

S.A.S. projekt - Statfiz A Scheiberben

MÉSZÁROS DÁVID

MATEMATIKA-FIZIKA TANÁRI SZAKOS HALLGATÓ
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIAMUNKÁJA



EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

TÉMAVEZETŐ:

VINCZE MIKLÓS

PHD HABIL

2024.

Kivonat

Dolgozatomban egy, a fizikatanári képzésem elemét képző egyetemi kurzus, a „Statisztikus fizika” szemléletes és középiskolai értelmezésben befogadható feldolgozásával foglalkoztam. A tudományterületben gyakran fellelhető elem a modellalkotásra és a komplex absztrakcióra mély hangsúlyt fektető képesség, ezért arra a következtetésre jutottam, hogy bár a nehéz elméleti levezetések és matematikai megoldások bőven meghaladják egy középiskolai diák kompetenciaszintjeit, bizonyos modellek, ötletek, jelenségek és fogalmak átadhatók különböző játékos, érdeklődést felkeltő módszerek segítségével. Munkámat három részre tagoltam fel, amiben a statisztikus fizika három kardinális fogalmát szeretném szemléletesen körüljárni. Ezek a témakörök az *Ising-modell* és az ahhoz tartozó spontán szinkronizációs jelenségek vizsgálata, a *véletlen bolyongás* egy, kettő, illetve három dimenzióban, továbbá az *entrópia* fogalma, különböző, hétköznapi példákon és módokon keresztül áttekintve, interdiszciplináris módon, segítségül hívva az irodalom és a művészet különböző entrópia-fogalmait is. A dolgozatban bemutatott gyakorlatokban és játékokban munkahelyem, a Scheiber Sándor Gimnázium 10.A és 10.B osztályok tanulói voltak segítségemre. Az órák tapasztalatairól, eredményeiről, élményeiről is beszámolok a dolgozat során. Összefoglalva azt tapasztalhattam, hogy a középiskolai fizikaoktatás követelményétől rendkívül távol álló nehéz tudományterület is alkalmas lehet arra, hogy a diákokban egyfajta természettudományos érdeklődés és a fizikai jelenségek empirikus vizsgálatán alapuló, kritikus gondolkodás igénye alakuljon ki.

Tartalomjegyzék

1. Motiváció, bevezetés	4
2. Rövid ismertető a tanított osztályokról	6
3. Tananyagok és óravázlatok	7
3.1. Ising-modell és véletlen szinkronizálódás	7
3.1.1. I. játék - fekete-fehér markerek	7
3.1.2. II. játék - telefonvaku villogás szinkronizálódása	8
3.1.3. III. játék - vastaps szimuláció	8
3.1.4. Részletes óravázlat az Ising-modell kapcsán	10
3.2. Entrópia	11
3.2.1. Nespresso kondenzáció - irreverzibilitás	11
3.2.2. Szorgalmi feladat és játék az irodalmi entrópiával	11
3.2.3. Spinüveg és a világ leglassabban folyó folyadékja, Maxwell démon .	12
3.2.4. Részletes óravázlat az entrópia kapcsán	13
3.3. Véletlen bolyongás	14
3.3.1. Egydimenziós bolyongás - közös szerencsejáték	14
3.3.2. Kétdimenziós bolyongás - részeg ember bolyongása	14
3.3.3. Részletes óraterv a véletlen bolyongás kapcsán	15
4. A tanórák elvárt- és megvalósult céljai	16
5. Mit tanítunk, mit nem tanítunk meg a 3 óra során?	17
5.1. 1. óra - Ising-modell	17
5.2. 2. óra - Entrópia	19
5.3. 3. óra - Véletlen bolyongás	23
6. Szakmai összegzés és visszajelzések elemzése	25
6.1. Személyes és szakmai vonatkozású összegzés	25
6.2. Diákok visszajelzései	26
7. Diskusszió	29
8. Köszönetnyilvánítás	30
9. Irodalom- és médiajegyzék, hivatkozások	31

1. Motiváció, bevezetés

Dolgozatom elkészítéséhez eléggé személyes motiváció fűződik. Az absztraktban megemlített kurzus szóbeli vizsgáját első alkalommal sikertelenül teljesítettem, egyszerűen azokból kifolyólag, hogy nem foglalkoztam a témával kellően áthatóan és mélyen. Bár meglehetősen letört a kudarc, második alkalommal megsokszoroztam a tanulási és készülési órák számát és minőségét, rengeteg videót, könyvet, cikket és egyéb oktatást segítő tartalmat átböngésztem, mivel kifejezetten nehéznek és komplikáltnak találtam a tananyagot. Második vizsgapróbálkozásom ennek megfelelően jelessel zárult, és a tanulási folyamat során kialakult bennem egyfajta mélyebb érdeklődés a tárgy kapcsán, ekkor született meg bennem a gondolat, hogy kár lenne ezt a felhalmozódott ambíciót kopni hagyni, ennek okán találtam ki, hogy továbbgondolom a tanultakat olyan irányba, hogy miképp lehet a tananyagban elhangzott elméleteket, tudásanyagot - akár csak érdeklődésfelkeltés szintjén is - bevinni a középiskolai fizikaórák keretei közé.

Úgy döntöttem 3 témakört fogok feldolgozni, ami még átlagos középiskolai kompetenciákkal is érthető, befogadható. A statisztikus fizika, mint tudomány azzal foglalkozik, hogy összetett rendszereket sokaságként vizsgálva próbál analizálni, mivel elemenkénti leírása azoknak túlzottan komplikált lenne, ezért ezeknek a komplex rendszerek viselkedéseit írja le [1]. Dolgozatom és kutatómunkám során nem célom ezeknek a komplex rendszerek tökéletes és precíz matematikai modelljeit felvázolni vagy megértetni a diákokkal, hanem ehelyett a statisztikus fizikai gondolkodásmód *szemléletes* átadása, fogalmi megalapozása, ismeretfelkeltés a fő cél, továbbá a betekintés lehetősége a magasabb fizikai elméletekbe a kísérleteken és játékokon keresztül. Nehéz fizikai fogalmaknak a megértése/megsejtetése látványos módszereken, technikákon keresztül, a modellezési készség elősegítése is fontos szempont volt munkám során. Dolgozatomban a három megjelenő fogalom az entrópia, az Ising-modell és a véletlen bolyongás. Mindhárom terület végtelenül komplikálható, azonban továbbra is ezeknek az egyszerű, és középiskolai szintű megfogását próbáltam megcélolni.

Kezdeti témának a mágneses momentumokkal és spinek rendszerével foglalkozó Ising-modellt hívtam segítségül. Bár ennek a modellnek a matematikai és fizikai tartalma nem középiskolai szintű, mégis a leírási módja alkalmas nem éppen szorosan fizikához köthető jelenségekre is, mint különböző járványterjedési problémák, a színházi vastaps, a szentjánosbogarak együttes ritmikus villogása, vagy az egy környezetben élő nők menstruációs ciklusának szinkronizációja [2]. A nevezetes Curie-törvény¹ képeire különböző játékokkal

¹Összefoglaló link a Curie-törvényről[3]

megvizsgáltattam a diákokkal, hogy miként változik egy sokasági rendszer akkor ha az elemek között van, vagy ha nincs kölcsönhatás, azaz egymástól függően, vagy függetlenül viselkednek az egyes elemek.

Az entrópia egy absztrakt fizikai gondolat, ami megjelenik a természettudományos gondolkodáson kívüli területeken is, mint az irodalomban és művészetben. Legjellemzőbben a hőtani entrópiafogalommal szoktunk tudományos körökben foglalkozni, azonban fellelhető ez a fogalom az informatika és az elektromosságban is. A foglalkozásokon ezekre fogok hozni kézzelfogható és szemléletes példákat, amivel az a célom, hogy ez a komplikált fogalom közelebb kerüljön a diákokhoz, példák és videók segítségével. Egy „hét-köznapi” jelenséggel (Nespresso kondenzáció) is bővítettem az ismeretüket és szemléletüket, amivel az entrópia fogalmát és megértését elmélyíteni szándékozom, jobb összeköttetést adni a már ismert hőtan 2. főtételeivel. Egy másik megközelítésben az entrópia bölcsészettudományi és irodalmi aspektusát is vizsgálom, amiben bár minimális szakirodalmat véltem felfedezni, az a kevés annál inkább volt informatív és érdekes, aminek fényében a humánabb beállítottságú diákoknak is valamelyest emészthetővé és érthetővé válhat az entrópia fogalma. Egy irodalmi feladat kapcsán zártam ezt a foglalkozást. [4] [5] [6]

Utolsó foglalmunknál, a véletlen bolyongásnál is próbáltam hozni a diákok szintjéhez mérhetően megfelelő nehézségű matematikai példákat és szemléltetési módokat. Ez egy tipikusan statisztikus fizikai jelenség, egymás utáni véletlenszerű lépések sokaságát és viselkedését mutatja be. Megvizsgáltuk a diákokkal 1 és 2 dimenziós esetben is a jelenséget, és megpróbáltunk eljutni a skála-invariancia megértésére is, több példán keresztül, mint a „részeg ember mászkálása” (2-dimenziós probléma), érmefeldobás (1-dimenziós probléma), játékosan bemutatva. Megállapítottunk érdekes tényeket a fraktálokkal kapcsolatban, szóbeli kitekintésként pedig a diffúzió fogalmára is kitértünk, és egy szerencsés véletlen következtében a klasszikus hipermangán vízben való oldódása kísérletet is láthattak a diákok a diffúzióhoz köthetően.

A továbbiakban ezeknek a témaköröknek a feldolgozásában használt anyagokat, óraterveket, tapasztalatokat és eredményeket fogom részletezni és kiértékelni.

2. Rövid ismertető a tanított osztályokról

Idei tanévben kezdtem el tanítani a BZSH Scheiber Sándor Iskola gimnázium 10. osztályaiban, nevezetesen a 10.A és 10.B-ben. Mindkét osztályban kipróbáltam az óraterveimnek és a rövid oktatóanyagoknak a megvalósítását. Az osztályok tagjai átlagos, nem természettudományos-tagozatos diákok, a többségük nem tervez (egyelőre) természettudománnyal vagy legalábbis a fizikával foglalkozni a jövőben, így tökéletes tesztcsoportnak tartom őket a kutatási munkámban. Kvázi laikusokként van igazán lehetőség hatni rájuk az érdeklődésfelkeltés erejével, kifejezetten azért is, mert rendkívül érdeklődő és nyitott elméjű társaságnak tartom mindkét csoportot. Fontos technikai információként elmondható, hogy az egyik osztályban 18 a másikban 20 fős az létszám. A diákok örömmel fogadták a kutatómunkában történő részvétel lehetőségét, attitűdjük nyitott, érdeklődő és befogadó volt mindhárom óra során. A tanulók által történt visszajelzésről és személyes illetve szakmai benyomásokról a dolgozat későbbi részében fogok értekezni.

3. Tananyagok és óravázlatok

Ebben a szakaszban a órák operatív és oktatási-módszertani tartalmára fogok jobban fókuszálni, így néhol hiányos vagy csak vázaltszerű lesz a fizikához köthető tartalmak, magyarázatok, jelenségek. Jobban fókuszálok a didaktikai megoldásokra és azokat minél részletesebben fogom tárgyalni. A tervezett és megvalósult fizikai- és szakmai tartalom az 5. fejezetben lesz olvasható.

3.1. Ising-modell és véletlen szinkronizálódás

Az Ising-modell alapvetően egy sokaság elemeinek egymásra gyakorolt (vagy épp egymáshoz képest spontán) hatásaiból származóan ad leírást arra, hogy hogyan változik egy rendszer. Adott esetben lehet ez egy mágneses momentum vagy egy spin iránya, valamint az eredő mágnesezettség, mint rendparaméter attól függően milyen csatolási együttthatót választunk az elemek között. A diákoknak annyit érdemes elmondani, hogy a spin egy kvantummechanikai fogalom, ami a mechanikából ismert perdület megfelelője, annyi különbséggel, hogy a spin független a részecskék térbeli mozgásától. Ennek a szemléltetésére egy videorészlet alkalmas lehet, aminek a linkjét a részletes óratervben fogok közölni. Érdemes elmagyarázni, hogy a spinek között létezik egyfajta kölcsönhatás, és egy egyensúlyi állapot beállásának ideje függ ettől az un. csatolási együttthatótól. Ennek a szemléltetésére a következő egyszerű játékot játsszuk a diákokkal:

3.1.1. I. játék - fekete-fehér markerek

Minden diák kap egy kétoldalú markert, ami a két felvehető állapotot jelzi. Ezt legegyszerűbben egy papírlappal lehet megoldani, aminek az egyik oldala fehér, a másik fekete.

1. Először mindenki csukott szemmel véletlenszerűen felemeli a papír egy oldalát, és teljesen vakon, véletlenszerűen fordítgatják felemelt kézzel a papírlapot annyiszor ahányszor akarják, vagy éppen amikor szeretnék. Ezzel szeretnék demonstrálni a csatolatlan rendszer viselkedését [15].
2. A következő feladatban a gyerekek továbbra is csukott szemmel ülnek és jelzésre feltartják a marker egyik oldalát. 10 jelzést fogok leadni, mindenkinek 3 alkalommal szabad csak kinyitni a szemét. Ha kinyitja a szemét, akkor körbenéz, és amelyik színből többet lát arra színre kell változtatnia vagy helybenhagynia a saját markerét.

Ezt fokozhatjuk azzal, hogy minden egyes körben mindenki változtat a markerén, így a mindenkori nézők mindig más és más konstrukciókat látnak. Mindenki csak 3-szor nyithatja ki a szemét maximum, de a 10 jel alatt teljesen tetszőleges sorrendben használhatja fel ezt a 3 lehetőséget. Ebben az esetben már nem függetlenek az elemek egymástól, de még viszonylag gyenge csatolásban vannak, bár várható, hogy a kis létszám miatt hamar be fog állni a rendszer egy stabil állapotba [16].

3. Az utolsó verzióban egy téglalap rácspontjainak alakzatában ülnek a diákok, mindenkinek definiálva van legfeljebb 4 szomszédja, a téglalap oldalán lévőknek 3, a csúcsokon 2 szomszéd. Mindenki szeme nyitva van, az első jelzésre mindenki véletlenszerűen mutat valamilyen színt. Azonban most figyelniük kell egymásra, és arra a színre kell változtatni a saját színüket, amelyik a szomszédjaik körében dominánsabb. Tehát ha 3 szomszéd fehér, 1 fekete, akkor a sajátot is fehérre kell váltani például. Ebben az esetben természetesen számít az, hogy ki milyen reakcióidővel rendelkezik, így az is elmondható, hogy egyes elemek között nem feltétlen konstans ez a csatolási érték. Ezzel egy egyfajta erős kölcsönhatást szeretnénk bemutatni.

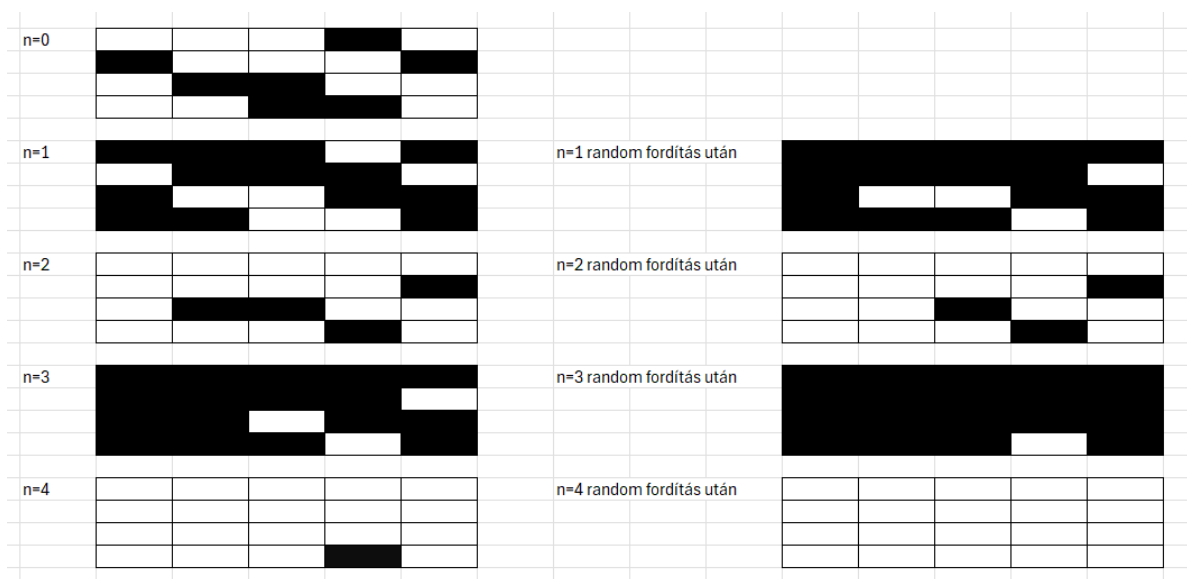
A játékok előtt lehet tippelni, hogy a rendszer be fog állni-e egy stabil állapotba, vagy sem. A stabil állapot definiálását is órán végeztük el, közös gondolkodással, azaz a diákok mondták meg, hogy stabil lehet, ha mindenki egyszínű, vagy stabil lehet, ha valami konstrukció folytán megakad az "algoritmus". Ilyenre is láttunk példát a játékok lefolytatása között. A legtöbb játékot dokumentáltam képekkel, videókkal amit alább és a médiahivatkozásokban fogok bemutatni.

3.1.2. II. játék - telefonvaku villogás szinkronizálódása

A következő játékban besötétítjük a termet, mindenki a telefonjával a vaku üzemmódot fogja alkalmazni. Félkörben ülnek a gyerekek, úgy, hogy lássák egymást is. Kezdlépként mindenki elkezd egy tetszőleges ritmusban villogni a telefonja vakujával, szintén a kérdés, hogy mennyi idő szükséges, hogy a rendszer szinkronizálódjon, vagy megmarad az eleinte valószínűsíthető káosz.

3.1.3. III. játék - vastaps szimuláció

Hasonlóan az előző játékhoz, azonban most csak az auditív képességekre hagyatkozhatnak a gyerekek. Csukott szemmel kell mindenkinek elkezdni valami tempóban tapsolni. Hasonló kísérletet folytatunk le, azaz megfigyeljük mennyi idő alatt alakul ki a szinkronizált ritmusú taps, azaz az ún. vastaps.



1. ábra. Egy lehetséges elrendeződés folyamata.



2. ábra. Diákok a markerekkel.

3.1.4. Részletes óravázlat az Ising-modell kapcsán

Idő	Tevékenység	Tanári feladatok	Tanulói feladatok	Eszközök	Megjegyzés
0-5	Óra eleji adminisztratív feladatok ellátása	naplózás, órakezdés, terem be- rendezése	jelenlét jel- zése	napló	terem: 4×5-ös elrendezésben ülünk.
5-20	Ising-modell elméleti ismertetése, rövid be- mutatóval, spinekről szóló videorészlet [7] megtekintése	magyarázat, érdeklő- désfelkel- tés	aktív figye- lem	PPT [8], kivetítő	Használjuk a YouTube automata ma- gyar felirat funkcióját!
20-30	I. játék lebonyolítása a fentebb részletezett szabályok szerint	játék leve- zetése	feladatok elvégzése	fekete- fehér markerek	a játék végén mindenképp hallgassuk meg a diákoknak az ötleteit, hoz- záfűznivalóit a témához
30-40	II. és III. játékok le- bonyolítása a fentebb részletezett szabályok szerint	játék leve- zetése	feladatok elvégzése	telefon	a játék végén mindenképp hallgassuk meg a diákoknak az ötleteit, hoz- záfűznivalóit a témához
40-45	Óra zárása, konklúzi- ók, kérdések	kérdésekre válaszadás, összefogla- lás	ötletek, gondolatok megosztá- sa	-	-

1. táblázat. „Ising-modell” óraterve.

3.2. Entrópia

Az entrópia is egy alapvető fogalom a statisztikus fizikai tárgyalásban. Alapvetően a 3 entrópiafogalomra építve szeretném interdiszciplinárisan és talán kézzelfoghatóbb módon átadni a szemléletes jelentését ennek a fogalomnak a diákok számára. A három fogalom az *irreverzibilitás, a rendezetlenség, rendszerről való tudatlanság* [1].

Első körben az irreverzibilitásról szeretnék egy kicsit értekezni, egy érdekes jelenség kapcsán. Felelevenítjük az irreverzibilitást és a hőtan 2. főtétele, illetve egy rövid brainstormingot tartunk a *Mentimeter* segítségével, kinek milyen irreverzibilis folyamatról szóló példa jut eszébe. A pár gondolatos bevezetés után, megtekintjük a következő jelenséget, az alábbi videóról [9].

3.2.1. Nespresso kondenzáció - irreverzibilitás

A jelenség arról szól, hogy az üres Nespresso kapszulák (vödör formájú) nagyon szeretnek egymásba csúszni és aztán úgy maradni, egy tálban való rázás során. Az benne az érdekes, hogy tisztán rugalmas mechanikai kölcsönhatás van köztük, úgy kapcsolódnak kvázi irreverzibilisen egymásba (a kapszulák alumíniumból vannak, szóval nincs se mágneses, se elektrosztatikus trükközés, víz alatt is működik az effektus). További érdekesség, hogy energiabevitel (rázogató) hatására csökken a kupac (látszólagos) entrópiája. Erről a jelenségről lehet kérdéseket feltenni, beszélgetni, mi-miért történhet úgy, ahogy. Tovább gondolható a kérdés, hogy milyen geometriai formák esetén működik és nem működik a jelenség. (például LEGO kockáknál semmiképp sem fog).

3.2.2. Szorgalmi feladat és játék az irodalmi entrópiával

Egy érdekes párhuzam az irodalom és fizika között, amit *Bihari Péter: Entrópia az irodalomban* c. tanulmánya [4] mutat be. Sajnos órai körülmények között nincs lehetőség ennek a műnek részletesebb tárgyalására, feldolgozására, hossza és nehézsége miatt is, ezért a humánabb beállítottságú tanulók számára kedvezően kiadjuk a tanulmányt és egy hozzá tartozó tesztsort otthoni szorgalmi feladatként való megoldásra, tanulmányozásra. Ezek elérhetők a PPT-ben található QR-ra való szkenneléssel a megfelelő dián.

Ezután egy egyszerű csapatjátékot fogunk játszani 3 csoportra osztódva. Minden csoportnak ki kell találni egy híres idézetet vagy teljesen véletlenszerű mondatot, amit a cetlikre szavanként leírnak. A saját idézetük minden szavát két cetlire is le kell írni, hogy mindkét másik csoport is kapjon belőle. Ha elkészültek a cetlik, a két-két nem saját mondatot összekeverve megkapják a csapatok, és az a csapat nyer, aki a leghamarabb kibogoz-

za mindkét kapott mondatot, azaz amelyik mondathalmaznak a legalacsonyabb volt az „entrópiája”. Ezzel a játékkal demonstrálhatjuk, hogy a rendezett állapotból rendezetlent sokkal könnyebb csinálni, mint fordítva.

3.2.3. Spinüveg és a világ lelassabban folyó folyadékja, Maxwell démon

Az óra levezetéseként két (vagy ha marad idő három) „fun fact” érdekességet mondhatunk el a diákoknak, ami kapcsolódik az entrópia rendezetlenségét és ignoranciát megfogó fogalmához. A spinüveg egy üveghez hasonlóan nem rendezett rendszer, hanem rendezetlen (nagyobb entrópiájú), vagyis abszolút nincs energiaminimum-állapotban, de mégis „metastabil”, pont mint az üveg. Itt érdemes szóban visszacsatolni az előző órán játszott játékra, amikor különböző csatolási együtthatókat próbáltunk demonstrálni. A spinüveget elvileg úgy lehetne eljátszani, hogy a gyerekek a mellettük ülő 4 emberrel úgy vannak spincsatolásban, hogy a csatolások erőssége nem ugyanakkora, hanem véletlenszerűen szétszórva, a „csatolási állandó” akár negatív is lehet, azaz lehetnek egyes emberek akár antiferromágneses csatolásban is egymással (ha az egyikük fehéret mutat, akkor a másikuk feketét szeretne). Ezt csak elvben vázoljuk fel nekik, nem játszuk el, mert túl bonyolult lenne. Ezután csak érdekességgént megemlíthetjük a világ lelassabban folyadékja (szurok) is hasonló elven működik, sőt ez talán a leghosszabban tartó megfigyelt kísérlet. Érdemes bemutatni az élő videót is róla, ahogy éppen várakozni lehet a 10. cseppre [11]. Ha az óra végén marad még idő, érdemes elmondani a Maxwell-démon problémáját, ami az entrópia ignorancia-tulajdonságára világít rá minket. Egy rajzzal vagy egy egyszerű PHET COLORADO [10] szimulációval felvázolhatjuk az alapfelállást, tisztázni fontos a hőmérsékleti viszonyokat, illetve a „démon” működését, ami azt jelenti, hogy csak a gyors részecskéket engedi át a résen a szerkezet, a lassúkat nem. Tehát elrendezi a démon a két állapotot, látszólag csökkent az entrópia (rendezetlenség), de ez ellentmondana a II. főtételeknek. A feloldása az, hogy a démon szortírozóképesége is szükségelt energiát és entrópiát, így bár látszólag nő az entrópia, igazából kiegyenlítődik. Ez a viszonylag nehéz modell azért lenne jó zárásnak, mert elgondolkodtatja és továbbgondolásra készítheti a diákokat, ami akár a következő órára kérdéseket, gondolatokat ébreszthet bennük. Érdemes őket bátorítani is arra folyamatosan, hogy kérdezzenek minél többet.

3.2.4. Részletes óravázlat az entrópia kapcsán

Idő	Tevékenység	Tanári feladatok	Tanulói feladatok	Eszközök	Megjegyzés
0-5	Órakezdés, óra eleji adminisztráció, óra témájának szóbeli fellevezetése	naplózás, terem be- rendezése	jelenlét jel- zése	napló	-
5-15	Hőtani fogalmak (ir- reverzibilitás, 2. főté- tel) átismétlése, entró- pia fogalmának felle- vezetése	magyarázat, Menti- meter irányítása	válaszadás, aktív figyelem	telefon, PPT, Mentime- ter	A PPT to- vábbra is a [8] linken találha- tó mappában van
15-20	<i>Nespresso kondenzá- ció</i> videó megtekin- tése és beszélgetés arról	videó [9] megte- kintése és kérdések megbeszé- lése	aktív fi- gyelem, válaszadás	videó	-
20-22	Rövid kitekintés és otthoni szorgalmi fel- adat adása	QR kód ki- vetítése és feladat ki- adása	aktív figye- lem	PPT, QR kód	-
22-35	Játék az irodalmi ent- rópiával	Szabályok ismerteté- se	játékban való sza- bályos részvétel	cetlik, toll	a szabályok fentebb ismer- tetve vannak
35-45	spinüveg entrópiája és a világ leglassabb fo- lyadékja	spinüveg és a Maxwell- démon magyará- zata, és megmutat- juk az élő videót	aktív figye- lem, kérdé- sek feltevé- se	kivetítő, PPT, tábla	adhatunk for- rásokat, ha valaki utána akar járni mélyebben

2. táblázat. „Entrópia” óraterve.

3.3. Véletlen bolyongás

Ez a koncepció különösen fontos a statisztika és a valószínűességszámítás terén, és előkészítheti őket a későbbi, mélyebb statisztikai és fizikai ismeretekre, miközben természetesen része a statisztikus fizikai gondolkodásmódnak is. Rövid elméleti bevezetés után, elmondhatjuk a részeg ember bolyongásának példáját, ismertessük a véletlen bolyongás matematikai modelljét: egymás utáni független lépések 1, 2 vagy 3 dimenziós leképezése.

3.3.1. Egydimenziós bolyongás - közös szerencsejáték

Először egy közös játékra invitáljuk a gyerekeket, amiben egy számegyenesen fogunk bolyongani, egy érme segítségével. Defináljuk a fej dobást $+1$ -nek, az írást -1 -nek, 10 dobást fogunk elvégezni, de előtte mindenkinek tippelnie kell egy számot -10 és 10 között, hova fogunk érkezni. Aki a legközelebb esik az eredményhez, kaphat egy kisötöst, plusz motiváció gyanánt. A tippeket egy Mentimeter [12] segítségével gyűjtjük össze, ami QR kóddal beszkennelezhető a PPT-ről.

3.3.2. Kétdimenziós bolyongás - részeg ember bolyongása

Továbbgondolhatjuk a problémát nem csak számegyenesen, hanem síkbeli bolyongásként is. Bemutatjuk a részeg ember bolyongása példát, illetve megmutathatjuk a skálainvariancia fogalmát és az ahhoz köthető fraktál jellegű ábrákat a Sethna féle könyvből [1].

Ezután 4 fős csoportokat alkotnak a gyerekek, és egy négyzetrácsos lap segítségével megrajzolják a saját kétdimenziós véletlen bolyongásaikat. A feladatot két részre bontjuk:

1. Az első feladatban mindenki egy közös rácspontból vagy négyzetrácsból indul a lapon, 4 különböző színnel. Mindenkinek van 2 érméje, és ezeknek a kimeneteleiből meghatározunk 4 irányt. (Például $\overline{II}$ -észak, FF -dél, $\overline{IF}$ -kelet, $\overline{FI}$ -nyugat.) Mindenki ezeknek megfelelően dobálgatja az érméket, és bolyong a lapon. Első körben mindenki független mindenkitől, ha keresztezik egymást, nem történik semmi, mindenki halad tovább.
2. Második körben ugyanez a feladat, azonban itt annyiban más lesz a szituáció, hogy ha keresztezik egymást, onnantól „összeragadnak”, és együtt kell tovább bolyonganiuk. Ez utóbbi játékot el lehet játszani közös kezdőpontból, és 4 véletlen pontból is. Érdekes visszacsatolni a kávékapszulás kísérletre, ami hasonló módon történt, ha valaki összekapcsolódott, nem vált szét újra.

3.3.3. Részletes óraterv a véletlen bolyongás kapcsán

Idő	Tevékenység	Tanári feladatok	Tanulói feladatok	Eszközök	Megjegyzés
0-5	Órakezdés, óra eleji adminisztráció, óra témájának szóbeli felvezetése	naplózás, terem be- rendezése	jelenlét jel- zése	napló	-
5-15	Magyarázat és kivetítés	rövid is- mertetés az alapfo- galmakról	aktív figye- lem, kérdé- sek feltéte- le	tábla, PPT	véletlen fo- galma, lépés- függetlenség, részeg ember bolyongása, skálainvarian- cia
15- 20	Rövid „szerencsejáték”	közös játék levezetése	tippelés, aktív figyelem	tábla, érme	mindenki tip- peljen -10 és 10 között, ho- va fogunk bo- lyongani 10 lé- pésben, a leg- jobb tipp ki- sötöst nyer
20- 35	Véletlen bolyongás csoportokban, papíron	csoport- munka kialakítása	feladatok elvégzése	négyzet- rácsos papír, érmék	A játék fen- tebb részlete- zésre került
35- 45	Szóbeli összefoglalás, az utóbbi 3 óra értékelése, visszajelzése [13]	Google Forms visszajel- zés	forms kitöltése	QR kód, Forms	opcionális és anonim a kitöltés

3. táblázat. Véletlen bolyongás óravázlata.

4. A tanórák elvart- és megvalósult céljai

Az órák alapjául szolgáló statisztikus fizika egy nehezen befogadható, sok háttértudást és előzetes matematikai és fizikai ismeretet igénylő tudományág. Ezen 3 órán nem volt célom átadni mély és komplex ismereteket a tudományból, mivel természetesen ez közel sem a középiskolai oktatás részét képező anyag. A diákok képességeit is már ismerve és felmérve, nem is lett volna befogadó az osztály erre, mivel nem fizikai vagy matematikai tagozatos, hanem teljesen általános gimnáziumi tanrendű diákokról beszélünk, akik mellesleg nagy százalékban nem a fizika, vagy bármely természettudomány felé orientáltak.

Személyes célom az órákkal az volt, hogy a diákjaim belelássanak olyan problémákba, jelenségekbe, kísérletekbe, elméletekbe amikkel a fizika magasabb szinten foglalkozik. Célja volt az érdeklődés felkeltése, a jelenségekkel kapcsolatos gondolatok, kérdések megbeszélése, a rendszeres fizikaórától eltérő, rendhagyó jellegű órák és tevékenységek folytatása, az interaktivitás és csoportmunka lehetősége, játékos feladatok bevonásával a diákok számára emlékezetes pillanatok kreációja. Nem tartottam lényegesnek minden témát mélyrehatóan átadni, tehát többek között nem hangzott el az entrópia kiszámításának módjai, vagy különböző meghatározásaiból minden aspektusa, sokkal inkább a szemléltetés és a gamifikációs tevékenységek hangsúlyosítása volt lényeges. Úgy gondolom ezek az alkalmak emlékezetesebbek voltak, mint egy hagyományos oktatási módszerrel lefolytatott fizika óra. Abban az esetben ha a diákok közül valaki természettudományos pályát választ végül, úgy gondolom hasznos számára, hogy a későbbiekben a nehéz absztrakt fogalmakhoz képes rendelni szemléletes, emlékezetes példákat. Ha végül nem a tudomány útjára kíván rálépni a diák, úgy gondolom akkor sem haszontalan, mivel áthatóbb képe, ismerete és ambiciózusabb érdeklődése lesz az őt körülvevő világról és az abban lezajló jelenségekről. Az órák megtartása után úgy tudom értékelni, hogy a fent megfogalmazott célok teljesültek, az osztályok nagy százaléka aktívan részt vett a tevékenységekben, és visszajelzéseik alapján nem volt haszontalanok a projektórák. A diákok visszajelzéseit a későbbiekben még részletesebben fogom elemezni.

5. Mit tanítunk, mit nem tanítunk meg a 3 óra során?

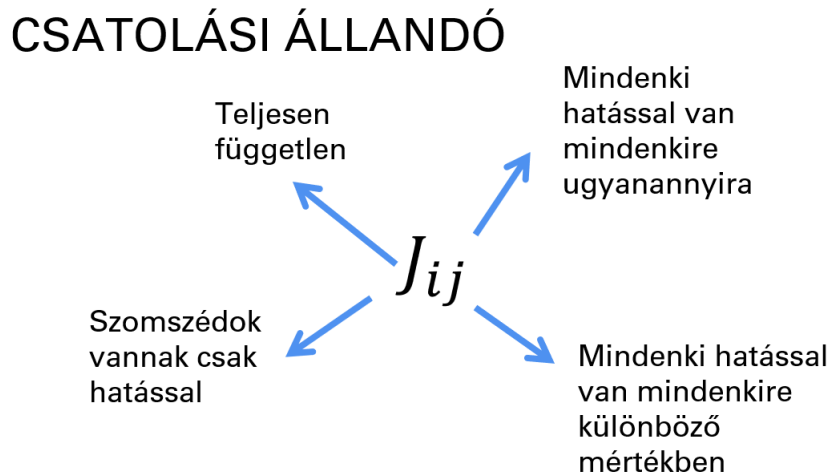
Ebben a fejezetben részletesebben ki szeretném fejteni, hogy az egyes órák, vagy az azon belüli részegységek milyen kompetenciákat, ismeretanyagokat adnak át, tanítanak meg a diákok számára. Ki szeretnék térni arra is, hogy mit *nem* érdemes elmondani a diákoknak, pusztán annak okán, hogy mi az ami már nem férne bele sem időben, sem mélységben, sem középiskolai-kompetenciaszinten a 3 óra keretébe. Össze szeretném vetni azt, hogy előzetesen milyen terveim voltak az órákat illetően, és azt, hogy ezek hogyan valósultak meg a 10.A és 10.B osztályokkal eltöltött órák kapcsán. Fontos megemlíteni, hogy kértem a diákokat, hogy kifejezetten *ne* jegyzeteljenek, hanem inkább figyeljenek arra, amit mondok és amit csinálunk. Bátorítottam őket a lehető legtöbbször kérdések megfogalmazására, amire örömmre szolgált, hogy kaptak is néhányan az alkalmon, és nagyon kreatív és jó kérdéseket intéztek felém.

5.1. 1. óra - Ising-modell

Fontos hangsúlyozni, hogy ez az óra egyben a bevezetése volt a három alkalmas sorozatnak, ezért úgy gondoltam, nem érdemes túl mélyről vagy túl nehezen megfogható anyagrészekbe belemenni. Azzal terveztem indítani, hogy megbeszéljük, egy atom felépül elemi részecskékből, amit már ismerhetnek protonból, neutronból és elektronokból állnak össze. Átismételtük ezen elemi részecskék és alapvetően az atomok már ismert tulajdonságait egy táblázat segítségével. Ezek a töltés, tömeg, méret, pozíció, energia, impulzus. Ezeknek a fizikai fogalmaknak a klasszikus mechanikából vett definícióit is átismételtük. Bevezetjük a *spin* fogalmát is számukra, amire a tapasztalat mindkét csoportnál az volt, hogy rögtön arra asszociáltak, hogy ez a részecskéknél valamilyen forgási tulajdonságára vonatkozik. Egy rövid kérdés kapcsán eddig még nem hallották (például kémiaórán) a *spin* fogalmát. Rövid bevezetés után megtekintettünk egy videót [7] a témában, ami úgy gondolom azért volt hasznos, mert rengeteg szimulációs ábrát, középiskolásra kondicionált magyarázatot tartalmazott, ezenkívül volt annyi plusz információ is a videóban, ami az érdeklődőket arra sarkallhatja, hogy nézzen utána a témában mélyebben. Ezután tértünk rá arra, hogy a spinek között létezik egyfajta kölcsönhatás, illetve a videóban is elhangzott a mágneses tulajdonság létezése, ezt különböző modellek segítségével írhatjuk le. Bár kivetítettem a

$$H_{ISING} = - \sum_i \sum_j J_{ij} S_i S_j - B \sum_i S_i$$

klasszikus legközelebbi szomszédra vonatkozó Hamilton-egyenletét az Ising-modellnek [14], nem fűztem túl sok megjegyzést arra vonatkozóan mi mit is jelent. Egyedül azt hangsúlyoztam, hogy ezek a spinek 2 állapotot (± 1) vehetnek fel, és a J_{ij} tényező az ún. *csatolási állandó*, aminek az értéke meghatározza, hogy milyen mértékű a kölcsönhatás. Ennek a kölcsönhatásnak a különböző létezési formáit elmagyarázni az alábbi ábra volt segítségemre:



3. ábra. Csatolási állandó különböző fajtái.

Mindegyik aspektust rövid magyarázattal kifejtük. Ezeknek az aspektusoknak a demonstrálására teszünk kísérletet az alábbi játékok kapcsán. A következő tevékenységek céljai, demonstrálni ezeknek a spontán szinkronizációs jelenségeknek a viselkedését annak a függvényében milyen csatolási állandót tartalmaz a rendszer. Minden személy az órán kap egy „markert”, ami egy egyik oldalán fekete, másik oldalán fehér lap. Elsőként egy teljesen független csatolási állandót akartunk reprezentálni, mindenki csukott szemmel teljesen függetlenül tetszőlegesen fordítgatja a markerét [15]. Természetesen közösen megnéztük a videót és levonhattuk a következtetést, hogy a rendszer elemi nincsenek hatással egymásra, akkor nem is várható bármilyen stabil állapot kialakulása. A következő játék hasonló elrendezésben folyt. Bár a tervem az volt, hogy félkörben üljenek a diákok, ez a terem lefixált asztalai miatt nem volt megvalósítható, de a játék továbbra is működött. Ebben az esetben egyfajta gyenge csatolási állandót szerettem volna demonstrálni. A szabályokat már fentebb ismertettem. Ezt a játékot kétszer is eljátszottuk, mivel az első alkalommal nem voltak teljesen tiszták a szabályok, így hamar borult a játék menete. Feltettem a kérdést, hogy ki mit tippel, be fog-e állni a rendszer stabil állapotba, és ha igen, mikor? Többen 6-7 kör utánra szavaztak, pedig a videón látható, hogy már a 4. körben beálltak a markerek feketére [16]. Ez azzal magyarázható, hogy az osztály

létszáma viszonylag alacsony. Érdeemes lehetne továbbgondolni ezt a jelenséget nagy N számú elem esetén, akár több személlyel, akár egy szimulációval, hányadik lépésre áll be (ha beáll) stabil állapotba a rendszer. Sajnos erre ezen munkámban nem adódott lehetőségem kutakodni.



4. ábra. 10.A osztályos diákok a markerekkel.

A harmadik játékot is eljátszottuk, azaz, amikor csak a szomszédaink vannak hatással a döntéseinkre. Ez a menet kissé torz lett, egyrészt a terem nem volt elrendezhető ennek megfelelően, másrészt a létszámok nem tették lehetővé, hogy pont egy $k \times n$ téglalap rácspontjait alkossák a diákok, illetve továbbra is zavaró volt, hogy kevesen vagyunk, de a várható esemény megtörtént, az erős csatolási állandóval reprezentált rendszer viszonylag hamar beállt egy stabil státuszba, ehhez elég volt néhány másodperc is. Úgy alakult az óra menete, hogy a telefonvillogások és a vastaps szimulációja nem fért bele az óra keretébe, konklúzióként és összefoglalásként hoztunk fel az óra végén egy gyors brainstorming-gel spontán szinkronizációs jelenségeket, mint magát a vastapsot, a szentjánosbogarakat villogásának szinkronizációit, a nők menstruációs ciklusainak összerendeződését. A két osztályban tartott órának menete hasonlóképpen zajlott le, sajnos egyikben se jutott idő már a vakuk és a vastaps demonstrációjára, pusztán a szóbeli megemléztésre.

5.2. 2. óra - Entrópia

A második órán folytatva az előző óra gondolatát, az entrópiáról beszélgettünk. Kezdőkérdésként szóban azt intéztem feléjük, hallották-e már egyáltalán ezt a szót. Az egyik osztályban a válasz, hogy informatika kapcsán már igen, a másik osztályban pedig azt a választ kaptam, hogy valamilyen, a káoszhoz kapcsolható fogalom. Fontosnak tartottam az órát szinte azzal kezdeni, hogy az *irreverzibilitás* fogalmát átbeszéljük, és elmélyítsük.

Erre hoztam két példát, az egyik a billiárd golyók pozíciójáról szólót, a másik pedig a szokásosnak mondható: asztalról leverte tojás nem tud visszapattanni és összeállni újra tojássá az asztalon. Elhangzott az a mondat is, hogy az a folyamat irreverzibilis amit videóra véve és visszafelé lejátszva nem történhet meg. Ezután egy gyors közös ötletelés következett a *Mentimeter* alkalmazás [12] segítségével. Pusztán az volt a feladat, hogy a diákok mondjanak irreverzibilis folyamatokat a mindennapi életből. Ez a módszer azért volt hasznos véleményem szerint, mert így sokkalta jobban beépül a fogalom a diákok tudatába, mert tevékenyen kellett részt venniük a fogalom átbeszélése során [17]. Az alábbi szöveghőben található néhány a diákok válaszai közül:



5. ábra. 10.B diákjainak válaszai az irreverzibilitás témakörben.

Többeknek technikai (internetelés) gondjai akadtak, ők szóban adtak még néhány plusz gondolatot a témához.

Ezután csatoltam vissza a már hőtanból tanult 2. főtétele, azaz

1. Tétel. (Hőtan II. főtételeinek megfogalmazásai). *A természetben olyan irreverzibilis spontán folyamatok valósulnak meg, melyek során a termodinamikai zárt rendszer entrópiája növekszik.*

A magára hagyott rendszerekben mindig a melegebb test ad át hőt a hidegebb testnek.

Egyetlen rendszer sem alakíthatja át a felvett hőt teljes egészében mechanikai munkává úgy, hogy közben más változások ne következzenek be [18].

Fontosnak gondoltam itt megbeszélni és összekapcsolni a többi létező megfogalmazással is, ami által maga az entrópia fogalma érthetőbbé fog válni. Fontos, hogy azt a konklúziót vonjuk le első körben, hogy az entrópia az irreverzibilitásnak és a rendezetlenségnek egyfajta mértéke. Ezután egy újabb videót (5 perc) mutattam a diákoknak, mert az jobban elmélyíti és egy kissé precízebben, a matematikai és részecskefizikai valóságokhoz közelebb viszi a diákok megértését [19].

Ezután egy gyors kitekintést tettünk egy izgalmas kísérletre, ami a világ legrégebb óta futó kísérlete, angolul a „*Pitch Drop Experiment*”. Rövid összefoglaló után megmutattam a diákoknak az élő videót amit az ausztráliai egyetemről közvetítenek [11]. A világ leglassabban folyó folyadékai jól illusztrálják, hogy az entrópia növekedése nem mindig gyorsan érzékelhető. Az entrópiánövekedés sebessége az időskálától és az anyag tulajdonságaitól függ. A kísérletben például több évbe telik, hogy egyetlen csepp lehulljon, de ez az időskála alatt is zajlik az energiaeloszlás rendezetlenebbé válása. Úgy gondolom ez azért volt hasznos, mert egy elég szokatlan időbeli nagyságrendű kísérletről van szó, amit a diákok mindenképpen képesen megjegyezni, vagy akár felkelti az érdeklődésüket a jelenség utánanézésére.

A következő órai elem egy látszólagosan ellentmondásba ütköző jelenség bemutatása volt, a fenti táblázatokban már említett *Nespresso-kondenzáció* [9]. A videót megtekintve maguk a diákok mondták ki a látszólagos problémát, hogy a rendszer egyre inkább rendezetté válik, ahogy összekapcsolódnak a poharak. Rövid találgatás után nekem kellett lelőni a poént annak kapcsán, hogy itt a rendszer nem zárt, mert a rázással mechanikai energiát közlünk a tárgyakkal, emiatt rendeződik be a rendszer egyre inkább „kisebb látszólagos entrópiájúvá”. A jelenség végén feltettem nyitott, megválaszolatlan kérdésként, hogy milyen geometriai alakzatok esetén nem működhet ez a kialakítás? Úgy gondolom nem érdemes minden kérdésre azonnali választ adni, mert ez sarkallhatja a diákokat leginkább önálló gondolatok megformálására.



6. ábra. Kondenzáció folyamata képekben.

Az óra utolsó szakaszában elővettük az irodalom eszközeit. A fentebb említett tanulmányok átböngészését továbbra is csak szorgalmi feladatként adtam ki [4]. Ennek a feladatnak két funkcióját láttam, az egyik, hogy a bölcsészettudományban járatosabb vagy érdekeltebb diákoknak is legyen olyan feladatuk, amik talán közelebb állnak hozzájuk, a másik funkció pedig az egyszerű érdemjegy-javítás a teszt elkészítésével. Az óra utolsó 10 percét pedig egy egyszerű játékkal zártuk, ami az entrópiát irodalmi eszközökkel hívatott bemutatni. A diákok 3 csoportban alkottak 3 mondatot mindkét másik csoport számára, amiket szavanként 1-1 cetlire írtak. A csoportok egymás szókupacait kapták meg összekeverve és a feladat az volt, hogy egyszerre indulva minél előbb rakják helyes sorrendbe a szavakat. A 10.A osztályban a szóhalmazok az alábbiak lettek:



7. ábra. 10.A osztály szófelhői.

Az alábbi mondatok szerepelnek a fenti képen:

„A képzelet fontosabb, mint a tudás.”

„A munka legfontosabb része a kezdet.”

„Kétszer kettő az négy. Ha sosem mondod el elfelejtik, ha túl sokszor mondod, nem hiszik el.”

A játék menetében érzékelhető volt az utolsó mondat összekeverése után keletkező „magasabb entrópia”, mivel az első két mondat kirakása pár másodpercet vett igénybe az utolsó mondattal az óra végéig, hosszú percekig keresztül sem tudtak megbirkózni a csapatok. Ezzel a módszerrel úgy gondolom sikeresen demonstráltuk, miképp is sokkal egyszerűbb a folyamatok rendezett állapotából a rendezetlenbe kerülni, mint fordítva.

Az órán természetesen nem hangzott el sem az entrópia jele, kiszámítása, vagy a a különféle valószínűség-számítási, statisztikai problémákhoz kötődése. Úgy gondolom ezeknek az elmondása nem feladata ennek a projektnek. Sajnos az óra végére már nem jutott idő a spinűveg entrópiája és a Maxwell-démon tárgyalására, de úgy gondolom, hogy ezek nélkül is teljes értékű és hasznos órák voltak mindkét csoportban.

5.3. 3. óra - Véletlen bolyongás

Az utolsó, záróalkalom témáját felvezetve egy pár szóban beszéltem a véletlen fogalmáról, illetve kapcsolódtam a valószínűség-számítás alapjaihoz néhány gondolat és példa erejéig. Ahhoz, hogy a véletlen fogalma jobban beépüljön, megkértem a diákokat is, hogy mondjanak ők is véletlen jelenségeket amikkel már találkozhattak. Ez a kérdés, bár nem túl nehéz, talán segít abban, hogy a figyelmüket és koncentrációjukat az óra menetére szegezzék. [20]

Ezután a bolyongás fogalmához köthető egydimenziós példát vettem elő, az érmefeldobás segítségével történő bolyongást számegegyenesen. Definiáltuk, hogy az érmék két állapotot tudnak felvenni ($l_i = \pm 1$), ezzel megadható, hogy N dobás után melyik s_N pontra érkezik a bolyongó pont a számegegyenesen:

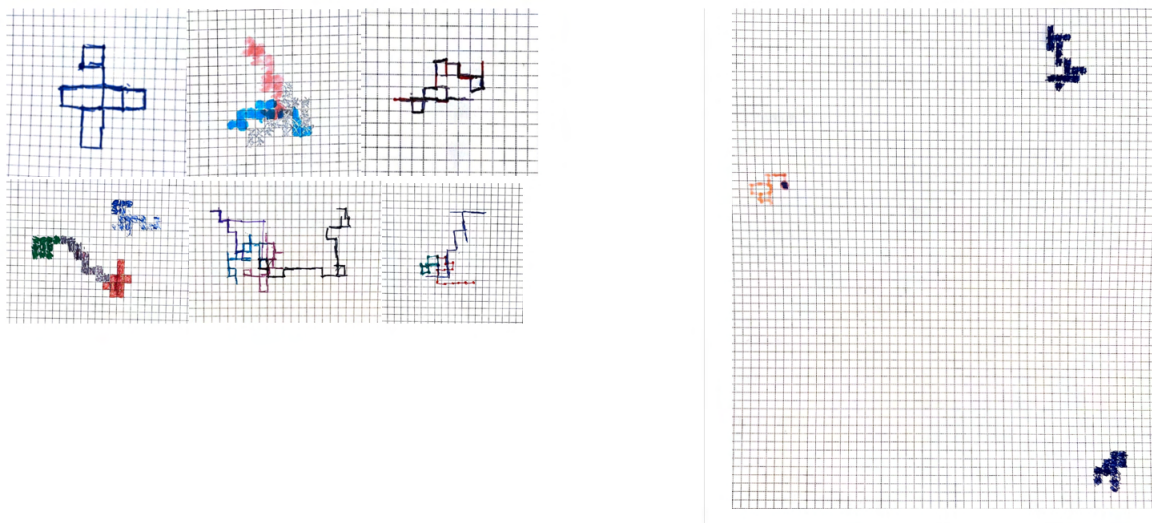
$$s_N = \sum_{i=1}^N l_i$$

Ezután egy „szerencsejátékot” játszottunk a diákokkal közösen, ennek a jelenségnek a demonstrálására. Azt kellett megtippelni, hogy 10 dobás után, ha a fej +1, az írás -1 értéket vesz fel, hova fogunk kilyukadni. A tippeléshez szintén a *Mentimeter* alkalmazást választottam, mindenki anonim módon beírhatta a tippelt számát, és a nevét, így a család és az egymás döntésének befolyásolása kiküszöbölésre került. Két kört is játszottunk, elsőre -2, utána 3 jött ki 10 dobás eredményeként, összesen 3 nyertest is tudtunk hirdetni. Egy tanuló pedig a táblánál egy számegegyenesen rajzolgatta, épp honnan hova bolyongunk egy-egy dobás után. Ez természetesen csak egy egyszerű játék volt, de reményeim szerint emlékezetes lesz a maga egyszerűségében. Érkezett egy olyan kérdés, hogy megjósolható-e matematikailag a végkimenetel, itt csak egy rövid szóbeli kitekintést adtam a statisztikai várható érték és szórás fogalmára, amelyeknek segítségével és más statisztikai módszerek-

kel tudunk bármit mondani a rendszer viselkedéséről. [1]

A játék után kiterjesztettük a bolyongási jelenséget magasabb dimenziókra, azaz síkba és térbe is. A síkbeli bolyongáshoz a „részeg ember járása” c. nevezetes példát hoztam be nekik, amikhez megmutattam óriási N számú lépés után milyen ábrák (fraktálszerű képződmények) keletkezhetnek. Ezeket az ábrákat is a Sethna féle könyvből hoztam. Térbeli bolyongásra pedig a *diffúzió* jelenségét dobtam be. Teljesen véletlenül, nem előre tervezett módon pont egy kémia szakteremben volt az óránk, így rögtönözve bár, de meg tudtam nekik mutatni a klasszikus kálium-permanganát ($KMnO_4$) vízben történő spontán elkeveredési jelenségét. Itt is hivatkoztunk arra, hogy a részecskék egyesével „bolyonganak” a közegben, hasonlóképp mint az előző példákban, csak itt ezeknek a mozgásoknak a leírására sokkal komplikáltabb és magasabb matematikai eszközök szükségesek, mint például a diffúziós egyenlet $\left(\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \nabla^2 \rho = D \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2}\right)$, amit természetesen már nem mutattam meg nekik.

A következőkben egy utolsó, a síkbeli bolyongás szemléltetésére szolgáló csoportos játékkal készültem még nekik. A részleteket már fent leírtam, a 4 fős csoportokban mindenki számára egyértelműen definiált irányokban alkottak a diákok a négyzethálón bolyongási ábrákat, „fraktálokat”. Szándékosan nem szóltam bele a megvalósítás részleteibe, így ahány csoport, annyi megoldás keletkezett. A következő oldalon láthatók a diákok ábrái, illetve egy fotó a tevékenység elvégzése közbeni pillanatról. Ezen tevékenység végeztével megkértem őket, hogy értékeljék az utóbbi három órát egy anonim Google Forms űrlap kitöltésével, megköszöntem a részvételüket és biztosítottam őket, ha bármilyen kérdésük felmerül most vagy a legközelebbi órán, örömmel megpróbálok választ adni.



8. ábra. Diákok síkbeli bolyongás ábrái.



9. ábra. Diákok munka közben.

6. Szakmai összegzés és visszajelzések elemzése

6.1. Személyes és szakmai vonatkozású összegzés

Úgy gondolom az órák összessége hatékonyan és tartalmasan telt, a diákok figyelmét sikerült felkelteni, és bár továbbra sem természettudományos szemléletű vagy érdeklődésű emberekről van szó, sok hasznos kérdés, hozzászólás érkezett tőlük az alkalmak során. Az egyéni és csoportos tevékenységekben szinte kivétel nélkül aktívak voltak. Többen szóban jelezték, hogy örülnének még hasonló jellegű és tartalmú fizika óráknak. Néhány pont kimaradt az anyagból, azonban nem érzem az elmondottakat kevésnek, vagy hiányosnak, így is kerek egészé állt össze a tartalom. Bár szakmailag néhány pont magyarázatát kritikusan éltem meg, mert nehéz volt besűríteni kellően pontos de nem túl mély magyarázatot egy-egy jelenség kapcsán, úgy éreztem a fő célját, az érdeklődésfelkeltést, elérte a foglalkozás.

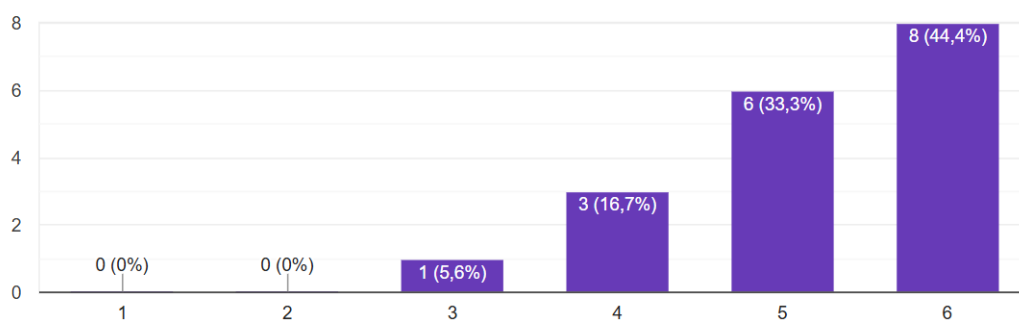
Személyesen én is jól éreztem magam a foglalkozásokon, annak ellenére, hogy izgultam, hogyan fogják befogadni az anyagot a tanulók. Szerencsés helyzetnek tartottam, hogy a 3-3 óra három egymás utáni napon lett megtartva, mert így könnyen fenntarthattuk a tanulási, ismeretszerzési ritmust.

6.2. Diákok visszajelzései

Több szóbeli pozitív visszajelzést kaptam az órák végén, de annak érdekében, hogy képes legyek az osztály érdeklődését, véleményét statisztikai adatokban is kifejezni, egy Google Forms értékelést készítettem velük, amit módosítás nélkül megpróbálok közzé tenni. A válaszadás opcionális volt, így nem kaptam mindenkitől visszajelzést, de a diákok hozzávetőleges 50%-a kitöltötte a kérdőívet, így reprezentatívnak mondható a kitöltöttség.²

Összességében milyennek ítéled meg az utóbbi 3 óra minőségét, felépítettségét?

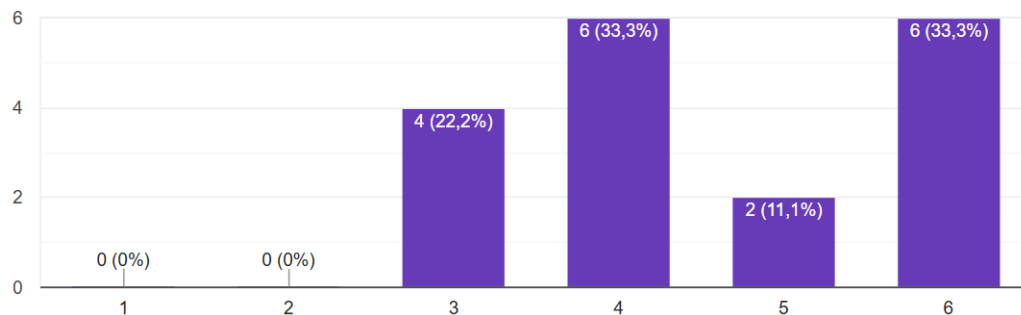
18 válasz



10. ábra. 1. kérdésre adott válaszok eloszlása.

Hogy érzed, felkeltette az utóbbi 3 óra az érdeklődésed?

18 válasz

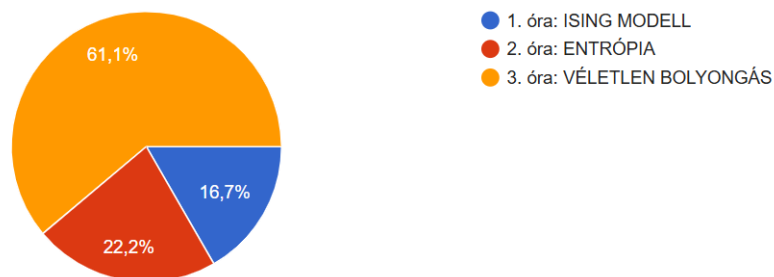


11. ábra. 2. kérdésre adott válaszok eloszlása.

²Az egyes grafikonokon a 1-es mező jelentette a legnegatívabb, a 6-os a legpozitívabb értékelési lehetőséget

Melyik volt a kedvenc foglalkozásod?

18 válasz



12. ábra. 3. kérdésre adott válaszok eloszlása.

Mi volt a kedvenc foglalkozásodon a legjobb órai történet?

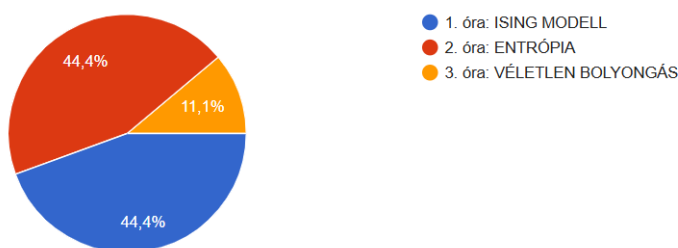
14 válasz

Véletlen bolyongás
PéNZ játék
Entropia video
A pénz tippelés
Tippelés hogy ha 10 feldobunk egy érmét a szám egyenesen hol kötünk ki
Az entrópia visszafordíthatatlan feladata
A kreatív módszerek kísérletek kidolgozásához és megértéséhez pl: a lap fordítás feladat
érmefeldobás-bolyongás jelölése
a bojongós játék
Tanár úr előadása
Pénzérmefeldobás
Káosz pénz dobálás
Az érmefeldobás tippelése

13. ábra. 4. kérdésre adott válaszok.

Melyik foglalkozás tetszett a legkevésbe?

18 válasz



14. ábra. 5. kérdésre adott válaszok eloszlása.

Bármilyen megjegyzésed van az oktatót, az oktatási anyagot, az előadásmódot, stb. illetően? Néhány mondatban foglald össze, hogyan érezted magad a foglalkozásokon!

18 válasz

Remekül éreztem magam
Jól éreztem magam, picit több interakció
a tanár úr beszéljen csak egy icipicit lassabban
Kicsit sietünk az anyaggal
Erdekesek voltak az orak, talan lehetett volna tobb elet az eloadasmodban konnyebb lett volna figyelni.
Többször csinálhatnánk ilyen feladatokat . Néha kicsit beszélhetne lassabban
Gyorsan lett elmagyarázva, de alapjáraton nagyon érdekes volt és még részt vennék hasonló órán.
Nagyon jól éreztem magamat és kíváncsivá tett a munka. Nagyon élveztem és úgy gondolom tanultam az órákból és kinyitotta az érdeklődésemet
Összegezve az egészet jó volt. Voltak benne érdekes és kevésbé érdekes dolgok is.
Jo volt csak picit gyorsan haladtunk a kelletenel
jobb volt mont egy száraz fizika óra, tetszett hogy Interaktív volt
Nagyon tetszet, h jól át beszeltuk az adott témát és ehhez példa feladatot csinaltunk.
Am szupi minden
Jól éreztem magam és élveztem
Kifejezetten jól éreztem magam :)
Nagyon izgalmas volt, sokkal jobban ertettem mint egy sima fizika orat.
A magyarázatok többnyire összeszedettek, és érthetőek voltak. A csoport feladatok többségében nem tudtam teljesen részt venni, mert 3-ból 2-höz látni kellett. Az utolsó, bolyongós feladatban egyáltalán nem tudtam becsatlakozni.

15. ábra. 6. kérdésre adott válaszok eloszlása.

7. Diszkusszió

Összegezve a grafikonok alapján elmondható, amit tapasztaltam tanári szemszögből, tanuló oldalról is igaznak bizonyult. Az órák érdeklődésfelkeltő hatása szignifikánsan nagyobb százalékban a pozitív oldalra esett. Várható volt, hogy nem lesz közel sem 100%-os az érdeklődés, mivel a diákok nem feltétlen a természettudományban járatosak, érdekeltek, és feltehető, hogy még így felhívítva az anyag töménységnek bizonyulhatott egyeseknek. Többen az értékelésben a 3. órát találták legélvezetesebbnek, azt gondolom ezt a számosabb önálló és csoportos, játékos feladat magyarázza. Az utolsó órán elmondottak voltak talán a leginkább emészthetőek, legkönnyebben szemléltethetőek, így várható volt ennek az órának a sikere. Az Ising-modell visszafogottabb sikere talán annak tudható be, hogy az első óra kicsit hideg vízbe ugrásként érhetette a diákokat, nehéz volt felvenni a fonalat egy viszonylag absztrakt elgondolással, így nem biztos, hogy mindenkinek átjött a bemutatott jelenségek, játékok fizikai mondanivalója. Örömmel töltött el, hogy a legjobb, kedvenc pillanatok igen változatosak voltak, összességében úgy tapasztaltam, akik aktívan részt vettek az órákon, haza is tudtak valamennyi tudásanyagot vagy élményt vinni belőle. Néhány jogos kritika érte a beszédem tempóját, ami ellen bár próbálok tenni, nem mindig sikerül. Én is izgatottan adtam elő az órák anyagát, mivel még nem volt ilyen jellegű projektórák megtartásában tapasztalatom, pláne nem egyetemi szintű anyagokkal kapcsolatosan. Részemről megígértem a diákoknak, hogy lehetőségeimhez mérten minél több ilyen projekt-alapú órát próbálok megszervezni, a középiskolai törzsanyagot is feldolgozva, mert a szóbeli és írásbeli visszajelzések alapján sokkal inkább élvezték ezt az oktatási formát, mint a szokásos frontális gyakorlatot.

Személyes tapasztalatként izgalmas volt az órákat összerakni és levezetni, úgy gondolom, hogy dolgozatom és kutatómunkám bizonyítja, hogy bármilyen nehéz és elvont természettudományos fogalom bevihető adott szinten és módszerekkel a középiskolai korosztály számára, ha a megfelelő inger- és kompetenciaszintjükön végezzük el ezeket, pláne olyan fogalmak amik a középiskolai törzsanyag szerveesebb részét képezik.

8. Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni a segítséget a dolgozat elkészítéséhez:

1. **Dr. Vincze Miklósnak**, aki jó ötleteivel, meglátásaival, szakmailag és formailag is segítette a dolgozat megszületését.
2. **A Scheiber Sándor Gimnázium 10.A és 10.B osztályok tagjainak** a kutatásban való aktív és lelkes részvételért, névszerint:

Balázs Gergő, Bóday Sára Boglárka, Bodnár Dominik Balázs, Gergely Sára, Gordon Balázs Benjámin, Görög-Németh Marcell Zoltán, Gyenge Krisztián Milán, Huber Maya Sára, Jármí Hanna, Kovács Alexandra, Kovács Áron György, Kovács Bertold, Laczi Liliána, Lengyel Dóra Szilvia, Liebermann Hanna, Oláh Dániel Edgár, Péter László Bence, Szániel Liza, Tóth Angéla Zsófia, Varga Eszter Judit, Colon Pritzker Emanuel, Czett Nadin Jázmin, Cziráki-Gál Milán Dániel, Erős Eszter, Fodor Zsombor, Fricska Hanna Lea, Gerő Hanna, Gordon Áron Simon, Herceg Hanna Vilma, Kertész Áron, Mayer Gergő, Nagy Laretta Rozina, Németh Laura Szonja, Párkányi Sára, Schmid Tamara Míra, Szabó Nóra Emese, Tóth Oszkár, Zala György Máté
3. **Dr. Szöllősi Gergelynek**, aki először vezetett be a ötödéves szemeszteri tanórákon a statisztikus fizika tudományába, és következetes vizsgáztatása miatt rákényszerültem a területbe mélyebben beleásni magam, ezáltal sokkal összetettebb és áthatóbb képet kapni az elméleti fizikáról.

9. Irodalom- és médiajegyzék, hivatkozások

- [1] J. P. Sethna: Statistical Mechanics, Entropy, Order Parameters, and Complexity
- [2] Tanulmány a nők menstruációs ciklusainak szinkronizálódásáról: *LINK*
- [3] Rövid ismertető a Curie-törvényről: *LINK*
- [4] Bihari Péter: Entrópia az irodalomban. Szöveg és teszt link: *LINK*
- [5] Ungváry Tamás: A szépség születése. Entrópia és redundancia. 145-147.
- [6] Literatura, Akadémia Kiadó 1974/1, Hankiss Elemér: Fejlődik-e az irodalom? (Az extenzív illetve intenzív fejlődés létéről és mibenlétéről), 20-34.
- [7] Spin videó: *VIDEÓ LINK*
- [8] Felhasznált PPT az ISING MODELL, ENTRÓPIA, RANDOM WALKS órákhoz megtalálható a következő mappában: *LINK*
- [9] Nespresso kondenzáció videó: *VIDEÓ LINK*
- [10] Phet Colorado szimuláció a Maxwell-démonhoz *LINK*
- [11] Élő videó a világ legrégebbi kísérletéhez *VIDEÓ LINK*
- [12] Link a Mentimeter-hez *LINK*
- [13] Értékelő űrlap linkje *LINK*
- [14] Franz Utermohlen: Mean Field Theory Solution of the Ising Model
- [15] Videó az osztályról, ahogyan független csatolási állandóval forgatják a markereiket *LINK*
- [16] Videó az osztályról, ahogyan gyenge csatolási állandóval forgatják a markereiket *LINK*
- [17] Freeman S. et al., (2014) Active Learning Increases Student Performance in Science, Engineering, and Mathematics.
- [18] ifj. Zátonyi Sándor (2014) Fizikatankönyv
- [19] Entrópia TED-Ed videó *VIDEÓ LINK*
- [20] Sweller, (1988) Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning