
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar



COMIC-CON A FIZIKAÓRÁN

KÉPREGÉNYEK FELHASZNÁLÁSA A MODERN FIZIKA TANÍTÁSÁBAN, ONLINE OKTATÁSBAN IS

Készítette:

Ernyey Dániel

Fizika-kémia osztatlan tanárszak

II. évfolyam

Témavezetők:

Tél Tamás

Egyetemi tanár
Elméleti Fizikai Tanszék

Träger Magdolna

PhD hallgató
Középiskolai tanár

Budapest, 2020.

ABSZTRAKT

A fizika tanítása során tanárként sokszor ütközhetünk abba a problémába, hogy a megtanítandó anyag nem elég látványos az egyértelmű szemléltetéshez, vagy olyannyira elvont, hogy a szemléltetés egyenesen lehetetlen. Különösen így van ez a modern fizika egyes témaköreivel, ahol sok nagyon lényeges mozzanat merül pusztán ezért a feledés homályába. Tanárként éppen emiatt mindig új ötleteket keresünk arra, hogy a diákok elsajátítsák ezeket a problémásabb anyagrészeket. Dolgozatomban én is ennek egy lehetséges módját, a képregényen keresztül történő ismeretátadást és ennek az iskolai tanításban, illetve a jelenleg online oktatási rendszerben való létjogosultságát mutatom be. A képregények saját készítésűek és mindegyik a modern fizikának egy-egy nehezebben érthető mozzanatát (fotoeffektus, kétrés-kísérlet, tömegdefektus) hivatott befogadhatóbbá és közérthetőbbé tenni.

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	1
2.	KÉPREGÉNYEK A NAGYVILÁGBAN	4
3.	KÉPREGÉNYKÉSZÍTÉS.....	8
4.	A KÉTRÉSES-KÍSÉRLET	10
4.1.	A JELENSÉG ELMÉLETE	10
4.2.	KÉPREGÉNYKÉNT TÖRTÉNŐ MEGVALÓSÍTÁS	12
4.3.	A KÉPREGÉNY.....	13
5.	TÖMEGDEFEKTUS.....	17
5.1.	A JELENSÉG ELMÉLETE	17
5.2.	KÉPREGÉNYKÉNT TÖRTÉNŐ MEGVALÓSÍTÁS	18
5.3.	A KÉPREGÉNY	19
6.	FOTOEFFEKTUS	22
6.1.	A JELENSÉG ELMÉLETE.....	22
6.2.	KÉPREGÉNYKÉNT TÖRTÉNŐ MEGVALÓSÍTÁS	23
6.3.	A KÉPREGÉNY.....	24
7.	TANÓRAI FELHASZNÁLÁS.....	27
8.	VISSZAJELZÉSEK	32
8.1.	TANULÓI VISSZAJELZÉS	32
8.2.	TANÁRI VISSZAJELZÉS	34
9.	SZEMÉLYES ÉLMÉNYEK, KITEKINTÉS.....	36
10.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	37
11.	IRODALOMJEGYZÉK.....	38

ÁBRAJEGYZÉK

2.1. Ábra: A fotoeffektus ábrázolása a Quantum Theory-ben.....	5
2.2. Ábra: A Spectra egyik első száma.....	5
2.3. Ábra: Példa a Horrible Science: Shocking electricity egy képregényére.....	6
2.4. Ábra: Az xkcd egy képregénye	6
3.1. Ábra: A Comic Life 3 szerkesztőfelülete	8
4.1. Ábra: Az elektronsugárral végzett kétréses-kísérlet elrendezése	10
4.2. Ábra: Tonomura kísérlete (1989)	11
4.3. Ábra: A síelő „interferálva saját magával” nem ütközik a fával	12
6.1.1. Ábra: Fotoeffektus.....	22
7.1. Ábra: A 96 kitöltő tanuló évfolyamos és faktos eloszlása	28
7.2. Ábra: A jó válaszok száma az egyes kérdésekre	28
7.3. Ábra: A jó válaszok évfolyamonkénti megoszlása.....	30
8.1. Ábra: Tanulói visszajelzéseként adott válaszok	32
8.2. Ábra: A tanulói visszajelzés osztályok szerinti megoszlása.....	33
8.3. Ábra: Találkoztál-e már képregénnyel tanórán?	34
8.4. Ábra: A tanárok visszajelzése a módszer várható sikerességét illetően.....	35

1. BEVEZETÉS

A fizikaoktatás válságban van. Nem azért, mert világunkban kevésbé van jelentősége a fizikai ismereteknek, vagy mert kevésbé meghatározóak a mindennapokban. Azért van válságban, mert a mai ingergazdag környezetben a diákok figyelmét már nem köti le a Newton-törvényekben rejlő hatalmas haladás, vagy a különböző elektromágneses jelenségek magyarázata. A tényanyag átadásán alapuló frontális oktatás alacsony hatékonysága nem csak a fizika, hanem minden más tantárgy esetében tetten érhető: tapasztalhatja ezt a magyartanár, amikor a diákok nem tanulják meg a verseket; a történelemtanár, amikor az évszámok tudása az ő hóbortjának minősül; a földrajztanár, amikor tantárgyát haszontalan tanulnivalónak ítélik meg.

Sok diák motiváltságának hiánya egyértelműen látható. A problémát csak tetőzi, hogy tapasztalatom szerint¹ egy tanuló lelkesedésének a hiánya az esetek nagy részében nem csak egy-egy tantárgyat érint, hanem sok esetben például minden reál vagy humán tárgyat vagy a készségtárgyak összességét. A motiválatlanság oka sok felé kereshető. Személyes élményeim szerint a készségtárgyakat sok esetben az osztálynyomás hatására nem tanulják a diákok, mondván, hogy ezeknek úgyszólván jelentőségük. A magyar irodalomnál és nyelvtannál az indok többnyire a tanulandó anyag felhasználhatatlansága, történelemnél pedig a „régén volt, minek azt tudni” szemlélet uralkodik. A természettudományok esetében pedig a tananyag nehézsége rettent el általában a diákokat annyira, hogy eldöntik, nem fognak ezzel foglalkozni a jövőben. Látható, hogyha ehhez még otthonról a szülők részéről csatlakozna egy „a matekot én sem tudtam soha” szemlélet, a tanuló számára mire eljut az érettségiig, szépen sorban minden lehetséges kapu bezáródik a továbbtanulás felé.

Ilyenkor két út marad: az első, hogy a diák letesz a továbbtanulást illető álmairól, vagy a második, hogy különórák és rengeteg többletmunka segítségével feltornássa magát a szükséges szintre. Az első eshetőséget jövőbeli tanárként tragikusnak ítélem, hiszen ez mindannak a kudarca, amiben pedagógusként hiszünk. A másodiknál a kívánt cél elérhető, ami nagyon jó, viszont fontos tisztázni, hogy a diák motivációjának semmi köze sincs ilyenkor a tantárgyhoz és általában nem is ilyen nyomás alatt fogja megszeretni azt. Mi több a tudása tapasztalataim szerint² ilyenkor csak a vizsga idejére koncentrálnak, hosszú távon a tanultak nagyon kis része rögzül.

¹ Az idei év folyamán több órát hospitáltam az Óbudai Szent Péter és Pál Általános Iskolában.

² Több magántanítványom is volt, akik sikeresen leérettségiztek a tárgyból (fizika, kémia), de az egyetem kezdetére a vizsgák alatti tudásuk a jelentős részét elvesztették.

Azonban erre a látszólag kilátástalan helyzetre van megoldás, amire szerencsére egyre több helyen és egyre több tantárgyból ráeszmélnek a szaktanárok: el kell érni, hogy a tanulók a tantárgy tanulása alatt a kezdetektől fogva motiváltak legyenek. Ez egy egysíkú frontális oktatással nem érhető el. Éppen ezért különféle, a „megszokottól eltérő” módszerek alkalmazását kell rendszeresíteni az órákon. Ennek a legegyszerűbb formája az órák interaktívvá tétele számos, a diákokhoz intézett kérdéssel, de létezik rengeteg más, tantárgyspecifikusabb fajtája.

Mint ahogy a legtöbb természettudomány, úgy a fizika esetében is a tanultak szemléltetésével lehet legjobban motiválni a tanulókat. Viszont ezen tantárgyak esetében van egy legalább ugyanennyire fontos aspektusa a szemléltetésnek, a megértés elősegítése. Tapasztalataim szerint a diákoknak sok esetben nagyon nehéz elképzelni, hogy mi is történik például egy fizikai jelenségnél vagy egy kémiai reakcióban. Megfoghatatlan, hogy pozitív és negatív töltések vonzzák egymást, holott egy egyszerű kísérlettel örökre megjegyeznék az osztály minden tagja. Nem véletlen az sem, hogy a fizika a különböző jelenségek megmagyarázásából nőtte ki magát tudománnyá³. A szemléltetés két célja, a motiválás és a megértés elősegítése viszont a fizika (és minden más természettudomány) esetében nem független egymástól: ha valaki érti a tananyagot, motiváltabbá is válik a tanulására.

Szerencsére napjaink fizikatanár-képzésében is egyre nagyobb hangsúlyt kap az órai szemléltetésre való felkészülés, így valamelyest van alkalmunk felkészülni és bővíteni a tanításmódszertani eszköztárunkat annak érdekében, hogy ez színvonalasan megvalósulhasson. Megjegyzendő, hogy a szóban forgó szemléltetés nem csak a szó szoros értelmében vett kísérletezést takarja. Egy a tanár által bemutatott (esetleg megírt) számítógépes program a ferde hajításról ugyanúgy tartozhat ide, mint egy ügyesen összeállított oktatóvideó vagy akár Bëlga zenekar Fizika című slágere⁴. Ezek kivétel nélkül valami olyan új és szokatlan szint képesek az órába belevinni, ami ha más miatt nem, akkor a szokatlanságuk miatt megragadja a gyerekek figyelmét és így fenntartja az órán való részvételre a motivációjukat.

Azonban a fizika tanításának a során a tananyag előrehaladtával egyre több olyan témakör kerül tárgyalásra, aminek a kísérletekkel való szemléltetése rendkívül nehézkes órai keretek között. A határ jellemzően a modern fizika témakörének a tárgyalása előtt húzódik: itt már jóval több a túlzottan elvont vagy tantermi szinten megvalósíthatatlan kísérletek száma, mint a kivitelezhetőké. Ilyenkor tanárként – mivel az érdeklődés és figyelem fenntartása kulcsfontosságú – más módszerekhez kell folyamodnunk. Egy lehetőség erre, ha az anyagot

³ (Budó 1997)

⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=DidZiFDgSOM>

vizualizáljuk a diákok számára, de mindezt úgy tesszük, hogy közben figyelemfelkeltő legyen. Erre napjaink egyik legnépszerűbb írott műfaja a képregény kitűnően alkalmas.

Melyik diák ne találkozott volna Batmannel vagy Supermannel? Ki az, aki a fiatalabb korosztályból ne ismerné Amerika Kapitányt vagy Pókembert? Habár az elmúlt évtizedekben tapasztalt hihetetlen népszerűségüket a filmeknek köszönhetik, ismert, hogy mind egy-egy kiadó képregényeinek a lapjain kezdték a pályafutásukat. A hősök történetei amúgy is tömve vannak tudományos(-fantasztikus) elemekkel, így még inkább kézenfekvő lehet a forma, hiszen nem lesz szokatlan a gyerekeknek, ha az elbeszélésekbe a modern fizika egy-egy mozzanatát csempésszük. Fontos, hogy ne akarjunk túl sokat markolni egyszerre: célszerű nem teljes témakörökre, hanem csak a tananyag egy-egy elvontabb vagy nehezebben érthető részre alkalmazni ezt a módszert.

Jelen dolgozat célja, hogy három saját készítésű példán keresztül bemutassa, hogy a modern fizika témakörében készült képregények hogyan használhatóak fel egy tanórán, mennyire hatékonyak és nem utolsósorban mennyire tetszik a célközönségnek, a diákságnak és egyben tanáraiknak.

2. KÉPREGÉNYEK A NAGYVILÁGBAN

Meglepő módon fizikai témájú képregények ötlete nem újkeletű sem Magyarországon, sem külföldön. Jómagam a legrégebbi kiadási évként a 1981-et⁵ találtam, ekkor jelent meg Franciaországban Jean-Pierre Petit *Le trou noir* (ford.: *A feketelyuk*) című könyve. A szerzőnek ezt megelőzően is voltak hasonló módon készült munkái, azonban ezek inkább a közgazdaságtan és a matematika témaköreit érintették. Az első fizikai témájú könyvet újabbak követték a legkülönbözőbb témakörökben: született mű az asztrofizikától, a speciális relativitáselméleten át, a szubszonikus repülés hidrodinamikáján keresztül sok mindenről.⁶ Jean-Pierre Petit több mint 10 éven keresztül írt különböző képregényeket, melyek külföldön óriási sikert arattak. Mindezek ellenére Magyarországra nem nagyon ért el a híre, számos műve közül egynek készült magyar fordítása 1991-ben⁷. A történetek központi alakja Anselme Lanturlu, akinek Sophie (neve a görög Sophia-bölcsességből származik) nyújt betekintést és magyarázatot a különböző fizikai jelenségekre. Ezek érthetőségéhez sok esetben jelentős előismeretre van szükség a témáról, illetve hiányzik a képregényekre jellemző hatásvadász külső, így a közvetlen iskolai használatra nem mind alkalmas.

Haladva az időben egyre több fizikai témájú képregény jelent meg, melyeket legtöbbször két nagy csoport valamelyikébe tudjuk sorolni: fiatal diákoknak készült oktatási cézzal vagy a felnőtt korosztálynak ismeretterjesztésre, főleg 20. századi fizika témaköreiben. Utóbbira jó példa a *Chaos for Beginners*⁸, mely a kétezres évek elején magyarul is megjelent *Káoszelmélet másképp* címmel. Hasonló ehhez a *Quantum theory*⁹ is, nem véletlen, hogy az Egyesült Államokban az elmúlt pár évben ugyanazon kiadó gondozásában újra kiadták mindkét könyvet. Mindkét könyv pár szemléletes ábra és képregény segítségével próbálja érthetőbbé tenni a témakört, azonban itt csak az illusztráció a cél, a fő mondanivalót az előtte vagy utána található szöveg tartalmazza. Az alább található alkotás (2.1. ábra) például az általam is feldolgozott fotoeffektus jelenséghez készült. Ezek magas szintű fizikai tudásanyaguk és terjedelmük miatt az fizikaoktatásban legfeljebb a tehetséggondozás szintjén használhatóak.

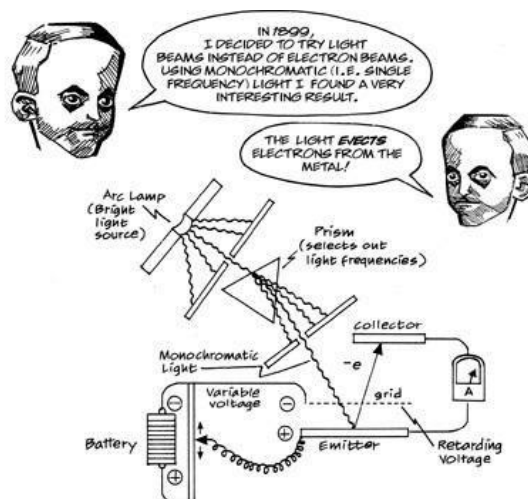
⁵ (Petit 1981)

⁶ (Természet Világa 1991/3)

⁷ (Petit: Tout est relatif, fordította: Abonyi Iván)

⁸ (Abrams-Sardar 1998)

⁹ (McEvoy-Zarate 1992)



2.1. Ábra: A fotoeffektus ábrázolása a Quantum Theory-ben

A képregények első csoportjába sorolt fiataloknak készült művek viszont már csak készítési céljuk miatt is a tanórák szerves részei lehetnek. Ezek a kiadványok főleg a fizika megszerettetését tűzték ki célul, amik habár rövidtávon a leadott tudásanyag rovasára mehet, hosszú távon a tanulók motivációjának a megtartását szolgálják. Ennélfogva alkalmazásuk kifejezetten előnyös lehet, amire talán elsőként az American Physical Society (Amerikai Fizikai Társaság) jöhetett rá, ugyanis saját képregénysorozatot indított el 2009-ben.¹⁰ A képregény névadó főhőse Spectra (2.2. ábra) segítségével magyaráz el különböző fizikai témaköröket (pl.: erő, elektromosság, fény, hang). A képregény kezdettől fogva oktatási segédeszköznek lett tervezve, ennélfogva a tananyag önálló elsajátítására nem alkalmas, azonban a tanórákon projektmunkában való felhasználásra kiváló. Ehhez az APS minden további segítséget is megad, ugyanis a weboldalon regisztráló tanárok ingyenes online segédanyagot is kapnak a tananyag feldolgozásához.

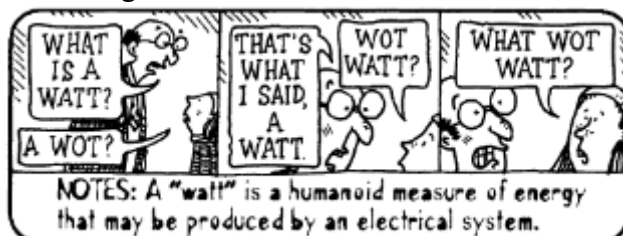
Személyes kedvenceim voltak általános és középiskolás koromban azok a fiataloknak szóló kiadványok, amik sokkal inkább az ismeretterjesztésre helyezték a hangsúlyt, mintsem a tényanyag átadására. (Ugyanakkor egyáltalán nem elhanyagolható ezek tudásbővítő hatása.) Ilyen volt a *Horrible Science*



2.2. Ábra: A Spectra egyik első száma

¹⁰ <https://physicscentral.com/explore/comics/>

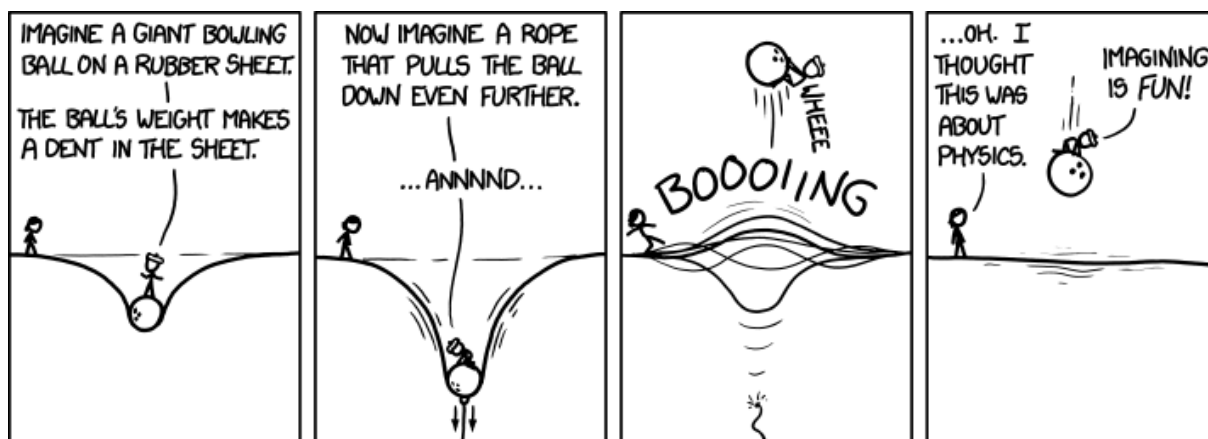
könyvsorozat is. A természettudomány minden területe szerepelt a könyvek témái között, a kémia-tól elkzedeve a földrajzon át a biológiáig. A sorozat *Shocking electricity*¹¹ című részének köszönhetően személyes példával is tudok szolgálni arról, hogy az ilyen művek képesek megszerettetni a diákokkal a tantárgyat: ha nem olvasom a könyvet, valószínűleg most nem fizikatanárnak, hanem gyógyszerésznek tanulnék. A könyv a fizikát a humoros oldaláról közelíti, így nem csak tanulságos, hanem szórakoztató is. Szerencsére a Horrible Science



2.3. Ábra: Példa a *Horrible Science: Shocking electricity* egy képregényére

könyvsorozat szinte minden része rendelkezik magyar fordítással, így az idegennyelv ismeret sem korlátozó tényező.

Habár nem oktató jellegű és nem is csak felnőtteknek szól, de említést kell tennünk a világon talán legnépszerűbb és legismertebb tudományos-ismeretterjesztő képregény kiadóról az xkcd-ről¹². A szerzők a 2.4. ábrán¹³ látható rövid képsorozathoz hasonló hosszúságú és



2.4. Ábra: Az xkcd egy képregénye

stílusú műveket hoznak létre, melyek szigorúan egy apró mozzanatára (többet nem is enged a képregények hossza) világítanak rá a tárgyalt témának. Érezhető, hogy a humornak itt nagyon jelentős a szerepe az ismeret felvillantása mellett. Habár az xkcd-nek nem csak fizikai témájú alkotásai vannak, hanem minden tudományágból találhatunk rajzokat, kicsit keresgélve igazi

¹¹ (Arnold 2000)

¹² <https://xkcd.com/>

¹³ <https://xkcd.com/1158/>

gyöngyszemeket találhatunk. Ezeket a fizikaórák egy-egy laposabb pontján „elsütve” a figyelmet egy pillanat alatt visszairányíthatjuk a tananyagra.

A fentebb ismertetett példák mind külföldi szerzőktől származtak, mi magyarok is többnyire ezeket ismerjük. Tanórákra (főleg alsóbb évfolyamokban) viszont célszerű anyanyelvű képregényeket bevinni, főleg az általam is tárgyalt modern fizika témakörében. Léteznek-e ilyenek? Szerencsére egyre több külföldi szerző nagyszerű munkáit fordítják le itthon, azonban értelemszerűen a legcélszerűbb az lenne, ha eleve itthoni szerzők munkáit tudnánk megmutatni. Sajnos tapasztalatom szerint ilyenből nagyon kevés van, nálunk nem alakult ki az ismeretterjesztés ilyen formájú „divatja”. Viszont az elmúlt pár évben több igyekezetet is láttam az ezen való változtatásra. Az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont weboldalán¹⁴ találkoztam össze két nagyon szépen kivitelezett képregénnyel, melyek célja az ALICE kutatócsoport és az általuk végzett munka bemutatása a szemlélőnek. A másik bizonyítéka, hogy valaki foglalkozik fizikai (és ezen belül a modern fizikai) témájú képregények létrehozásával, a 2018-as Fizikatanári Ankéton Nagy Andrea tanárnő által bemutatott *Egy kezdő időutazó naplója*¹⁵ című kiadvány. Külön öröm, hogy a tanárnő a képregényt már eredetileg is fizikaoktatásra szánta.

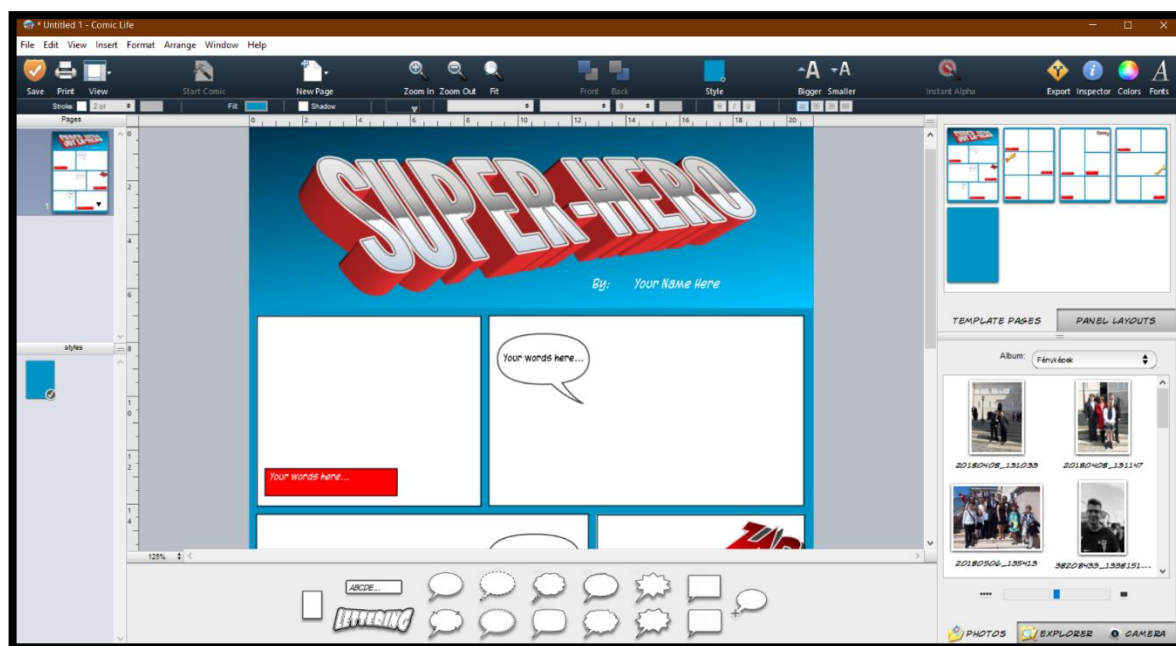
¹⁴ <http://alice.kfki.hu/fizika/erdekesssegek>

¹⁵ (Nagy 2018)

3. KÉPREGÉNYKÉSZÍTÉS

A 2. fejezetben említettem, hogy a Magyarországon megtalálható fizikai témájú képregények jelentős része külföldi szerzők műveinek a fordítása. Mivel nincsen itthon olyan kiadó, aki ezzel foglalkozna vagy foglalkozott volna, így a magyar nyelvű kiadványok száma erősen limitált. Ebből következik, hogy tanárként akármennyire is szeretnénk az órán képregényeket felhasználni, előfordulhat, hogy nem található a témába vágó alkotás. Ilyenkor sem szabad kétségbe esni, csináljunk saját képregényt!

A technológiai fejlődés lehetővé tette, hogy szinte minden tanárnak vagy otthon vagy az iskolában van stabil internetkapcsolata, illetve rendelkezik (vagy hozzáfér) számítógéphez. Szerencsére az interneten számtalan különböző képregénykészítő weboldal érhető el, ingyenes szerkesztőprogramokhoz tudunk hozzáférni vagy a komolyabb szoftvereket vehetünk meg és tölthetünk le. A számtalan lehetőség közül én a Comic Life 3-at¹⁶ választottam a későbbiekben szereplő képregények elkészítésére. A program nem ingyenes, de egy 30 napos próbaverzió letöltése alapján eldöntheti, meg szeretné-e vásárolni a későbbiekben. Közel 100 féle képregénysablon közül választható ki, hogy milyen legyen a képregény alapja (pl.: hirdetés, párbeszéd, utazás). Itt külön szimpatikus volt, hogy a szoftverfejlesztők gondoltak a tanórai alkalmazásra és készítettek ehhez szükséges sablonokat is.



3.1. Ábra: A Comic Life 3 szerkesztőfelülete

¹⁶ <http://plasq.com/apps/comiclife/macwin/>

A programba szabadon beilleszthetőek a számítógépen található képek, ezek stílusa a Photoshop-hoz hasonlóan módosítható a kívánt forma eléréséig. A képekre szöveg-buborékokat illeszthetünk, hogy igazán képregényszerű legyen, a feliratok betűtípusát is személyre szabhatjuk. Látható, hogy nem szükséges a szoftver használatához rajztudás, még kezűgyesség sem, bőven elegendő a számítógép felhasználói szintű ismerete. Jómagam 2-3 óra alatt megtanultam a használatát, ami így egyszerre soknak tűnhet, azonban hosszútávon rendkívül kifizetődő.

Egy-egy képregény elkészítése nekem 5-6 óráig tartott, azonban az idő jelentősen rövidebb lett volna, ha kész képanyaggal dolgoztam volna. Az idő jelentős részét a megfelelő képek keresése vitte el, nem a képregény összeállítása. A program talán legnagyobb hátránya, hogy a betűtípusok nem teljesen működnek megfelelően és így ezek formázása jelentősebb idő elvesztegetéséhez vezethet azonban itt valószínűleg egy programbeli hibáról van, amit reményeim szerint a fejlesztők orvosolni fognak.

Habár összességében a Comic Life 3 egy nagyon könnyen használható program, nem minden esetben ezzel készíteném a képregényeket. Ha csak egy-egy rövidebb (xkcd-szerű) képsor összerakására lenne szükség, akkor inkább a Stripgenerator¹⁷ weboldalt használnám a kevesebb funkcióból eredő egyszerűbb kezelés és szerkesztés miatt. Ezen a két példán kívül az interneten böngészve még számtalan program található, egyénenként különböző, hogy kinek melyik válik be.

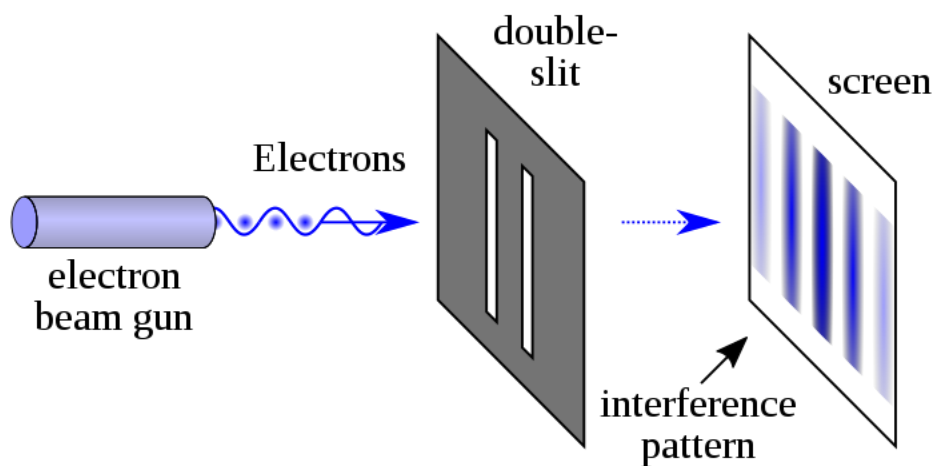
¹⁷ <http://stripgenerator.com/strip/create/>

4. A KÉTRÉSES-KÍSÉRLET

4.1. A JELENSÉG ELMÉLETE

A kétréses-kísérlet a kvantummechanika egyik legfontosabb jelenségeként tartják számon. Elsőként Thomas Young angol természettudós végezte el 1801-ben a fény hullámtulajdonságainak a bizonyítására. Később 1927-ben Davisson és Germer bebizonyították, hogy a kísérletet elektronokkal elvégezve hasonló interferencia-képet kapnánk¹⁸. A leglátványosabb szemléltetése ennek 1989-ben Tonomura által történt. Az elektronokat detektálva itt is az eredeti kísérlethez hasonló interferenciakép volt megfigyelhető. A 20. század során az elektronokat helyettesítették különböző atomokkal (pl.: hidrogén) és molekulákkal is, ennek ellenére minden kísérlet az eddigiekhez hasonló eredménnyel zárult. Ezen kísérletekkel igazolható, hogy de Broglie anyaghullám elmélete helyes volt, tehát minden anyag mutat mind részecske mind hullámtulajdonságokat.

Tonomura kísérleti elrendezését a 4.1-es ábra mutatja. Az elvégzéshez egy elektronforrás, mely minden egyes elektront gyakorlatilag azonos állapotból indít, egy fluoreszkáló ernyő és egy két párhuzamos réssel rendelkező lemez szükséges. Az elektronok jelentős része a lemeznek ütközik, míg egyes elektronoknak sikerül átjutniuk a résen. Ezek az



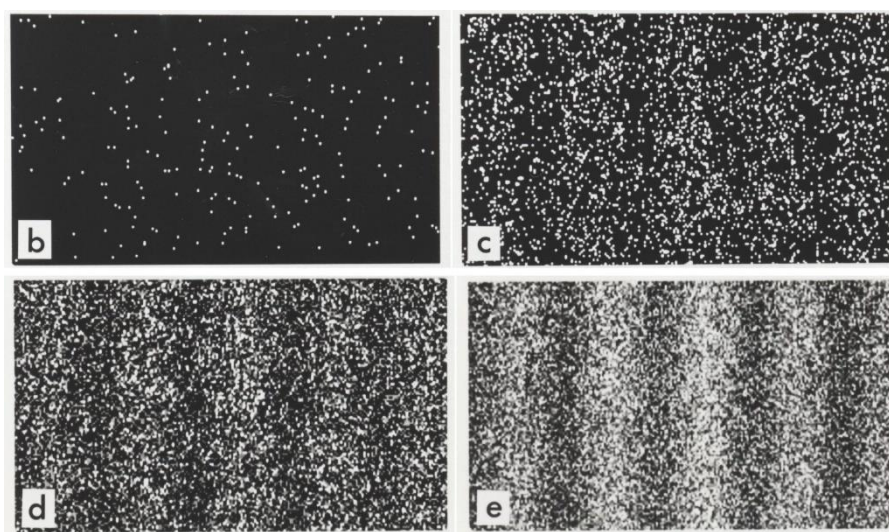
4.1. Ábra: Az elektronsugárral végzett kétréses-kísérlet elrendezése

elektronok viszont egy jellegzetes sötét-világos sávok váltakozásából előálló képet adnak a foszforeszkáló ernyőn. Hasonló képet kapnánk, ha fénnel végeznénk el a kísérletet, ott viszont korábbi elméletek alapján tudható, hogy a fényhullámok interferenciája okozza ezt a képet. A tapasztalat szerint az elektron esetében sincsen másként: az elektron is rendelkezik

¹⁸ C. Jönsson 1961-ben elsőként végezte el elektronokkal a kísérletet

hullámtulajdonságokkal. Ennek köszönhető, hogy a két résen átjutó elektronhullámok képesek egymást kioltani vagy erősíteni, így létrehozva a fentebb látott interferenciaképet.

Érdekesebb kérdés, hogy mi történne, ha csak egyetlen elektront lőnénk a rések felé. Amennyiben csak egy-egy résünk van, semmi szokatlant nem tapasztalhatunk, valójában a rés képét láthatjuk kissé elmosódottan. Ha két résünk van nyitva, az elektron vagy az egyik, vagy a másik résen menne át, és mivel nincsen semmi, ami kioltathatná, egy egyenletes eloszlású pontrendszer várna kirajzolódni. Ez, néhány egymás után elvégzett kísérlet becsapódását vizsgálva jó közelítéssel igaznak is tűnhet, az elektronok látszólag teljesen véletlenszerű helyen fognak ütközni az ernyővel (4.2.b ábra¹⁹). Azonban az elvégzett kísérleteket számát több



4.2. Ábra: Tonomura kísérlete (1989)

tízezerre növelve nagyon szépen kirajzolódik egy jellemző interferenciakép (4.2.e ábra).

Ez első látásra rendkívül meglepő lehet, mivel a jelenség szerint miközben az elektron áthalad az egyik résen, „tudja”, hogy nyitva van egy másik rés is. Ez úgy valósulhatna meg, ha az elektron részecske, amikor áthalad a résen hirtelen szétválk két hullámra, majd saját maga interferenciamintázatot rajzol ki. Azonban nem ez történik, mivel az elektron jól láthatóan egy pontba csapódik be. Tehát valahogyan úgy képzelhető el, mintha az elektron részecskeként elindulna, majd szétválna két hullámra, a résnél interferálna saját magával, majd a becsapódás előtt újra egyesülne egy részecskévé. A jelenség érezhetően rendkívül szokatlan és a

¹⁹ <https://hu.wikipedia.org/wiki/Kvantummechanika>



4.3. Ábra: A síelő „interferálva saját magával” nem ütközik a fával

magyarázatot sem tudjuk a klasszikus módszerekkel megadni, ez már a kvantummechanika területe.²⁰

4.2. KÉPREGÉNYKÉNT TÖRTÉNŐ MEGVALÓSÍTÁS

A három általam készített képregény közül ennek volt a legnehezebb a megvalósítása. Ennek oka a kísérlet szokatlanságában és komplexitásában keresendő, ugyanis olyannyira bonyolult, hogy önmagában is rendkívül nehezen érthető, nemhogy egy könnyedebb formára átírt változatban. Éppen ezért már a történet kitalálásakor figyelembe kellett vennem, hogy vajon a képregény végén kellően érthető lesz-e a jelenség: nem veszik-e el a történetben vagy nem lesz-e túl zavaros a magyarázat.

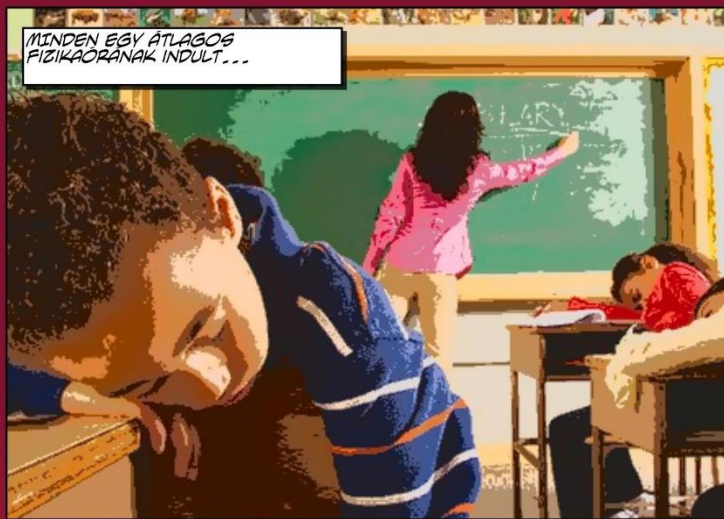
A témáját sem véletlenül választottam, az első két képregény esetében szándékosan törekedtem arra, hogy egy olyan filmműfaj legyen a minta, ami alapból leköti a figyelmüket. Saját tapasztalataim szerint ezek leginkább a különböző akció és szuperhős filmek, illetve a krimik. Jelen esetben a kémfilmek zsánereként is ismert James Bond sztori is ennek kapcsán került elő lehetőségként, ami végül is a végső befutó lett. A figyelemfelkeltő téma azért is fontos az oktatási célú képregények esetében, mert így azok a diákok is elolvassák kíváncsiságból, akik tanulási célból ugyanezt nem tennék meg.

Fontos kiemelni, hogy a jelen képregény már egy nagyfokú előismeretet feltételez az olvasó részéről: az interferencia, a de Broglie hipotézis mind csak említés szintjén kerül elő, viszont a képregény értelmezéséhez szükséges ezek tudása. Éppen ezért ez a képregény ezen tananyagok elsajátítására nem alkalmas, inkább a részecske-hullám kettősség témakörének a lezárásánál használható fel jól.

²⁰ (Vassy 1997)

4.3. A KÉPREGÉNY





MINDEN EGY ÁTLAGOS
FIZIKAÓRÁNAK INDULT...



MA A
KÉTRES-KÍSÉRLETRŐL
TANULUNK.



AHAAA...

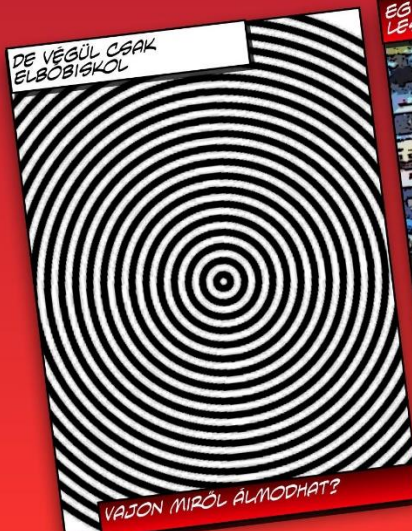
AZ BIZTOS
JÓ...



KARCSI:

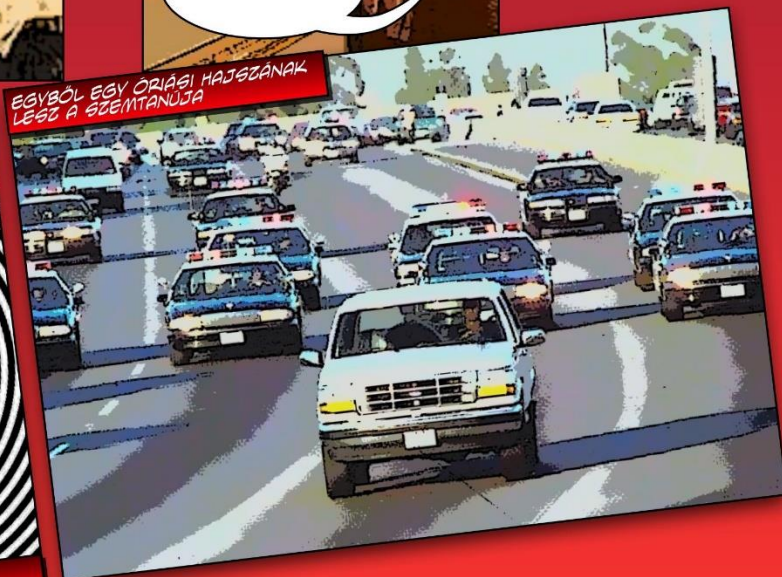
zzzzzz...

NEM SZABAD ELALUDNOM,
MERT MEGINT HÜLYESÉGET
FOGOK ALMODNI.



DE VÉGÜL CSAK
ELBÓBISKOL

VAJON MIRŐL ALMODHAT?



EGYBŐL EGY ÓRIÁSI HAJSZÁNAK
LEGG A SZEMTANÚJA

LAPOZZ!



KARCSI AMIGY JOBBAN
MEGFIGYELI A
HELYZETET, LÁTJA...



HOBY SZOVIET
KATONÁK ÜLDÖZNEK EGY
AMERIKAI-ANGOL
KEMCSAPATOT.



AZONBAN A GÖLYÖK
GYORSABBÁK NÁLUK, ÉS
EGYRE MÁSRÁ ESNEK EL.



MIGNEM MÁR CSAK EGY
ÜGYNÖK MARAD...

ELEKTRON ÜGYNÖK!



VETTEM!

ELEKTRON, TE
VAGY AZ UTOLSÓ
ESÉLYÜNK. JUSS KI AZ
ÉPÜLETBŐL!

BIZTOSAN A
KETTŐS RÉSNEL AKARNAK
MAJD MEGALLÍTANI, VIGYÁZZ A
CSAPDÁJUKKAL!



MÁR CSAK EGY
VAN, PARANCSENOK
ELVITÁRS!

A KÉT RÉG
UTÁN CSAPDÁT
TUDUNK NEKI
ÁLLÍTANI!

EKÖZBEN A SZOVIET IRÁNYÍTÓKÖZPONTBAN



HOVA RAKJUK A CSAPDÁT, PARANCSONK ELVÁRS?



VÁRJON, EZT ÁT KELL GONDOLNI!

DE BROGLIE HIPOTÉZISÉBŐL KIINDULVA, AMI A HULLÁM-RÉSZECSKE KETTŐSSÉGET JÓSZOLJA MEG, AZ ELEKTRONNYALÁBOT EGY ILYEN KETTŐS RÉGRE BOCSÁJTVA AZ INTERFERÁLNÍ FOG SAJÁT MAGÁVAL ÉS EGY JELLEMZŐ INTERFERENCIAKÉPET KAPUNK.



DE CSAK EGY DARAB ELEKTRON VAN, NEM PEDIG EGY ELEKTRONNYALÁB!



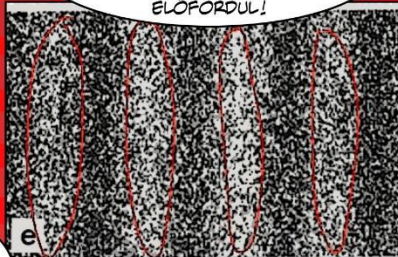
IGAZ-IGAZ

EGY ELEKTRON FELFOGHATÓ ÚGY, MINT EGY NAGYON KIS INTENZITÁSÚ NYALÁB, AMIT HA CSAK EGYSZER KÉTSZER BOCSÁJTANUNK RÁ A RÉGRE AKKOR VÉLETLENSZERŰ PONTOKAT KAPNANK, AMIK AZ ELEKTRONOK BECSAPODÁSI HELYÉT JELÖLIK.

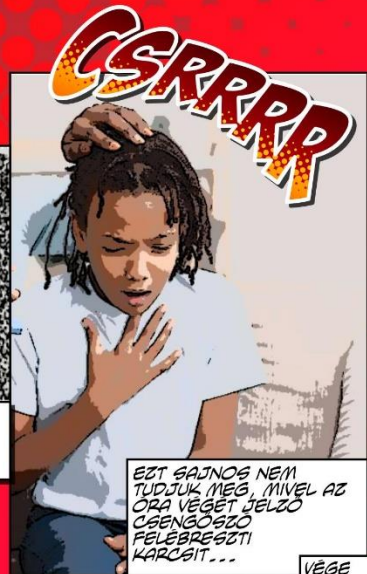


VISZONT HA SOKSZOR ELVÉGEZZÜK, AKKOR VISSZAKAPJUK UGYANAZT AZ INTERFERENCIAKÉPET!

A CSAPDÁT A PIROSSAL JELÖLT HELYEKRE TEGYÉTEK, HISZEN OTT A LEGVALÓSZÍNŰBB, HOGY ELŐFORDUL!



VAJON BELEBÉTEL ELEKTRON UGYANOK A CSAPDÁBA?



EZT SAJNOS NEM TUDJUK MEG, MIVEL AZ ÓRA VÉGET JELZŐ CSENGOSSZÓ FELEBRESZTI KARCÁIT...

VÉGE

5. TÖMEGDEFEKTUS

5.1. A JELENSÉG ELMÉLETE

A tömegdefektus az egyik leglátványosabb és legérthetőbb bizonyíték a tömeg és az energia ekvivalenciájára. Kísérleti mérések szerint az atommagot alkotó nukleonok (protonok és neutronok) együttes tömege nagyobb, mint az atommag tömege. Ezen két mennyiség különbségeként kaphatjuk meg a tömegdefektust (tömeghiányt).

$$\Delta m = M_{mag} - Z \cdot m_{proton} - (A - Z) \cdot m_{elektron}$$

5.1.1. Képlet: Z rendszámú és A tömegszámú atommag esetén a tömegdefektus

A magyarázat abban rejlik, hogy az atommagok keletkezésekor energia szabadul fel, így a rendszer összenergiája csökken. A tömeg-energia ekvivalencia miatt (Einstein 1905) minden tömeggel rendelkező részecskének van nyugalmi helyzetben is energiája, melyet az 5.1.2-es képlet ír le.

$$E = mc^2$$

5.1.2. Képlet: Tömeg-energia ekvivalencia

Ennélfogva a kiindulási protonoknak és neutronoknak, illetve a keletkezett atommagnak is meg tudunk feleltetni egy meghatározott energiamennyiséget, amelyek különbsége fogja adni a fentebb említett felszabaduló energiát, ami hő vagy fény formájában eltávozik.

$$E_{kötési} = M_{mag} \cdot c^2 - Z \cdot m_{proton} \cdot c^2 - (A - Z) \cdot m_{elektron} \cdot c^2 = \Delta mc^2$$

5.1.3. Képlet: A kötés energiája számolása

Ezt az eltávozó energiát kötés energiának hívjuk, és az 5.1.3-as képletből jól látszódik, hogy valójában a kiindulási anyagok nyugalmi energiájának egy részéből keletkezik. Azonban, ha a nyugalmi energia csökken, akkor szintén a tömeg-energia ekvivalencia miatt a tömeg is csökkeni fog. Ezt a tömegcsökkenést hívjuk tömegdefektusnak.

Ennek gyakorlati haszna is van, ugyanis az atomreaktorokban az atommagok bomlása során felszabaduló energia is a kötés energiából származik, amit az ipar már több évtizede hasznosít.²¹

²¹ Magyarországon az energiatermelés 53%-a nukleáris energiatermelésből származik (2014)

5.2. KÉPREGÉNYKÉNT TÖRTÉNŐ MEGVALÓSÍTÁS

A három képregény közül talán ennek az elkészítése ment a legkönnyebben és itt ütköztem a legkevesebb nehézségbe. A 4.2-es fejezetben leírt sémát alkalmaztam, mindenképpen már tartalmában figyelemfelkeltő történetet szerettem volna alapul venni. Nagyon hamar adta magát a defektus-csökkenés-eltűnik-rablás asszociáció, így már az elejétől fogva krimiben gondolkoztam. A nehézséget csak az okozta, hogy a bemutatni kívánt fizikai jelenség magyarázatában valójában nincsen eltűnés, ezért módosult az eredeti ötlet a biztosítási csalásra.²²

Már első olvasásra is látható, hogy a készített munka nem a klasszikus értelemben vett képregény. Ennek alapvetően két oka is van. Egyrésztől törekedtem arra, hogy mindhárom témának a feldolgozása valamilyen paraméterben különbözzön a többitől, itt ez a paraméter szövegek és képek hosszának az aránya (több hosszabb szöveg, kevesebb kép). Másrésztől nem éreztem úgy, hogy a jelenség megfelelően magyarázható lenne élő vagy fiktív szereplők dialógusain keresztül, itt a párbeszéd csak bonyolultabbá tették volna a jelenség megértését. Ezért esett a választásom az újság formára, ahol egyszerre meg tudtam őrizni a krimi jelleget, de a fentebb leírt feltételeket is ki tudtam elégíteni.

Ugyanakkor itt is figyelni kellett, hogy a jelenség megfelelően fel legyen vezetve, éppen ezért döntöttem úgy, hogy egy lapszám helyett két lapszámot használok. Így az elsőben az előismerettel nem rendelkezők részére el tudtam helyezni egy ismertetést az atomról, illetve be tudtam mutatni magát a jelenséget. Ennek folytatásaként a második újság pedig a magyarázatot szolgálta. Mint utólag rájöttem, az anyag ilyen jellegű szétbontása olyan szempontból is praktikus volt, hogy a két (egymás utáni napon kiadott) újság az időben is elhelyezi a híreket, és így a cikkek sorozata helyett egy valódi történet bontakozhat ki.

²² Ez az alapkoncepciója a *Borotvaélen* (*Man on a Ledge*) című 2012-es akciófilmnek is.

5.3. A KÉPREGÉNY

THE DAILY NEWS

A hétköznapi hírei, neked!

11. évfolyam 17. szám

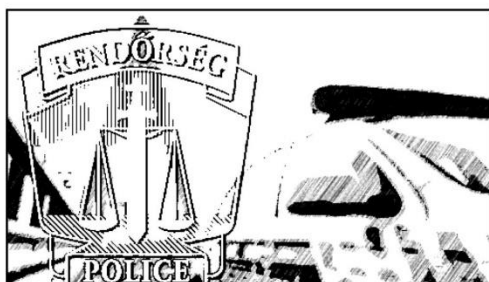
Kifosztották a Nucleus Zrt. központi raktárát



Szomorú napra virradtak a Nucleus Zrt.-ben érdekeltek, ugyanis napjaink egyik legnagyobb bevételű és legfontosabb vállalatánál rablást jelentettek. Habár hivatalos közleményt még nem adott ki a cég, lapunk információi szerint a nyomozás már lezajlott, és a leltár alapján valóban hiány észlelhető.

Rendőrségi jelentés

"Kedd reggelre virradóan bejelentés érkezett a Centrális Rendőr-főkapitányság ügyeleti osztályára a Nucleus Zrt. éjjeliőritől, miszerint egy lehetséges rablás van folyamatban a vállalat központi raktáránál. Mivel a cég kiemelt stratégiai jelentőségű, a rendőrség nagy erővel vonult ki. A helyszínre érve a vizsgálatot azonnal megkezdtük, betörésre vagy erőszakra utaló jeleket egyelőre nem találtunk. Pontosabb információkkal a nyomozás lejártaival szolgálhatok"- válaszolt lapunk kérdéseire Kiss Béla rendőr alezredes.



Rövid interjúk



éjjeliőr

"Miközben aludtam, mintha hallottam volna valamit, oszt a főnök mondta, hívjam a rendőrséget." - nyilatkozta a neve elhallgatását kérő éjjeliőr.



Kovácsné Piroska

"Az úgy volt kérem, hogy éppen aludtam és a biztos urak keltettek fel, hogy láttam-e valamit. Mondtam nekik is, hogy biztosan történt valami, ha ennyien itt vannak." - osztotta meg velünk a nyugdíjas Piri néni.



Tóth Károly

"Én csak a Buksit sétáltattam most is, mint minden este, de nem volt semmi szokatlan" - mondta a középiskolás Karcsi.

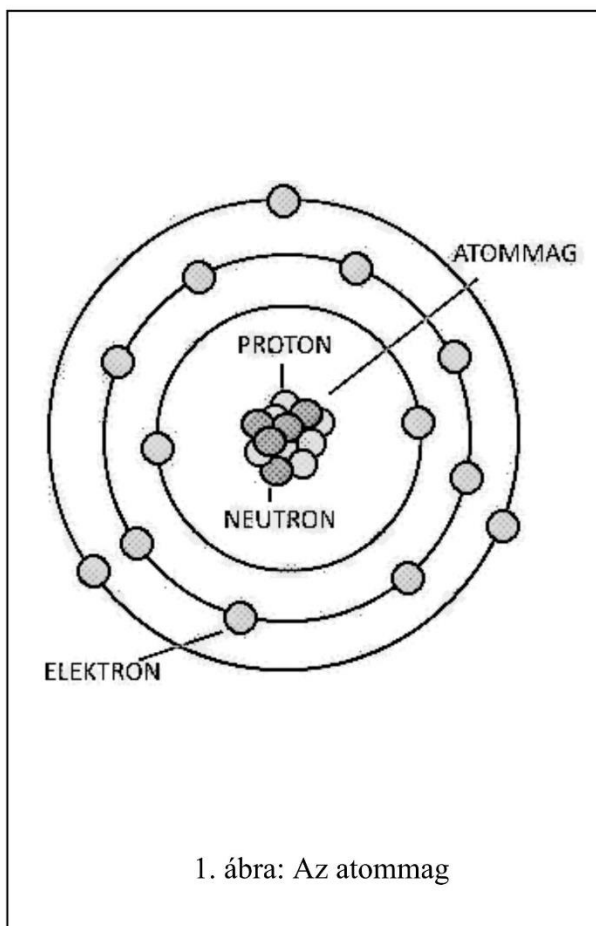
Folytatás a 2. oldalon.

Mi is az a Nucleus Zrt.?

A vállalat különböző formában, de már évmillárdok óta létezik, a mai formáját 2010-ben nyerte el. Alapítása óta minden évben elnyerte a rangos Money-díjat, melyet a legnagyobb forgalommal és a legtöbb bevétellel rendelkező cég kap meg évről évre.

Mivel foglalkozik?

A cég fő profilja az atommaggyártás. Ennek során a beszállításra kerülő két elemi részecskéből, a protonból és a neutronból különböző atommagokat raknak össze. Így gyártásra kerül ott a hidrogén atommagtól kezdve az oxigén atommagon át minden.



Mi is hiányzik?

A leltár során megmérték a legyártott atommagok tömegét és összevetették a szállítási jegyzékben szereplő, a céghez beérkező proton és neutron tömegével. A mérést többször is leellenőrizték és arra jutottak, hogy a két tömeg nem egyezik.

Egyszerűen mondva: a gyártás során felhasznált anyagok tömege és a keletkezett termékek tömege nem azonos, tehát eltűnt valahol a tömeg!

THE DAILY NEWS

A hétköznapi hírei, neked!

11. évfolyam 18. szám

Az évszázad csalását akarták elkövetni a Nucleus-nál!



A tegnapi napon beszámoltunk arról, hogy nagy valószínűséggel rablás történt a Nucleus Zrt. központi raktáránál. Azonban legnagyobb meglepetésünkre a nyomozás zárultával nem a rablókat, hanem a vállalat elnök-vezérigazgatóját, Átverj Eleket tartóztatta le a rendőrség biztosítási csalás vádjával. Megkérdezett szakértőnk, a neves Harvard University-n tanító fizikaprofesszor, John Steve segítségével keressük a választ.

Interjú John Steve-vel

Tudósító: "Köszönjük John, hogy segítesz nekünk megérteni, hogy mi történt. Említetted, hogy az Nucleus vállalatnál eltűnt tömeg mégsem tűnt el. Ezt kifejtenéd az olvasóknak?"

John Steve: "Pontosítanom kell magamat, ugyanis mégiscsak eltűnik, viszont én azt mondom, hogy ebben nincsen semmi szokatlan. Hiszen az 1. ábrán kiszámított "hiányzó tömeg" Einstein híres képlete nyomán átalakul energiává. Ezt a tömeg-energia ekvivalencia.

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M_{\text{nucleus}}$$

1. ábra: A tömeg eltűnése mint létező fizikai jelenség

$$E=mc^2$$

2. ábra: Einstein képlete, az anyagok nyugalmi energiáját adja meg

Tudósító: "És mi lesz ezzel az energiával?"

John Steve: "Az így keletkező energiát fogjuk kötési energiának hívni, ami fény vagy hő formájában eltávozik a rendszerből. Egyébként az atomerőművek is pont ezt az energiát teszik hasznosíthatóvá. Magát a tömegcsökkenéses jelenséget pedig a fizikában tömegdefektusnak nevezzük."

Rövid interjúk



Econom Imre

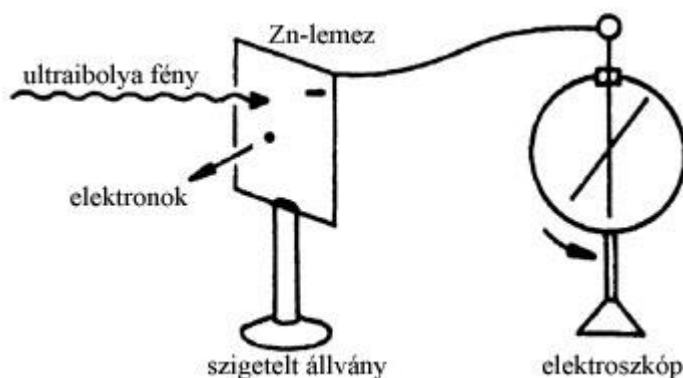
"Mint a legutóbbi negyedéves jelentésből láthatjuk, a Nucleus pénzügyileg nagyon nagy bajban van az alapanyagárak drágulása miatt. A biztosítási pénzekre lenne szükségük a válság kezeléséhez, amikhez viszont nem férnek hozzá. Ezért történnhetett ez a kétségbeesett akció" nyilatkozta lapunknak Econom Imre közgazdász.

6. FOTOEFFEKTUS

6.1. A JELENSÉG ELMÉLETE

Fotoeffektus során a megvilágított fémfelületről elektronok lépnek ki. A jelenség azonban nem mindig figyelhető meg: ha a megvilágító fény frekvenciája túl alacsony, akkor nem detektálhatóak elektronok. Érdekes módon a fény intenzitása nem befolyásolja a kilépő elektronok energiáját, csak a számukat változtatja.

A jelenséget először Wilhelm Hallwachs figyelte meg, azonban ő még nem volt tisztában vele, hogy a kilépő részecske elektron, csak a töltéséről tudta, hogy negatív. Ezt csak később J. J Thomson és Lénárd Fülöp bizonyították be. Ezen felül Lénárd Fülöp nevéhez fűződik a kilépő elektronok mennyiségi tulajdonságainak a leírása a frekvencia és az intenzitás függvényében.



6.1.1. Ábra: Fotoeffektus

A jelenség magyarázata Einstein foton modelljéből származik. Ez alapján a fény energiája egyedül a frekvenciájától függ.

$$E_{\text{fény}} = hf$$

Mivel csak egy bizonyos frekvenciánál nagyobb frekvenciájú fotonok képesek az elektronokat kiszakítani az anyagból, ezzel analóg módon szükséges egy minimális energiát közölnünk az anyaggal ahhoz, hogy az effektust megfigyelhessük. Ezt a minimális energiát hívjuk kilépési munkának, ami egy adott anyagra jellemző állandó mennyiség.

$$W_{ki} = hf_{min}$$

Ha a határfrekvenciánál nagyobb frekvenciájú fényt alkalmazunk, akkor a kilépési munkához képest jelenlevő többletenergia az elektronban elnyelődik, és így a mozgási energiájának a növelésére fordítódik. A tapasztalatokat az alábbi képlet foglalja össze.

$$hf = W_{ki} + \frac{1}{2}mv^2$$

Látható, hogy a képletben sehol nem szerepel olyan mennyiség, ami a fény intenzitásával lenne összefüggésben, tehát a kilépő elektronok energiáját, és így sebességét az intenzitás nem fogja befolyásolni, hanem csak a számukra lesz hatással.

6.2. KÉPREGÉNYKÉNT TÖRTÉNŐ MEGVALÓSÍTÁS

A három képregény közül ez a képregény készült el legelőször, mintegy prototípusként. A témaválasztás nagyon nem volt egyértelmű, hogy a képregényben a modern fizika számtalan mozzanata közül melyiket ragadjam meg. Végül a választásom a fotoeffektusra esett, mivel sok iskolában a kísérlet nem kerül bemutatásra, pedig személyes véleményem szerint az egyik legszebb és legérthetőbb kísérlete a modern fizikának.

A képregény stílusára nem volt határozott elképzelésem, a célom az volt, hogy mindenképpen maradandó legyen a diákok számára. Gondolkodtam itt különböző humoreszkek átíratától kezdve a favicceken át sok mindenre. Maga az, hogy a Republic zenekar slágere²³ legyen a fő csattanó, teljesen véletlenül jutott eszembe, azonban így tudtam egyrészt teljesíteni eredeti célomat, másrészt ennek segítségével sikerült keretet adnom a képregénynek.

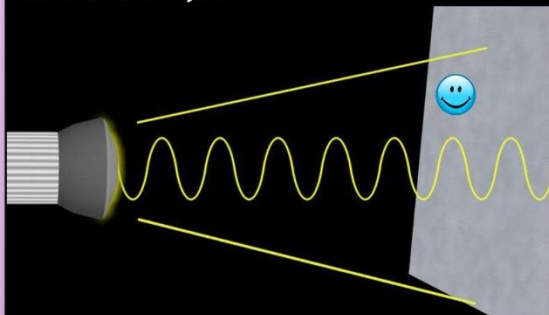
Az elkészítés során célom volt, hogy a képregény jelentősebb fizikai előismeretek nélkül is érthető legyen, a jelenség leírása se haladjon túl gyors tempóban. Éppen ezért a megértéshez szükséges tudásmennyiséggel (frekvencia, munka, mozgási energia, elektron) már egy tízedik osztályos tanuló is rendelkezik.

²³ <https://www.youtube.com/watch?v=HE4aAQCghGs>

6.3. A KÉPREGÉNY

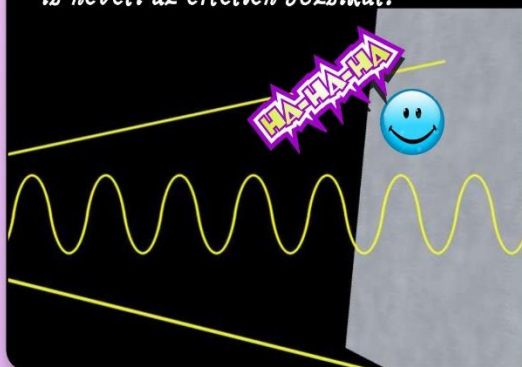


Elektronunk egy
fotokatód anyagának
büszke alkotója.



Még pedig annak a rendszernek a tagjaként,
amit Józsika rakott össze miután a
fizikakönyv végét nézegette.

...elektron barátunkkal nem történik az
ég világon semmi. Mi több még jól ki
is neveti az értetlen Józsikát.



De Józsika nem adja fel!

Azért is sikerülni
fog!



Most sokkal intenzívebb megvilágítást
használ.



De a várt eredmény elmarad, az elektron
vígán énekelget tovább, sűtkérezve a
lémpafényben.

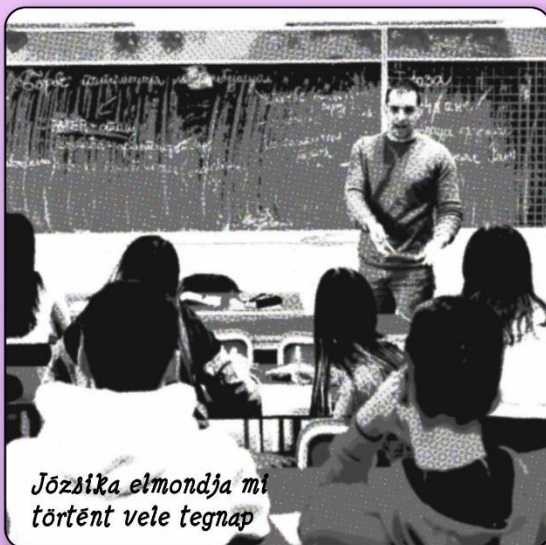
Mikor már éppen feladná, eszébe jut, hogy
mánap pont lesz fizika órájuk.

Majd holnap
megkérdezem
Ernyey-t...

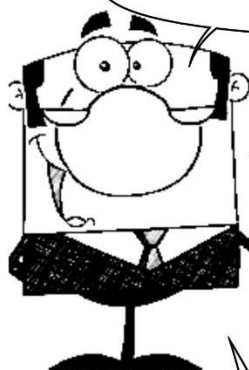


MÁSNAP

Lapozz!



A jelenséget fotoeffektusnak hívjuk. Ahhoz, hogy kiszakadjon egy elektron, egy minimális energiát feltétlen közölnöd kell vele, ezt az energiát hívjuk kilépési munkának. Ha ezen felül még plusz energiát is juttatsz az elektronnak, akkor az fog fordítódni a gyorsításra és így lehet nagyobb a mozgási energia.



$$h \cdot f = W_{ki} + \frac{1}{2} m_e \cdot v_e^2$$

Viszont mint ahogy a képlet alapján láthatjuk, a fény energiáját nem az intenzitásának, hanem a frekvenciájának a növelésével tudjuk fokozni.

Az intenzitás növelésével csak a felületet elhagyó elektronok száma emelkedik, az energiájuk nem.

Akkor most már tudom mit kell tennem, ha hazaértem...

Vége



Mégse maradok itt örökre...

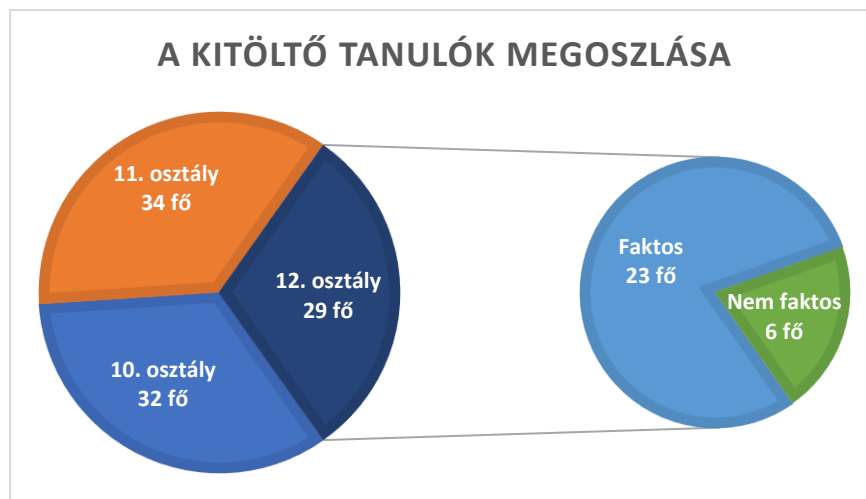
7. TANÓRAI FELHASZNÁLÁS

A végső célja a modern fizikai témájú képregények készítésének mégiscsak az, hogy ezek segítségével az adott tudásanyagot könnyebben, hatékonyabban vagy érthetőbben adjuk át mi, tanárok a diákoknak. Ezért a használat előtt meg kell vizsgálni, hogy a képregényes forma egyáltalán alkalmas-e erre. Ennek érdekében a fotoeffektust bemutató képregényt tanórai helyzetben is kipróbáltam. Két iskola²⁴ közel száz diákja olvasta el a képregényt és töltötte ki a mellékelt kérdőívet.

A kérdőív négy részből állt. Az első részen egy rövid ismertetőt olvashattak a tanulók a szóban forgó jelenségről (fotoeffektus), majd tíz-fokozatú skálán értékelték, hogy érzésük szerint mennyire értették meg a jelenséget. A második részen három a témára vonatkozó kérdésen keresztül vizsgáltam, hogy az eredeti szöveg alapján mennyire értik a kísérletet. Ezek után következett a képregény elolvasása, majd a harmadik részben a feltettem nekik ugyanazokat a kérdéseket, amiket a második részben már egyszer megválasztak. Így összehasonlíthatóvá válik, hogy a képregény elolvasása nélkül vagy utána tudnak jobban, precízebben válaszolni a kérdésekre. Végül a kérdőív negyedik részében kíváncsi voltam az ő véleményükre is a képregényekkel kapcsolatban: mennyire érzik úgy, hogy a képregény elolvasása után jobban értik az anyagot vagy mennyire tetszik neki maga a módszer, esetleg találkoztak-e már vele iskolai pályafutásuk alatt. A kérdőív és a képregény elolvasása is a vírushelyzet miatt online zajlott minden osztályban.

Annak érdekében, hogy a lehető legtöbb megfigyelést tudjam tenni a képregények használatával kapcsolatban, törekedtem arra, hogy legyen a kitöltők között olyan, aki tanult már a fotoeffektusról és olyan, aki még nem, illetve legyen fizikafaktos és nem faktos. Kíváncsi voltam, hogy modern fizikai ismerettel egyáltalán nem rendelkezők számára mennyire érthető jelenség, ezért 10. évfolyamosokkal is kitölttettem. Ezen kívül töltötték ki 11. és 12. évfolyamról egyaránt. Sajnálatomra 11. osztályos faktos tanulókkal nem tudtam kitöltetni, ezért a faktos tanulókon a továbbiakban csak a tizenkettedikes faktosokat értem. A kitöltő tanulók évfolyamos megoszlását az alábbi kördiagram mutatja:

²⁴ Szombathelyen a Brenner János Gimnáziumban, illetve a Pannonhalmi Bencés Gimnáziumban töltötték ki



7.1. Ábra: A 96 kitöltő tanuló évfolyamos és faktos eloszlása

A továbbiakban először általánosan vizsgálom a kérdőív eredményét. Szerencsére a kitöltő tanulók jelentős része komolyan vette a feladatot, azonban volt egy eset, amikor a tanuló egyértelműen félreértette a pontozást, illetve két eset, amikor a szóban forgó diákok látványosan nem törődtek a kérdőívvel (mindenhol 1-es osztályzat, szöveges válaszok helyén kérdőjelek), ezért az ő eredményeiket outlier-nek minősítettem és a további értékelésből kihagytam.

A bevezető szöveg értésére irányuló kérdés esetében a 10-es skálán az átlag 5,71-nek adódott. A legtöbben (21-en) az ötös osztályzatot választották, a többi osztályzatot választók száma között nem volt nagy különbség. Így elmondhatjuk, hogy voltak, akik saját bevallásuk szerint már a szöveg után teljesen értették a jelenséget, és voltak, akik egyáltalán nem, de a legtöbben csak részlegesen voltak tisztában a történetek magyarázatával. Ez a vizsgálat szempontjából szerencsés, ugyanis, így a diákokon várhatóan ténylegesen lehet látni, hogy lesz-e változás a megértésben.

A szöveges válaszokat kiértékelve az eredményeket az alábbi táblázatban foglaltam össze.

	<u>1. kérdés</u>	<u>2. kérdés</u>	<u>3. kérdés</u>	<u>Összesen</u>
<u>Képregény előtt</u>	35	44	35	114
<u>Képregény után</u>	50	61	74	185

7.2. Ábra: A jó válaszok száma az egyes kérdésekre

Jól látható, hogy a képregény elolvasása nélkül a három kérdés közül a másodikra (melyben a frekvencia befolyásoló szerepére kérdeztem rá) érkezett eredetileg a legtöbb jó válasz, míg a másik két kérdésre megközelítőleg ugyanannyi jó válasz érkezett. Ugyanakkor ezek a teljes mintához viszonyítva nem magas számok, a második kérdésre adott jó válaszok százalékos aránya sem éri el az 50%-ot. Minden kérdés esetében felmerültek típushibák is. Az első kérdésnél a jellemző hiba a válasz rövidegsége volt, gyakran egy szóban adták csak meg, hogy milyen jelenséget ír le az eredeti szöveg. Ez az esetek túlnyomó részében a bevéssödés hiánya miatt történhetett, egyszerűen a jelenség nevén túl (amit szintén sokan pontatlanul írtak le) nem rögzült semmi a szövegből. Ezt támasztja alá az is, hogy a második és nem melleleg a harmadik kérdés esetében, akik nem jó választ adtak, azt írták, hogy nem tudják. Ezen felül a harmadik kérdésnél felütötte a fejét egy újabb típushiba, miszerint az intenzitás és frekvencia fogalmát összemosták, így ezen diákok értelmezésében e két mennyiségnek azonos a befolyásoló szerepe. Összességében elmondható, hogy a beérkező válaszoknak kevésse több mint a harmada helyes volt, ami egy ilyen új jelenség esetén nem tragikus, azonban nem lehet az a cél, hogy a tanítványok ilyen kis hányada értse csak a jelenséget.

Szerencsére a képregény elolvasása utáni válaszok esetében jelentős javulás tapasztalható: minden kérdés esetében több mint a diákok fele jó választ adott. Részletesebben megnézve a változást az első két kérdés esetében megközelítőleg ugyanannyival több helyes válasz érkezett (15 és 17), így a jelenség megértését és a frekvencia befolyásolását illetően valószínűleg a tananyag elmélyülése, tudatosulása történt. Azonban a harmadik kérdés esetében, ami az intenzitás befolyásoló hatására kérdezett rá, a jó válaszok száma több mint a duplájára emelkedett (39-cel több), ami összességében a körülbelül a tanulók háromnegyedét jelenti. Ezen a jelentős változáson én magam is ledöbbsentem. Itt a képregénynek valamilyen rendszerszerűen fellépő értelmezési hibára kellett fényt derítenie. Megvizsgálva a válaszokat és összevetve a második kérdésre adott jó válaszokkal, arra lehetünk figyelmesek, hogy míg a képregény nélkül csak 25-en tudtak mindkét kérdésre jól válaszolni, addig a képregény elolvasása után már 56-an. Ez egyrészt jelenti azt, hogy a képregény segített megérteni a tanulóknak az intenzitás és a frekvencia fogalmát, másrészt, amit legalább ilyen fontosnak tartok a kísérlet esetében, megszűntek az intenzitás és frekvencia fogalmának összemossásából származó hibák. Tehát a fotoeffektus jobb megértése mellett, a képregény segítségével, ezt a rendszerszintű hibát is sikerült kiküszöbölni.

Összességében elmondható, hogy a képregény elolvasása után a diákok által adott jó válaszok száma több mint a másfélszeresére ugrott meg, így majdnem a kérdések kétharmadára

jó válasz érkezett. Ez egy alig több mint negyedórás feladathoz mérten véleményem szerint kiemelkedően jó, így a képregény ténylegesen segítette a tényanyag átadását. Mivel azonban kellően nagy számú tanuló töltötte ki a mintát, és mindezt több évfolyamról, érdemes lehet megvizsgálni, hogy évfolyamspecifikusan tudunk-e valamilyen megállapítást tenni.

	<u>1. kérdés</u>	<u>2. kérdés</u>	<u>3. kérdés</u>	<u>Összesen</u>	
<u>Képregény előtt</u>	4	12	7	23	10. osztály (32 fő)
<u>Képregény után</u>	12	15	24	51	
	<u>1. kérdés</u>	<u>2. kérdés</u>	<u>3. kérdés</u>	<u>Összesen</u>	
<u>Képregény előtt</u>	13	13	10	36	11. osztály (34 fő)
<u>Képregény után</u>	18	24	24	66	
	<u>1. kérdés</u>	<u>2. kérdés</u>	<u>3. kérdés</u>	<u>Összesen</u>	
<u>Képregény előtt</u>	18	19	18	55	12. osztály (29 fő)
<u>Képregény után</u>	20	22	26	68	

7.3. Ábra: A jó válaszok évfolyamonkénti megoszlása

Mint ahogyan várható is volt, a legkevesebb fizikai „tapasztalattal” rendelkező tizedik évfolyam tudta az összefoglaló szöveget a legkevésbé magáévá tenni. Ezt alátámasztja, hogy saját bevallásuk szerint is átlagosan 5,03-ra értékelték a bevezető megértését. Ennek megfelelően a válaszok negyede volt csak elsőre megfelelő, azonban a képregény elolvasása után a beérkező megoldásoknak már több mint a fele helyesre sikeredett. Arányaiban nézve ez még meglehetősen alacsony, azonban a növekedés mértéke (2,2-szeresére nőtt a jó válaszok száma) figyelemreméltó. A harmadik kérdés itt is feltűnően jobban sikerült a képregény elolvasása után, azonban itt ez nem vonta maga után a második kérdésre adott több jó választ. Ezért kijelenthető, hogy a tizedik évfolyam esetében a képregény csak az intenzitás fogalmának megértését vonta maga után a fotoeffektus fogalmának elmélyítésén kívül.

A tizenegyedik évfolyamnál vártam legjobb eredményeket, lévén, hogy jelenleg is a modern fizika témakörével foglalkoznak, azonban legnagyobb meglepetésemre a bevezető megértését kutató kérdésekre a válasz átlagos értéke 4,71 lett. Ennek alapján még a tizedikesek is úgy érzik, jobban megértették a szakszöveget, mint akik jelenleg is ezzel foglalkoznak a tanórákon! A válaszok szerencsére nem ezt támasztották alá, látszólag csak a saját tudásukban nem voltak magabiztosak. A jó válaszok száma majdnem duplázódott a képregény elolvasása után, és ez arányaiban is az összes válasz közel kétharmadát jelenti. Főleg a második és

harmadik kérdésre adott válaszok nőttek (majdnem kétszeresükre), melyek együttes növekedése arra enged következtetni, hogy az intenzitás és frekvencia fogalmának a megértése és szétválasztása is megtörtént a tizenegyedik évfolyam többségénél.

Végül a tizenkettedik évfolyamnál láthatjuk, hogy a válaszok több mint fele eredetileg is helyes volt és ehhez képest arányaiban kiugró növekedés nem láthatunk sehol. Ez magyarázható azzal, hogy a kérdőívet kitöltő diákok túlnyomó része fizikafaktos, ennek megfelelően a szakszövegek értése is nagyságrendekkel jobban megy nekik, mint nem faktos, vagy alacsonyabb évfolyamos kortársaiknak. Saját bevallásuk alapján a szöveg megértésére adott pontszámok átlaga is 7,55 volt.

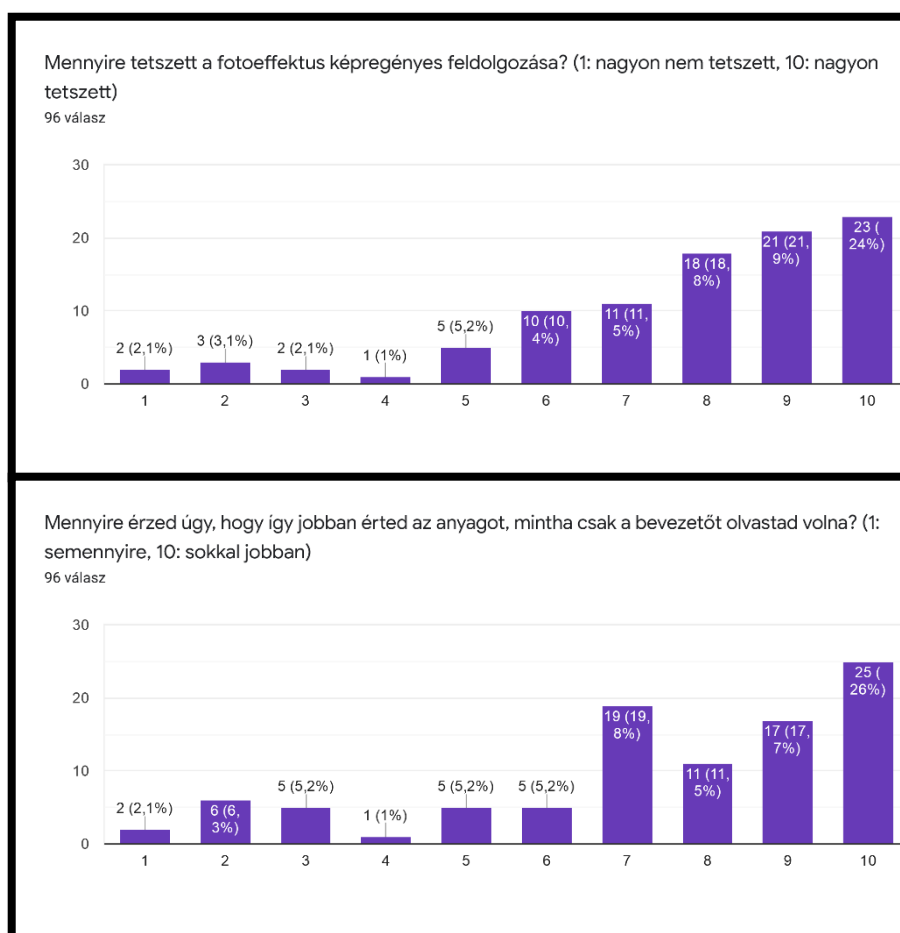
Összeségében a tanórai felhasználását a fotoeffektusról szóló képregénynek minden évfolyamon sikeresnek tartom. A modern fizikai témájú képregények egyértelműen a tizenegyedik évfolyam esetében tűntek a leghasznosabbnak, ugyanakkor a tizedik évfolyamon is nagy fokú hatékonysággal sikerült használni. Elgondolkodtató, hogy hasonló eredményeket kapnánk-e akkor is, ha a tizedik évfolyam egy a tananyagukba vágó képregényt kap kézhez, változna-e akkor a jó válaszok száma és aránya vagy a képregény hasznossága.

8. VISSZAJELZÉSEK

A 7. fejezetben láthattuk, hogy a fotoeffektus fizika órán történő alkalmazása milyen eredménnyel zárult. Azonban fontos, hogy a képregényes oktatás hasznosságát ne csak a pusztá eredmények alapján ítéljük meg, hanem a kérdőívet kitöltő diákok és fizikatanáraik szubjektív és/vagy objektív véleményeit vegyük figyelembe. A továbbiakban ennek a vizsgálatnak az eredményét ismertetem.

8.1. TANULÓI VISSZAJELZÉS

A tanulói visszajelzést a fentebb ismertetett kérdőív végén helyeztem el, ennél fogva minden kitöltőtől kaptam visszajelzést a tesztel kapcsolatban. Itt arra voltam kíváncsi, hogy mennyire tetszett a képregényes oktatás, illetve, hogy saját maguk mennyire érzik úgy, hogy a képregénynek köszönhetően jobban értik a fotoeffektust. Az értékelést egy 10 fokozatú skálán kértem. A kapott válaszok átlagát az alábbi grafikonok foglalják össze:



8.1. Ábra: Tanulói visszajelzésként adott válaszok

Az első grafikonról egyértelműen leolvasható, hogy a gyerekek többségének tetszett a képregényes módszer, illetve a második grafikon alapján elmondhatjuk, hogy a többséget a megértésben is segítette. Itt fontos feleleveníteni, hogy mi is volt a képregény célja: olyan módon segíteni a megértést, hogy azt a diák is élvezze, így megőrizve a motivációját. A tanulói visszajelzés alapján kijelenthető, hogy ez egyértelműen teljesül!

Érdemes megnézni a visszajelzések esetén is a válaszok osztályok szerinti megoszlását. A válaszként megadott értékek átlagát az alábbi táblázat foglalja össze. A táblázat tartalmazza a már tárgyalt bevezető megértésére irányuló adatokat is a jobb összehasonlíthatóság érdekében.

	<u>10. osztály</u>	<u>11. osztály</u>	<u>12. osztály</u>	<u>Együtt</u>
<u>Mennyire tetszett?</u>	7,97	7,81	8,03	7,94
<u>Mennyire érted jobban?</u>	7,33	8,35	7,07	7,59
<u>Mennyire értetted a bevezetőt?</u>	5,03	4,71	7,55	5,71

8.2. Ábra: A tanulói visszajelzés osztályok szerinti megoszlása

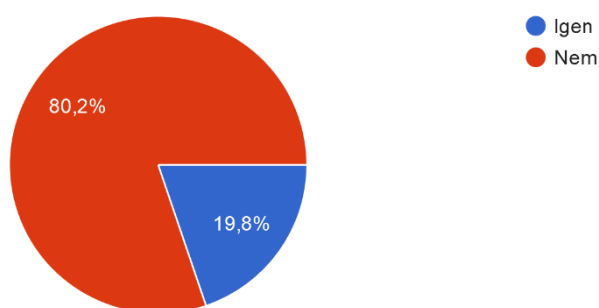
A képregényes módszer kedveltségét kutató kérdésre jó közelítéssel hasonló válaszok születtek, az egyes osztályok eredményének az átlagtól és egymástól való eltérése nem nagy. Azonban kiemelendő, hogy így is a tizenkettedik évfolyam értéke a legnagyobb. Tehát annak ellenére, hogy az ő esetükben a módszer jóval kevésbé hatékony²⁵, az alkalmazás indokolt lehet a tanulók képregényre irányuló igénye miatt.

A táblázat második sorát vizsgálva megfigyelhető, hogy a tizedik osztály által adott értékelések átlaga láthatóan alacsonyabb az összes osztály átlagánál. Ez nem meglepő, a kiértékelte válaszokkal összhangban van, miszerint a tizedik évfolyamnak arányaiban nézve kevesebb jó válasza van, mint a másik kettőnek. Hasonlóan a tizenkettedik évfolyam esetében is jóval alacsonyabb értékelések születtek, azonban itt a magyarázat az előzőtől teljesen eltérő: ők már a bevezető alapján jól (7,55) megértették a jelenséget, így nem is tudják jobban megérteni a képregény által. Ezt támasztja alá a tizenkettedikesek körében született több 1-10-es osztályzatpárosítás a táblázat második és harmadik kérdésére. Végül a tizenegyedik

²⁵ 7. fejezet tanulsága alapján

évfolyam értékeit megnézve megállapíthatjuk, hogy habár nem sokkal, de nekik tetszett legkevésbé a módszer, mégis náluk érte el a legnagyobb eredményt is. Az önreflexió alapján 3,64 ponttal jobban értik a képregény elolvasása után, mint előtte. Ez szerencsére szintén összhangban van a kiértékelt válaszokkal és megerősíti azt a feltevést, hogy a képregényhasználat a tizenegyedik évfolyam esetében a leghatékonyabb.

A kérdőívet egy rövid közvéleménykutatással zártam, melyben arra voltam kíváncsi, hogy a megkérdezett tanulók valamilyen tanítási órán találkoztak-e már képregényekkel és ha igen, milyen órán. A kördiagramról leolvasható, hogy a diákok jelentős része még semmilyen



8.3. Ábra: Találkoztál-e már képregénnyel tanórán?

órán nem találkozott képregényekkel, ami módszer újszerűségét is bizonyítja. Az igenlő választ adó diákok több mint a fele idegennyelvórán látott képregényt, de emellett említették még a matekot, irodalmat, történelmet és a filozófiát is. Egyetlen kitöltő említette a fizikaórát, aki közvetetten meg is erősített abban, hogy a képregények ténylegesen emelik az óra színvonalát („*Fizikán és matekon, de csak nagyon ritkán, viszont csak jobb lett tőle.*”).

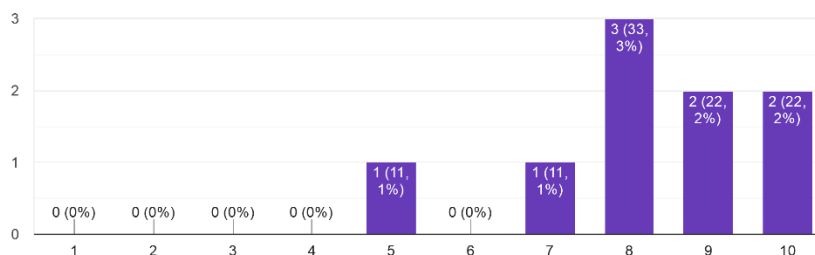
8.2. TANÁRI VISSZAJELZÉS

A tanári visszajelzést szintén Google Kérdőív formájában gyűjtöttem be, melyet összesen kilenc tanár kolléga²⁶ töltött ki. Habár a kitöltők alacsony létszáma korántsem teszi reprezentatívvá a felmérést, de támpontot adhat a további gondolkodáshoz és munkához.

A kérdőívben először arra voltam kíváncsi, hogy a kitöltők szerint a képregények felhasználása a modern fizika tanításában mennyire lehetne sikeres. Ennél a pontozást egy 1-10-ig terjedő skálán kértem. A kérdésre jött válaszokat az alábbi hisztogram foglalja össze.

²⁶ A Brenner János Gimnázium és a Pannonhalmi Bencés Gimnázium fizikatanárai, illetve a szintén fizikatanár nagynéném

Mennyire lehetne sikeres Ön szerint a példához hasonló képregények felhasználása a modern fizika tanításában?
9 válasz



8.4. Ábra: A tanárok visszajelzése a módszer várható sikerességét illetően

Egyértelműen leolvasható, hogy a tanárok szerint a képregények felhasználása ténylegesen hasznos lehet a modern fizika tanításában, illetve a következő kérdésre adott válaszokból kiderült, hogy a kilencből hét tanár fel is használná egyből, míg ketten talán használnák. Legtöbben házi feladatnak adnák fel (5) vagy órai csoportos témafeldolgozásra adnák ki (4), de két-két szavazat érkezett az órai frontális oktatásban történő felhasználásra és az órai egyéni témafeldolgozásra is. Ezen felül egy szavazatot kapott a szorgalmi feladatként történő kiadása a képregénynek, ami azt mutatja, hogy a tanárok, ha felhasználnák, akkor a diákok számára kötelezővé tennék a foglalkozást vele. Egyéb lehetőségként egy kolléga beírta az online oktatást is, amit önhibából sajnos kifelejtettem a válasz-listából, viszont több mint valószínűnek tartom, hogy kapott volna még szavazatokat.

Végül a kérdőív utolsó részében, amennyiben éltek vele, szöveges visszajelzést is tehettek a kitöltők. Ezek a visszajelzések kivétel nélkül támogatták az ötletet, volt olyan, aki csak röviden leírta, hogy „Nagyon tetszik az ötlet!”, de voltak hosszabb visszajelzések is, melyek a további képregények készítésére hasznos tapasztalatokkal szolgáltak.

„Nyilván nem minden órán használnám. Bár az is jó projektnek tűnik, hogy vki az egész 20. századot, középiskolás fokon megrajzolja. Másrészt, konkrétan kicsit hirtelen van ebben a magyarázat. Hogy más "színű" fénnel próbálkozzon, az nem annyira hangsúlyos.”

„Az online oktatásban (és házi feladatok készítése során) a tapasztalatok szerint ilyen rövid, tömör, lényegre törő, viszont a diákok nyelvén íródó, figyelemfelkeltő oktatóanyagok használhatók elsősorban, a hosszabb, "tankönyv szagú" dokumentumokat el sem olvassák a diákok, a hosszú videókat is csak kevés tanuló nézi meg.”

9. SZEMÉLYES ÉLMÉNYEK, KITEKINTÉS

A dolgozat megszületése meglehetősen esetlegesen indult, mivel annak ellenére, hogy szerettem volna indulni, megfelelő téma híján már-már letettem a nevezésről. A lehető legjobbkor jött a Károlyházy Frigyes Fizikatanári Problémamegoldó Verseny, amin indulva összetalálkoztam Träger Magdolna tanárnő feladatával, melyben egy fizikai témájú képregényt kellett készíteni. A feladat nagyon megtetszett, így nyújtottam is be hozzá megoldást, mely eljutott Tél Tamás tanáruhoz. Végül az ő javaslata nyomán választottam a „képregények felhasználását a modern fizika oktatásában” témát kutatásom tárgyköréül. Miközben gondolkodtam döbbsentem rá csak igazán, hogy ehhez személyesen is ezer szállal kötődök. Egyrésztől kisgyerekkorom óta a képregények nagy rajongója vagyok, másrészt a fizikát is képregényes ismeretterjesztő könyveknek köszönhetően szerettem meg. Egyszerűen ez a műfaj az egyik legalkalmasabb arra, hogy az olykor szárazabb tananyagot élvezhetővé és szórakoztatóvá varázsolja, illetve, hogy a legnehezebb témaköröket is emészthetővé tegye. Végeredményében félig-meddig komolytalanul mondhatjuk, hogy a fizikai témájú képregényeknek köszönhetően tanulok most fizikatanárnak és nem gyógyszerésznek.

A dolgozat megírása személyes jellege miatt nagyon élvezetes, de ezzel együtt tanulságos és izgalmas is volt. Nehézségek természetesen adódtak, melyek főleg a koronavírusnak voltak betudhatóak: Mivel az eredeti terveket a képregény kipróbálását illetően a járványhelyzet teljesen ellehetetlenítette, több utolsó pillanatban történő újraszervezés is szükségessé vált. Azonban enélkül valószínűleg nem tudtam volna rádöbbseni, hogy a képregények nem csak a klasszikus tantermi oktatásban működhetnek, hanem az online oktatásban is. Itthon édesanyámon és húgomon keresztül tapasztalom, hogy a diákokat otthoni környezetben rendkívül nehéz rábírsni a munkára, de még csak az órákon való odafigyelésre is alig. Ilyen helyzetben lennének nagyon jól bevethetőek a képregények, hiszen a legtöbbször már csak kíváncsiságból is elolvasnák.

Jelen dolgozatnak a tudományos jellegén túl nagyon fontos célja volt, hogy ténylegesen használható legyen, a téma iránt érdeklődő fizikatanárok egyfajta útmutatóként is fel tudják használni a képregénykészítéshez. Hiszen végső soron a dolgozat legnagyobb eredménye az lenne, ha az ötletéről tudomást szerezve egyre több magyar fizika (de akár más tantárgyat oktató) tanár fel is használná az óráin.

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet szeretnék mondani témavezetőimnek Träger Magdolna tanárnőnek és Tél Tamás tanárúrnak a rengeteg hasznos tanácsért és az állandó támogatásért, amit tőlük kaptam.

Emellett

- édesanyámnak, Nagy Erzsébet kémia szakos tanárnőnek, aki leszervezte a képregény kipróbálását a Brenner János Gimnáziumban.
- nagynénémnek, Ernyey Krisztina fizika-matek szakos tanárnőnek, aki több hasznos ötlettel segítette a gondolkodást.
- Juhász-Laczik Albin OSB-nek a Pannonhalmi Bencés Gimnázium igazgatójának, hogy engedélyezte a képregények tanórákra történő bevitelét.
- Gojsza Mónika, Hirka Antal OSB, Drozdík Attila és Barcza István fizikatanároknak, hogy a saját tanórájuk keretein belül kipróbálták.
- Bódis Dávid hallgatótársamnak, aki átolvasta a dolgozatot, és javaslatokat tett a dolgozat egészét illetően.
- a tanári kérdőívet kitöltő fizikatanár kollégáknak a hasznos visszajelzésért.
- végül a Brenner János Gimnázium 10.N, 10.M, 12.N osztályainak, illetve a Pannonhalmi Bencés Gimnázium 11. és 12. évfolyamának, hogy komolyan vették a feladatot és a dolgozat megszületését értékes kutatási eredményekkel tették lehetővé.

11. IRODALOMJEGYZÉK

Könyv:

Budó Ágoston 1985. *Kísérleti fizika III. kötet (optika és atomfizika)*. Tankönyvkiadó. Budapest.

Budó Ágoston 1997. *Kísérleti fizika I. kötet (mechanika, hangtan, hőtan)*. Nemzeti Tankönyvkiadó Rt. Szeged. 23.

J.P. McEvoy, Oscar Zárate 1992. *Introducing Quantum Theory: A Graphic Guide*. Icon Books Ltd. London.

Jean-Pierre Petit 1981. *Le trou noir (Les Aventures d'Anselme Lanturlu)*. Editions Belin. Párizs.

Jean-Pierre Petit 1991. *Minden relatív*. Gondolat. Budapest.

Nick Arnold 2001. *Rázós elektromosság*. Egmont. Budapest.

Vassy Zoltán 1997. *Schrödingerék macskája és más történetek*. Élet és Tudomány Egyesület. Budapest.

Z. Sardar, I. Abrams 2003. *Káoszelmélet másképp*. Edge 2000 Kft. Budapest.

Folyóiratcikk:

Abonyi Iván 1991/3. *Minden relatív - avagy pillantás egy fordítói műhelybe*. Természet Világa. 134–135.

Internetes forrás:

<https://www.ponticulus.hu/rovatok/hidverok/terido.html> (2020. 11. 17.)

<https://physicscentral.com/explore/comics/> (2020. 11. 18.)

<http://alice.kfki.hu/fizika/erdekesssegek> (2020. 11. 18.)

<https://xkcd.com/> (2020. 11. 18.)

<http://plasq.com/apps/comiclife/macwin/> (2020. 11. 18.)

<http://stripgenerator.com/strip/create/> (2020. 11. 18.)

<https://www.youtube.com/watch?v=HE4aAQCghGs> (2020. 11. 21.)

<https://www.youtube.com/watch?v=DidZiFDgSOM> (2020. 11. 17.)

<https://atomium.be/Home/Index> (2020. 11. 15.)

<https://www.kozterkep.hu/7861/atommag> (2020. 11. 15.)