

kussá. Úgy érezzük, hogy megfigyeléseinkkel megtettük az első lépéseket ebben az irányban. További feladatnak tekintjük a módszer tökéletesítését és a vizsgálati jelenségkör kiszélesítését.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki a bajai Szent László Általános Művelődési Központ vezetésének, hogy munkánkhoz biztosították a szükséges eszközöket. Hálával tartozunk mentorunknak, *Tél Tamás*nak (ELTE, Elméleti Fizika Tanszék), aki a munkánk során sok hasznos tanácsot

és ötletet adott. Köszönjük a Mandelbrot Diákkör vezetőjének, *Jaloveczki* tanár úrnak a cikk megírásához és a mérés elvégzéséhez adott instrukcióit.

Irodalom

- FOKASZ NIKOSZ: *Káosz és fraktálok* – Új Mandátum, 2000
 HATVANI LÁSZLÓ, PINTÉR LAJOS: *Differenciálegyenletes modellek a középiskolában* – Polygon
 JAMES GLEICK: *Káosz – Egy új tudomány születése* – Göncöl, 1999
 TÉL TAMÁS, GRUIZ MÁRTON: *Kaotikus dinamika* – Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., 2002
 TÉL TAMÁS: *A káosz természetrajza* – Természet Világa 129/9 (1998)

MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

A KÁOSZ

Vannak közöttünk, akik gyakran hallják a kérdést: mi ez a káosz a szobádban? A hétköznapi szóhasználatban a káosz térbeli, statikus rendezetlenséget jelent. A modern tudomány szóhasználatban viszont a káosz a *mozgás* egy fajtája, mely az iskolában tanult mozgásokhoz képest szokatlan tulajdonságokkal rendelkezik. Meglepő módon ez a mozgásfajta mégis igen gyakori.

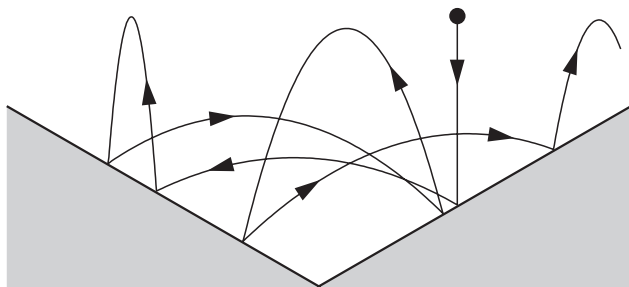
Az alábbi – az egyszerűség kedvéért a mechanika területéről vett – példák segítenek megérteni a jelenséget.

Egyszerű példák

Kettős lejtőn pattogó golyó

A kaotikus mozgást mutató rendszerek közül talán a legkézenfekvőbb a két szemben álló lejtő és a rajtuk pattogó rugalmas labda által alkotott rendszer (*1. ábra*). A mozgást tetszőleges hosszú ideig követve (a légellenállást elhanyagoljuk) sem találunk semmilyen szabályosságot, ismétlődést. A kaotikus viselkedés abból adódik, hogy a másik lejtőre való átugrás után a labda rendszerint nem pattan vissza oda, ahonnan jött. Így állandóan új helyzetek állnak elő, az azonos oldalon történő, egymás utáni ütközések száma pedig olyan típusú véletlen számsorozatot ad, mintha dobókockákkal állítottuk volna elő!

1. ábra. Két azonos dőlésszögű, szemben álló lejtőn tökéletesen rugalmasan pattogó golyó, légtüres térben.



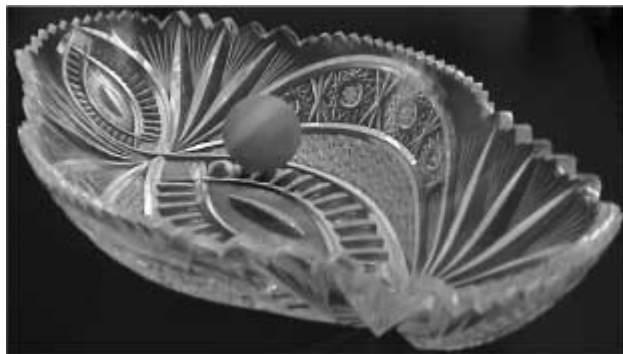
Golyó mozgása szabálytalan edényben

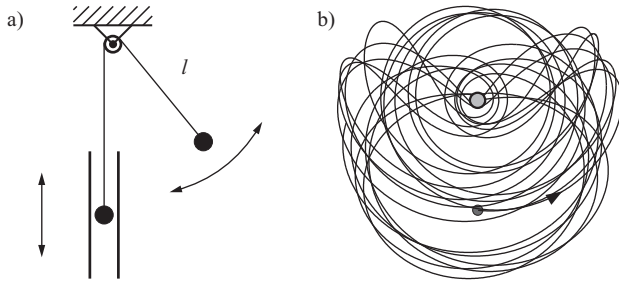
Amikor egy golyót szabálytalan alakú tálba helyezünk, akkor mozgása meglehetősen szabálytalan lesz, mielőtt az edény aljának valamely pontjában megnyugodna (*2. ábra*). A golyó megállása a súrlódás és a légellenállás következménye. Ha állandó energiabetáplálást biztosítunk, s a disszipálódott energiát pótoljuk (pl. az edényt vízszintes síkban lassan mozgó felületre helyezük), akkor ismét (tetszőlegesen) hosszú ideig tartó szabálytalan, kaotikus mozgást kapunk. A súrlódásmentes esetben a mozgást az edény falának alakja (mint potenciálgödör) határozza meg. Jól tudjuk, hogy szabályos, forgásszimmetrikus edényben (mely centrális potenciálnak felel meg) nem alakulhat ki szabálytalan mozgás, hiszen az impulzusnyomaték megmaradása miatt a pályák egyszerűek. A szabálytalan esettel kapcsolatos tapasztalatunk viszont azt mutatja: nem gömb alakú napok körül a bolygópályák kaotikusak is lehetnének!

Lengő ejtőgép

Tekintsünk egy kicsiny csigán átvetett fonállal összekötött két tömegpontot (*3. ábra*). A jól ismert középiskolai feladatban mindkét pont csak függőlegesen mozog-

2. ábra. Szabálytalan alakú tál és a benne mozgó golyó.





3. ábra. Csigan lengő test: két tömegpontot egy elhanyagolható sugarú csigan átvetett kötéllel összekötünk, melyek közül az egyik síkban szabadon lenghet, míg a másik csak függőlegesen mozoghat (a). A lengő test térbeli pályája (b) (a kezdőhelyzetet egy fekete pont, a csigát egy kör jelöli).

hat, s egyenletesen gyorsuló mozgást végez (Atwood-féle ejtőgép). Most azonban megengedjük az egyik tömegpont függőleges síkban való kilengését is (az egyszerűség kedvéért mindig feszes fonállal). A csak függőleges elmozdulást lehetővé tevő hagyományos elrendezésben a nehezebb tömeg mindig lehúzza a könnyebbet, viszont az általánosított esetben sokkal érdekesebb a helyzet. Ha ugyanis oldalirányban elegendően meglökjük a lengésre képes testet, akkor – még ha a másik tömegpont nehezebb is, és lefelé mozog – az egyre rövidülő lengő fonálon a könnyebb test többször átfordul a csiga körül, egyre jobban bepörög, s ezzel képessé válik arra, hogy a nehezebbet visszahúzza. Így hosszú ideig tartó, bonyolult kaotikus mozgás jöhet létre. A kilengésre képes test pályáját a 3.b ábra mutatja.

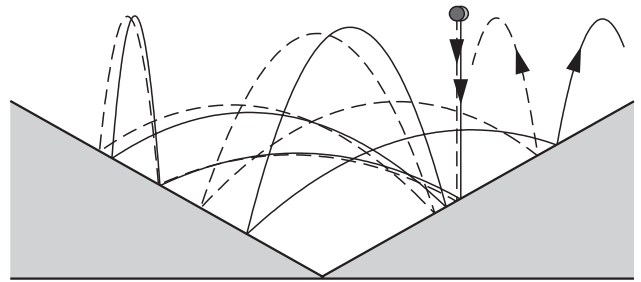
Rezgő lemezen pattogó golyó

Tekintsünk egy időben szinuszosan fel-le mozgó vízszintes lapon, például rezgő hangszórólemezen, függőlegesen pattogó kisméretű golyót. A lemez rezgése periodikus, a lemezzel való ütközés azonban már nem feltétlenül az. A kaotikus viselkedést az okozza, hogy a golyó repülési ideje általában nem azonos a lemez periódusidejével, így az ütközések mindig különböző fázisokban követik egymást.

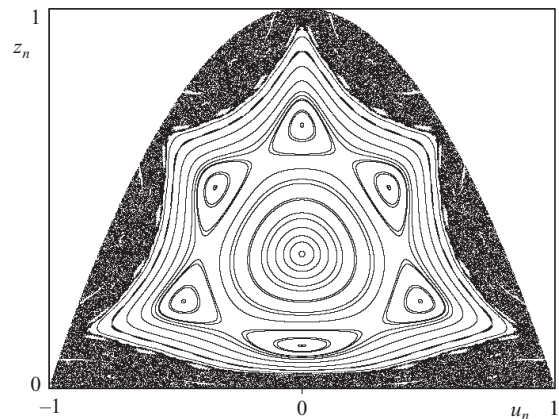
A káosz jellemzői

A példánk eddig a kaotikus mozgás egyetlen tulajdonságát hangsúlyozták: a szabálytalan időbeli viselkedést. Mindegyik esetben megfigyelhető azonban, hogy ez a vonás mindig együtt jár két további szokatlan tulajdonsággal is. Az egyik az, hogy a két közeli pontból induló mozgás rövid idő után erősen különbözővé válik: a kis kezdeti különbségek drasztikus későbbi különbségre vezetnek! Ennek megfelelően a két, azonos magasságból egymás mellett leejtett golyó kaotikus mozgása is gyorsan szétválik (4. ábra). A kaotikus mozgás ezért hosszú távon előre jelezhetetlen.

Amennyiben a lehetséges mozgások összességéről áttekintő képet kívánunk kapni, érdemes bizonyos mintavételezést alkalmazni. A golyók esetében például úgy, hogy az n -edik ütközés pillanatában ábrázoljuk az elpattanási sebesség két komponensét a sík egy pontjaként (5. ábra). Így – a megfelelő ábrázolás segítségével – vilá-



4. ábra. A kettős lejtő fölött közel azonos kezdőhelyzetből leejtett golyók pályája. A mozgás érzékeny a kezdőfeltételre (a végső fázisban a sebességek vízszintes komponense már ellenkező előjelű) és ezért előre jelezhetetlen.

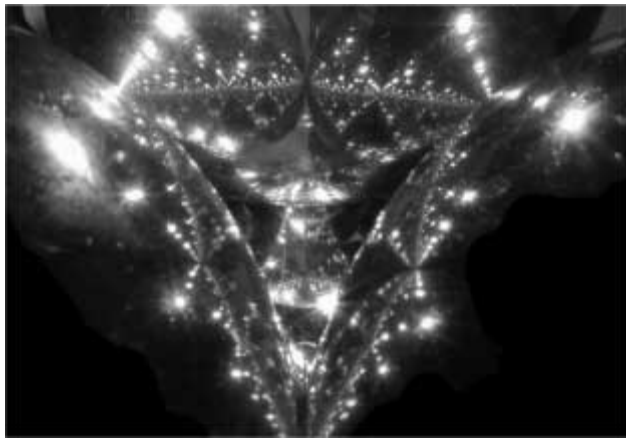


5. ábra. A kettős lejtőn pattogó golyó lehetséges mozgásainak képe adott összenergia mellett olyan ábrázolásban, ahol a vízszintes tengelyre az elpattanási sebesség u_n lejtővel párhuzamos komponensét, a függőlegesre pedig a lejtőre merőleges komponens z_n négyzetét mérjük fel. A pöttyözött tartományok kaotikus mozgást jeleznek. Ezeket ellipsziszszerű rajzolatok szakítják meg, melyek szabályos mozgásra vezető kezdőfeltételekhez tartoznak. A lejtők dőlésszöge 73° , s harminc különböző kezdőfeltételből indítottunk mozgást.

gossá válik, hogy a káosz mégsem a teljes rendezetlenség, hanem határozott struktúrával rendelkező bonyolult mozgás. Ezt az újfajta struktúrát – melynek léte a másik „szokatlan” tulajdonság – *fraktálszerkezetnek* nevezzük.

Káosz a hétköznapi életben

Mint példánk sejtetik, a káosz számos hétköznapi jelenséggel kapcsolatos, melyeket itt csak röviden említünk. Kaotikus folyamat például a flipperautomata golyójának mozgása, a hulló falevél esése szélmentes időben, vagy a rádió begerjedése is. A térszórás során a kezdetben adott helyre koncentrált anyagok (tojás, só, cukor stb.) rövid idő alatt az egész térszórásban nagyjából egyenletesen oszlanak el. E mögött az rejlik, hogy a sodrás és nyújtás során minden egyes részecske kaotikus mozgást végez. (Azaz, ha a szabályos, periodikus hajtogatások során egyetlen részecskére szegeznénk a tekintetünket, akkor annak mozgásában semmilyen szabályosságot sem találunk.) A festékek keveredése és a környezetszennyezést okozó részecskék szétterjedése is kaotikus folyamat. A káosz szerepel számos műszaki jelenségben, például a kerekek és szerszámgépelemek berezgésében, a vontatott pótkocsik kilengésében. A pótkocsi-szerelvénnyek országúti vontatása ezért tilos számos országban.



6. ábra. Tükröződő karácsonyfagömbök. A négy gömb érintkezik, középpontjaik egy tetraéder csúcsain helyezkednek el. A képen a vaku villanásának visszaverődési mintázata látható.

A FIZIKA ÉVE HÍREI

A FIZIKA ÉVE ÉS A MAGYAR TUDOMÁNYOS ISMERETTERJESZTŐ FILM

Négy éve több mint 40 ország fizikai társulata együttesen javaslatot tett arra, hogy 2005 legyen a Fizika Éve (*World Year of Physics*, WYP 2005). A kezdeményezést számos más nemzetközi egyesület, többek között az Európai Fizikai Társulat (EPS), a IUPAP (*International Union of Pure and Applied Physics*) is egyhangú döntéssel támogatta, végül 2003 novemberében az UNESCO Konferenciájának 32. ülészakán hozott határozat alapján 2005-öt a Fizika Événél nyilvánította.

Miért éppen 2005? – tehetnénk fel a kérdést. Nos, az idén van éppen 100 éve annak, hogy *Albert Einstein* 1905-ben, 26 éves korában közölt három cikkével forradalmasította a klasszikus fizikát, és ezzel megindította a modern fizika diadalmas és hihetetlenül gyors fejlődését a XX. században. Csak a teljesség kedvéért érdemes itt megemlíteni, hogy egyik cikkében a Brown-féle mozgás tárgyalásával közvetve az atomok létezését bizonyította, egy másik cikkében írta le a speciális relativitás elméletét, egy harmadik cikkében pedig a Planck-féle kvantumhipotézis segítségével megadta a fényelektromos effektus magyarázatát (ez utóbbi munkájáért jutalmazták 1921-ben a Nobel-díjjal).

A Fizika Événél világszerte ünnepi konferenciákat, előadásokat és egyéb rendezvényeket szerveznek, amelyek célja a fizika diadalmas útját áttekinteni és megismertetni, valamint a nagyközönségben tudatosítani, hogy a modern társadalom élete elképzelhetetlen a tudományok, köztük a fizika eredményeinek hasznosítása nélkül. Hazánkban az Eötvös Loránd Fizikai Társulat és a Magyar Tudományos Akadémia szervezésében ünnepeljük a Fizika Évét, amelynek hazai jelszava: „*Nem élbelünk fizika nélkül!*”

A Fizika Éve különféle rendezvényeihez hozzájárul a Magyar Mozgóképi Közalapítvány (MMAK) is a maga sajátos lehetőségeivel. Néhány éve az MMAK támogatásával kétrészes portréfilm készült *Simonyi Károly* akadémikusról, amelynek a második része Simonyi professzor monumentális műve, *A fizika kultúrtörténete* keletkezésének körülményeivel, a tudomány és kultúra egységével és más, alapvető fontosságú kérdésekkel ismerteti meg a nézőt. Az év folyamán elkészül még két fontos, a fizika aktuális kérdéssel foglalkozó tudományos ismeretterjesztő film is.

Az egyikben megismerhetjük a világhírű „szegedi lézerek”, azaz a Szegedi Tudományegyetemen a *Bor Zsolt* akadémikus vezetésével dolgozó kutatócsoport, valamint a Szegedi Biológiai Kutatóközpont Biofizikai Intézetének igazgatója, *Ormos Pál* akadémikus kutatócsoportja eredményeit, valamint a lézerek modern alkalmazásait mind a sejtbiológia és orvostudomány, mind pedig a korszerű technika terén.

Négy érintkező karácsonyfadísz esetén nem golyók, hanem fénysugarak verődnek vissza (többször is) sima felületekről, mielőtt szemünkbe jutnak. A karácsonyfagömbök egymáson való tükröződésének érdekes fraktálképei (6. ábra) tehát a fénysugarak kaotikus „pattogásának” hétköznapi életben is megfigyelhető következményei.

A káosz előfordul bizonyos kémiai reakciók időbeli színváltozásaiban, biológiai jelenségekben (pl. egyes járványok váratlan felbukkanásában), és jóval nagyobb léptékben, például a Naprendszer alkotóelemeinek mozgásában is. Kevésbé ismert, hogy amikor az augusztusi éjszakákon hullócsillagok jelennek meg az égbolton, kisméretű aszteroidák kaotikus mozgásának végső fázisát látjuk.

Gruiz Márton, Tél Tamás
ELTE Elméleti Fizikai Tanszék

A másik filmben, amelynek kissé hangzatos előzetes címe *Ősrobbanás a laboratóriumban*, a relativisztikus nehézion-fizika terén folyó kísérleti munkával ismerteti meg a nézőt. Az óriási energiával összeütköző nehéz atommagok az ütközés során összeolvadnak, a feltevések szerint úgynevezett „kvark–gluon plazma” jön létre, amely tulajdonságait tekintve igen hasonló az anyag ősrobbanás utáni igen korai állapotával. A kérdések vizsgálata igen jelentős új ismeretekhez vezethet mind az asztrofizika, mind pedig a kozmológia terén. Az eddigi forgatások során a forgatócsoportnak sikerült elsőként a világon bejutni az amerikai Brookhaven Nemzeti Laboratórium óriási gyorsítójának belsejébe, mind pedig eljutni a genfi Európai Atommagkutató Központ gyorsítólaboratóriumaiba. Az MMAK e három film elkészítésének támogatásával jelentősen hozzájárul a Fizika Événél méltó megünnepléséhez.

Sokakban felmerülhet a kérdés, mi köze a filmnek a tudományhoz, szükség van-e tudományos ismeretterjesztő filmekre a játékfilmek mellett? Az elmúlt évtized gyors társadalmi változásainak közepette kétségtelenül megváltozott a hazai mozikultúra. A hagyományos filmszínházakat lassan kiszorítják a multiplexek és a pattogatott kukorica. Ez önmagában még nem lenne baj, ha a magasabb műszaki színvonal (ez is a fizikának köszönhető!) magasabb művészi színvonallal is együtt járna. Az akciófilmek áradata mellett eltűntek a kisfilmek, rajzfilmek, animációs filmek, és közöttük az ismeretterjesztő, a népszerű–tudományos filmek is. Ez a folyamat azonban nem volt szükségszerű, hiszen ma is komoly igény van a művészfilmekre és a kisfilmekre. Érdekes megjegyezni, hogy az Egyesült Államokban a multiplex uralkodásának sok évtizede után az egyetemi campusokon országsszerte léteznek filmklubok, amelyek telt házak mellett játszanak tudományos ismeretterjesztő filmeket a jövő értelmiségének – de nem csak azoknak, hiszen oda bárkinek szabad a bejárás.

A fenti konkrét kérdésre válaszolva: köztudomású, hogy a vizuális információ mennyire hatékony eszköze az ismeretek közlésének és átadásának. Ma már mindennapos dolog, hogy a hagyományos információs csatornák a multimédia eszközeivel kiegészülve milyen mérhetetlen mennyiségű ismeretanyagot képesek tárolni és szükség szerint rendelkezésre bocsátani. Ebből a szempontból nézve a film a hatékony ismeretterjesztés alapvető fontosságú eszköze.

Hangsúlyozni kell azonban, hogy a film szerepe nem csupán a pusztán képi illusztráció. A filmművészet sajátos eszközei lehetővé teszik, hogy az átadandó ismeretanyag felsorakoztatása mellett valami