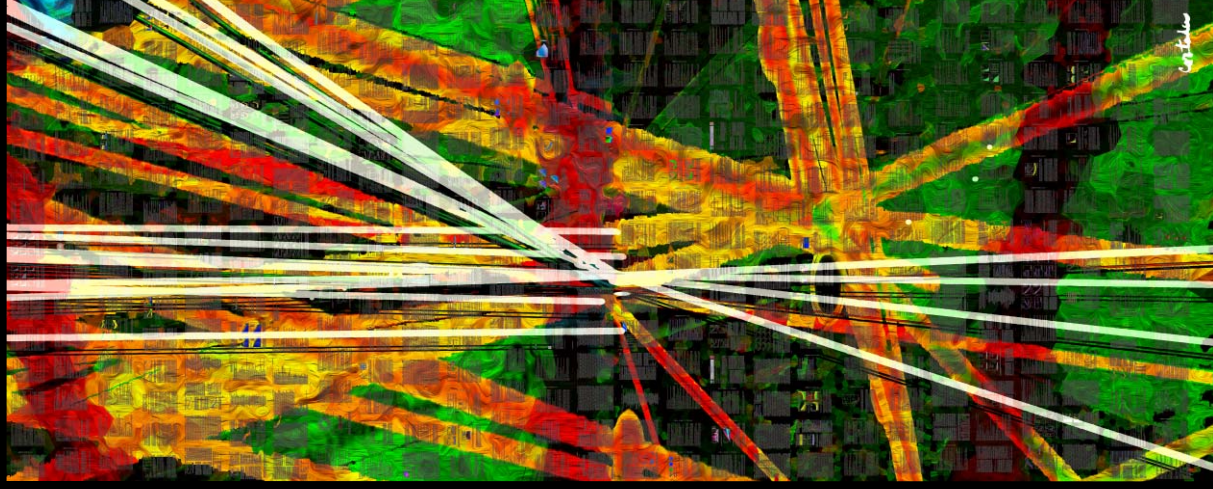
1. <https://blogs.egu.eu/geolog/2017/04/26/extraordinary-irides-cent-clouds-inspire-munchs-the-scream/>
2. <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1409/StonawskiT.pdf>
3. <https://qubit.hu/2019/11/08/magyar-mikrobiologusok-bakteriu-mokbol-festettek-meg-munch-sikolyat>

11. ábra. Pirk László *Kupola fűga* című olajfestménye.

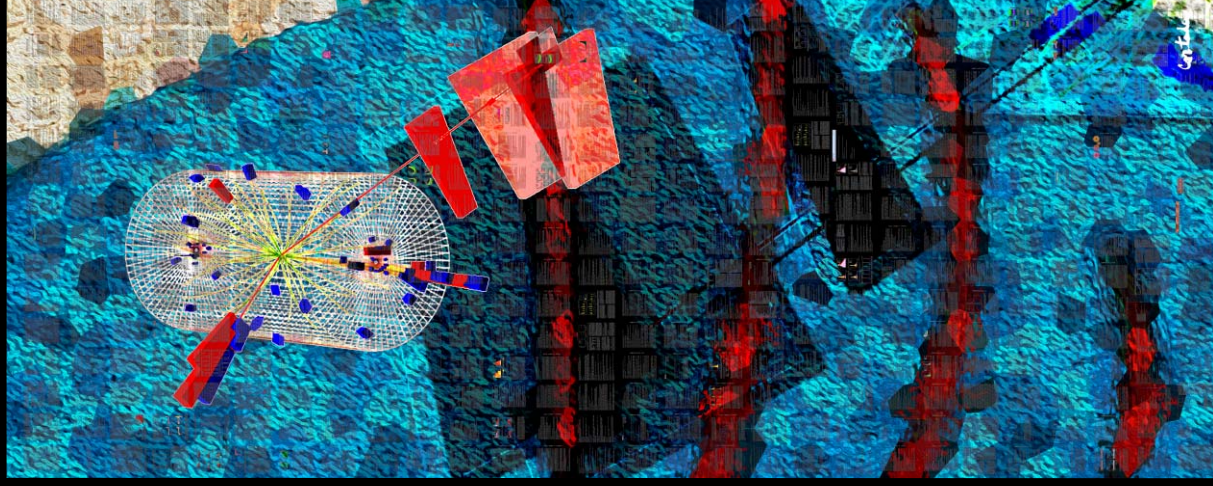




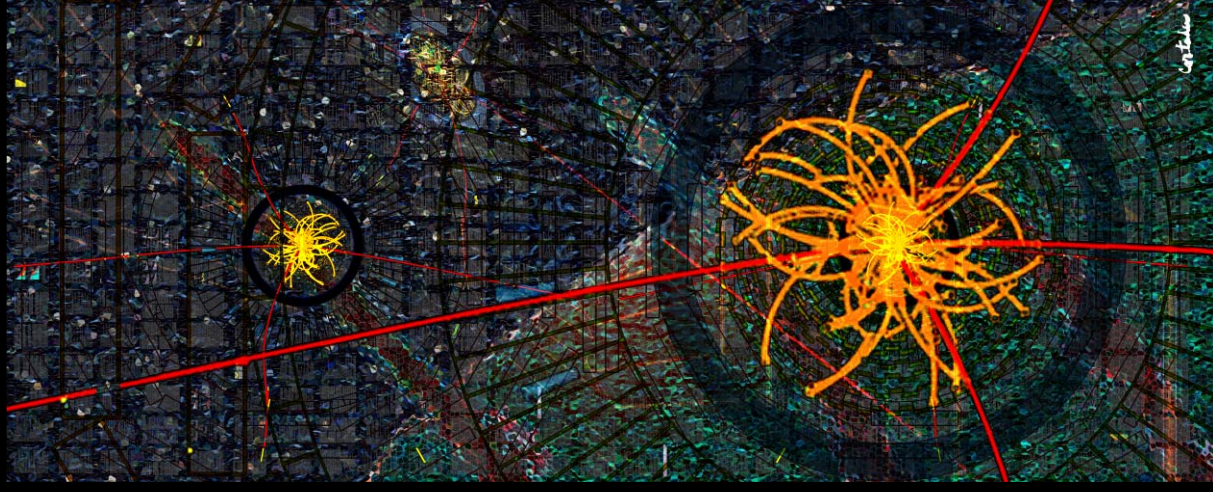
$H \rightarrow \gamma\gamma$



$H \rightarrow b\bar{b}$



$H \rightarrow \tau\tau$



$H \rightarrow ZZ$

Xavier Cortada (Pete Markowitz fizikus részvételével): A Higgs-bozon nyomában