

EXOBOLYGÓK: EGY TANULÓI KÍSÉRLET

Schnider Dorottya – Budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, ELTE TTK Anyagfizikai Tanszék
Hömöstrei Mihály – Budapesti Német Iskola, ELTE TTK Anyagfizikai Tanszék

Exobolygók és exobolygó-kutatás? A Naprendszeren kívüli bolygókkal a legtöbb tanterv nem foglalkozik, ugyanakkor az exobolygó-kutatás módszerei néhány fizikaérettségi feladat kapcsán a középiskolai fizika-oktatásban is előkerültek már. Nem csoda, hiszen az exobolygó-kutatás napjaink csillagászatának egyik sikeres, modern és fejlődő területe, amivel bátran foglalkozhatunk akár fizikaórán is.

Bevezetés, célkitűzések

A fizikaoktatás terén szükséges a módszertani paletta szélesítése annak érdekében, hogy a megváltozott feltételek mellett – változó tudáskonceptió, új kerettantervi követelmények, Z generációs diákjaink igényei – is eredményesek lehessünk, és megfelelő módszerek alkalmazásával biztosítsuk diákjaink számára az eddigiekhez hasonlóan színvonalas munkavégzést, a megfelelő mélységű tudás megszerzését, a fejlődés lehetőségét és a sikerélményt. Mindehhez a korábban alkalmazott módszerek fejlesztése, új módszerek kidolgozása és tesztelése szükséges. Az általunk kidolgozott, Arduinóval támogatott tanulói kísérletezés lehetőséget ad arra, hogy a tanulóktól elvárt tudást meghatározott követelmények mentén fogalmazzuk meg, teljesítményüket adott fizikai kompetenciaele-

A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.



Schnider Dorottya 2020-ban végzett az ELTE-n angol nyelv és kultúra – fizika szakos tanárként. 2019 szeptembere óta a Budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium fizikatanára. A diploma megszerzését követően felvételt nyert az ELTE Fizika Doktori Iskola Fizika Tanítási Programba, ahol a mechanika interdiszciplináris tanításának és a tanulói kísérletek fejlesztési lehetőségeit vizsgálja.



Hömöstrei Mihály 2006-ban végzett az ELTE fizikatanári szakán. 2014 óta a magyar IYPT csapat felkészítő csapatának tagja, 2016 óta az ELTE Anyagfizikai Tanszékén tanít szakdidaktikai tantárgyakat, 2018 óta a Budapesti Német Iskola fizikatanára. MOL Mester-M (2010) és Ericsson-díj (2020) birtokosa.

mek – például: jelenségek önálló leírása, értelmezése, illetve magyarázata, becslés, tervezés, számítások elvégzése, hipotézisállítás, grafikonok készítése és értelmezése – alapján értékeljük, és ezen fejlesztendő készségek – különböző operátorok – figyelembevételével mellett tervezzük óráinkat [1, 2].

Célunk, hogy egy olyan általunk készített és tesztelt órai anyagokat mutassunk be, amely kiemeli a kísérletezés fontosságát. Az általunk használt módszer lényege, hogy gyakorlatorientált módon, a diákok önálló tevékenységeik – csoportmunkában szervezett tanulói kísérletek és mérések – során mélyítik el a korábban megszerzett ismereteiket.

Írásunkban bemutatunk egy általunk hasznosnak tartott eszközt, valamint annak órai alkalmazásához módszertani segítséget kínálunk – egy projekt leírásával – a gyakorló fizikatanár-kollégák számára.

Az általunk véghez vitt, Arduinóval [3] támogatott fizikaórai projekt a diákok frontális tanórákon megszerzett ismereteit segíti elmélyíteni, miközben a szociális és digitális kompetenciák mellett tudatosan hangsúlyt fektet olyan szakmai készségek fejlesztésére, mint a *becslés, kiértékelés, elemzés, tervezés*.

A projekt bemutatása

Részvevők

A projektet a Budapesti Fazekas Mihály Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium 9. évfolyamán végeztük a 2020/2021-es tanévben. Annak érdekében, hogy az általunk alkalmazott gyakorlatorientált, cselekvésközpontú módszer – csoportmunkában szervezett, Arduinóval történő modellezés – egyes kompetenciaelemek fejlődésére gyakorolt hatását vizsgálni tudjuk, teszt- és kontrollcsoport mellett végeztünk kutatást. A tesztcsoportot (16 fő) a gimnázium természettudományos tagozatának (9.B) emelt szintű csoportját alkotó diákok, a kontrollcsoportot a speciális matematika tagozatos 9.C-sek adták 35 fővel. Mindkét csoport fizikatanára *Schnider Dorottya*.

Módszerek

A vizsgálat első lépéseként a diákokkal előzetes tudásfelmérőt írtunk, amelybe a korábbi évek grafikus és elemző típusú érettségi feladatai közül válogattunk. A feladatok minden előzetes elméleti ismeret nélkül, logikus gondolkodás, táblázat- és grafikon-elemzés segítségével megoldhatók voltak. Az *1. ábra* a tudásfelmérő egyik feladatát mutatja be, amely az exobolygó-detektálás tranzitmódszerére [5] épül. A feladat leírása segíti a lényegi megértést, emellett a

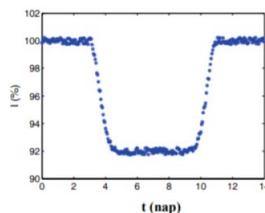
Az exobolygók (azaz a mi Naprendszerünkön kívüli bolygók) egy része olyan pályán kering a csillagja körül, hogy a Földről nézve áthalad a csillag előtt. Egy exobolygó kutatási módszer a tranzit (fotometriai) módszer, amelynek alapja a csillag fényintenzitásának mérése. Az alábbi grafikonon egy tipikus mérési görbét mutat, amelyen a csillag fényintenzitásának százalékos csökkenése van feltüntetve.

a) Miért csökken a csillag fényintenzitása?

b) Körülbelül mennyi idő alatt haladt át a bolygó a csillag előtt? Válaszodat indokold!

b) Mit mondhatunk a görbe alapján a csillag és a körülötte keringő bolygó átmérőjének viszonyáról (arányáról)? (A fényintenzitás területtel arányos.)

1. ábra. A tudásfelmérő egyik elemző feladata – 2011. május, középszintű érettségi [4].



A teszt- és a kontrollcsoport diákjai ugyanazt, a következőkben bemutatott elméleti alapoást kapták, frontális szervezési módban, tanári előadás-magyarázat során.

A Kepler-törvények és a Newton-féle gravitációs erő törvény

A Kepler-törvények és a Newton-féle gravitációs erő törvény összekapcsolása fizika-történeti szempontból is je-

mellékelt grafikon alapján egyszerűen megválaszolható a kérdések. A grafikus feladat megfelelően előkészíti a felmérő utolsó feladatát, amely egy mérés megtervezését kéri a tanulóktól. „Tervezz meg egy fizikaórai kísérletet, amely az exobolygók kutatásához használt módszert modellezi!

A tesztet követően a 2020/2021-es tanév nyári szünet előtti utolsó néhány óráján a diákok frontális osztálymunka keretei között ismerhették meg a Kepler-törvényeket, a Newton-féle gravitációs erő törvényt, a törvények közötti kapcsolatokat, valamint az exobolygó-kutatás módszereit [5]. A gyakorló fázis során következett az ismeretek rögzítése és elmélyítése. A tesztcsoport diákjai Arduinoval támogatott méréseket végeztek, megfelelő tanári koordinálás mellett tanórai keretek között modellezték az exobolygó-kutatás fotometriai (tranzit-) módszerét. A matematikagazdátos osztály – kontrollcsoport – számára a gyakorlást a számolási feladatok megoldása jelentette. Esetükben az érettségiken megjelenő feladatok megoldása nem jelent kihívást. Érezhetően az exobolygókkal kapcsolatos, gravitációs erő törvényre és Kepler-törvényekre alapozó érettségi feladatok nem hozták lázba a kontrollcsoport tagjait, őket inkább a nehezebb, problémaközpontú feladatok motiválják.

A témakör végén a diákok témazáró dolgozatot – utótesztet – írtak. Az eredményeket statisztikai hipotézisvizsgálati módszerek segítségével elemeztük ki (lásd *Eredmények*).

Elméleti alapok

Mikor érdemes exobolygó-kutatással foglalkozni egy középiskolai fizikaórán? A 2020-as kerettanterv [6] 14 órában javasolja feldolgozni a *Világegyetem megismerése* című témakört. Tanulási eredményként megjelöli – többek között – az általános tömegvonzás törvényét, a Kepler-törvényeket, a mesterséges égitestek vizsgálatát, a kozmikus sebességek jelentésének megértését stb. Javasolt tevékenységek között szerepel az exobolygók adatainak áttekintése is. Mi mindezt összekapcsoltuk, és egy kéthetes – 4-5 fizikaórát felölelő – projekt keretein belül tanítottuk meg diákjainknak az elvárt ismereteket.

lentős. *Johannes Kepler*, aki a kopernikuszi elmélet híve volt, törvényeit *Tycho de Brahe* mérései alapján dolgozta ki. Kepler 1600-ban lett II. Rudolf udvari csillagásza, Brahe segédje. Brahe jó megfigyelő volt, Kepler viszont nagyszerű matematikus, akit rövidlátása gátolt a pontos megfigyelésekben. Brahe halála után Kepler – felhasználva a megfigyelési adatokat – kimutatta, hogy a Mars pályája ellipszis, amelynek egyik gyújtópontjában a Nap áll. Tycho de Brahe mérési sorozata alkalmas arra, hogy megadja a bolygók pályamenti sebességeit. A bolygók a Nap közelében gyorsabban mozognak, mint naptávolban. Kepler kereste a bolygók mozgásának okát, rájött, hogy a bolygómozgás a Nappal kapcsolatos, a sebesség a Naptól való távolság növekedésével csökken. 1619-ben Kepler leírja a bolygók keringési időinek és a Naptól való közép távolságuk kapcsolatát [7].

A Kepler-törvények [8]:

1. A bolygók ellipszispályán¹ keringenek a Nap körül, amelynek egyik fókuszpontjában a Nap áll.

2. A Naptól a bolygóhoz húzott vezérsugár egyenlő idő alatt egyenlő területeket sűrol. A területi sebesség állandó. A bolygók napközben gyorsabban, naptávolban lassabban haladnak.

3. A Nap körül keringő bolygók keringési idejének négyzete úgy aránylik egymáshoz, mint a Naptól mért közép távolságuk köbe.

A bolygómozgás dinamikai leírása *Isaac Newton* nevéhez fűződik. Közvetlen erő mérésre nem volt lehetősége, így megfigyelésekre és korábbi ismeretekre épített.

Hogyan vezessük be e törvényeket középiskolában? [8]

Tekintsük azt az egyszerű esetet, amelyben a Nap körül keringő bolygó pályáját r sugarú körrel közelítjük. Felhasználva Kepler II. törvényét, ebben az esetben állandó kerületi sebesség jellemzi a bolygót. A körmozgás dinamikája kapcsán a diákok megtanulták, hogy a testet a centripetális irányú eredő erő tartja körpályán, továbbá ismerik a szögsebesség és a

¹Megjegyzés: tapasztalataink alapján a diákok nem ismerik az ellipszist, így a fókuszpont, tengelyek magyarázatra szorulnak. A területi sebesség fogalmának magyarázatához *A fizika tanítása középiskolában* című jegyzet 252. [8] oldalát javasoljuk.

A bolygó felszíni hőmérséklete kelvinben a csillag fényességének (L , luminozítás) és a bolygó csillagtól mért d távolságának függvényében.

$L \setminus d$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2
0,1	361	255	209	181	162	147	136	126	120	114	109	104	100	97	93	90
0,5	540	382	312	270	242	220	204	191	180	171	163	156	150	144	139	135
1	642	454	371	321	287	262	243	227	214	203	194	185	178	172	166	161
1,5	711	503	410	355	318	290	269	251	237	225	214	205	197	190	184	178
2	764	540	441	382	342	312	289	270	255	242	230	220	212	204	197	191
2,5	808	571	466	404	361	330	305	286	269	255	243	233	224	216	209	202
3	845	598	488	423	378	345	319	299	282	267	255	244	234	226	218	211
3,5	878	621	507	439	393	359	332	311	293	278	265	254	244	235	227	220
4	908	642	524	454	406	371	343	321	303	287	274	262	252	243	235	227
4,5	935	661	540	468	418	382	354	331	312	296	282	270	259	250	242	234
5	960	679	554	480	429	392	363	340	320	304	290	277	266	257	248	240
5,5	983	695	568	492	440	402	372	348	328	311	297	284	273	263	254	246
6	1005	711	580	503	450	410	380	355	335	318	303	290	279	269	260	251
6,5	1025	725	592	513	459	419	388	363	342	324	309	296	284	274	265	256
7	1045	739	603	522	467	426	395	369	348	330	315	302	290	279	270	261

A csillag fényessége a Nap fényességéhez viszonyítva, a távolság csillagászati egységben megadva. A hőmérséklet-számítás alapjául szolgáló modell feltételezi, hogy az exobolygó fényvisszaverő képessége és szén-dioxid-koncentrációja a Földével egyező [9].

periódusidő közötti összefüggést. Így a Nap körül állandó pálya menti sebességgel körmozgást végző bolygóra ható erők eredője:

$$\sum F = m a_{cp} = m \omega^2 r = m \frac{(2\pi)^2}{T^2} r. \quad (1)$$

A bolygóra a Nap és a bolygó között fellépő gravitációs erő hat:

$$\sum F = F_{gr}. \quad (2)$$

(2)-t felhasználva, majd az (1) egyenlet mindkét oldalát r^2 -tel megszorozva a következőkre jutunk:

$$F_{gr} r^2 = m 4 \pi^2 \frac{r^3}{T^2}.$$

Kepler III. törvénye szerint T^2/r^3 állandó, ebből következik, hogy adott bolygó esetén a gravitációs erő fordítottan arányos a bolygó Naptól mért távolságának négyzetével.

$$F_{gr} \sim \frac{1}{r^2}.$$

Newton III. törvénye értelmében a gravitációs erőre vonatkozó összefüggésben a bolygó (m) és a Nap (M) tömegének szimmetrikusan kell szerepelnie.

$$F_{gr} \sim \frac{M m}{r^2}. \quad (3)$$

Exobolygók és detektálási módszereik tanítása a középiskolában

Exobolygóknak nevezzük a Naprendszerünkön kívüli bolygókat. Kutatásuk sok szempontból lehet érdekes, többek között választ adhat arra, hogy van-e élet más bolygókon. Az életre utaló jelek akár a csillagközi utazásra is okot adhatnak. Érdekes foglalkoznunk a bolygók lakhatóságának kérdésével. *Lakhatósági zónának* nevezzük a csillag körül azt a tartományt, amelybe eső kőzetbolygó felszínén a víz tartósan megmaradhat cseppfolyós halmazállapotban. Földi körülményekhez hasonló esetben ez alapján egy hőmérséklet-intervallumra következtethetünk. A hőmérséklet 273 K és 373 K között van [9].

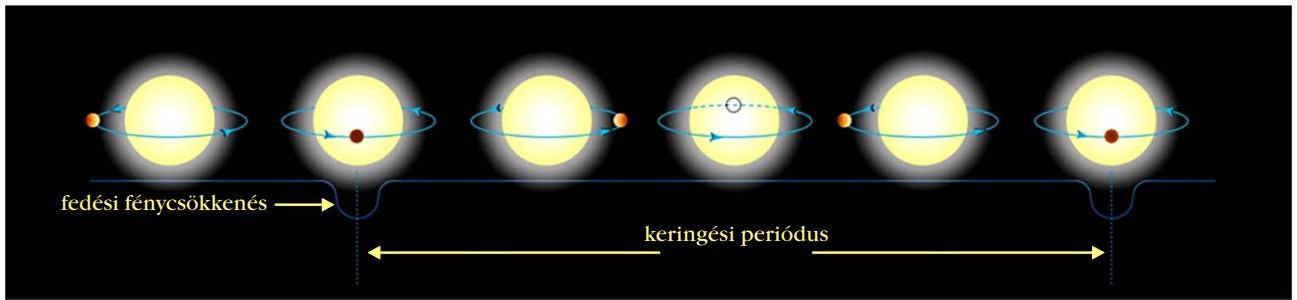
A lakhatóság kapcsán az 1. táblázat diákokkal közösen való elemzését javasoljuk a következő kérdések alapján. A feladat *Gróf Andrea* és *Horváth Zsuzsa* jegyzetéből [9] származik.

1. Melyek azok a hőmérsékletértékek, amelyek esetén lehet lakható a bolygó?

2. Hogyan változik a lakhatósági zóna a csillag energiakibocsátásának növekedésével?

3. Számítsuk ki a Nap ($L = 1$) lakhatósági zónájának területét e modell szerint!

A rövid bevezetés után rátérhetünk az exobolygó-detektálás módszereinek megtárgyalására. Megkülönböztetünk közvetlen és közvetett módszereket. Közvetlen módszer esetén a direkt képalkotás lehetőségét említjük meg, amely a bolygóról érkező fényt – elkülönítve a csillag fénytől – közvetlenül detektálja. A módszer alkalmazása nehéz, a csillag erős fénye miatt



2. ábra. A csillag fényességének periodikus csökkenése a bolygó csillag előtt való elhaladásának következménye [10].

a bolygóról gyenge jelet kapunk. Közvetett módszerek segítségével a bolygó valamilyen hatását tudjuk detektálni úgy, hogy közben a csillagot vizsgáljuk. A közvetett módszerek közé tartozik többek között a radiálissebesség-módszere, a gravitációs-lencse-hatás és a fotometriai (tranzit-) módszer [5]. A továbbiakban az utóbbival foglalkozunk részletesen.

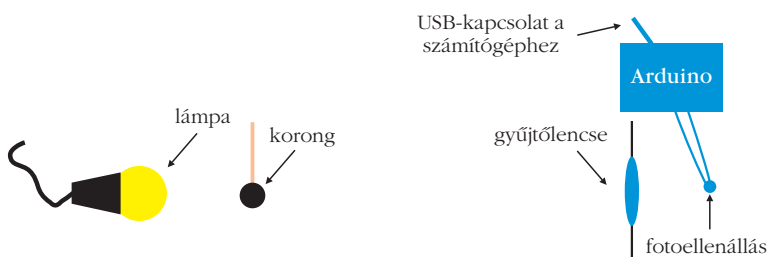
A tranzitmódszer segítségével vizsgálható a csillag előtt áthaladó bolygó keringési ideje, pálya menti sebessége, illetve a bolygó és a csillag méretének arányára is következtethetünk a felvett fénygörbe (a fényesség időbeli változása) alapján. A csillag fényessége csökken abban az esetben, amikor a bolygó áthalad előtte, így a fényességben történő változás periodikus (2. ábra).

Ha egy mérési görbe a csillagfény intenzitását ábrázolja az idő függvényében, könnyen leolvasható a fényintenzitás mértékének csökkenése, a csillag I_{\max} maximális fényintenzitása, valamint a kitakaráskor mérhető I_{\min} intenzitás. A két intenzitásérték arányából következtethetünk az exobolygó méretére [5].

$$\frac{I_{\min}}{I_{\max}} = \frac{R_{\text{csillag}}^2 - R_{\text{bolygó}}^2}{R_{\text{csillag}}^2} \quad (4)$$

A felvett görbe alapján meghatározható a bolygó T keringési ideje, valamint az is, hogy mennyi t ideig

3. ábra. Fotó és sematikus ábra a mérési összeállításról.



tartózkodik teljes egészében a csillag előtt. A csillag d átmérőjének és a grafikonról leolvasott megfelelő időadatok ismeretében számítással becsülhető a bolygó pálya menti sebessége is:

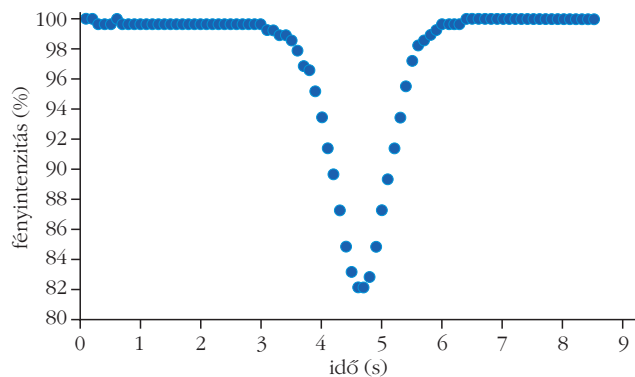
$$v = \frac{d}{t} \quad (5)$$

Mindez a tanórai mérés során felvett grafikonok kiértékelésével is gyakorolható, nem szólva arról, hogy eközben a diákok izgalmas és hatékony órai munkában vehetnek részt.

Gyakorló órák – mérési feladatok

A teszt- és a kontrollcsoport tanulói különböző típusú gyakorlóórákon mélyíthették el a megszerzett ismereteiket. A tesztcsoport esetén a gyakorló fázis elsődleges célja az volt, hogy a diákok a projekt végére képesek legyenek arra, hogy tanórai keretek között modellezzék és alkalmazzák az exobolygó-kutatás tranzitmódszerét. A tanórai kivitelezéshez Arduino-vezérelt fotoellenállást, laptopot, valamint hétköznapi eszközöket alkalmaztunk: LED izzó, kupakok (korongok), gyűjtőlencse (3. ábra).

Ehhez a tanórákra a kimeneti követelmények figyelembevételével állítottuk össze a diákok munkáját vezető és támogató feladatlapot, amely az alapoktól a megfelelő logikai úton keresztül, gyakorló feladatokon át, egészen egy komplex Arduino-mérés kivitelezéséig és kiértékeléséig irányította őket. A feladatlapot a <http://fizika.fazekas.hu> [11] weboldalon közöljük. Célunk az volt, hogy megfelelő tanári koordinálás mellett lehetőség adjunk a diákoknak az önálló – kiscsoportos – gyakorlásra. A feladatlap lehetővé tette, hogy a csoportok a korábban megszerzett elméleti tudás birtokában az első feladattól a feladatok sorrendjében haladva, építve a korábban rögzített ismeretekre, vagy éppen az előző feladat során elvégzett alap mérési feladatra, sikeresen megalkossák a fő mérést, és válaszoljanak az összes kérdésre. Olyan feladatokat írtunk, amelyek egyaránt hozzájárulhatnak a következő szakmai készségek fejlődéséhez: *problémamegoldás, értelmezés, becs-*



4. ábra. Grafikus kiértékelés.

lés, kiértékelés, tervezés. A tesztcsoport tanulói a tanév során korábban már dolgoztak Arduinóval. A kiértékelés során a tesztcsoport tanulói a 4. ábrán bemutatott grafikont vették fel, majd azt elemezve meghatározták a bolygó csillag előtt történő áthaladásának idejét, és következtettek a csillag-bolygó átmérők arányára is. Több keringést vizsgálva meghatározható akár a periódusidő is.

A kontrollcsoport tagjai főként érettségi szintű számolási feladatok megoldásával gyakoroltak, Arduino-alapú méréseket korábban sem végeztek.

Eredmények

A kiértékelés során alkalmazott módszerek

Kutatásunk elsődleges célja az Arduinóval támogatott tanulói mérés bizonyos szakmai kompetenciaelemek fejlődésére és a diákok fizikatudására gyakorolt hatásának vizsgálata volt. A diákok tudásfelmérőn (pre-teszt) és témazárón (post-teszt/utóteszt) elért eredményeit vizsgáltuk, és a JASP² statisztikai elemző program segítségével értékeltük ki. Vizsgálatunk első fázisában a teszt- és kontrollcsoport tudásfelmérőn elért eredményeit hasonlítottuk össze egymással, majd vizsgáltuk az esetleges eltéréseket a témazáró dolgozat egyes feladattípusainak esetén is. Megnéztük, hogy önmagukhoz képest mennyiben fejlődtek a diákok – a számolási feladatok megoldása, magyarázat és értelmezés, valamint tervezés és becslés terén. Az elemzést statisztikai módszerekkel végeztük.³

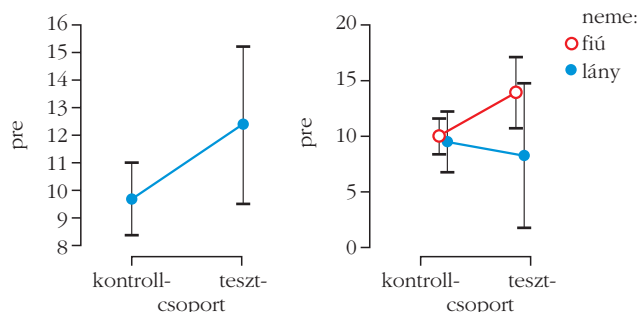
Az előzetes tudásfelmérő eredményei

A diákok előzetes tudásfelmérőn elért eredményei között szignifikáns különbséget észleltünk a tesztcsoport javára. A független mintás t -próba eredménye: $p = 0,042$, a tesztcsoport diákjainak átlagos összpontszáma 12,39 pont – az elérhető összesen 19 pontból – (szórás: 4,74 pont), a kontrollcsoport átlagos pontszáma 9,67 pont (szórás: 3,5 pont). A jelentős különbséget a kísérlettervezést igénylő feladaton megszerzett pontszámok adják, ahol erős szignifikáns különbséget mértünk.⁴ A tesztcsoport a 4 pontot érő feladaton átlagosan 2,69 pontot ért el (szórás: 1,89). A kontrollcsoport ezzel szemben átlagban 0,8 pontot kapott

2. táblázat

A tudásfelmérő (pre-teszt) kimenetelét befolyásoló hatások szerepe – az ANCOVA-teszt eredménye.

paraméter	df	F	p	η_p^2
csoport	1	0,796	0,378	0,020
nem	1	4,415	0,042	0,102



5. ábra. A tudásfelmérő (pre-teszt) eredményei csoport és nem szerinti bontásban.

(szórás: 0,99). A különbségek arra engednek következtetni, hogy csoportmunkában végzett, irányított tanulói mérések segítségével hosszútávon kompetenciafejlődés következik be – a tesztcsoport tanulói a tanév során többször végeztek kis csoportokban digitális eszközökkel támogatott, tanár által koordinált tanulói méréseket. Azaz a két csoport pre-tesztje közötti szignifikáns különbség a tervezési feladaton elért eredmények miatt mutatkozik meg.

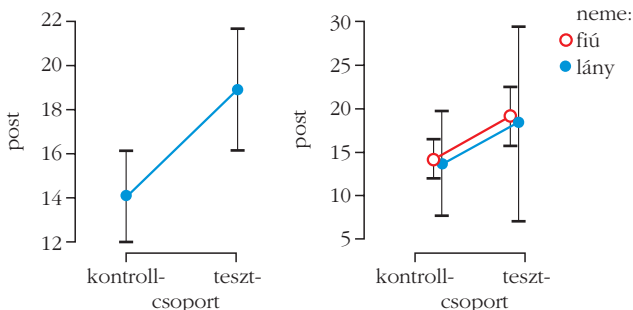
Az ANCOVA-teszt eredménye alapján az teszteredmények alakulására elsősorban a nemnek van szerepe, amelyet a parciális éta-négyzet, $\eta_p^2 = 0,102$ értéke is mutat. Ez azért van, mert a tesztcsoportban 10 fiú és 3 lány van (a 16 főből a tesztek megírásakor 3 diák hiányzott), akik közül a fiúk magasabb pontszámot értek el (2. táblázat).

²<https://jasp-stats.org>

³A Shapiro–Wilk-teszt célja az eloszlás vizsgálata. $p > 0,05$ mellett az eloszlás normálisnak tekinthető [12, 13]. Normális eloszlás esetén Student-féle független mintás t -próba [14] alkalmazható két csoport összehasonlításakor, saját fejlődés vizsgálatokor páros mintás t -próbbal [15] dolgozhatunk. Normáloszlású adatok kiértékelése során f -próbbal [14] vizsgáljuk, hogy jelentkezik-e különbség a vizsgált adatok szórásában. Normális eloszlású, de különböző szórású minták összehasonlítása esetében a statisztikai elemzést – a különböző csoportok összehasonlítását – Welch-próbbal [14] folytatjuk. Nem normális eloszlású minták esetén Mann–Whitney-féle U-tesztet [16] végzünk. $p < 0,05$ esetén szignifikáns különbséget feltételezünk. Adott csoporton belül jelentkező különbségek vizsgálata során Wilcoxon-rangpróbát [16] alkalmazunk a nem normális eloszlású adatok kiértékelésekor. ANCOVA-teszt [17–19] segítségével vizsgáljuk továbbá, hogy az alkalmazott módszeren túl milyen egyéb hatások befolyásolhatták a diákok eredményeit. Számolnunk kell a mérésből származó hibákkal és olyan faktorokkal, amelyek eredetileg nem képezik a kutatásunk célját, azonban van hatásuk az eredmények alakulására. A különböző faktorok hatásait a parciális éta-négyzet – hatásnagyság-mutató – megadásával vizsgáltuk. A parciális éta-négyzetre kapott értékek alapján következtetünk az adott faktor hatásának nagyságára. 0,01: kis hatásnagyság, 0,06: közepes hatásnagyság, 0,14 vagy magasabb: nagy hatásnagyság.

⁴A Welch-próba p értéke 0,004.

paraméter	df	F	p	η_p^2
csoport	1	4,125	0,049	0,098
nem	1	0,162	0,689	0,004
pre-teszt	1	4,855	0,034	0,113



6. ábra. Az utóteszt (témazáró, post-teszt) eredményei csoport és nem szerinti bontásban.

A teszt- és kontrollcsoport közötti különbséget tehát a tesztcsoporthoz tartozó fiúk kiemelkedő pontszáma biztosítja (5. ábra).

A témazáró (utóteszt) eredményei

A két csoport témazáró eredményeinek összehasonlítása

A továbbiakban a diákok témazáró dolgozatán elért eredményeinek kiértékelését közöljük. Független mintás *t*-próba alkalmazásával összehasonlítottuk a teszt- és a kontrollcsoport témazáró dolgozatán elért eredményeit. Az adatok normális eloszlást követnek.⁵ A *t*-próba eredménye ($p = 0,008$) alapján a tesztcsoporthoz tartozók szignifikánsan jobban teljesítettek az utóteszten (a tesztcsoporthoz tartozók átlagos pontszáma: 18,92, szórás: 4,58 – a kontrollcsoport átlagos pontszáma: 14,1, szórás: 5,47).

A 3. táblázat bemutatja, hogy a csoport hatása (parciális éta-négyzet értéke 0,098: közepes) mellett figyelembe kell vennünk a tudásfelmérő szerepét is, amelynek esetén a parciális éta-négyzet értéke 0,113, közepes. Eszerint a pre-teszten jól teljesítők az utóteszten is eredményesen szerepeltek. Az ANCOVA-teszt továbbá a lányok esetében jelez fejlődést, hiszen a nem hatása az utóteszt eredményében már nem szignifikáns, illetve gyenge (6. ábra).

Ezek alapján arra következtethetünk, hogy ugyan a fiúk rendelkeztek előzetes tudással a témában – feltehetően a csillagászat jobban vonzza a fiúkat, szabadidejükben is foglalkoznak a témával –, a lányok esetében az órán alkalmazott módszer különösen hatékony volt.

A két csoport kompetenciáinak összehasonlítása

Ahogy korábban bemutattuk, mind a pre-teszten, mind pedig az utóteszten szignifikánsan jobban teljesítettek a tesztcsoporthoz tartozók. Felmerül a kérdés, hogy az utóteszten való pozitív irányú eltérést az alkalmazott

paraméter	df	F	p	η_p^2
csoport	1	6,220	0,017	0,135
pre-teszt	1	0,098	0,756	0,020

módszer hatása eredményezi-e, vagy egyszerűen a tesztcsoporthoz tartozók szignifikánsan tájékozottabbak a vizsgált témában. A kérdés megválaszolásában a különböző faktorok hatásának figyelembevétele, azaz az ANCOVA-teszt használata volt segítségünkre. A témazáró dolgozatot feladattípusonként elemeztük, az egyes feladatokhoz kompetenciaelemeket – számolási feladat megoldása, elemzés és értelmezés, magyarázat és indoklás, becslés és tervezés – rendeltünk, majd ezekre végeztünk összehasonlítást a két csoport között.

A 4. táblázat mutatja, hogy a két csoport magyarázó-indokló kompetenciájának szignifikáns különbsége az adott csoporthoz való tartozáson múlik, és a pre-teszt eredményeitől nem függ. A többi kompetencia esetén hasonló nem tapasztaltunk, a tesztcsoporthoz tartozók eleve jobbnak bizonyultak a kontrollcsoport tanulóihoz. A módszer tehát hozzájárul a jelenségek megértéséhez, szerepet játszik a tudás elmélyítésében, ezzel hozzájárul a jelenségek pontos és szakszerű leírásához.

Saját fejlődés adott csoporton belül

Megvizsgáltuk, hogy a diákok önmagukhoz képest mennyiben fejlődtek a projekt során. A pre- és post-teszt összeredményét adott csoporton belül összehasonlítva nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget,⁶ így megvizsgáltuk kompetenciaelemekre való bontásban is. A tudásfelmérő és a témazáró egyes feladattípusaihoz kompetenciákat – magyarázat-értelmezés-indoklás, számolási feladatok megoldása és becslés-tervezés – rendeltünk, majd vizsgáltuk, hogy a másodszori mérés jelez-e szignifikáns különbséget. Az egyes felmérők különböző számú és szövegű feladatokat tartalmaztak, így emiatt volt szükség az újabb kompetenciabesorolásra. Az eredményeket a 5. táblázatban közöljük. A tesztcsoporthoz tartozók esetében szignifikáns romlást tapasztaltunk a számolási feladatok megoldásában. Ők a gyakorló fázis során főként elemző-értelmező feladatokkal és mérési problémákkal találkoztak, direkt jellegű számolási példák nem kerültek elő. Ezzel szemben a kontrollcsoportot alkotó diákok bőven megoldhattak számolási feladatokat, míg elemző-értelmező, indoklás és magyarázatot igénylő példákat jóval kisebb számban gyakoroltak. Ahogy az eredményeik is mutatják, náluk e kompetenciaterületen romlás következett be. Fejlődés mutatkozott azonban a kontrollcsoport becslési-

⁵Shapiro-Wilk-teszt eredményei – tesztcsoporthoz tartozók: $p = 0,769$ és kontrollcsoport: $p = 0,437$.

⁶Páros *t*-próba eredménye – tesztcsoporthoz tartozók: $p = 0,054$ és kontrollcsoport: $p = 0,171$.

A diákok önmagukhoz mért fejlődése kompetenciaelemek szerinti bontásban.

csoporthoz	szakmai kompetencia	próba	<i>p</i> érték	Van szignifikáns eltérés?	pre-teszt átlaga (szórása) %	utóteszt átlaga (szórása) %
teszt	magyarázat–értelmezés–indoklás	páros <i>t</i> -próba	0,563	nincs	60,77 (26,91)	65,59 (13,00)
	számolási feladatok megoldása	Wilcoxon-próba	0,039	van – romlás	70,77 (23,97)	46,15 (30,97)
	becslés–tervezés	Wilcoxon-próba	0,759	nincs	67,31 (47,2)	64,83 (31,74)
kontroll	magyarázat–elemzés–indoklás	páros <i>t</i> -próba	0,027	van – romlás	58,67 (26,62)	40,67 (31,29)
	számolási feladatok megoldása	páros <i>t</i> -próba	0,059	nincs	60,00 (21,01)	51,75 (18,70)
	becslés–tervezés	Wilcoxon-próba	0,003	van – fejlődés	16,00 (19,93)	31,91 (25,63)

tervezési készségeiben. A megszerzett ismeretek – lexikális tudás – alapján a kontrollcsoport tanulóinak jelentős része képes volt az exobolygó-kutatás fotometriai módszeréhez kapcsolódó mérési elrendezés megtervezésére. A tesztcsoport tanulói magyarázat–értelmezés–indoklás, illetve becslés–tervezés téren már a pre-teszten fejlettnak bizonyultak, a néhány alkalmas projekt ezen nem változtatott.

Következtetések, összegzés

Tanulmányunkban egy modern felfogásban megvalósult fizikaórai projektet mutattunk be, és vizsgáltuk az Arduinóval támogatott tanulói mérés kompetenciafejlesztő hatását. A mérés időtartama a hagyományoshoz képest jóval lerövidül, az adatokat pillanatok alatt megjeleníthetjük és elemezhetjük. Az így felszabadult időben mindenképpen fontos a megfelelő alapok átadása, a mérés előkészítése. A projekt során diákjainknak egy feladatlapot állítottunk össze, amely irányított kérdéseken keresztül vezette a tanulókat a munkafolyamaton keresztül, az alapoktól, a gyakorló és értelmező (indoklást és magyarázatot igénylő) feladatokon át egészen az összetett exobolygó-kutatás-modellézési feladat megvalósításáig. A feladatok és kérdések sorrendjét oly módon választottuk meg, hogy azok logikus módon segítsék a tudás épülését és elmélyítését, a sikeres tudásszerveződést. Sok elemző és magyarázatot-indoklást igénylő feladatot adtunk fel, így a folyamatos teszteléssel igyekeztünk elérni azt, hogy a diákok megfelelő minőségben sajátítsák el a szükséges ismereteket. Kontrollcsoportunk diákjai frontális szervezési módban megvalósult órákon ismerkedhettek meg az exobolygókkal, és elsősorban számolási feladatok gyakorlásával mélyíthették el tudásukat. Projektünk lezárásaként a diákokkal íratott témazáró dolgozat (utóteszt) eredményei azt mutatják, hogy a tesztcsoport diákjainak egyes szakmai készségei magasak, emellett a projektben a lányok fejlődésének mértéke jelentős. Azok a tanulók, akik a tanév során többször vettek részt Arduino-alapú

fizikaórákon, és az eszköz segítségével gyakran végeztek tanulói méréseket, már a tudásfelmérőn jobban teljesítettek a becslést és tervezést igénylő feladatokon. A tevékenység-alapú módszer tehát hozzájárulhat a sikerélmény megéléséhez, továbbá kompetenciafejlesztő szerepe is jelentős.

Láthatjuk, hogy megfelelő módszerek megválasztásával még az exobolygók detektálásának tanítása is belefér az órakeretbe. Megéri a hagyományos módszerek mellett modern technikákat és ötleteket alkalmaznunk.

Irodalom

- https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Bildung/Auslandsschulwesen/Kerncurriculum/Auslandsschulwesen-Operatoren-Naturwissenschaften-02-2013.pdf?fbclid=IwARlivEjaSQjo-fVjmORl0qVswNYBvskFEqODIDEL_V84ry9SOIoQoM2UIi4 (utolsó letöltés: 2021. 12. 18.)
- https://wayne.edu/assessment/files/bloom_s_handout_colored_pyramid.pdf (utolsó letöltés: 2021. 12. 15.)
- <https://www.arduino.cc/> (utolsó letöltés dátuma: 2021. 11. 28.)
- Fizika közép szintű érettségi, 2011. május: https://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktatas/erettsegi/feladatok2011tavasz/k_fiz_11maj_fl.pdf (utolsó letöltés: 2021. 11. 28.)
- Virág D.: *A Doppler-erősítés*. Szakdolgozat, Szegedi Tudományegyetem (2013) http://astro.u-szeged.hu/szakdolgozat/viragdanieldszd/ViragDaniel_BSc_szd.pdf (utolsó letöltés: 2021. 11. 28.)
- Fizika kerettanterv a gimnáziumok 9–10. évfolyamának számára https://www.oktatas.hu/koznevelas/kerettantervek/2020_nat/kerettanterv_gimn_9_12_evf (utolsó letöltés: 2021. 11. 28.)
- Simonyi K.: *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat Kiadó, Budapest (1978).
- Juhász A. és mtsai.: *A fizika tanítása a középiskolában I.* (2021) http://fiztan.phd.elte.hu/files/kiadvanyok/Fizika_tanitasa_I.pdf (utolsó letöltés: 2021. 11. 27.)
- Gróf A., Horváth Zs.: *Exobolygók és űreszközök. Válogatott középiskolás feladatok a csillagászat és űrkutatás modern eredményeiből.* (2021) http://fiztan.phd.elte.hu/files/kiadvanyok/Exobolygok_es_ureszkozok.pdf (utolsó letöltés: 2021. 11. 27.)
- http://astro.u-szeged.hu/oktatas/csilagaszat/6_Naprendszer/0108exobolygok/exobolygok.html (utolsó letöltés: 2021. 11. 28.)
- <http://fizika.fazekas.hu/wp-content/uploads/pdf/Exobolyg%C3%B3.pdf?t=1638886745> (utolsó letöltés: 2021. 12. 15.)
- Pataki A.: *A többváltozós Shapiro–Wilk-tesztek vizsgálata*. Ph.D. doktori értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem Közgazdaságtani Doktori Iskola, Budapest (2001).
- D. Graham: *Checking for Normality in JASP.* (2020). <https://www.youtube.com/watch?v=41eOkYHkRSQ> (utolsó letöltés: 2021. 11. 26.)

14. https://backhauszagi.web.elte.hu/gyak/sst_st4ea_k/sst_st4je_k7.pdf (utolsó letöltés: 2021. 11. 28.)
15. <https://www.statokos.com/t-probak> (utolsó letöltés: 2021. 12. 21.)
16. http://www.cogsci.bme.hu/~ktkuser/KURZUSOK/BMETE47MC38/2019_2020_1/Ea/11_nonparametric.pdf (utolsó letöltés: 2021. 11. 28.)
17. <https://www.statisticshowto.com/ancova/> (utolsó letöltés: 2021. 12. 15.)
18. https://www.statology.org/partial-eta-squared/?fbclid=IwAR2H1zlGTwhRX65ZHh0Uos6XYwnq6ZDoIOuyUf3lxx_Xw2R1-yMV51YdvYg (utolsó letöltés: 2021. 12. 15.)
19. <https://www.statokos.com/varianciaanalizis> (utolsó letöltés dátuma: 2021.12.15.)