

A FÉNY: AZ UNIVERZUM MEGISMERÉSÉNEK ESZKÖZE – egy elfeledett tudós asszony emlékére

Radnóti Katalin
ELTE TTK Fizikai Intézet

2015 a *Fény éve*, amelyhez kapcsolódóan jelen írásban egy, a csillagászat történetéhez tartozó példát mutatok be. A csillagászat az a tudomány, amely, különösen a kezdetek során, kizárólag a *látható fény* segítségével volt képes információt szerezni a körülötünk lévő kozmikus világról. Az Univerzum megfigyelési lehetőségei napjainkra az elektromágneses spektrum teljes tartományát felölelik.

A választott téma több szempontból is érdekes lehet az oktatás számára. Egyrészt a természettudományt, esetünkben a fizikát mutatja be, mint érdekes emberi tevékenységet, bepillantva a kutatók munkájába. Több országban elterjedt gyakorlat a természettudomány kutatásalapú tanítása. Ennek lényege, hogy a kutatás képezi a természettudományos nevelés alapját, irányítja a tanulói tevékenységek megszervezésének és kiválasztásának alapelveit. A kutatásalapú tanulás/tanítás, rövidítve KAT (angolul Inquiry-Based Learning, IBL) olyan módszer, amely biztosítja, hogy a tanulók átéljék a tudásalkotás folyamatait. A módszer fő jellegzetessége, hogy a diákok végezzenek kutatással kapcsolatos, illetve kutatás jellegű tevékenységeket a természettudomány tanulása során, például:

- problémák keresése, kutatásra érdemes kérdések megfogalmazása,
- hipotézisek megfogalmazása,
- különböző alternatív magyarázatok megalkotása és elemzése,
- kutatások tervezése, vezetése,
- megfelelő eszközök és technikák használata az adatok gyűjtéséhez,
- az adatok elemzése,
- a természettudományos érvek/indokok közlése.

A kutatási tevékenység tényleges elvégzésére azonban nem mindig, nem minden téma esetében van közvetlen lehetőség. Ilyen esetekben lehet például filmet nézni a kutatásról, de lehet érdekes kutatásokról szóló beszámolókat is olvasni, és azokat a szövegeket feldolgozni. Ez utóbbi esetben a feldolgozásnak nemcsak a konkrét szakmai tartalmára érdemes kitérnie, hanem a kutatás menetének, módszereinek elemzésére is. Erre azért van szükség, mert napjaink embe- re sokféle kutatási eredményről értesül a közmédiából. Ezek egy része tényleges, valódi kutatásnak te-

kinthető, de nagy részük sajnos az áltudományos kategóriába sorolható. A természettudományos tanóráknak tehát fontos feladata, hogy a diákok képesek legyenek a ténylegesen tudományosnak tekinthető híradások elkülönítésére az áltudományos közlésektől.

Jelen írásban egy, a változócsillagokkal kapcsolatos, 1912-ben megjelent, alig három oldalas, de azóta igen sokat hivatkozott cikk mérési adatainak tanórai elemzését mutatom be. A cél ebben az esetben a kutatási folyamat egy adott szakaszában nyert mérési adatok *mai eszközökkel történő feldolgozása* az eredeti forrás felhasználásával, elsősorban a fizika-fakultációra járó tanulókkal.

Fontos, hogy a tanulók megismerjék a természettudományos ismeretek kialakulásának folyamatát, vagyis a tudomány történetébe is betekintést kapjanak, ne csak a már kész, mintegy letisztult ismeretek megtanulása (köznap szöhasználattal bemagolása) legyen a diákok feladata. Minden esetben át kell gondolni egy adott tudományos felismerés társadalmi hatásait, például hogy napjainkban milyen lenne az életünk nélküle. Általában a tudományos felismeréseknek az emberiség életében betöltött szerepéről gondolkodni. Esetünkben az Univerzumból alkotott különböző elképzeléseknek az emberiség történetében mindig volt világgépi jelentősége.

Egy-egy tudós életrajzával, illetve az új tudományos eredményekkel kapcsolatban a következő kérdések is hangsúlyosak.

– Milyen fontos események történtek abban a korban? Például a jelen cikkben vizsgált korszak (a 20. század eleje) jellegzetessége volt, hogy a nők csak ekkor kezdhettek el komolyabb tanulmányokat folytatni, és – ma úgy mondanánk – kvalifikált, illetve némileg kvalifikált állásokat betölteni. A jelen írásban feldolgozott cikk szerzője egy olyan nő volt, akinek felismerése döntő jelentőségű mai világképünk kialakulásában. Fontos cél az ő emlékének ápolása, tisztelgés tudományos teljesítménye, hallatlan szorgalma és kitartása előtt.

További megválaszolendő kérdések az új felismerésekkel kapcsolatosan még a következők:

- Mi volt az adott felfedezés újszerűsége?
- Hogyan vetődtek fel a témával kapcsolatos kérdések?
- Miként kezdték el azokat vizsgálni?
- Az új ismeret milyen felismerésekhez segített, illetve milyen addigi uralkodó nézetet váltott fel?

A tanulmány az MTA Szakmódszertani Pályázat 2014 támogatásával készült.

– Hogyan fogadta a tudományos közösség a felismerést?

A csillagászat kifejezetten érdekes téma, a diákok szeretik. Jellegzetesen megfigyelő tudomány, más fajta empirikus tapasztalatgyűjtés napjainkban nem képzelhető el. A felhasznált eszközök ugyan egyre tökéletesebbek, ennek következtében egyre többet látunk az Univerzumból, de embereknek ténylegesen eljutni csak a Holdig sikerült. Az űrszondákkal pedig a Naprendszer határáig, hiszen több, néhány évtizede felbocsájtott és még mindig adatközvetítésre alkalmas űrszonda küld jeleket abból a távolságból.

Az Univerzumról alkotott elképzelések

Az *Univerzumról* többféle elképzelés kristályosodott ki az emberiség története során. Az egyik szerint az Univerzum *változatlan formában öröktől fogva létezik*. *Albert Einstein* ilyenek próbálta leírni, amelyhez azonban be kellett vezetnie a kozmológiai állandót. Einstein egyenleteit többen is tanulmányozták, és más következtetésre jutottak. Egyikük a rövid életű *Alekszandr Fridman* orosz matematikus volt, akinek modellje a kozmológiai állandó használata nélkül nem állandó, hanem egy *fejlődő és táguló Univerzum modelljét* írt le. Vele egyidőben *Georges Lemaître* belga fizikus – Fridman modelljét nem ismerve – ugyanerre a következtetésre jutott.

A program adott volt: a kétféle hipotézis híveinek empirikus adatokat, tényeket kellett gyűjteniük saját elméletük *alátámasztásához*. Ez azonban az Univerzum esetében nem könnyű feladat, hiszen klasszikus értelemben kísérletek nem végezhetők, azaz csak célzott megfigyelésekről lehetett szó, amelyekhez a *világűr*ből érkező fény és annak elemzése adhatott információkat.

Ugorjunk vissza az időben, egészen *William Herschel*ig a 18. századba, akinek egyik fő kutatási programja az volt, hogy kiváló távcsövei segítségével minél több csillag tőlünk való távolságát határozza meg. Ehhez Herschel *egyszerűsítő feltevést* vezetett be. Herschel azt *feltételezte*, hogy minden csillag nagyjából egyforma teljesítménnyel sugároz. Alkalmazva, hogy a pontszerűnek tekinthető fényforrások látszó fényessége távolságuk négyzetével fordítottan arányos, sok csil-

lag helyzetét határozhatta meg. Referenciacsillagként a Szíriuszt választotta, és minden vizsgált csillag távolságát ehhez viszonyítva adta meg. Vagyis csak *relatív távolságokat* tudott mérni, hasonlóan, mint ókori elődje, *Arisztarkhosz* a Hold és a Nap esetében. Herschel természetesen tisztában volt azzal, hogy módszere nem hibátlan, hiszen nem lehet minden csillag azonos teljesítményű, de bízott abban, hogy így hozzávetőleg korrekt háromdimenziós képet tud kapni az égbolt csillagainak elhelyezkedéséről. A meglepetés nem is maradt el, az égbolt feltérképezése során kapott adatainak feldolgozása után arra a következtetésre jutott, hogy a Naprendszer egy palacsinta alakú csillagváros, a Tejútrendszer része. Ennek valódi méretéről azonban nem volt fogalma. Csak amikor *Bessel* 1838-as csillagparallaxis-mérésének segítségével már valódi távolságokat tudtak meghatározni lett nyilvánvalóvá, hogy az Univerzumban óriási távolságok vannak.

Ezt követően vált izgalmas kérdéssé az, hogy az égen látható ködök vajon mik is lehetnek. Kétféle hipotézis volt ezzel kapcsolatban.

– Az egyik hipotézis szerint ezek is a Tejútrendszerhez hasonló csillagvárosok.

– A másik szerint ezek az objektumok is a Tejútrendszer részei.

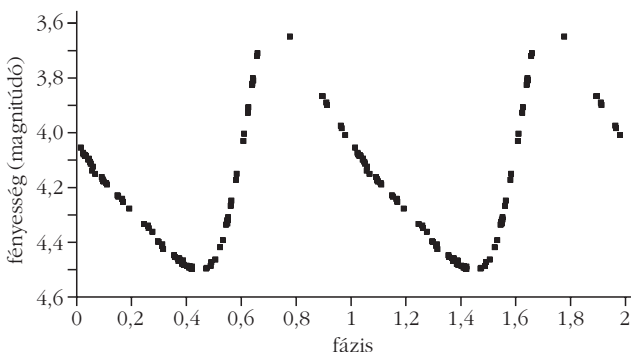
A csillagászok *két tábor*t alkottak ebben a kérdésben. Mindkét tábor – saját elképzelése alátámasztására – kereste a megfelelő bizonyítékot, a megfigyelhető tényeket.

A kérdés megoldását a *változócsillagok* szolgáltatták. A változócsillagok egyik fajtája a cefeidák.

A *cefeidák* – nevüket fő képviselőjükéről, a δ Cephei csillagról kapták – esetén a csillag külső része szabályos pulzációt végez, periodikusan összehúzódik, majd kitér. Ez a mozgás hasonló ahhoz, amikor egy léggömbből kiengedjük a levegőt, majd újra felfújjuk. A pulzáció azért jön létre, mert a csillag összehúzódott állapotában a csillag anyaga a belülről jövő sugárzás számára áthatolhatatlanná válik, azaz a sugárzás a csillag anyagában elnyelődik, és így annak külső részeit melegíti. Ennek következtében a felmelegedett csillaganyag kitér, aminek eredményeként ritkább anyagon a sugárzás már képes áthatolni, és a hőmérséklet növekedése leáll. Ekkor a tágulás megszűnik, majd összehúzódás következik, ami addig tart, amíg a csillag belsejéből jövő sugárzás újra melegíteni nem kezdi a külső részeket.

A csillag anyagában a következő folyamatok játszódhatnak le: amikor a csillag légkörének sűrűsége az összehúzódáskor megnő, az ionizált héliumatomok rekombinálnak, és jelentős mennyiségű fotont tudnak elnyelni. A sugárzási energia egy része ezért marad a csillagban, aminek hatására a csillag felmelegszik, de a külső szemlélő halványodást észlel. Amikor a felmelegedéstől a csillag légköre tágulni kezd, a ritkább közegben a héliumatomok újra ionizálódnak, és a légkör átlátszóbb lesz. A külső szemlélő ekkor láthat felfénylést (*1. ábra*). Ahogy az energia kiszabadul, a nyomás csökken, és egy újabb összehúzódással új ciklus kezdődik. A pulzációs periódus a csillag átlagsűrűségétől függ, a nagyobb sűrűségűek rövidebb periódusúak.

1. ábra. Cefeidák fényességváltozása az idő függvényében.



A cefeida csillagok sugara a pulzáció során 4-20%-ot is változik. Fényességmaximumkor a csillag hőmérséklete közel 1000 fokkal magasabb, mint minimumkor. A pulzáció következtében a csillag mérete és felszíni hőmérséklete megváltozik, így a $L = 4\pi R^2\sigma T^4$ luminozitása, azaz fényteljesítménye, illetve a fényessége is. A periódusuk 1 és 135 nap közötti, a fényességváltozás amplitúdója 0,1-2 magnitúdó. A cefeidák a Hertzsprung–Russell-diagramon jól meghatározott helyen, az instabilitási sávban helyezkednek el.

Henrietta Leavitt korszakalkotó felismerése

Henrietta Swan Leavitt (1868–1921) egymaga több száz változócsillagot fedezett fel a két szomszédos törpegalaxisban a Kis- és Nagy-Magellán-felhőben. És ő volt az, aki a fénygörbéket vizsgálva észrevette, hogy a fényesebb cefeidáknak hosszabb a fényváltozási periódusa.

Henrietta Swan Leavitt 1886 és 1888 között az ohioi Oberlinben lévő, majd a radcliffe-i középiskolába járt. Itt végzett 1892-ben. Csillagászattal csak az iskola negyedik évében találkozott. Egészségi problémái voltak, és ezek következtében még középiskolai éve alatt fokozatosan megsüketült. 1893-ban a Harvard College Observatory-ban kezdett dolgozni, ahol több más nővel együtt „emberi számítógép”-ként alkalmazták (2. ábra). Feladatuk az obszervatórium által készített fotólemezek katalogizálása és a rajtuk található égi objektumok fényesség szerinti osztályozása volt.

A Harvard egyik csillagásza, az obszervatórium vezetője *Edward Pickering* ambiciózus tervet dolgozott ki. A fényképfelvételek már 1849-től kezdve gyűltek, de nem volt elég emberi kapacitás ezek rendszerezésére. Pickering elvárása az irányítása alatt dolgozó asszonyoktól az volt, hogy a felvételeken található csillagokat fényesség alapján sorolják be, lehetőleg standard értékeket használva. A képeken több ezer csillag volt látható, és a gyűjtemény folyamatosan bővült. Leavitt nagy szorgalommal látta el a munkát. Kezdetnek 64 csillagot választott ki az északi égi pólus környékén, majd újabb csillagokat adott hozzá, így kialakult saját technikája, amivel 21-es magnitúdóig be tudta sorolni a csillagokat. A következő tizenöt évben Leavitt 108 égi területen alkalmazta az általa kifejlesztett besorolási rendszert, amihez már a világ minden tájáról érkeztek felvételek. A felvételek felbecsülhetetlen értékűek voltak a csillagászok számára. A rendszert még évtizedeken át használták, egészen a számítógépek alkalmazásáig, amelyek pontosabb fényességmérést tettek lehetővé.

A Harvard obszervatórium déli teleszkópja, amit Peruban, a *Boyden*-állomáson üzemeltettek, ezrével készítette a felvételeket a Magellán-felhőkről (amelyek csak a déli féltekéről láthatók). Leavitt ezeket is átvizsgálta és észrevette, hogy bizonyos típusú változócsillagok ezeken a felvételeken sűrűbben fordulnak elő, mint másokon. A felfedezés módszere az volt, hogy egy negatív és egy más időpontban készült po-



2. ábra. Henrietta Swan Leavitt (jobbra) a Harvard „Komputer csoport” másik legendás alakjával Anni Jump Cannonnal.¹

zítív felvételt egymás fölé illesztettek. A nem változó fényű csillagok nem látszottak, a változók viszont fehér vagy fekete pontként jelentkeztek. 1904 és 1905 között ezzel a technikával Leavitt 1054 változócsillagot fedezett fel a Magellán-felhőkben.

Leavitt 1907-ben megbetegedett, de 1908-ban visszatért a munkához. 1908-ban az intézet megjelentetett egy rövidke írást *A Harvard College Obszervatórium évkönyvében*, amelyet Leavitt készített 1777 változócsillag adatai alapján. Ezek között volt az a 17 változócsillag a Kis-Magellán-felhőben, amiket Leavitt részletesen megvizsgált. Észrevette, hogy minél hosszabb volt a ciklus (a fényességváltozási periódus 1,25 és 127 nap közé esett), annál nagyobb volt a csillag átlagfényessége. Ugyanígy, a hasonló periódusú cefeidák majdnem azonos fényességűek voltak. Ez azt jelenti, hogy ha van az égbolton két azonos ciklusú cefeida, de az egyik halványabb a másiknál, akkor a halványabb csillag a másikhoz képest meghatározható tá-

¹ *Annie Jump Cannon* (1863. december 11., Dover – 1941. április 13., Cambridge) a „Pickering-hárem” legfontosabb munkatársa a Harvard Obszervatóriumban, aki a csillagok spektrálklasszifikációjában játszott meghatározó szerepet. Nő letére, a korban szokatlan módon, fizikus diplomát szerzett, viszont egyetemi éve alatt egy skarlátfertőzés következtében gyakorlatilag megsüketült. Tíz éven keresztül volt munkanélküli, képzettsége miatt férjet, halláskárosodása miatt állást nem talált. Szakmai feladatot egyedül az jelentett számára, hogy 1892-ben egy európai expedíció keretében lefényképezte a napfogyatkozást. 1894-ben, anyja halála után jelentkezett a Harvard posztgraduális képzésére. Két évvel később az Edward Pickering körül szerveződő csoportba került, ahol 25 centes órabérért osztályozták a csillagokat színképük alapján. A munkatársak végezték az észlelések legnagyobb részét is. Annie Cannon ebben a munkában orozslánrészt vállalt, ő szerkesztette végső formába a több mint 225 ezer csillagot tartalmazó Henry Draper-katalógust, és közölt egy változócsillag-katalógust, amelyben 300 változócsillag a saját felfedezése. Életműve és különösen a csillagok színképosztályozási rendszerének kidolgozása elismeréseként 1931-ben Henry Draper-éremmel tüntették ki. Tevékenysége nagyban elősegítette a nők emancipációját a tudományban.

Tiszteletére a Holdon krátert neveztek el róla.

Forrás: *Meteor Csillagászati Évkönyv* 2013.

H.	Max.	Min.	Epoch.	Period.	Res. M.	Res. m.	H.	Max.	Min.	Epoch.	Period.	Res. M.	Res. m.
			<i>d.</i>	<i>d.</i>						<i>d.</i>	<i>d.</i>		
1505	14.8	16.1	0.02	1.25336	-0.6	-0.5	1400	14.1	14.8	4.0	6.650	+0.2	-0.3
1436	14.8	16.4	0.02	1.6637	-0.3	+0.1	1355	14.0	14.8	4.8	7.483	+0.2	-0.2
1446	14.8	16.4	1.38	1.7620	-0.3	+0.1	1374	13.9	15.2	6.0	8.397	+0.2	-0.3
1506	15.1	16.3	1.08	1.87502	+0.1	+0.1	818	13.8	14.7	4.0	10.336	0.0	0.0
1418	14.7	15.6	0.35	2.17352	-0.2	-0.5	1610	13.4	14.6	11.0	11.645	0.0	0.0
1460	14.4	15.7	0.00	2.913	-0.3	-0.1	1365	13.8	14.8	9.6	12.417	+0.4	+0.2
1422	14.7	15.9	0.6	3.501	+0.2	+0.2	1351	13.4	14.4	4.0	13.08	+0.1	-0.1
842	14.6	16.1	2.61	4.2897	+0.3	+0.6	827	13.4	14.3	11.6	13.47	+0.1	-0.2
1425	14.3	15.3	2.8	4.547	0.0	-0.1	822	13.0	14.6	13.0	16.75	-0.1	+0.3
1742	14.3	15.5	0.95	4.9866	+0.1	+0.2	823	12.2	14.1	2.9	31.94	-0.3	+0.4
1646	14.4	15.4	4.30	5.311	+0.3	+0.1	824	11.4	12.8	4.	65.8	-0.4	-0.2
1649	14.3	15.2	5.05	5.323	+0.2	-0.1	821	11.2	12.1	97.	127.0	-0.1	-0.4
1492	13.8	14.8	0.6	6.2926	-0.2	-0.4							

1. táblázat. A Max. és a Min. feliratú oszlopok mutatják az adott sorszámú csillag (H. oszlop) látszó fényességének maximumát, illetve minimumát, a Period. pedig a periódusidőt napokban. Facsimile az 1912-es cikkből.

országban van. Így a cefeidák nagy léptékű távolságmérésre használhatók a látható Univerzumban.

Az írására akkor senki sem figyel fel. De Pickering azért elég fontosnak tartotta a Leavitt által talált eredményeket ahhoz, hogy az intézet évkönyvében megjelenjenek, bár akkor még sem ő, sem más csillagász nem ismerte fel ennek igazi jelentőségét. Leavitt kitarított felfedezése mellett, és újabb bizonyítékokat keresett. További 8 cefeida változócsillagot mért fel a Kis-Magellán-felhőben, amelyek fényessége és periódusa közötti összefüggés megegyezett azzal, amit a korábbi megfigyelései mutattak. 1912-ben ezekkel az újabb adatokkal kibővítve immár 25 cefeida csillag adatainak felhasználásával erősítette meg korábbi következtetését. A mindössze három oldalas írás Pickering neve alatt jelent meg, aki az első mondatban megjegyezte, hogy az írást Miss Leavitt készítette.²

Henrietta Leavittnek sikerült *matematikai összefüggést* kimutatnia a csillag abszolút fényessége és fényváltozásának ciklusideje között.

Néhány megjegyzés a matematika szerepéhez a természet leírásában *Wigner Jenő* gondolatai alapján, amelyeket tetten érhetünk Henrietta Leavitt munkássága esetében is:

– „... a matematika roppant hasznos volta a természettudományokban a titokzatossággal határos, és kielégítő magyarázatot nem tudunk rá adni.”

– „... csoda, hogy a világ zavarba ejtő bonyolultsága ellenére bizonyos szabályszerűségek fedezhetők fel az eseményekben.”

– „... a »természettörvények« létezése egyáltalán nem természetes, még kevésbé az, hogy az ember képes azokat felfedezni.”

– „... a fizikus gyakran durva tapasztalatainak matematikai megfogalmazása kísértetiesen sok esetben a jelenségek kiterjedt osztályának bámulatos pontosságú leírásához vezet.”

A valóság leírási folyamataiban a *matematika eszközként* szolgál. Minden esetben a valóság jelenségeiből indulunk ki, majd egy attól különböző formában, más minőségben, de a matematikai elemzést követően oda térünk vissza. Jelen esetben a megszerzett új tudást további új tudás megszerzésére lehetett hasznosítani, nevezetesen a távoli galaxisok távolságának meghatározásához.

Tehát Leavittnek sikerült huszonöt cefeidát azonosítani a Kis-Magellán-felhőben, amelynek Földtől mért távolságát ugyan nem ismerte, de feltételezte, hogy

² The following statement regarding the periods of 25 variable stars in the Small Magellanic Cloud has been prepared by Miss Leavitt.

elég messze van ahhoz, hogy a benne található cefeida típusú csillagok egymástól való távolsága jóval kisebb. Tehát úgy közelített, mintha ez a 25 csillag ugyanolyan messze lenne Földünkől. Vagyis, ha ez a 25 csillag egyforma távolságban van, akkor a fényesebbnek látszóknak valóban fényesebbnek is azoknál, amelyek halványabbnak tűnnek. Vagyis látszó fényességük sorrendje megegyezik az abszolút fényességük sorrendjével.

A távolsággal kapcsolatos fenti feltételezés használhatósága a következő analógiával világítható meg: a madárlesen lévő kutató, aki 25

madárból álló rajt figyel a távolból, felteheti, hogy a madarak egymástól való távolsága sokkal kisebb, mint amilyen messze a raj tőle repül. Ebből következik, ha az egyik madár kisebbnek látszik, mint egy másik, akkor az valószínűleg kisebb is. Ellenben ha a 25 madár szanaszét repül az égen, akkor a kisebbnek tűnő madár lehet, hogy csak messzebb van.

Próbáljuk meg Henrietta Leavitt eredeti, a 25 cefeidára vonatkozó mérési eredményei (1. táblázat) alapján megtalálni a csillag abszolút fényessége és látszó fényváltozásának ciklusideje közötti összefüggést!

A csillagok fényességét magnitúdóban szokás kifejezni, amely az intenzitást logaritmikusan skálázza. Ráadásul minél fényesebb egy csillag, annál kisebb magnitúdóérték tartozik hozzá.

Az Excel program használata az adatok elemzéséhez

Az eredeti cikk ugyan angol nyelvű, de mint a bevezetőben írtuk, az Internetről letölthető írás teljes terjedelme alig három oldal, amelybe a táblázat és a grafikon is bele tartozik, oda lehet adni a tanulóknak. Ebben megtalálhatók a 25 csillagra vonatkozó adatok.

A feldolgozás lépései:

– A tanulók írják ki a táblázatból az Excel munkalapra a szükséges adatokat!

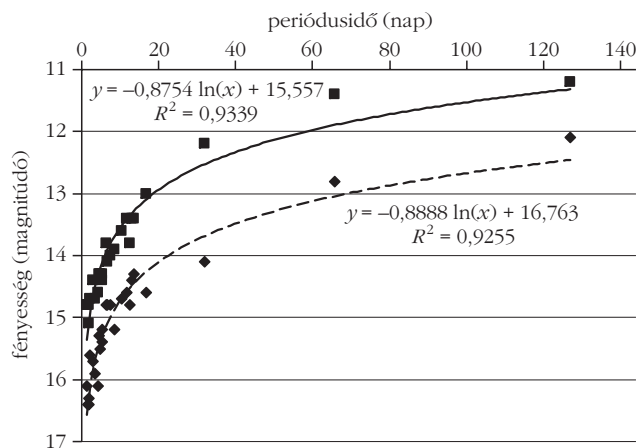
– A táblázatban így három összetartozó adatsor lesz, a periódus napokban, a maximális, illetve minimális intenzitáshoz tartozó magnitúdóértékek.

– A megfelelő opció kiválasztásával ábrázolják a pontokat!

– Illesszék rá a két függvényre a megállapított legjobb, logaritmikus kapcsolatot (3. ábra)!

Tekintsük az 1912-es cikk eredeti ábráit (4. ábra), amelynek bal oldala (Fig. 1.) a fotografikus magnitúdók minimális és maximális értékeit mutatja a napokban mért periódusidő függvényeként. Ezekre az adatokra illesztett két görbe hasonló az Excel program használatával kapott görbéhez.

Az ábra jobb oldali részén (Fig. 2.) szintén a magnitúdók vannak felmérve a függőleges tengelyre, de a



3. ábra. Logaritmusos kapcsolat a periódusidő és fényesség között maximális és a minimális fényesség esetében is.

periódusok logaritmusai függvényében, vagyis mindkét tengely ténylegesen logaritmusos léptékű lett, és a már így átalakított adatokat jelképező pontokra két egyenes illeszthető. Mivel az Excel program a függvényhez kiírja számunkra annak matematikai egyenletét is, ezért erre a transzformációra napjainkban már nincs szükség, de a történet kedvéért érdemes elkészíteni (5. ábra).

A táguló Univerzum

A távolság kérdéséhez visszatérve, ha találunk két olyan cefeidát az égbolton, amelyek hasonló (vagy azonos) ütemben változtatják fényességüket, akkor biztosak lehetünk abban, hogy mindkettő hasonló (vagy azonos) teljesítménnyel sugároz. Ez a tény pedig már felhasználható távolságmérésre.

Tehát egy cefeida periódusát ismerve meg tudjuk mondani annak valódi fényességét. Ezt összevetve

látszó fényességével megkapjuk a távolságát. Először persze kalibrálni kellett az összefüggés nullpontját, amihez ismerni kellett néhány cefeida tényleges távolságát a Földtől.

A távolság meghatározására jobb híján a már említett parallaxis módszerét alkalmazta *Ejnar Hertzsprung* (1873–1967), aki elsőként kalibrálta az összefüggést (Hertzsprung 1913). Ahhoz, hogy a Tejútrendszer cefeidái alapján kalibrálni lehessen más galaxisok cefeidáinak távolságát, *fel kell tételnie*, hogy ezek a csillagok minden érintett galaxisban egyformák.

Az 1920-as évek közepén a cefeidák extragalaktikus távolságindikátorokká váltak, miután *Edwin Powell Hubble* (1889–1953) cefeidákat fedezett fel a csillagokra bontott spirálködökben (Hubble 1925). Később nemcsak a legközelebbi spirálködökről, az Androméda-ködről (M31) és a Triangulum-ködről (M33) derült ki, hogy extragalaxisok, hanem az összes többi spirálködőről is kiderült, hogy a Tejútrendszeren kívül vannak.

Hubble sokszor hangoztatta, hogy Leavitt Nobel-díjat érdemelne munkájáért. *Gösta Mittag-Leffler* a Svéd Tudományos Akadémia nevében 1924-ben el is indította az előterjesztést a Nobel-díj odaítéléséért, és csak ekkor tudta meg, hogy Leavitt már három évvel korábban meghalt. A felterjesztést leállították, ugyanis Nobel-díj csak élő tudósoknak adható.

Nem sokkal az Univerzum galaxisokkal való „megöltése” után Hubble felfedezte a később róla elnevezett törvényt. Ebből pedig az látszott, hogy a Világegyetem tágulóban van, ami természetes tényként szerepel napjaink fizikatankönyveinek lapjain.

Összefoglalóan jelen írásban a kutatásalapú tanítás/tanulás olyan lehetőségei kerültek bemutatásra, amelyekben a kutatási tevékenységet nem maguk a diá-

4. ábra. Periódus–fényesség diagram a Kis-Magellán-felhő cefeida változóira, az 1912-es cikk Fig. 1. és Fig. 2. facsimiléi.

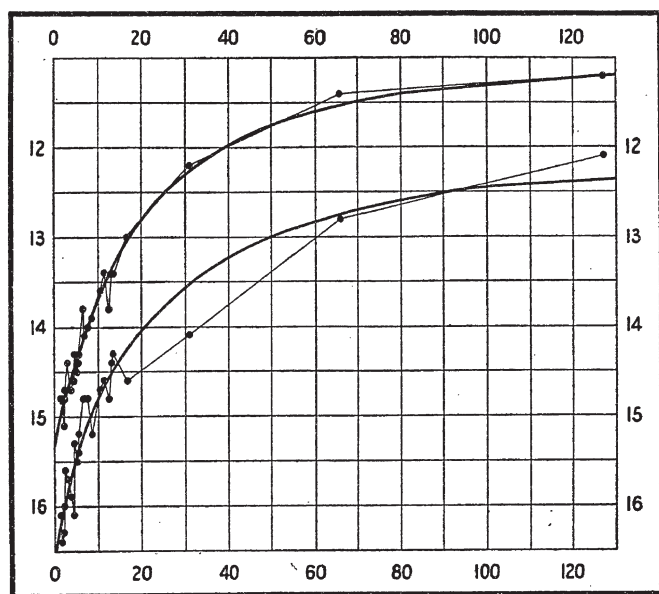


FIG. 1.

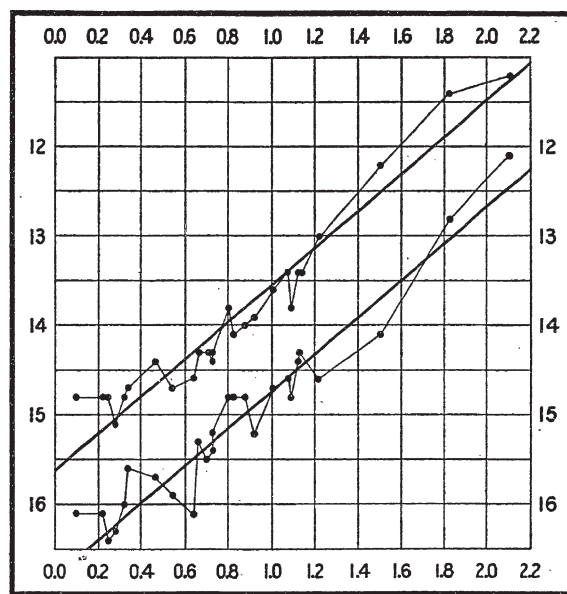
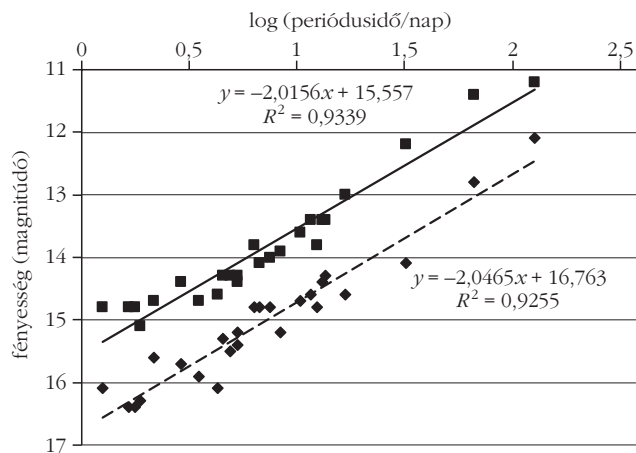


FIG. 2.



5. ábra. A magnitúdók a periódusidő logaritmusában függvényében.

kok végzik, hanem egy érdekes kutatási beszámoló alapján ismerkednek meg a témával és az abban található eredeti adatok elemzése alapján vonnak le következtetéseket. A fenti módszer alkalmazásával segítjük a pedagógiai transfert az egymáshoz egyébként is nagyon közel álló fizika és a matematika tantárgyak között a mai kor lehetőségeit felhasználó IKT³ eszközök felhasználási lehetőségeinek segítségével, így módon fejlesztjük a diákok természettudományos szemléletét.

³ Információs és Kommunikációs Technológia

A kollégák maguk is kereshetnek hasonló tudományos szövegeket diákjaik számára, illetve a diákok is javasolhatnak írásokat az elemzésekhez. Ezek származhatnak a nyomtatott/internetes sajtóból, ismeretterjesztő folyóiratokból, de reklámszövegeket, illetve filmeket is érdemes hasonló szempontok alapján elemezni, amelyekben kutatási eredményekre, adatokra, adatsorokra hivatkoznak.

Irodalom

- Pickering, E. C.: Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud. *Harvard College Observatory Circular*, vol. 173 (March 3, 1912) 1–3. Az eredeti cikk helye: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1912HarCi.173....1L>
- Simon Singh: *A Nagy Bumm*. Park Könyvkiadó. Budapest, 2006.
- Radnóti K., Nagy M.: A matematika szerepe a természettudományos képzésben. *A Matematika Tanítása*. MOZAIK Kiadó. Szeged. 2014/1. március, 3–15., <http://www.mozaik.info.hu/Homepage/Mozaportal/MPfolyoirat.php?op=matematika>
- Radnóti K., Nagy M.: A rádium felfedezése. Kutatási szöveg feldolgozása a fizika- és/vagy a kémiaórán. *Nukleon*. VI/3 (2013) <http://mnt.kfki.hu/Nukleon>
- Tóth L. V.: *A galaxisok világa*. http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/galaxisok_vilaga/index.html
- Wigner Jenő: A matematika meghökkentő hatékonysága a természettudományokban. In: *Wigner Jenő válogatott írásai*. (Szerk.: Ropolyi L., Szegedi P.) Principia Philosophiae Naturalis sorozat. Typotex, 2005. 151–179. http://hu.wikipedia.org/wiki/Henrietta_Swan_Leavitt
<http://www.csillagaszat.hu/tudastar/asztrofizika/csillagok-szerkezete-es-alapveto-tulajdonsagai/09-valtozocsillagok/>
http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/galaxisok_vilaga/ch02s09.html