

KÁOSZKÍSÉRLETEK A KÖZÉPISKOLAI FIZIKA OKTATÁSÁBAN

CHAOS EXPERIMENTS IN HIGH SCHOOL PHYSICS EDUCATION

Szatmáry-Bajkó Ildikó¹

¹ Petőfi Sándor Általános Iskola és Gimnázium, Vecsés; ELTE PhD-hallgató,
Neveléstudományi Doktori Iskola

ÖSSZEFOGLALÁS

A káosztudomány középiskolai fizika tananyag keretébe való beillesztésének kérdésével foglalkozunk. Vizsgáljuk a téma taníthatóságát a mechanika tananyag keretében, valamint szakkörön. Tananyagot fejlesztettünk ki, és kipróbáltuk középiskolás diákokkal. A tananyagban központi szerepet kaptak az egyszerű, érdekes mechanikai kísérletek: simlabda (gumis inga), jójó, mágneses inga. A keveredések tanulmányozása lehetővé tette az előrejelezhetetlenség mögött megbúvó rend, a fraktálszerkezet közös felfedezését. Az inga- és a keveredési kísérletek alkalmasak a nemlineáris jelenségek iránti érdeklődés felkeltésére, lehetőséget nyújtanak a káosz jellemzőinek megismerésére.

ABSTRACT

It is described how one can include chaotic phenomena in high school physics curriculum. We investigate the way of teaching this topic within the framework of high school physics education and at study group. A special curriculum have been developed and implemented in high school physics classes. Simple, interesting experiments had a central role: elastic pendulum, yo-yo, magnetic pendulum. Study of mixing experiments made us possible to show order behind unpredictability: the fractal structure. These experiments are suitable to arouse students' interest towards nonlinear phenomena, give possibilities to find out characteristics of chaos.

KULCSSZAVAK/KEYWORDS

káosz, fizika oktatás, középiskola
chaos, physics education, high-school

BEVEZETÉS

A Fizikai Szemlében [1] beszámoltunk egy oktatási kísérletről, amelynek kettős célja volt: egyrészt összeállítani a nem lineáris jelenségekhez olyan bevezető tananyagot, amit középiskolás diákok megértenek, másrészt vizsgálni, hogy tudjuk-e változtatni az alapvető fogalmak esetében az előképet, amellyel a tanulók rendelkeznek.

Miért tartottuk fontosnak, hogy épp a káosz alapvető fogalmaival ismertessük meg a tanulókat, és erről állítsunk össze tananyagot? A káoszelmélet a XX. század egyik legjelentősebb fizikai pardigmája, ahhoz mérhető, amit a XX. század elején a kvantumelmélet és a relativitáselmélet jelentett. “Az utókor három dologra fog emlékezni a 20. századi tudományból: a relativitáselméletre, a kvantummechanikára és a káoszra.” – írja Káosz című művében James Gleick [2]. Az első két paradigmaváltáshoz hasonlóan a káoszt is a newtoni fizika szemléletétől való elszakadás jellemzi. A kaotikus dinamika közvetlenül érinti a látható

és tapintható, emberi léptékű dolgok világát, így a mindennapi tapasztalat és a világ valóságos képei újra visszakerültek a tudományos kutatásba.

A Budapesti Trefort Ágoston Kéttannyelvű Szakközépiskola 13 D. osztályos diákjaival dolgoztunk együtt a 2003/2004. tanévben. Harminc műszaki szakos, érdeklődő tanuló ismerkedett a káoszfizika alapjaival, két csoportra osztva. A tanítási modul összesen 11 órá volt.

Kísérleteken és számítógépes szimulációkon keresztül (egy tanártovábbképző tanfolyam anyaga alapján készült *Kaotikus mozgások* szimulációs programot¹ használtuk [3]) megismerkedtünk a determinisztikus káosz legfontosabb jellemzőivel, mint: a szabálytalan mozgás; a szigorú törvények (általában ismertek a mozgásegyenletek); az előrejelezhetetlenség, azaz a kezdeti feltételekre való érzékenység; valamint a rend, a pontos geometriai szerkezet megjelenése a fázistérben [4].

A középiskolás diákok számára bevezető tananyagot és tanmenetet [1] állítottunk össze. A tanítás során esztétikai vonzerejükre alapozva a természeti és matematikai fraktálok ismertetésével indítottunk, majd a káosz fogalmát jártuk körül. Példákon keresztül elemeztük, hogy mikor lehet hasznos és mikor kiküszöbölendő a kaotikus viselkedés különböző rendszerek esetén. A zsebszámológépes iterációkkal a nemlinearitásról, az ebből adódó érzékenységről, előrejelezhetetlenségről kaptunk ízelítőt.

Tananyagunk magvát az egyszerű mechanikai jelenségeket bemutató kísérletek és ezeket követően, vagy párhuzamosan a számítógépes szimulációk adták. Majd egy beszélgetős, összefoglaló, ismétlő órát követően egy záró kérdéssor segítségével rákérdeztünk a vizsgált fogalmakra, a változások követése érdekében. A fogalmak változásának felderítésére interjúkat is készítettünk. [1] Szakkörön megismerkedtünk az egyszerű mechanikai példákat leíró mozgásegyenletekkel is.

A kaotikus mozgás nem kivételes, hanem tipikus mozgás. A középiskolákban csak a kivételekkel, a periodikus és szabályos mozgásokkal ismerkednek meg a fizika tananyag keretében a diákok. A legtöbb középiskolában ismertetett fizikai probléma kevés módosítással kaotikussá válik. A tananyagunk törzsét azok az egyszerű, középiskolában is ismert mechanikai rendszerek alkották, amelyek kis módosítással kaotikussá válhatnak.

A Fizikai Szemlében elsősorban a fogalmak kialakulásáról, változásáról, a tanulók véleményéről számoltunk be, később [5] ismertettük, hogyan segíti a számítógépes szimuláció a kaotikus jelenségek tanulmányozását a középiskolában. Ebben a cikkben elsősorban a tanulókkal közösen végzett egyszerű kísérleteket mutatunk be, két nagy csoportra bontva: kaotikus ingák és keveredések.

INGA KÍSÉRLETEK

A kaotikus ingák a legkézenfekvőbb példák az egyszerű mechanikai jelenségekre, amelyeket középiskolában bemutatathatunk [6].

Gyermekkorunk kedves játéka, a simlabda (1.a ábra) egy gumiszál végére rögzített test. Ha a gumiszál végig feszes, a simlabda nyúlós ingának tekinthető. A gumis inga esetében az ingához képest a szár nyúlása adja azt a pluszt, ami a kaotikus mozgásért felelős. A mozgás bonyolult, ez a lengés és rezgés összetevődéséből adódik, első látásra semmilyen szabályosság nem ismerhető fel.

Ha ferdén, adott szögben többször is kilendítjük a simi labdát és figyeljük a mozgását, azt tapasztaljuk, hogy hiába igyekszünk pontosan ugyanolyan szögben indítani a testet, mindig

¹ Egyelőre DOS és Windows '98 alatt működik.

más pályát ír le, és a mozgás szabálytalan, össze-vissza. A szabálytalanságból és a kezdeti feltételekre való érzékenységből arra következtethetünk, hogy a mozgás kaotikus. A mozgást csak nagyon rövid ideig, néhány tíz másodpercig lehetett megfigyelni, mivel nagy a légellenállás hatása. Kipróbáltuk, hogy mi történik, ha függőlegesen lefele meghúzzuk a labdát. Érdekes módon akkor is kaotikus mozgást tapasztaltunk, de ez már azzal van összefüggésben, hogy a gumiszál begyűrődött, így kilengtetta a testet, és ez okozta a kaotikus mozgást.

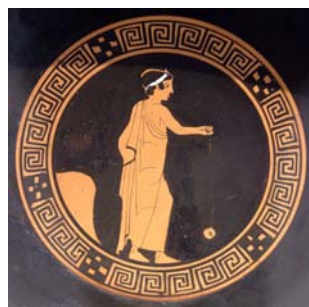
A jojót (1.b ábra) bizonyára minden gyermek ismeri. Ez az eszköz nagyszerű alkalmat nyújt a káosz-kontroll „gyakorlására”, hiszen az ősi játék (1.c ábra) egyik lehetséges célja szabályos mozgásformák elérése. A jojó esetében a kötélen lepörgött testhez képest a lengés az a többlet, amitől a mozgás kaotikussá válik.



1.a.



1.b.



1. ábra. a. Similabda. b. Jojó. c. Már az ókori görögök is... Jojó játékos. Görög kerámia.

Azt vizsgáltuk, mi történik akkor, ha a tanuló, miközben lepörgette a jojót, kilengette. Azt tapasztaltuk, hogy a mozgás szabálytalan, kaotikussá vált. Csak azokat az eseteket vettük figyelembe, amikor a kötélen szemmel láthatóan nem gyűrődött meg. Így is meglepődve tapasztalták a diákok a test mozgásának változatosságát, miközben igyekeztek, hogy a kezdeti feltételek – a lepörgés indításakor a kilengés szöge – jó közelítéssel megegyezzenek.

A mágneses inga² esetében a fonálinga testének a mágnesessége, no meg az alatta elhelyezett vonzó vagy taszító és különböző mintázatú mágnesek adják a nemlineáris összetevőt, és felelősök a mozgás kaotikus mivoltáért.

A mágneses inga visszatérő motívumként – mivel kéznél levő egyszerű és látványos kísérleti eszköz – végigkísérte munkánkat. A 3. ábrán egy saját készítésű mágneses ingát mutatok be, azonban a fizika szertárban rendelkezésre álló állvány és mágnesek segítségével könnyen készíthető mágneses inga a tanulókkal együtt is. A fonálinga teste ez esetben egy mágnes lesz, és időnk és kísérletező kedvünk függvényében próbálhatunk ki más-más mintázatokat különböző számú és erősségű, vonzó vagy taszító mágnesekkel. Megfigyelhetjük az érdekes, szabálytalan mozgást, tippversenyt indíthatunk, ki tudja a legjobban eltalálni, hol állapodik meg az inga. A Csodák Palotájában is lehet kísérletezni a mágneses ingával.

A mágneses inga mozgása előrejelezhetetlen, például három vonzó mágnes esetén jó játék megjósolni, hogy az indítás függvényében vajon hol áll meg az inga. Mielőtt megállna, láthatjuk, hogy szabálytalan, kaotikus mozgást végez.

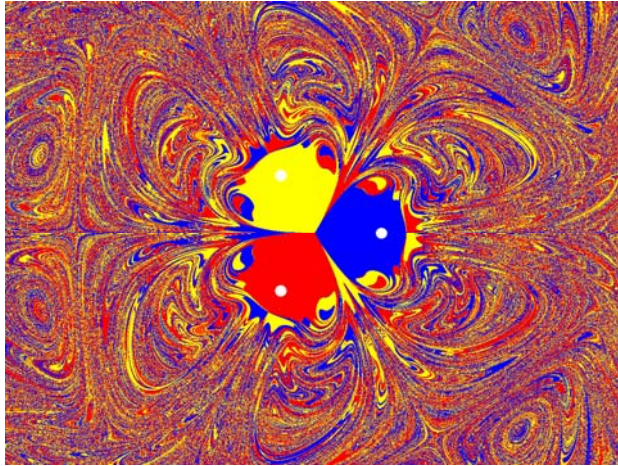


3. ábra. Saját készítésű mágneses inga.

Számítógépes szimulációval³ modellezhető a fenti mágneses inga. Az inga alján található három mágnes három színnel jelöltük, az adott szín jelzi, hogy melyik mágnesnél áll meg az inga a szabálytalan mozgást követően, ha egy adott pontból indítjuk. A síkban található összes indítási pontot kiszínezzük aszerint, hogy a szimuláció alapján milyen színű mágneshez vonzódik az ingánk. A 4. ábrán a különböző színek a mágneses inga attraktorainak vonzási tartományát mutatják. A vonzási tartományok határfelülete szálas fraktálszerkezetet mutat. A fázistérben felsejlik a rend a szabálytalan mozgás mögött.

² Random Oscillating Magnetic Pendulum. Forrás: <http://www.thinkgeek.com/geektoys/cubegoodies/6758/>

³ A hivatkozott könyvben a téma iránt érdeklődő középiskolások által is elkészíthető programokkal készítették az ábrákat. A Turbo Pascal programozási nyelvben írták a szerzők a programot. Numerikus módszerként a negyedrendű Runge-Kutta módszert használták, mely módszer használatának nem feltétele a módszer matematikai háttérének megértése.



4. ábra. A mágneses inga vonzási tartományai három vonzó mágnes esetében [6].

KEVEREDÉSI KÍSÉRLETEK

A fraktál mintázat a kaotikus folyamatok esetében mindig megjelenik egy absztrakt térben, a fázistérben, így rejtve marad a közvetlen megfigyelés előtt. A keveredés a kivétel: a fázistér egybeesik a valós térrel, így a fraktálszerkezet megfigyelhető a hétköznapi életben is: a kávéba öntött tej vagy tejszín, a tejbegrízbe öntött málnaszörp, az áramló folyadékok felszínén sodródó szennyeződések vagy festékfoltok bonyolult, szálas szerkezetű alakzattá folynak szét és megjelenik a fraktál mintázat [7].

A keveredések tanulmányozását a lehető legismertebb példával kezdtük, a tejszín keveredésével a kávéban (5. ábra).



5. ábra. Tejszín keveredése a kávéban.

Hasonlóan látványos mintázatokat szül két vagy három különböző színű gyurma- és nyújtógátása és nyújtógátása (6. ábra). Még a középiskolás tanulóknak is nagy öröme szolgál a szép fraktálszerkezetek saját kezű kialakítása. Az is kiderült számunkra, hogy nagymamáink nem hiába hajtják össze és nyújtják a tésztát (a tészta nem más, mint sűrű folyadék), hiszen ők már rég tudják azt, amit az utóbbi időben a tudomány is megfogalmazott, hogy az egyik legjobb keveredést a nyújtás-összehajtás algoritmus adja. A keveredés a leghatékonyabb akkor, ha a folyamat kaotikus – így a káosz egyik hasznosítását is megismertük [8].

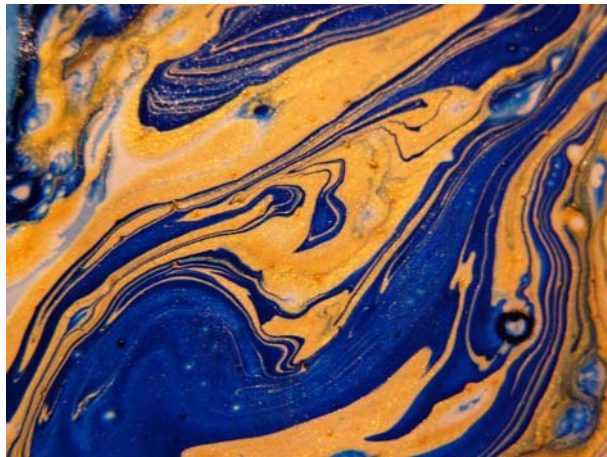


6.a.



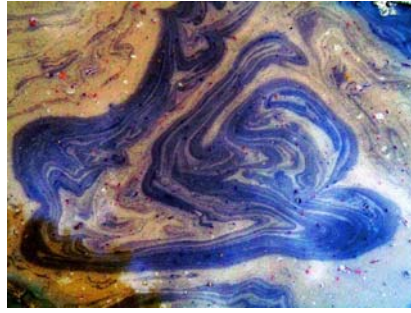
6.b ábra. Két különböző színű gyurma keveredésekor láthatóak a fraktál-szálak.

A keveredések tanulmányozására a leglátványosabb a „márványozás”-nak nevezett technika [9], otthoni kísérletezésre is alkalmas. A lányok nagyon lelkesedtek, amikor kiderült, hogy papírlapon és gyertyán kívül nagyon szép kendőket is lehet így festeni két-három színes, erre a technikára alkalmas festék keverésével. Mi nagy üvegtálba vizet öntöttünk, a tetejére két különböző színű festékből öntöttünk egy-egy keveset, összekevertük finoman, majd gyorsan papírlapot helyeztünk a tetejére és óvatosan lehúztuk. A papírlapon megszáradt szálak szerkezetű mintázat (7. ábra) minden alkalommal esztétikai élményt nyújtott a „kísérletezőknek”, gyönyörűen megfigyelhető volt a fraktálszerkezet, láthatóvá vált az amúgy csak a fázistérben megjelenő rend a valós térben is. Alkalmunk volt a természetben előforduló mintázatokkal a párhuzamot megmutatni, hiszen nem hiába keresztelték el márványozásnak ezt a technikát, a természetben található márvány mintázatait idézi.



8. ábra. A márványozás technikájával megfestett papíron szépen láthatóak a fraktál-szálak.

Útszéli pocsolyában szétterülő olajfoltokat láthatunk a 9.a ábrán, egy duzzasztógát előtt a habzó szennyeződés által kirajzolt mintázatokat a 9.b ábrán. Szembeszökő a hasonlóság az általunk létrehozott mintázatok és között, amit egy kisebb és egy jóval nagyobb mértékű valóságos természeti jelenség kapcsán látunk.



9.a.



9. ábra. a. Olajfoltok a pocsolnyában (Traian Antonescu felvétele). b. Szennyező hab mintázata duzzasztógát előtt (Károlyi György felvétele).

KÖVETKEZTETÉSEK

Meghatározó élmény volt a diákok számára, hogy a hétköznapi élet eseményeiről közvetlenül is tud szólni a fizika lejtőkön, golyókon, az idealizált tárgyakon túl, no meg az is, hogy ők is aktív részesei lehetnek a modern fizikai kísérleteknek. A tanulók rendkívül lelkesek voltak, hogy otthonról, játékaik közül hozhatnak kísérleti eszközt: simulabdát, jójót fizika órára. Nagy felfedezés volt számukra, hogy a szertárban vagy az otthon található egyszerű tárgyakból lehetséges olyan kísérleti eszköz építése, mint például a mágneses inga.

Míg a kaotikus ingák inkább a mechanikai vonatkozásokat emelik ki, addig a keveredések alkalmasak arra, hogy megmutassák a kaotikus jelenségekre jellemző geometriai szerkezetet, a káosz mögött rejlő rendet, ráirányítják a figyelmet a környezeti problémákra is. Így nagy hangsúlyt fektettünk a keveredések tanulmányozására, hiszen itt lehetett megragadni a rend, a pontos geometriai szerkezet megjelenését.

A középiskolások a káosz kísérleti vonatkozásait könnyen értik. Közel kerülnek a témához, megélik a felfedezés örömeit, megtapasztalják a kutatás élményét, és publikálásra alkalmas eredményeket érhetnek el a káosz kísérleti vizsgálata során [10-13].

Az egyszerű, játékos kísérletek alkalmasak a kaotikus jelenségek iránti érdeklődés felkeltésére. Lehetőséget nyújtanak a káosz jellemzőinek feltárására. Felhívhatjuk a diákok figyelmét arra, hogy noha ismertek az általunk tanulmányozott rendszerek mozgásegyenletei, a newtoni mechanika eszközeivel leírható a mozgás, mégis előrejelezhetetlen. Ezeknek a kísérleteknek a segítségével a tanulók maguk ismerik fel, hogy egyszerű rendszerek is mutathatnak bonyolult viselkedést.

A kísérletezések során levont további következtetéseink összhangban vannak az eddig általunk már megfogalmazottakkal [1]: a kaotikus jelenségek tárgyalhatók a középiskolában, jelenség szintjén bemutathatók, a meglepetés erejével hatnak, az egyszerűbb jelenségek egzakt leírása szakkörön megértethető. Fontosnak tartjuk a kaotikusság fogalmát bevinni a köztudatba, ismertetni az eltérést a hétköznapi és a tudományos fogalom közt. Szükségesnek tartjuk a kaotikus jelenségek tárgyalását a középiskolai oktatásban: a humán és általános

osztályokban csak jelenség szinten, reál osztályokban az informatikával való integráció keretében, szimulációkkal is alátámasztva.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm a rendelkezésemre bocsátott képeket Tél Tamásnak és Gruiz Mártonnak (4. ábra), Traian Antonescunak (9.a. ábra), valamint Károlyi Györgynek (9.b ábra).

IRODALOMJEGYZÉK

1. Szatmáry-Bajkó Ildikó: „Káoszt”? – Azt! – Káoszelmélet a középiskolában, Fizikai Szemle, LVI, 376, 2006/11.
2. Gleick, J., Káosz, egy új tudomány születése, Göncöl Kiadó, Budapest, 1999.
3. Hóbor Miklós, Gruiz Márton, Gálfí László, Tél Tamás: Kaotikus mozgások szimulációs program, ELTE TTK Elméleti Fizika Tanszék 2001.
4. Tél Tamás: A káosz természetrajza, Természet Világa, **129**, 386, 1998.
5. Szatmáry-Bajkó Ildikó: Káosz, rend, látvány – A káoszelmélet ismertetésének lehetősége IKT eszközökkel a középiskolai oktatás keretében, Iskolakultúra, kézirat beküldve, 2009.
6. Tél Tamás, Gruiz Márton: Kaotikus Dinamika, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.
7. Tél, T., Gruiz, M.: Chaotic Dynamics, Cambridge University Press, Cambridge, 2006.
8. Gruiz Márton: A kaotikus mechanika kapcsolata Platónnal és a levelestésztával, Természet Világa, **129**, 389, 1998.
9. Hannelore Otto: Márványozás, CSER Kiadó, Budapest, 2004.
10. Sótér Anna, Lorenz modelljének kísérleti vizsgálata és a kaotikus vízikerek, Természet Világa melléklete, Diákpályázat, Természet Világa **135**, LXXIII oldal, 2004.
11. Békéssy László István, Bustya Áron, A fizikai kettős inga vizsgálata. Kaotikussá vált mechanikai síkmozgás egy példája, Fizikai Szemle, LV, 185, 2005/5.
12. Bíró István, Mágneses ingák kísérleti tanulmányozása. Kaotikussá váló mechanikai síkmozgás egy példája, Fizikai Szemle, LVI,13, 2006/1.
13. Horváth Dóra , Kovács Gábor Imre, Hát ez kész káosz, avagy egyszerű nemlineáris jelenségek szemléltetése számítógép segítségével, Természet Világa, 137, CXII oldal, 2006.

SZERZŐK

Szatmáry-Bajkó Ildikó: fizika tanár, Petőfi Sándor Általános Iskola és Gimnázium, Vecsés, Cím: 2220 Vecsés, Petőfi tér 1., Pest Megye; PhD-hallgató ELTE, Pedagógiai és Pszichológiai Kar, Neveléstudományi Doktori Iskola; e-mail cím: bajkoildiko@yahoo.com.