

Szennyeződések terjedésének vizsgálata a középiskolában: Nemlineáris és kaotikus vonások felfedező tanulása

Doktori értekezés tézisei

Szatmáry-Bajkó Ildikó

Témavezetők:

Dr. Haszpra Tímea tudományos főmunkatárs

Dr. Tél Tamás emeritusz professzor

Fizika Doktori Iskola

Vezető: Dr. Gubicza Jenő egyetemi tanár

Fizika Tanítása Doktori Program

Vezető: Dr. Nguyen Quang Chinh egyetemi tanár



Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

2023

Bevezető

Ámbár a káosz jelensége a hétköznapi szóhasználatban ismert már közel 40 éve, még mindig messze nincs kiaknázva annak a lehetősége, ami a természettudományok és a fizika oktatásában felmerülhet a témához kötődően.

A kaotikus jelenségek teljesen új mozgásformát jelentenek. Szinte hihetetlen, hogy milyen sok téren találkozunk velük, milyen változatosságot hoznak, ez adja a szépségüket is. Meglepő az is, hogy a káosz nem kivétel, hanem sokkal inkább tipikus. A kaotikus viselkedés az időjárás, a környezetszennyezés és akár a klímaváltozás problémájáig is kiterjed. Mindezt figyelembe véve, érdemes a középiskolában tanítani a kaotikus jelenségeket.

Az is fontos szempont, hogy a modern fizikának egy olyan fejezetéből kapnak ízelítőt a diákok, amely amellet, hogy a természettudományok nagyon sok területén megtalálható, makroszkopikus skálán mozog, így sokkal hozzáférhetőbb, megfoghatóbb, mint a hagyományos modern fizika.

A káosz-jelenség meglepő következménye, hogy a kezdőfeltételekre való érzékenység egyszerű rendszerekben is gyakran előfordul, olyanokban, melyek mozgását néhány egyenlet is teljesen meghatározza. Éppen ezeken az egyszerű rendszereken keresztül a káoszfizika a középiskolai tanulók számára is megismerhető.

Célkitűzések

Célom az volt, hogy a káosz jelenségét ne mások által készített videókon, előregyártott szimulációk futtatásával vagy sok matematikai megfontolással mutassam be, hanem a diákok által elvégzett kísérleteken keresztül, ill. őket érdeklő tevékenységek formájában. Figyeltem arra is, hogy távoleső és nem is feltétlenül bizonyított, ámbár hangzatos interdiszciplináris vonatkozások (pl. agytevékenység, földrengések, a tőzsde dinamikája) ne vonják el figyelmüket. Tanítási gyakorlatom ezért elsősorban a fizikára

illetve a környezetfizikára korlátozódik, felvillantva a káoszjelenség széleskörű előfordulását a társtudományokban is.

A káosz megismerésében is elsődleges fontosságúak a kísérletek. Az én saját tapasztalatomban a diákok által elvégzett kísérletek játszik a legfontosabb szerepet. A mért adatok kiértékelése miatt elkerülhetetlen a digitális eszköztár használata is.

Saját tanári felismerésem, hogy a káosz természete hatékonyan megismerhető a kézművesség segítségével: a márványozás technikája - azaz festékek keverése víz felszínén és levonásuk - alkalmas az anyagok közegbeli elkeveredését leíró kaotikus sodródás jellemzőinek a megismerésére. Ugyanakkor nagyon jól leköti a tanulókat, elmélyülnek az alkotásban, párhuzamosan a jelenség természetének felfedésével. Motiválja őket a téma felfedezésére, adott esetben a mélyebb megismerésre. Ez az irány a nemzetközi irodalomban is újnak bizonyul.

Magam számára is meglepetés volt, hogy egy újonnan megszületett oktatóprogram, a RePLaT-Chaos-edu szinte ugyanezt a lehetőséget adja meg a káosz tanítására a vulkáni hamu terjedésének példáján, vagyis egy környezet-szennyeződéshez kapcsolódó probléma kapcsán, mely megerősíti a diákok környezettudatos magatartását is.

A káosz megismerésének mindkét hozzáférhető útja: a márványozás technikáján, illetve a vulkáni hamu terjedésének vizsgálatán keresztül is széleskörű terjesztésre érdemes a magyar nyelvű fizikaoktatásban is.

A szűkös tanórai keretek mellett a téma kibontakoztatására, a kaotikus jelenségekben való elmélyülésre kiváló lehetőséget biztosít a projekt keret, melynek földerítése szintén a céljaim között szerepel.

Téziseim

1. Káoszkísérletek a középiskolai fizika oktatásban [1], [2]

Kimutattam, hogy egyszerű, főleg a mechanika témaköréből választott fizikai kísérletekkel a káosz jelenségének lényegét megértik a középiskolás diákok.

Az egyszerű, játékos kísérletek alkalmasak a kaotikus jelenségek iránti érdeklődés felkeltésére, valamint a káosz jellemzőinek tanulmányozására. Ilyen például a mágneses inga, a kettős inga, vagy a kettős lejtőn pattogó labda. Tapasztalom szerint a tanulók képesek arra, hogy az általuk elvégzett kísérletek adatait rögzítsék, illetve önállóan elemezzék.

A tanulók megtapasztalták azt, hogy a vizsgált egyszerű kaotikus rendszerek előrejelezhetetlenek, noha ismertek a tanulmányozott rendszerek mozgásegyenletei, azaz a newtoni mechanika eszközeivel leírható a mozgás. Ezeknek a kísérleteknek a segítségével a tanulók maguk ismerik fel, hogy egyszerű rendszerek is mutathatnak bonyolult viselkedést. Tapasztalom szerint a középiskolások a káosz kísérleti vonatkozásait könnyen megértik. A kísérletezés során megélik a felfedezés örömét, megtapasztalják a kutatás élményét.

2. Nemlineáris rendszerek tanulmányozása digitális módszerekkel [2]

Kimutattam, hogy az egyszerű kaotikus mechanikai rendszerek digitális eszközökkel történő tanulmányozása középiskolában elvégezhető. A káosz jellemzőit a tanulók sikeresen tanulmányozzák, a kezdeti feltételekre való érzékenységet felismerik.

Az egyszerű kaotikus rendszerekkel végzett kísérleteket a tanulók mobiltelefonnal vagy kamerával rögzítik. A mozgást – például a kettős lejtőn pattogó labda mozgását – a Tracker videóelemző programmal vizsgálják, s tapasztalom szerint a program megfelelő erre a célra.

Két, közeli kezdeti feltétellel indított mozgást sokféleképpen összehasonlíthatunk. A tanórán erre csak tanár által bemutatott kísérlet révén került sor, de a tanulók szakkörön vagy projekt keretében a kísérleteket elvégezték, és az Excel munkalapokat használva elemezték a mozgásokat grafikusán. Tapasztalatom alapján az Excel alkalmas erre a célra, grafikonjaival egyértelműen kimutatható a kezdeti feltételekre való érzékenység, azaz a széles körben használt kifejezéssel „a pillangóeffektus”, s annak mérőszáma is meghatározhatóvá válik.

3. A kézművesség a kaosztanításban [3],[4]

Jó gyakorlatot fejlesztettem és próbáltam ki a kaoszfizika megismerésére kézműves tevékenységek – például a márványozás – segítségével.

A kézművesség, egészen pontosan a márványozási technika nagyon hatékony eszköznek bizonyult a kaotikus folyamatok megismerésében, a festékek keveredése folyadékfelszínen ugyanis kaotikus folyamat. A kaotikus sodródást vizsgáltuk a márványozás során, azaz festékeket kevertünk össze a víz felszínén, és a mintákat rögzítettük papírra vagy más hordozóra (gyertya, tojásbél). A folyamat során a tanulók nyomon követték, hogyan formálódnak a festékek keveredésekor a mintázatok, felismerték a kaotikus folyamatok során a fázistérben látott jellegzetes formákat, megismerkedtek a kaosz alapvető jellemzőivel: a sebes megnyúlással és visszahajlással. Az eredetileg koncentrált festékcsepp gyors nyúlása szabad szemmel megfigyelhetően illusztrálja a pályák hirtelen szétválását, a kezdőfeltételekre való érzékenységet.

Azt tapasztaltam, hogy az alkotás öröme, az esztétikai élmény alkalmas az érdeklődés felkeltésére a téma iránt, ugyanakkor segíti a tanulókat az ismeretek megértésében, illetve azoknak az elmélyítésében; megélik a flow állapotát, egy elmélyült, lelkes, odafigyelő állapotot. Ez a tevékenység annyira lekötötte a gyerekeket, hogy a szülőket is meghívtuk közös alkotásra – tojásfestésre – és egyúttal ismeretterjesztésre.

4. Felfedező tanulás a középiskolai természettudományokban a vulkáni hamu terjedése alapján [3] [4]

Kimutattam, hogy a RePLaT-Chaos-edu program sikeres, eredményes kísérleti eszköz a tanulók számára a környezeti szennyeződések terjedésének vizsgálatában és a káosz jellemzőinek megismerésében.

A RePLaT-Chaos-edu programot középiskolás diákok számára fejlesztették ki, a vulkánkitöréseket követően a hamufelhők légköri terjedésének nyomon- követésére. A program a felhasználó által kiválasztott földrajzi helyen és magasságban kibocsátott szennyeződéshők légköri terjedését szimulálja az adott napokban mért szélsőségek felhasználásával.

A RePLaT-Chaos-edu használata lehetőség a felfedező tanulásra: megmutatom, hogy önállóan, játszva felfedezték és megfogalmazták, hogy a szennyeződések terjedése nem foltszerű, hanem szálas szerkezetű, felfedezték az uralkodó szelek, ciklonok jellemző hatásait.

Kimutattam, hogy a káosz olyan fontos tulajdonsága, mint a „pillangóhatás”, számértékileg is könnyen jellemezhető a nyúlási ráta megadásával, mely a diákok által is mérhető a program erre kifejlesztett modulja segítségével.

A program segít a tanulók figyelmét felhívni a káosz fontosságára a környezeti jelenségekben. Tapasztalataim szerint a RePLaT-Chaos-edu teljes sikernek bizonyult: eredményes kísérleti eszköz a szennyező anyagok légköri terjedésének vizsgálatára, a káosz jellemzőinek tanulmányozására.

5. Diákok visszajelzései a RePLaT-Chaos-edu vulkáni szennyeződéscsúcs terjedését szimuláló program használatáról [3]

Vizsgáltam a diákok tapasztalatait a RePLaT-Chaos-edu vulkáni szennyeződéscsúcs terjedését szimuláló program egyéni feltérképezése, használata során. Kérdőív-kitöltések alapján kimutattam, hogy a tanulók többsége érdekesnek, hasznosnak tartotta a RePLaT-Chaos-edu programot.

A tanulók nagy lelkesedéssel használták a vulkáni szennyeződéscsúcs terjedését szimuláló programot, élvezték a felfedezés örömét, ennek kapcsán is flow állapotba kerültek. Célom volt, hogy megtudjam, mennyire érdekes és hasznos az alkalmazás a diákok véleménye szerint. Kérdőíves és nyílt válaszos vizsgálatot is végeztem, melynek eredményét grafikusán is feldolgoztam. Felmérésem alapján a tanulók többsége érdekesnek, hasznosnak tartotta a program használatát, felfedezésként élte meg. Egy diák sem válaszolta, hogy nem volt érdekes a programmal dolgozni.

A diákok felfedezték, hogy a program segít a környezetvédő szemlélet kialakításában, és jól alkalmazható akár a földrajz oktatás keretében is. A program többek között segít ugyanis megérteni a nagyléptékű légköri szennyezés, a globális légköri szennyezés egy fontos tulajdonságát: a tanulók felismerték azt a tényt, hogy a vulkáni hamu csak az egyik féltekén terjed szét a program által biztosított időintervallumon belül.

6. A káosz esztétikája, mintázatok különböző skálákon [3] [4]

Megmutattam, hogy a tanulók felismerik a különböző skálákon, különböző folyamatok során a káoszra jellemző mintázatokat, meglátják közöttük a hasonlóságot. A káosz előfordulását kísérő deformált Cantor-szálak nyúló-visszahajló formái esztétikai élményt nyújtanak, ezáltal erős a motiváló hatásuk.

A környezeti jelenségekben a márványozás során kialakuló mintákhoz hasonló struktúrák jelennek meg. A tanulóknak lehetőségük volt összevetni a festékek keveredése során kialakult mintákat a környezeti szennyeződések terjedéséről készült fotókkal, például olajszenyeződés mintázata a víz felszínén, s végül a vulkáni hamu légkörben való terjedése során. Tapasztalatom alapján felismerték a hasonlóságot a különböző módon kialakult és különböző méretű mintázatok között, és ez az

univerzalitás a felfedezés erejével hatott: a káosz minden méretskálán hasonló alakzatok kirajzolódásához vezet.

Az a tapasztalatom, hogy ez a téma igen alkalmas ünnepi fizika órák (karácsonyi, húsvéti, gyermeknapi) kiteljesítésére is. Az esztétikai hatás kapcsán elkerülhetetlennek érzem, hogy a diákokat megismertessük a fraktálok fogalmával. A matematikai vonatkozások és példák megismertetésén kívül hangsúlyosan érdemes tárgyalni a Cantor-halmaz és a Cantor-szál esetét, ugyanis a keveredés kapcsán megjelenő fraktálok mind deformált Cantor-szálaknak tekinthetők, így ilyen minták alakulnak ki a márványozás és a kaotikus sodródás során is. Éppen ez a matematikai szerkezet áll az univerzális előfordulás hátterében.

7. Projektek

Megmutattam, hogy a középiskolában nemcsak tanórákon, hanem projektfoglalkozás során is sikeresen felkelthető a diákok figyelme a káosz fontosságára.

Mivel a tanórai keret szűkös, ezért sok témát projektfoglalkozásokon lehet elmélyíteni. Projekt-terveket dolgoztam ki és projektfoglalkozásokat tartottam a káoszfizika- és a légköri szennyeződések terjedése témában. Megmutattam, hogy egy egyhetes projekt keretében középiskolás diákok számára megismerhetők a káosz jellemzői.

Az egy hétre tervezett projektek témái a következők voltak: Káoszfizika: digitálisan és kézművességgel; Művészet és fizika: káoszfizika; Káoszfizika: környezetfizika. A Szent István Gimnázium hagyományos projektheteinek keretében valósultak meg a projektek.

A Művészet és fizika: káoszfizika témájú projekthez minden diákunk számára elérhető jegyzetet készítettem, ami hatékonyá tette a projekt céljainak megvalósítását.

Kitekintés

Fontosnak tartom a kaotikusság fogalmát bevinni a köztudatba, ismertetni az eltérést a hétköznapi és a tudományos fogalom közt.

A káosztanítás megfelelő felépítésében közelebb jutunk a környezeti áramlások természetének megismeréséhez és megértéséhez. Elengedhetetlenül fontosnak tartom annak tudatosítását, hogy a környezeti szennyeződések terjedése kaotikus jelenség. Megismerve a káosz jellemzőit, tudatosítható, hogy a környezet szennyezésének következményei nem csak lokálisak, hanem nagyobb léptékűek.

A jövőben is szeretném folytatni a káoszfizika megismertetését tanórákon, szakkörön, illetve projektek keretében. Ígéretes iránynak tűnik az úgynevezett fáklyadiagramok vizsgálata, melyeket több közeli kezdőfeltételből indított mozgás párhuzamos követésével kaphatunk. A diagram szétterjedése az előrejelezhetetlenség egyértelmű bizonyítéka, függetlenül attól, hogy a rendszert részletesen ismernénk. Mindez kísérletileg is, középiskolai szinten is megfogható.

Diákjaimmal egyszerű mechanikai kísérleteket tervezek végezni, illetve kiértékelni. Szeretném kamatoztatni az alkotás örömeinek, az esztétikai élménynek, a flow állapotnak az erejét úgy az érdeklődés felkeltésében és a motiválásban, mint a kitartó kísérletező munkában. Továbbra is tervem, hogy beszámoljak a kutatásaimról, eredményeimről tanártársaimnak konferenciákon, ankétokon, illetve az érdeklődő tanárjelöltekkel is meg szeretném osztani tapasztalataimat, a bevált jó gyakorlatokat, eredményeimet.

A tézisek alapjául szolgáló publikációk

1. I. Bajkó: *Chaos Physics in Secondary School – A Material Applicable in Online Teaching* Horizons of mathematics, physics and computer sciences **50**, 22-34 2021
2. I. Bajkó *Chaos Physics in High School - Challenges in Multimedia Application* GIREP Conference 2022 J. Phys.: Conf. Ser. 2297 012006
3. I. Bajkó: *Inquiry-based Science Teaching – The Use of RePLaT-Chaos Application*, proceedings of TIM Conference 2022, közlésre elfogadva
4. Bajkó I.: *Felfedező tanulás a középiskolai természettudományokban a vulkáni hamu terjedése alapján*, Fizikai Szemle 2022/9 pp. 291-296.

A tézisekhez kapcsolódó előadások

- I. *Chaos Physics in High School - Challenges in Multimedia Application* GIREP Conference Malta, 2020. november 16-18.
- II. *Inquiry-based Science Teaching – The Use of RePLaT-Chaos Application* TIM Conference, Temesvár 2021. november 11-13.
- III. *Káoszfizika tanítása középiskolában – felfedező tanulás*, Erdélyi Fizikatanári Ankét, Jósikafalva 2022. október 14-16.