

Szegedi Tudományegyetem
Természettudományi és Informatikai Kar
Kísérleti Fizikai Tanszék

***A középiskolai „kísérleti” fizika
tankönyvsorozat elemzése csillagász
szemmel***

*An astronomers’ view on the secondary level
'experimental' schoolbooks of physics*

Szakdolgozat

készítette: Dr. Egedyné Bakos Judit
fizikatanár MSc levelezhallgató
témavezet: Dr. Szatmáry Károly egyetemi tanár

2017

Dorcinak.

Tartalomjegyzék

1	Bevezető	1
1.1	A szakdolgozat motivációja	1
1.2	A tankönyvcsalád háttere	2
1.2.1	A kísérleti tankönyvek koncepciója	3
1.2.2	A kísérleti tankönyvek szerkezete	4
1.3	A szakdolgozat célja	4
2	A 9. osztályos tankönyv csillagászati tartalmai	6
2.1	Tájékozódás égen-földön	6
2.1.1	A tér és az idő tartományai (Fizika 9/8.)	9
2.1.2	A távolságok és az idő mérése	17
2.1.3	Helymeghatározás (Fizika 9/17.)	18
2.2	Mozgások a Naprendszerben	21
2.2.1	A Naprendszer modelljei (Fizika 9./78)	21
2.2.2	Kepler törvények - Fizika 9./83.	28
2.2.3	A Föld, a Hold és a Nap mérése - Fizika 9./87.	30
2.3	Általában a Fizika 9. tankönyvről	30
3	A 11. osztályos tankönyv csillagászati tartalmai	32
3.1	A fény természete. Hogyan látunk?	32
3.1.1	Hogyan működik? A nagyítótól a távcsőig (Fizika 11./23)	33
3.2	A csillagok világa	34
3.2.1	A világegyetem méretei (Fizika 11./108)	35
3.2.2	A csillagfény üzenete (Fizika 11./112.)	38
3.2.3	Aki távolba néz, a múltba néz (Fizika 11. / 118.)	43
3.2.4	Fekete lyukak és más csillagsorsok (Fizika 11./122.)	44
3.3	A Naprendszer fizikai viszonyai	47
3.3.1	A Föld csillagkörnyezete (Fizika 11./152.)	48
3.4	Általában a 11. osztályos tankönyvről	51
4	Összegzés	52

1

Bevezető

A csillagászat a legősibb természettudomány.

1.1 A szakdolgozat motivációja

Szakdolgozatomban, ahogy a cím is utal rá, az Oktatásfejlesztő Intézet (továbbiakban SOFI) által 2016-ban megjelentetett Kísérleti Tankönyvcsalád ¹ fizika tankönyveit, pontosabban azok csillagászathoz köthető anyagrészeit² veszem górcső alá - csillagász szakmai szemmel. Egy ilyen jellegű kritika aktualitását az adja, hogy a fizika kísérleti tankönyvekről részletes szakmai bírálat, amely publikus lenne, még nem született.

Valójában - mindenki számára hozzáférhető szakmailag megalapozott tankönyvbírálat egyik kísérleti tankönyvről sem íródott. Ez alól kivétel Arató László *Bírálat az Irodalom 9. kísérleti tankönyvről és a hozzá készült digitális tananyagról* című Iskolakultúrában megjelent hivatalos kritikája (Arató, 2016).

A különböző tantárgyakhoz köthető kísérleti tankönyvcsaládokat (nem csak a természettudományos területen) sok és sokféle kritika érte már. Ezen kritikák nagy része azonban nem csak a tankönyvekről szóltak.

A szakdolgozat során rendszerszemléleti szempontból (is) elemzem a tankönyvek csillagászati tartalmait. Ennek megfelelően igyekszem szem előtt tartani a tankönyvcsalád megírására motiváló célt, és hogy ezek a tankönyvek valóban elérik-e az általuk kitűzött célt.

¹A tankönyvek szerzői: Dr. Ádám Péter, Dr. Egri Sándor, Elblinger Ferenc, Horányi Gábor és Simon Péter. A tankönyvek a <http://portal.nkp.hu> weboldalon pdf formátumban letölthetőek.

²Csillagászati tartalmak a 9. és 11. osztályos tankönyvekben szerepelnek

1.2 A tankönyvcsalád háttere

A fizika kísérleti tankönyvcsalád a 2012-ben hatályba lépett Nemzeti Alaptanterv (a továbbiakban NAT) fizika kerettanterv *A változata* alapján készült. Jelenleg három kerettanterv van érvényben a hazai (normál) négyosztályos gimnáziumi fizikaoktatás szabályozó dokumentumaként. A hatályos kerettanterveket az 51/2012. (XII.21.) számú EMMI rendelet 3. melléklete tartalmazza³. A kerettantervről általában megállapíthatjuk, hogy egy olyan a mindenkori oktatási miniszter által kiadott dokumentum, amely meghatározza az oktatás és a képzés tartalmát. A tanári oktatómunka legfőbb szabályozója: a feldolgozandó tartalmat és a feldolgozás módját is meghatározza.

Az *A* kerettanterv a 2012-es NAT-tal jelent meg először, a megelőző korszakban a már *B* kerettantervnek megfelelő curriculum határozta meg a gimnáziumi fizika oktatás mikéntjét. Az *A* változatra a szakma úgy nevezett „science-típusú” curriculumként tekint. A két változat leginkább a tananyag feldolgozásának *módjában* tér el egymástól. Az *A* változat esetében „minden témakörben a mindenki számára fontos témákkal, gyakorlati tapasztalatokkal, praktikus, hasznos ismeretekkel indul a tananyag feldolgozása.”⁴ A *B* változat sokkal inkább az elméleti oldalról közelíti meg a fizika oktatását.

Miért is szükséges a tananyag egy másfajta megközelítése, egy újfajta tanterv kidolgozása? Magyarországon a (gimnáziumi) fizikaoktatás tagadhatatlanul nagy múltra tekint vissza. Az elmúlt évtizedek fizika oktatásában megszokott volt, hogy strukturált, részletes tananyagot tanítson meg, ami leginkább a fizika iránt érdeklődő fiataloknak kedvezett. Ezt a hagyományos alapokon nyugvó fizikaoktatást a *B* változat követi, amelyet (hagyományosan) a Magyar Tudományos Akadémia munkatársainak bevonásával készítenek el.

Ezzel szemben az *A kerettanterv* sokkal inkább szem előtt tartja azt a célt, hogy mindenki rendelkezzen a mindennapokban alkalmazható természettudományos műveltséggel, intelligenciával. Elvárható alapszintként nevezi meg, hogy „a tanulók a tantervben lévő témaköröket megismerjék, értelmezzék a jelenségeket, ismerjék a technikai alkalmazásokat, és így legyenek képesek a körülöttük lévő természeti-technikai környezetben eligazodni.”

³A melléklet az alábbi weboldalon érhető el:

http://kerettanterv.ofi.hu/03_melleklet_9-12/index_4_gimn.html

⁴Idézet a kerettanterv bevezetőjéből.

1.2.1 A kísérleti tankönyvek koncepciója

A kísérleti tankönyvek fejlesztésének koncepcionális hátterét Kojanitz László fogalmazta meg, akinek tanulmánya az *Új Pedagógiai Szemle* hasábjain jelent meg (Kojanitz, 2014).

Egy fontos gondolat a tanulmányból: *„A cél egy tanulásra és alkotásra inspiráló, a modern technikai eszközök lehetőségeit is értelmesen kihasználó tanítási-tanulási környezet kialakítása.”* A tanulmány kifejti, hogy a kísérleti tankönyvek fejlesztésében az UNESCO 2005-ös állásfoglalását követik, amelynek értelmében az IKT eszközök jelentette forradalmi változások miatt fel kell készülni a fokozatos áttérést nyomtatott tankönyvekről a digitális tananyagok használatára. *„Az IKT-eszközök megszervezése és elkészítése során a legfontosabb feladat a személyre szabott tanulás (Sampson, Karagiannidis és Kinshuk, 2002 idézi Kojanitz, 2014) feltételeinek megteremtése.”* A digitális tananyagok egyéni tanulási utakat biztosíthatnak a diákok számára. Lehetőség lesz az egyéni tehetséggondozásra és kommunikációra a tanár és diák között.

Kojanitz (2014) azt is kifejti, hogy a tankönyvkutatások jelentős problémákat tártak fel a magyar tankönyvekkel, tankönyvcsaládokkal kapcsolatban. A mai tankönyvek is a régi bevett sémákat követik: *„A tankönyvszerzők kész tudást, kész megoldásokat kínálnak, holott legalább a kérdéseken és feladatokon keresztül kellene a tanulókat saját tudásuk felépítésére, tudatos megkonstruálására ösztönözni.”* *„A tankönyvek továbbra is tananyag- és tanárcentrikusak.”* További problémaként említi, hogy a tankönyvekben *túlburjánzanak a tudományos szakszavak.* A tankönyvcsalád célja, hogy elősegítse a tanulás eredményességét. A tanulást vizsgáló kutatások eredményeit figyelembe véve a tankönyvcsalád létrehozásakor a tanultak különféle kontextusokban való kipróbálása és alkalmazása elsődleges cél. A tanulói aktivitást is a tanulás eredményességét befolyásoló tényezőként hozzák a szakirodalmak. A kísérleti tankönyveknek tehát biztosítania kell a tanulói produktivitást is, amelyekhez hozzátartoznak az önálló munkát igénylő feladatok, vagy a reflektálásra és véleményalkotásra is ösztönző kérdések.

A tankönyvcsalád törekszik a diákok számára releváns tudás kiválasztására is, mert az értelmes tanulás egyik feltételként lehet megfogalmazni, hogy a *„diákok értékesnek és hasznosnak tartásuk azt, amiről tanulnak”*. *„A tanítás során kapcsolatot kell teremteni az iskolai tananyag és a mindennapi valóságban tapasztalt jelenségek és problémák között.”*

A kísérleti tankönyvek alapkonceptiójában megjelenik a NAT által kijelölt kulcskompetenciák fejlesztésének szándéka is!

1.2.2 A kísérleti tankönyvek szerkezete

A kísérleti tankönyvek 239 (Fizika 9.) és 191 (Fizika 11.) számozott oldalból állnak⁵ A tankönyvek egyenként 38 (Fizika 9.) és 42 (Fizika 11.) leckét tartalmaznak, amelyek átlagosan 4-5 oldal hosszúak. Ezeket a leckéket, illetve magát a tananyagot 8-8 nagyobb témakörbe csoportosítva találjuk, a témakörök hosszúsága változó.⁶

Minden témakör (illetve fejezet) egy az adott témához kapcsolható képpel és az érdeklődést motiválni igyekvő problémafelvetéssel indul. A leckék azonos szerkezet követnek: a törzsszöveg a lap belső felének 2/3-át foglalja el, a külső 1/3-ban találhatóak a színes képek és a tananyagot tagoló keretes írások. Előfordul, hogy egyes keretes írások, képek a lap teljes szélességét elfoglalják. A leckéken az említett keretes írások különböző célt szolgálnak, ennek megfelelően többféle kerettel találkozhatunk a könyvekben.

A *Számoljuk ki!* részben a leckéhez kapcsolódó egyszerű számítási feladatokat találunk; a *Gondold meg!* és a *Hallottál róla?* tudományos érdekességekre hívja fel a figyelmet; a *Hogyan volt régen?* keret tudománytörténeti vonatkozásokat tartalmaz. A szövegben „aktivitásra buzdító” keretek is helyet kaptak: *Kísérletezz!*, *Figyeld meg!* vagy *Mérd meg!* Ezekben egyszerűen elvégezhető kísérleteket javasoltak a tankönyvírók. „A jellegzetes hibák, tévképzetek, félreértések elkerülésében segít a *Ne hibázz!* rész.” (szerzők, Fizika 9. 6. oldal)

A leckék végén a *Ne feledd!* keretben a tananyag pár mondatos összefoglalását találjuk. A leckék és a tananyag lezárásaként *Egyszerűbb kérdések, feladatok* találhatóak. Az *Összetett kérdések, feladatok* már nehezebb, gondolkodtató feladatokat tartalmaznak. A szerzők célja ez utóbbival, hogy a természettudományi, mérnöki vagy orvosi pályára készülő tanulók nehezebb feladatokkal illetve problémákkal is találkozzanak tanulmányaik során.

1.3 A szakdolgozat célja

A szakdolgozatban a kísérleti tankönyvek csillagászathoz kapcsolódó fejezeteit illetve leckéit dolgozom fel tematikusan. Céломul tűztem ki a tankönyvek kritikai olvasását, a hibák, pontatlan megfogalmazások, nem megfelelő ábrák számbavételét. A leckék csillagász szempontú⁷ feldolgozásakor elvem az, hogy rávilágítsak, melyek azok a csil-

⁵A tankönyvek kb. A4-es méretűek - magasságuk 1 cm-rel rövidebb a standard A4 méretnél.

⁶Például a Közlekedés dinamikai problémái című témakör 7 leckét tartalmaz, mialatt a Mozgások a Naprendszerben című témakör 3 leckéből áll.

⁷2007-ben csillagász diplomát szereztem az ELTÉ-n, majd 2007 és 2012 között az Instituto de Astrofísica de Canarias-ban (IAC) dolgoztam kutatóként, 2013-2015 között pedig a Magyar Tudományos

lagászat tudományához kapcsolható tényanyagok, amelyek az egyes leckék megértéséhez, (kutatásalapú) feldolgozásához elengedhetetlenek. Ezen tényanyagok összeválogatásakor a hatályos érettségi követelményeket is figyelembe veszem, hiszen nem zárhatjuk ki annak a lehetőségét, hogy bármelyik A-kerettanterv szerint tanuló diák érettségét tegyen fizikából.

A tananyaghoz kapcsolódóan a <http://portal.nkp.hu> weboldalon tettem közzé digitális tartalmakat. Itt találjuk meg többek között a könyvek digitális változatát pdf formátumban, a file-ok szabadon letölthetőek. A leckék külön is elérhetőek html formátumban. Sajnos, a tankönyvben nincs utalás vagy keresztreferencia a digitális tananyagokra, amelyek között videók és gyakorló feladatok is vannak! Emiatt a dolgozatban igyekszem a megfelelő digitális tartalmakat is számba venni.

Szakdolgozatom elkészültében az is motivál, hogy szeretnék segíteni azoknak a kollégáknak, akik 1) még nem találkoztak a kísérleti tankönyvekkel, de már eljátszottak a gondolattal, hogy használnák őket; 2) jelenleg is használják a könyvet, de csillagászatban „járatlanok”.

Akadémia Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézetében voltam munkatárs. Szakterületem: extragalaktikus csillagászat, galaxisok keletkezése és fejlődése, fotometria. Publikációm listáját az alábbi oldalon lehet lekérni:

https://ui.adsabs.harvard.edu/##search/q=%3A*%26__qid=8f639e4aeb1d14eebb4a67e238d85370

2

A 9. osztályos tankönyv csillagászati tartalmai

A 9. osztályos kísérleti tankönyvben fellelhetőek a szférikus csillagászat, az égi mechanika és az aktuális tananyaghoz kapcsolható csillagásztörténeti elemek. A szerzők érezhetően igyekeztek megfelelni az OFI célkitűzéseinek. Sajnos, azonban a szép célok csak részben valósultak meg. Hogy néhány problémát említsek, a tankönyvek tele vannak bántó fogalmi leegyszerűsítésekkel, a tankönyvi ábrák esetlegesek, gyakran a korrekt magyarázat hiányzik. Ezekre a következőkben konkrét példákat fogok hozni.

2.1 Tájékozódás égen-földön

Az első észrevételem ennél a fejezetnél az volt, hogy a fejezet címe és a benne található tananyag nincs összhangban. Miért is? Az első két lecke fókuszában a méret- és időskálák állnak: a diákok megismerkedhetnek a fizikailag értelmezhető méretekkel és időtartományokkal; a harmadik lecke a földi helymeghatározás problémáival foglalkozik (erősen fókuszálva a GPS megismerésére). A fejezetből azonban az égbolton való tájékozódás (amit viszont a cím erősen sugall) kimaradt. Ily módon szerencsésebb lett volna, ha a fejezet a „Tájékozódás térben és időben” címet kapta volna; a 3. lecke címeként pedig a „Földi helymeghatározás” szerepelne.

A fejezet felvezető képének választott „Hubble Extreme Deep Field” (továbbiakban HXDF; a 8 oldalon található 2.1 ábra megegyezik a tankönyvi képpel) felvétel véleményem szerint nem a legszerencsésebb választás volt. Miért is? A tanulók azt a kérdést kapták felvetésként, hogy csillagok vagy galaxisok láthatóak a képen. Ennek a kérdésnek a megválaszolásához azonban több dologgal is tisztában kell lenni, azaz a következő „előzetes tudást” igényli a feladat:

- A csillagok olyan elsődleges fényforrások, amelyek egyben pontforrások.
- A galaxisok olyan elsődleges fényforrások, amelyeknek kiterjedt képe van.
- A csillagoknak a csillagászati felvételeken kiterjedt, korong alakú képük van, amelynek oka a fényelhajlás. Ez a korong az Airy-korong, (egy dimenziós) matematikai leírása az Airy-függvény vagy más néven PSF (point-spread-function). A csillag látszólagos mérete adott távcső esetén a csillag fényességétől függ (fényesebb csillag kiterjedtebb kép). A legfényesebb csillagok mellett a további elhajlási jelenségek, valamint a CCD detektor túltelítődése miatt sugár irányú fénycsíkok jelennek meg.
- A több milliárd fényévre lévő galaxisok vagy galaxis kezdemények között léteznek pontforrásként azonosítható objektumok is, ezeket a szakirodalom „quasi stellar object”, azaz „csillagszerű forrás” néven tartja számon. Ilyen objektumok például a kvazárok. A kvazár szó szintén az angol „quasi stellar radio source” (azaz „quasar”) megnevezésből származó szakkifejezés.
- Az univerzumban minél távolabbra tekintünk (az objektumok vöröseltolódása¹ alapján), az univerzum annál korábbi állapotait figyelhetjük meg.
- Az előbbi ponttal összhangban, a galaxisok jelentős méretbeli evolúciót mutatnak a nagyobb vöröseltolódásoktól a jelenkori állapotok felé, azaz a galaxisok tipikus mérete folyamatosan csökken a nagyobb vöröseltolódások felé. (Lásd Bouwens és mtsai. 2004)

A HXDF felvételen, mint az összes HUDF vagy megelőző HDF felvételen kevés csillag látható. Ennek oka, hogy a szakcsillagászok az égbolt azon tartományát szerették volna észlelni, ahol a Tejútrendszer ún. előtér csillagai nem zavarják a távoli univerzum feltérképezését. Ebben az esetben a választás a Fornax csillagképben található területre esett. A megfigyelés adatait, többek között a vizsgált terület égi pozícióját a 2.1 táblázat foglalja össze.

Így nem meglepő, hogy ezen a felvételen összesen 3 csillag látható, amint az az objektumokat körülvevő feltűnő „sugarakból” is látható. A HXDF viszont több ezer pontszerű galaxist is tartalmaz, a szakcsillagászok elemzése szerint ezen a felvételen pontosan 7121 galaxis látható, ezek vöröseltolódása a ~ 4 és ~ 12 közötti tartományba esik (Illingworth és mtsai. 2013) .

A HXDF több galaxist is tartalmaz, amelyeknek a vöröseltolódása $z \approx 10$ (lásd például Bouwens és mtsai. 2011.). Itt említeném meg, hogy sajnos, a könyv szerzői notóriusan

¹Vöröseltolódás alatt a színekvonalak hosszabb hullámhosszak felé eltolódását értjük. Lásd 2.1.1 egyenletet.



2.1 ábra: A Hubble Extreme Deep Field (HXDF) a Hubble űrtávcső által készített optikai és infravörös Hubble Ultra Deep Field (HUDF) felvételek kombinációja. A HXDF felvételen 7121 galaxis található (Illingworth és mtsai. 2013), az univerzum legtávolabbi és egyben legfiatalabb galaxisai láthatóak rajta. A legtávolabbi galaxisok kb. 450 millió évvel a „Big Bang” utáni időszakból észlelhetők ezen a felvételen. A kép forrása: https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/xdf.html, 2017. 09. 20-án letöltve.

Hubble XDF részletek

Égi koordináták (J2000)	$\alpha = 03^h 32^m 38.5^s, \delta = -27^{\circ} 47' 00''$
Felvétel területe	4.7 ívperc ²
HST műszerek	ACS/WFC and WFC3/IR
Felvételek időpontja	2002. Július-2012. December
Teljes expozíciós idő	21.7 nap (~ 2 millió másodperc)
Felvételek száma	2963 (1972 ACS/WFC; 991 WFC3/IR)
Felvételek átlagos mélysége	~ 30 AB mag (5σ)
Kombinált felvétel mélysége	31.2 AB mag (5σ)
Archívum	http://archive.stsci.edu/prepds/xdf/

2.1 táblázat: Ez a táblázat a Hubble Extreme Deep Fieldre vonatkozó legfontosabb észlelési adatokat tartalmazza. A táblázat Illingworth és mtsai. (2013) cikkében található 1. táblázat alapján készült.

kerülnek a vöröseltolódás, mint távolságindikátor használatát. Pedig ez a csillagászatban megszokott „természetes skála” a távoli objektumok távolságának meghatározásakor. Erre még a későbbiekben visszatérek.

2.1.1 A tér és az idő tartományai (Fizika 9/8.)

Ez a lecke (TK/ 8-11. oldal) az időtartományokkal és méretskálákkal foglalkozik. Az időskála csillagászati léptékeit konkrét értékekkel szemléltetik, szerepel a leckében az univerzum és a Föld kora is. A szerzők felsorolásjellegűen megemlítik, hogyan lehet a „múltbeli események időpontjára” következtetni (pl. radioaktív bomlás segítségével, vagy az fák évgyűrűinek megszámlálásával). Amit hiányolok, hogy a lecke viszont konkrét csillagászati módszereket nem említ.

A méretekről egy részletes, féloldal terjedelmű táblázatot találunk (10. oldal), amely mérettartományonként tartalmaz jellemző adatokat.

A diákokban a lecke olvasása során felmerülhet a kérdés, „hogyan mérik a távolságokat a csillagászok?” vagy „honnan tudjuk, hogy az univerzum éppen 13,8 milliárd éves?”

Távlatok az időben

Ebben a rövid paragrafusban a szerzők kitérnek az univerzum korára. Említést tesznek, hogy jelenlegi „ismereteink alapján a világegyetem nagyjából 13,8 milliárd évvel ezelőtt jött létre.”²

A tanulóknak felmerülhet a kérdés, honnan tudjuk, hogy az univerzum véges idővel ezelőtt jött létre vagy éppen ennyi idős. Egy ilyen kérdésnek a megválaszolásához egy fizikatanárnak minimálisan tisztában kell lennie 1) az Ősrobbanás elmélet alapjaival (lásd Peebles és mtsai. 1991) illetve a hozzávezető megfigyelési eredményekkel; 2) a kozmikus háttérsugárzás eredetével.

Ennek kapcsán érdemes megemlíteni, hogy az Ősrobbanás elméletéhez közvetlenül járult hozzá Edwin Hubble munkássága. Hubble 1929-ben megjelent korszakalkotó cikkében megmutatta, hogy az extragalaxisok távolsága és távolodási sebessége között kapcsolat van. Ezt ma már Hubble törvényként ismerjük:

$$v = H_0 D, \quad (2.1)$$

ahol v a távolodási sebesség, a H_0 az ún. Hubble-állandó és D az adott galaxis távolsága.

²Itt az *ismeretek* szó helyett szívesebben használnám az elméleteink kifejezést, mivel az univerzum korát direkt módon megmérni nem lehet, az „ismeret” szó viszont némiképp sugallja a tapasztalati úton való megismerést.

Hubble ezt az összefüggés „közeli” galaxisokra vezette le, amelyek esetében a „standard-gyertya” módszert alkalmazva (cefeida változók segítségével) meg tudta határozni a távolságukat. A galaxisok távolodási sebességét spektroszkópiai vöröseltolódásukból kapta meg:

$$z = \frac{\lambda_0}{\lambda} - 1; v \approx cz, \quad (2.2)$$

ahol z a vöröseltolódás értéke, λ_0 egy színekvonal laboratóriumi hullámhossza; λ az adott vonal mért hullámhossza, c a fény sebessége. A Hubble-állandó ma elfogadott értéke $70,4 \pm 1,4 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ (WMAP adatok alapján).

Az extragalaxisok távolodásából arra következtethetünk, hogy az extragalaxisok anyaga véges idővel ezelőtt egy igen kis térrészben volt összezsúfolva, igen nagy sűrűségű állapotban. (Ehhez a szupersűrű állapothoz rendeljük hozzá a $t = 0$ időpontot.)

Mikor jött létre, meddig tart?

A szerzők az idő „eredetéről” elmélkednek. Augustinus, avagy Szent Ágoston (354-430) tanítását idézik, miszerint „Isten a világmindenséget nem az időben, hanem az idővel együtt hozta létre.” Fizika tankönyv lévén mellőzném a vallási eredetű tanokat. De ha már mindenképpen rá szeretnénk világítani Augustinus tudománytörténeti jelentőségére, annak jobb formája lenne egy törzsanyagtól elválasztott keretes írás. Megjegyzem ez az idézet Szent Ágostontól a Fizika 11. tankönyv 127. oldalán is szerepel, *A mindenség keletkezése* című leckében, szintén a törzsszövegben.

Világunk a kicsik és a nagyok között

A 10. oldalon található mérettáblázat bár nagyon érdekes, de nehezen értelmezhető. A rengeteg „nulla” zavaró, az egész számos illetve tizedestört alakok a milliós nagyságrendnél nagyobb és a milliomod résznél kisebb számok esetében ugyan erőteljes vizuális élményt adnak, de fenn áll annak a veszélye is, hogy a 14-15 éves tanuló átsiklik ezen táblázat felett ahelyett, hogy megállapítaná a leírt számok nagyságát és megvizsgálná a nagyságrendi különbségeket. Ezt a táblázatot mindenképpen célszerű lenne kiegészíteni egy olyan oszloppal, ahol a számok normál alakja szerepelne. A 10 hatványkitevőinek összehasonlításával egyértelműbben látszanának a nagyságrendi különbségek. Példának okáért a legnagyobb ($1,25 \cdot 10^{26}$ m) és a legkisebb (10^{-15} m) közötti 41 nagyságrendnyi különbség rögtön evidens lenne. Ezzel a változtatással a tanulók megismerkedhetnének a nagyságrend mint a tíz hatványai közti különbségként való értelmezésével, amivel a 14-15 évesek matematikai kompetenciáját is fejlesztenénk ezen konkrét gyakorlati példákon keresztül.

A táblázathoz további kiegészítés gyanánt feladatként lehetne hozzárendelni a csillagászati távolságok csillagászati egységekben (CSE) és fényévekben való megadását. A táblázatban a Nap-Föld közepes távolsága is szerepel, ami a csillagászati egység definíciója is egyben. A fényév fogalmával a 8. osztályos tananyagban már találkoztak a tanulók, tehát ez a plusz feladat kiváló lehetőség lehet a korábbi ismeretek felelevenítésére is! A táblázathoz tartozó megjegyzés maga is utal arra, hogy a hosszú számsorral kifejezhető méretek helyett, célszerű a speciális mértékegységeket használni.

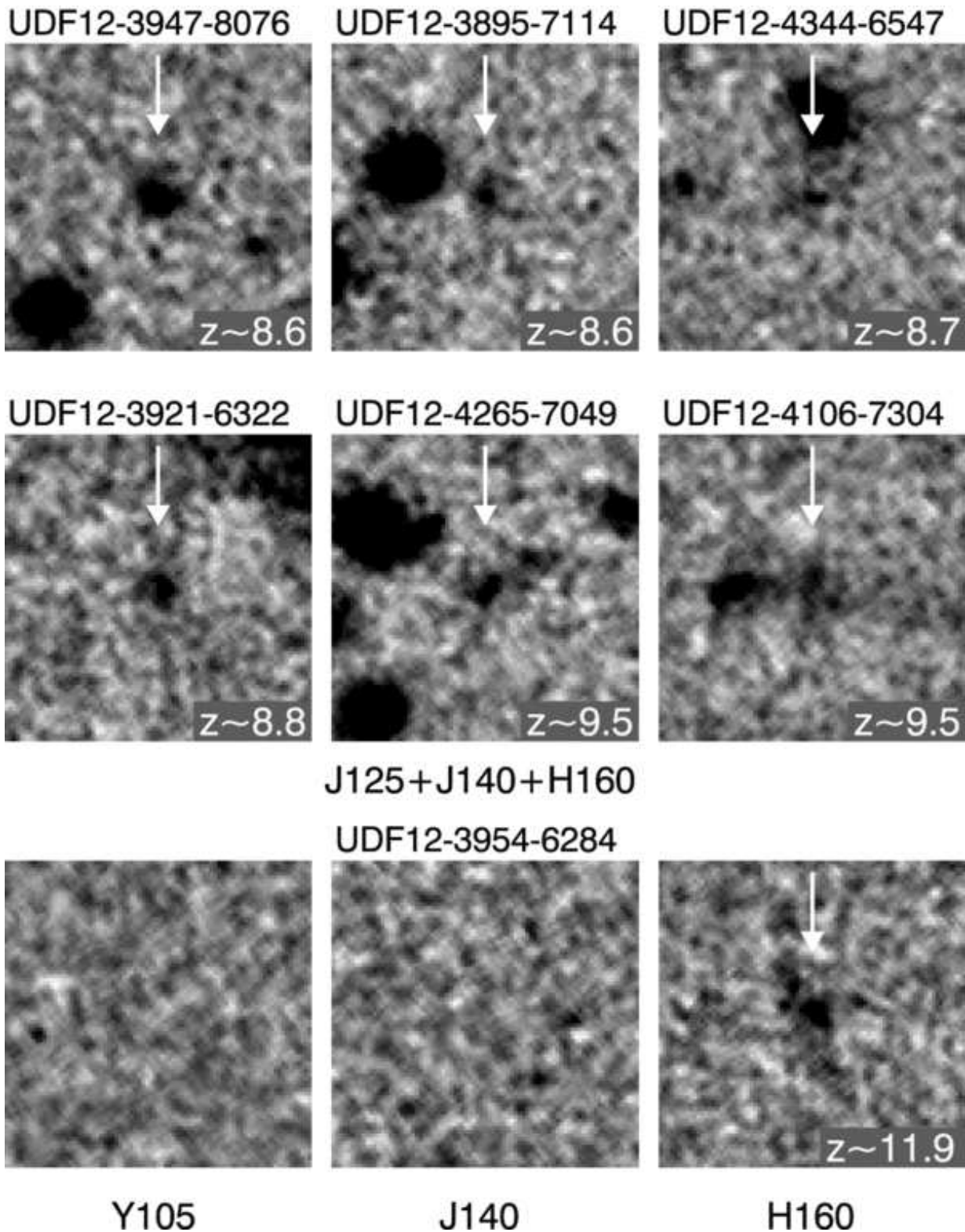
Gondold meg!

A 9. oldalon található *Gondold meg!* keretes írásban a(z ebben a szakdolgozatban már emlegetett) korai univerzumban található objektumokról és „csúcstartóról” esik szó. A tankönyvben idézett objektum (SXDF-NB1006-2 galaxis) vöröseltolódása $z=7,213^3$, ezzel a vöröseltolódással (ill. távolsággal) már nem csúcstartó. A korábbiakban már emlegetett HXDF felvételen több olyan objektum is van, amelynek vöröseltolódása meghaladja a $z \approx 8.5$ értéket (Illingworth és mtsai. 2013). Fontos megjegyezni, hogy néhány kivételtől eltekintve, a HXDF galaxisok vöröseltolódását nem a spektrumvonalak eltolódásából állapították meg. Létezik egy másik, ún. fotometriai eljárás, amelynek alapja, hogy a különböző szűrőkön mért fényességeket illesztik meg a spektrális energia eloszlás modelljeivel. (Ennek technikai részleteibe nem mennék bele, de az egyes szűrőkön mért fényességeket ilyenkor úgy értelmezik, mint a szűrő spektrális tartományában „kiátlagolt” spektrumot.) Bouwens és mtsai. (2011) ezt az eljárást alkalmazva az UDFj-39546284 jelű galaxist $z \approx 10$ vöröseltolódásúnak találták. Későbbi vizsgálatok (Ellis és mtsai 2013; Brammer és mtsai. 2013; Bouwens és mtsai. 2013) az objektum távoli infravörös spektrumának elemzésével a galaxis vöröseltolódását $z = 11, 9$, majd $z = 12, 12$ értéként állapították meg. A vizsgálatok viszont nem tudták kizárni annak a lehetőségét, miszerint az objektum egy $z = 2, 19$ vöröseltolódású erős emissziós vonalakkal rendelkező „közbeeső” galaxis. Ennek oka, hogy a kevés számú vonal miatt a vonalak azonosításakor (illesztésekor) nem lehet 100%-os valószínűséggel kizárni más illeszthető modelleket. Éppen emiatt ez az objektum nem szerepel a legtávolabbi galaxisok „hivatalos” listáján.⁴

A tankönyv adata az előbbieket alapján mindenképpen elavultnak mondható. A pedagógusnak szerencsére több választása van, hogyan hívja fel erre a tanulók figyelmét. Kijelölheti házi feladatnak (akár páros, csoportos munkában is) a jelenlegi legtávolabbinak

³Az eredeti bejelentés itt olvasható: <http://www.tmt.org/gallery/miscellaneous/sxdf-nb1006-2>. Hozzáférés: 2017.10.20.

⁴Megjegyzés: A legtávolabbi galaxisokat és egyéb megfigyelt eseményeket szépen összefoglalja az angol nyelvű wikipedia oldala, amely elérhető az https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_most_distant_astronomical_objects oldalon. A wikipedia angol nyelvű csillagászati oldalain található tartalmakat általában tudományos igényességgel fogalmazták meg. Bátran lehet őket böngészni!



2.2 ábra: A Hubble Extreme Deep Field (HXDF) nagy vöröseltolódású galaxisai. A kép Ellis és mtsai. (2013) cikkéből való, ott „Figure 1.”

mért objektum felkutatását. A másik lehetséges út természetesen a tanórán való megvitatás. A jelenlegi legtávolabbi galaxist a CANDELS és GOODS-North nemzetközi

kutatócsoportok⁵ publikálták (Oesch és mtsai., 2016). A Nagy Medve (Ursa Maior) csillagképben található GN-z11 nevű galaxis spektroszkópiai vöröseltolódása $z = 11,09$, ami azt jelenti, hogy fénye 13,4 milliárd évvel ezelőtt indult el „felénk”, amikor az Univerzum még 400 millió éves volt. Ez egyáltalán nem azt jelenti, hogy a galaxis 13,4 milliárd fényévre van!

Ennek a látszólagos ellentmondásnak a megértéséhez azt kell tisztázni, hogy milyen kapcsolat van a vöröseltolódás, a fényévekben mérhető távolság illetve az ún. „visszatekintési idő” (angolul „look-back time”, amit τ -val jelölnek a csillagászok, a tankönyvi példánál $\tau = 13,4 \text{ Gév}$) között. David Hogg (1999) ingyenesen hozzáférhető cikke⁶ kimerítően foglalkozik a kozmológiában használatos távolságmérési módszerekkel, amelyeknél Einstein relativitás elméletét is figyelembe kell venni! A cikkben részletesen leírja, milyen egyenletek segítségével lehet a távolságot, visszatekintési időt stb. a vöröseltolódásból megkapni. (A cikkből az is kiderül, hogy a kozmológusok többféle távolságmérési módszerrel dolgoznak.) Hasonló elveken működik az Edward Wright (2006) által elkészített „kozmológiai számológép”.⁷ Ha használjuk a kalkulátort a szakirodalomban talált objektumok vöröseltolódás értékeinek átszámításához, fontos megjegyezni, hogy az alapadatokon (pl. Hubble-állandó) nem érdemes változtatni. A kalkulátor egyszerűen működik, csak az objektum vöröseltolódásának értékét kell beírni, és megkapjuk az általunk keresett távolságot. Tehát az előbbieken alapján ez a távolság adat valójában az az idő milliárd években megadva, amire a fénynek szüksége van ahhoz, hogy az univerzum távoli szegletéből eljusson hozzánk (a.k.a. „light travel time”!) A kalkulátor több távolság adattal is szolgál, de az univerzum korát is megadja. A tankönyvi példánál maradván látható, hogy a galaxis luminozitási távolsága (luminosity distance) 238,3 milliárd fényév; ún. együttmozgó távolsága (comoving distance) 29 milliárd fényév, visszatekintési ideje 12,98 milliárd év! A különbségek oka az univerzum gyorsuló tágulása! Emiatt amikor nagy vöröseltolódású objektumok távolságáról beszélünk, csillagászatban a visszatekintési időt vesszük figyelembe (vagy a vöröseltolódás értékeket)! Tehát a tankönyv szerzői tévesen használták a 12,91 milliárd éves adatot (az eltérés oka a kicsit különböző konstans értékek használata) távolság értelemben! (Továbbá helytelennek tartom a milliárd fényévek átváltását méterre.)

Ebben a *Gondold meg!* keretes részben a tankönyvírók a gravitációs hullámokról is említést tesznek. A tankönyv megírása óta a LIGO már több esemény is detektált!

⁵A csillagászatban megszokottá vált, hogy a kutatók nagy nemzetközi együttműködésben vesznek részt.

⁶A <http://arxiv.org/astro-ph> weboldalon található cikkeket bárki szabadon letöltheti. Bevett szokás, hogy ha azt a kiadói jogok nem tiltják, a szakcsillagászok a fizetés folyóiratokban megjelentetett cikkeiket itt is közzé teszik.

⁷A kalkulátor a <http://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html> oldalon érhető el, bárki számára hozzáférhető!

(Természetesen egy tankönyvtől nem lehet elvárni, hogy tartalmazza a csillagászat legfrissebb eredményeit.) A gravitációs hullámok felfedezésének jelentőségét jól mutatja, hogy a média napokig harsogta a felfedezésről szóló hírt.

Egyszerű kérdések, feladatok

A kérdések között két csillagászati vonatkozású van. A negyedik feladat egyszerű számolással megoldható: *Hányszorosa a Nap és a Föld átlagos távolsága a Nap átmérőjének?* A szükséges adatok a tankönyv 10. oldalán lévő táblázatból kikereshetőek. A válasz: ≈ 108 -szorosa. A következő feladat már kicsit bonyolultabb: *Fejezd ki a Mars és a Jupiter Naptól vett távolságát a Nap és a Föld átlagos távolságával!* Ennek a kérdésnek a megválaszolásához érdemes a csillagászati egység (CSE) fogalmával is megismertetni a tanulókat⁸. A szükséges adatokat a Négyjegyű Függvénytáblázatok is tartalmazza! A táblázatok 204. oldalán (24. kiadás, 1998) A Naprendszer bolygóinak összes jellemző adatát megtaláljuk.⁹ Kiolvasható, hogy a Mars közepes távolsága 227,9 millió km, a Jupiteré pedig 778,3 millió km. A Föld közepes távolsága is pontosabb értékkel szerepel: 149,6 millió km. Ez alapján a Mars távolsága 1,52-szerese, a Jupiter távolsága pedig 5,2-szerese a Nap és a Föld közepes távolságának. Ez azt is jelenti, hogy a Mars kb. 1,5 csillagászati egységre, a Jupiter pedig 5,2 csillagászati egységre van a Naptól. (Ezeket az adatokat is megtaláljuk a függvénytáblázatokban.)

További feladatként lehetne adni a többi nagybolygó távolságának csillagászati egységekben való kifejezését! További feladatként rá lehetne őket vezetni az 1766-ból származó összefüggésre, amit Titius-Bode szabályként ismerünk a csillagászatban. Az empirikus úton levezetett összefüggés szerint a bolygók közepes naptávolságát az alábbiak szerint lehet kifejezni:

$$r = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n. \quad (2.3)$$

A képletben r a bolygók Naptól való közepes távolsága csillagászati egységekben (CSE) megadva. Az n értéke egész szám 0-tól kezdődően, kivéve a Merkúrt, amire n értékre $-\infty$ -t helyettesítünk be. A 2.2 táblázat tartalmazza az összefüggésből kapott távolságokat. Látszik, hogy az Uránuszig egészen kiváló az egyezés.

Természetesen nem várható el egy kilencedikes tanulótól, hogy ismerje a kettősalapú exponenciális függvényt, de a függvény illesztésének lépéseit pl. Geogebra program használatával lehetne demonstrálni. A Geogebra-val egyébként is célszerű megismernedniük (minél hamarabb); sok a fizika egyéb részeinél is jól alkalmazható tananyag található az interneten¹².

⁸1 CSE = a Nap–Föld közepes távolsága, $\approx 1,5 \cdot 10^{11} \text{ km}$

⁹2006 előtti kiadás révén a Plútó is szerepel a bolygók között.

¹²Pl. <http://www.geomatech.hu>

A Titius-Bode összefüggés

Bolygó	n	r	Tényleges távolság (CSE)
Merkúr	$-\infty$	0,4	0,39
Vénusz	0	0,7	0,72
Föld	1	1	1
Mars	2	1,6	1,52
Kisbolygók	3	2,8	2,9
Jupiter	4	5,2	5,2
Szturnusz	5	10	9,55
Uránusz	6	19,6	19,2
Neptunusz	7	38,8	30,1
Plútó	8	77,2	39,5

2.2 táblázat: A Titius-Bode szabály. A szabály népszerűségét növelte, hogy a megalkotása után felfedezett Uránusz (1781)¹¹ beleillett a szabályszerűségbe. A Mars és Jupiter közti kisbolygókat pedig pont e szabály miatt kezdték szisztematikusan keresni. Az első kisbolygót vagy törpebolygót 1801-ben találták meg. A Ceres egyben a kisbolygóövezet legnagyobb lakója. A Neptunusz és a Plútó valódi távolságai viszont már nagyon kilógnak, ami miatt az összefüggés mégsem tekinthető általános érvényűnek. A táblázat forrása: Gábris-Marik-Szabó: Csillagászati földrajz, 153. oldal, 10. táblázat.

Megjegyzés: A tankönyv többször hivatkozik a Nap és a Föld átlagos távolságára, ami azonban csillagászatilag nem helyes szakkifejezés. Az átlagos távolság matematikai és fizikai értelemben azt jelenti, hogy többszöri mérés eredményeit átlagolva kapunk egy átlagtávolságot. A tankönyv szerzői által hivatkozott érték (150 000 000 km) a Nap-Föld közepes távolsága, ami a Föld ellipszispályájának félnagy tengelye.

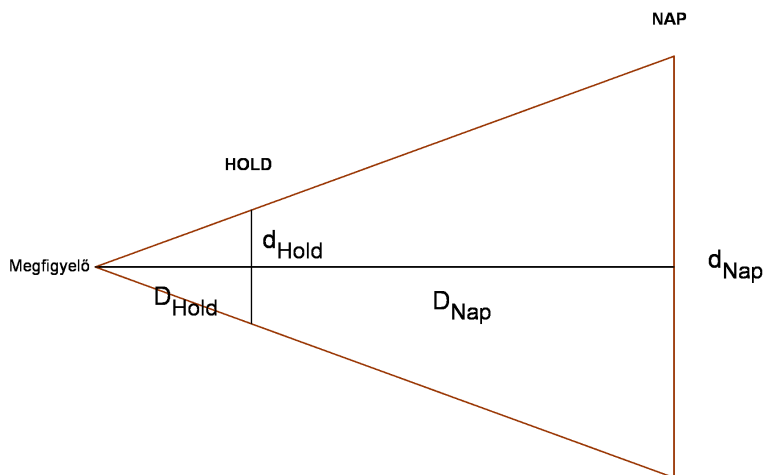
Összetett kérdések, feladatok

A nehezebb feladatok között található az alábbi csillagászáttal kapcsolatos kérdés: 7. *Mekkora a legnagyobb és legkisebb Nap-Föld-, illetve Hold-Föld-távolság.* Ez a feladat előre vetíti a tananyag egy későbbi szakaszában előforduló Kepler-törvényeket (Fizika 9. 83. oldal). Mivel a bolygók a Nap körül, illetve a holdak a bolygók körül ellipszis alakú pályán keringenek, távolságuk egy keringés alatt folyamatosan változik. A pályákhoz tartozó félnagy tengelyek két végpontja jelöli ki a pályán a bolygó/hold a Naptól/bolygótól való legkisebb és legnagyobb távolságát. A pálya azon pontja, amikor a bolygó vagy hold a központi égitesthez legközelebb tartózkodik a pályán, a pálya perihélium ill. perigeum pontja. A pálya legtávolabbi pontja az aphélium illetve apogeum. A pálya perihélium távolságát a pálya excentricitásából számolhatjuk, a pálya excentricitását (e) az ellipszis fókuszpontja és középpontja közti távolság (c) és a félnagy tengely (a) hányadosaként értelmezzük. Ez alapján könnyen belátható az alábbi összefüggés: $d_p = (1 - e)a$ és $d_a = (1 + e)a$, ahol d_p a perihélium/perigeum távolsága, d_a pedig az aphélium/apogeum távolsága. A nagybolygók és a Hold pályaelemeit behelyettesítve számolhatjuk a keresett

távolságokat.¹³

A Föld pályájának excentricitása $e = 0,01671$, amiből $d_p = 0,98329CSE = 147,1$ millió km; $d_a = 1,01671CSE = 152,1$ millió km. A Hold pályájának excentricitása $e = 0,0549$, amiből $d_p = 363296$ km; $d_a = 405503$ km.

A 8. kérdés arányossági feladat, a tanulónak meg kell becsülni a Hold átmérőjét. A tanulónak fel kell ismernie, hogy a Hold és a Nap látszólagos mérete egyforma, ami a napfogyatkozásból következik! Ebben a feladatban nehézséget az okoz, hogy a látszólagos átmérőt szögként kell értelmezni. Ha ezt megérti a tanuló, akkor már könnyedén fel tudja rajzolni a hasonló háromszögeket (lásd 2.3 ábrát).



2.3 ábra: A Nap és a Hold azonos látszólagos méretére alapozva, a távolságok és az átmérők aránya megegyezik.

Az ábrán D jelöli a távolságokat, d az átmérőket. Az ábrából következik, hogy a probléma háromszögek hasonlóságára redukálódik:

$$\frac{d_{Nap}}{D_{Nap}} = \frac{d_{Hold}}{D_{Hold}}.$$

Az egyenetet d_{Hold} -ra átrendezve számolható a Hold átmérője. A 10. oldalon található táblázatból a tanuló könnyen ki tudja keresni a szükséges adatokat (d_{Nap} , D_{Nap} és D_{Hold}), amiből megkapható, hogy a Hold átmérője 3558,4 km!

¹³A <http://sterni.web.elte.hu/anyag/ora2.html> weboldalon (hozzáférés: 2017.11.10.) megtaláljuk a hiányzó adatokat.

Az utolsó 11. feladatot (*Honnét lehet tudni, hogy a Föld 4,5 milliárd éves? Hogyan döntenéd el, hogy a Hold a Földből kiszakadt anyagdarab vagy a Föld vonzereje által befogott kisbolygó?*) ezen a szinten nehéznek ítélem, pláne egyedüli feldolgozásra. Tanórai feldolgozásra sem javaslom, mert sok időt elvehet az elméletek, megfigyelési eredmények áttekintése. Erre a kérdésre a Naprendszer tárgyalásakor lenne érdemes visszatérni, amikor számba tudjuk venni, milyen megfigyelések támasztják alá a befogott holdak elméletét. (Például a Neptunusz Triton holdja retrográd irányban kering, amiből sejthető, hogy befogott kísérő.)

2.1.2 A távolságok és az idő mérése

A lecke bevezetőjében az alábbiakat olvashatjuk: „... a csillagászati periódusok korántsem pontosan ennyire szabályosak, ezzel számos megoldandó feladatot adva a naptárkészítőknek.” A szerzők által idézett csillagászati periódusok: a Föld tengelyforgása, keringése a Nap körül; a Hold keringése a Föld körül. Ezek szabályos csillagászati periódusok¹⁴! A probléma abból adódik, hogy ezek a periódusok nem egymás egészszámú többszörösei! Szerencsére ezt a pontatlan megfogalmazást a szerzők a **Naptár és szökőév** című bekezdésben (Fizika 9. 14. oldal) korigálják.

A tankönyvírók levezetik, miért van szükség a szökőévek használatára a naptárban. Ebben a részben a tankönyvi aktualitás megőrzése érdekében a következő szökőév dátumát 2020-ra kellene módosítani. Feladatot is meg lehetne fogalmazni ezzel kapcsolatban: Hány szökőév esik a 2010 és 2050 közti időszakra? A válasz 10, az első 2012, az utolsó 2048.

A Föld egy teljes Nap körüli keringési ideje, amit csillagászatban sziderikus évnél neveznek, 365,256 napig tart. A sziderikus évet az állócsillagokhoz viszonyított rendszerben mérjük, így az nem azonos a tropikus évnél nevezett, a Nap látszólagos mozgásán alapuló, egy tavaszpontáthaladástól a következő tavaszpontáthaladásig tartó időszakkal. A tropikus év, vagy más néven szoláris év hossza 365,2422 nap. A tavaszpont (az a pont, ahol az ekliptika metszi az égi egyenlítőt) folyamatosan hátrál az állócsillagokhoz viszonyított rendszerben, ezért lesz a szoláris év rövidebb! A tavaszpont hátrálásának oka a Föld forgásában rejlő anomália, a precessió. A naptárban az év hosszának számítása a tropikus éven alapul! (Az időmérés sajátosságairól a Csillagászati földrajz c. könyvben lehet bővebben tájékozódni.)

A *Számoljuk ki!* részben (Fizika 9. 14. oldal) található feladatban a Nap körüli keringési időt és a naptári év hosszát kell összehasonlítani ezrelékes eltéréssel. A feladat

¹⁴Eltételezve a Föld tengelyforgási sebességének lassú csökkenésétől, ami viszont csak évtizedes időtartományokat tekintve lesz jelentős

szövegezése véleményem szerint nehezen érthető és erőltetett: *Egy teljes Nap körüli fordulathoz képest hány ezrelékkal végez kevesebbet a Föld azokban az években, amikor nincs szökőnap, és hány ezrelékkal végez többet szökőnapos években?* (Zavaró a Nap körüli mozgás, azaz a keringés, mint „fordulat” leírása; továbbá a szökőnapos év helyett a korábbiakban szökőév szerepelt.) A feladatot sokkal könnyebben meg lehetne érteni, ha a megfogalmazásban a keringési idő és a naptári év hosszának arányából kellene következtetni arra, hogy a mennyi hiányzik a Földnek egy teljes keringés megtételéhez. A tankönyvírók által javasolt megoldásban hibás levezetés található. Ehhez fel kell ismerni, hogy a 365,2422 nap a fentebb említett tropikus év hossza, ami nem azonos a Föld Nap körüli keringési idejével! Így a számítás helyesen: $365/365,256 = 0,999299$. Ez azt jelenti, hogy a naptári év hossza 0,7 ezrelékkal kevesebb, mint az egy teljes keringéshez szükséges idő, azaz a Föld még pályájának 0,0007-részét meg kell tegye a pálya teljes befutásához. Szökőévekben $366/365,256 = 1,00204$ fordulatot tesz meg a Föld az állócsillagokhoz képest, ami 2,04 ezrelékkal nagyobb, mint a pálya hossza.

Az **Összetett kérdések, feladatok** részben lévő 6. kérdés Olaf Römer a fény sebességének mérésére alkalmas módszerét kéri számon. Ezt a kérdés nem igazán illeszkedik bele a lecke anyagába, ráadásul a fény sebességének mérése a 11. osztályos tananyagban szerepel. Otthoni tanulás esetén a fény sebességének méréséről a tanulóknak - mivel a tankönyvben a módszert a szerzők nem ismertetik - más tankönyvekben vagy az interneten kell utánanézniük, például a Sulinet Tudásbázisban.

Ebben a leckében (is) több olyan fogalom előjött, ami csak a későbbi tanulmányok során kerül kifejtésre, ilyen például a radarhullám.

2.1.3 Helymeghatározás (Fizika 9/17.)

A földi helymeghatározással foglalkozó lecke, ami a GPS általi XXI. századi módszert helyezi fókuszba.

Hallottál róla?

A 18. oldalon található keretes részben az elmúlt évszázadok csillagászati mérőeszközeit, a szextánst és a kvadránst mutatják be a tankönyv szerzői. A műszereket képekkel is illusztrálták a tankönyv írói. A szerzők említést tesznek róla, hogy a kvadráns egy nagy méretű (Ulug Bég kvadránsa például három emeletes) szögmérő, amivel a csillagok pozícióját lehetett mérni. A magyarázatból kimaradt, hogy nagy méretük miatt természetesen ezeknek a műszereknek a helyét nem lehetett változtatni, emiatt építésük gondos tájolást igényelt: a műszert úgy állították fel, hogy a csillagok meridián átmenetét

tudják vele mérni.¹⁵ A Tycho Brahe kvadránsát bemutató képen is jól látszik, hogy a csillagokat egy kisebb résen keresztül lehetett látni. A kvadráns az a 90 fokos beosztású negyed kör, aminek a segítségével le lehetett olvasni a csillag delelési magasságát.¹⁶ A mérés során egy segéd olvasta le az időt a kvadráns mellett elhelyezett órákról, egy másik segéd rögzítette az adatokat. Az obszervatórium ismert helyzete és pontos idő segítségével a csillag meridián átmeneti magasságából ki lehetett számolni a csillag égi egyenlítői koordináta-rendszerben értelmezett fix pozícióját! (A csillagászati koordináta rendszerekről bővebben a Csillagászati földrajz című könyvből lehet tájékozódni.)

Északi irány meghatározása csillagképek segítségével

Az északi irányt a Sarkcsillag segítségével találjuk meg az éjszakai égbolton. De a Sarkcsillag a Föld déli féltekéjén nem látszik, ott hogyan lehetne meghatározni az északi illetve déli irányt?

A Google Égbolt (Google Sky)

Ez a rész a Google Sky programot mutatja be a tanulóknak. A mellékelt két kép (21. oldal) nagyon rossz minőségben került a tankönyvbe! Nem lehet kivenni, mit is akar ábrázolni. Továbbá a program leírásakor kimaradt, hogy 1) a program csak angol nyelven érhető el; 2) csak online felületen használható; 3) az égboltot nem valós időben mutatja, hanem archív felvételekből rakták ki (mozaikolták ki) az égboltot.

Továbbá a Hold és a Mars az ún. Google Moon (<http://www.google.com/moon>) és Google Mars (<http://www.google.com/mars>) felületeken keresztül érhető el.

A programot, ha használatára például egy interaktív tanóra keretén belül sor kerül, a pedagógusnak ismernie kell! Továbbá fel kell készülni a csillagképek, csillagok, galaxisok stb. angol nyelvű megnevezéseivel!

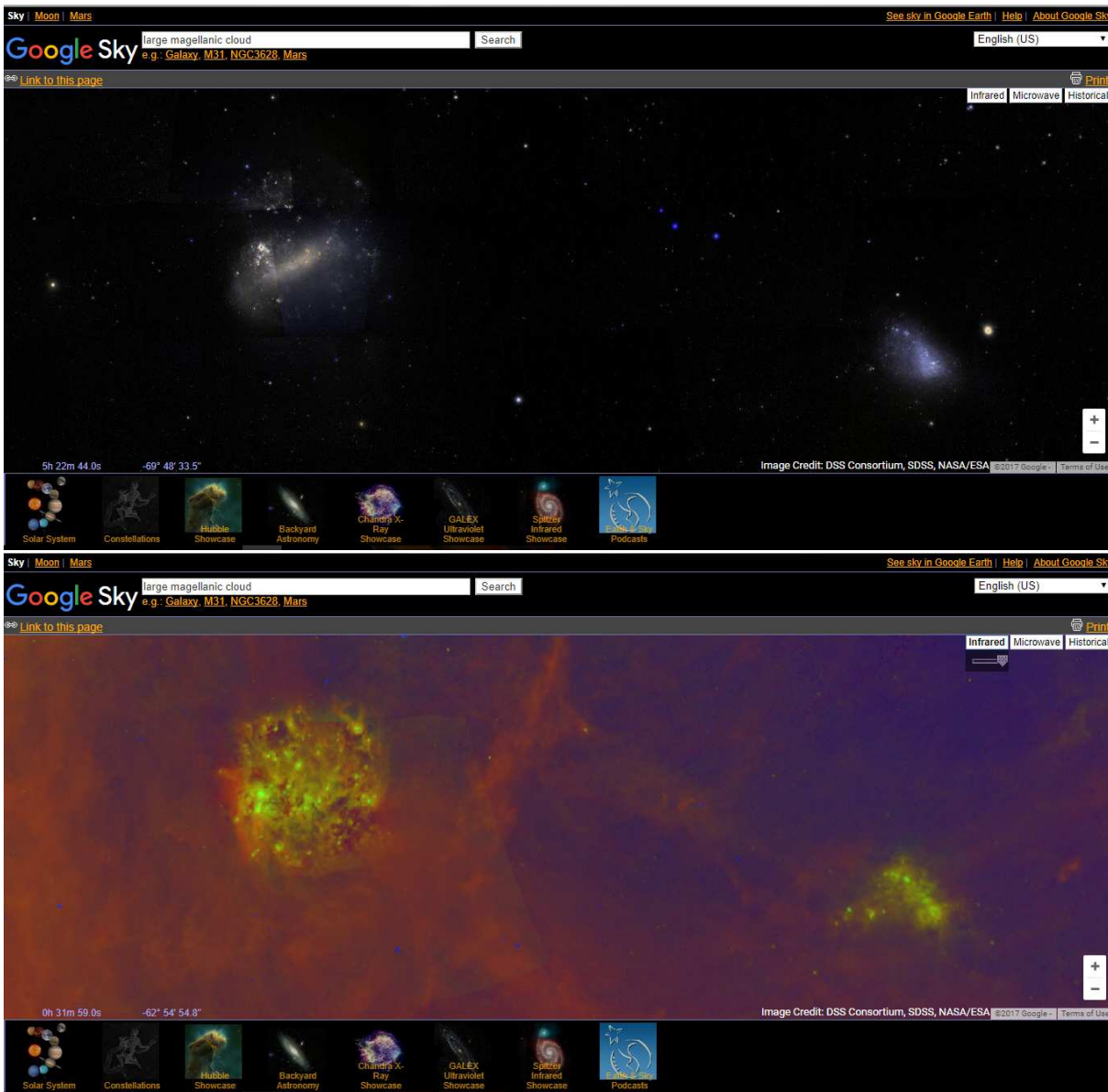
Mivel a Google Sky alapjául szolgáló archív felvételek nagy égboltfelmérő programokból származnak¹⁷, így a felületen ki lehet választani, hogy milyen sugárzási tartományban szeretnénk az égbolt adott területét megnézni, megvizsgálni. Ennek megfelelően infravörös tartományban is láthatjuk az objektumokat. A 20 oldalon található 2.4 képen a Magellán Felhők láthatóak a látható fény és infravörös tartományban.

A Google Sky-nál professzionálisabb (és szintén ingyenes) szolgáltatást nyújt a

¹⁵A meridián az égi póluson és a zeniten átmenő főkör a megfigyelés helyén.

¹⁶Delelési magasság alatt a csillag horizont feletti magasságát értjük, amikor az éppen áthalad a meridiánon.

¹⁷Ilyen égboltfelmérő program például a Sloan Digital Sky Survey (SDSS,www.sdss.org), vagy a 2 Micron All Sky Survey (2MASS)



2.4 ábra: Felső kép: A Google Sky oldal a Magellán felhőkkel, balra a Nagy Magellán felhő (*Large Magellanic Cloud, LMC*), jobbra a Kis Magellán felhő (*Small Magellanic Cloud, SMC*) a látható fény tartományában. Alsó kép: Ugyanez a terület infravörösben. Egyéb útmutató: A Google Sky oldal alsó részén lehet választani a Hubble, Chandra, Galex és Spitzer űrtávcsövek felvételeiből. A jobb felső sarokban található gombok segítenek az optikai és infravörös tartományok közti átváltásban. A bal felső sarokban a megszokott google kereső látható, ide írhatjuk a keresett objektum nevét angolul. (Kipróbáltam, nem érti a „nagy magellán felhő” kifejezést.)

„SKY-MAP”, amit a <http://www.sky-map.org> oldalon lehet elérni. Ennek ráadásul magyar nyelvű változata is van! Az oldalra érkezve rögtön szembe találjuk magunkat a fénylő Androméda galaxissal. Megjegyzem, a Google Sky-t elindítva nem kapunk semmi információt arra vonatkozóan, hogy az égbolt melyik területét látjuk (az égi koordinátákat leszámítva). A SKY-MAP ezzel szemben legalább néhány alapinformációt megjelenít, ha a kurzort az objektumra vezetjük. A SKY-MAP bemutatásával a <http://www.csillagaszat.hu> Csillagászati Hírportál is foglalkozott¹⁸, ahol végig vették

¹⁸Hozzáférés:

a szolgáltatás alapfunkciót.

A mai diákság nagy része rendelkezik okostelefonnal. Ez a téma kiváló alkalom lehet arra, hogy bevigyük a digitális forradalmat a tanórára, azaz a tanulók legálisan használják okos eszközeiket. Az okos eszközök használatának nagy előnye, hogy a szolgáltatások offline módban is elérhetőek. Ezek közül például a Star Chart vagy a SkySafari 5 ingyenesen is telepíthető verziói valóban elkalauzolnak az űrben¹⁹. Ami biztosan le fogja nyugözni a 15 éves diákot, hogy a telefont körbeforgatva az égbolton, a kivetített égbolt rész annak megfelelően változik. Tehát gyakorlatilag az égboltról le lehet olvasni egy csillag, vagy csillagkép nevét!

Egyszerű és összetett kérdések, feladatok

A 21. oldalon található kérdések között ismét találunk csillagászati vonatkozásokat. Az összetett kérdések 4. feladatában egy új fogalommal illetve csillagászati jelenséggel találkoznak a tanulók. ... *a Göncölszékér melyik csillaga kettős (vizuálisan kettős, egymás mellett látszanak, de a tér más mélységeiben helyezkednek el)*. Mivel még a kettős csillagokról nem tanultak, ezt a kérdést mindenképpen együtt kellene megoldani. (A válasz egyébként egyébként a ζ Ursae Maioris, azaz a Mizar, ami a Nagy Göncöl rúdjának 2. csillaga a rúd végétől nézve, s egyben a Nagy Göncöl negyedik legfényesebb csillaga. Társa a 80 Ursae Maioris, azaz az Alcor. A két csillag szögszeparációja 12 ívperc.) A válaszban segíthetnek a fentebb említett programok, alkalmazások.

2.2 Mozgások a Naprendszerben

Ez a fejezet a Naprendszer szerkezetére vonatkozó tudománytörténeti elképzelésekkel és a bolygók mozgásával foglalkozik. A fejezet harmadik leckéje a Föld, Hold és a Nap jellemző adatainak (távolság, méret) elvi méréseit mutatja be.

2.2.1 A Naprendszer modelljei (Fizika 9./78)

Ebben a leckében a tanulók egy történelmi áttekintésről olvashatnak: hogyan fejlődött eleink világképe a Föld középpontú (geocentrikus) világképtől a Nap középpontú (heliocentrikus) világképen keresztül a Tycho Brahe és Kepler által megalkotott Naprendszer modellig.

Sajnos, (itt is) a lényeg elveszik a sok felesleges szöveg és kép között.

<https://www.csillagaszat.hu/hirek/egy-egyeb-temak/csillagterkep-pont-org-ejszakai-egbolt-a-weben/>
2017.10.27.

¹⁹Az alkalmazásokat androidos telefonra a Google Play áruházból lehet telepíteni.

A lecke az ókor tudósainak „megfigyelési tapasztalataival” indul (78. oldal), ez semmiben sem különbözik attól, amit egy átlagos megfigyelő manapság is észlel(het) az égbolt megfigyelése kapcsán! Itt néhány tényt tisztába kell tenni. Eleink az egymáshoz képest mozdulatlan égitesteket állócsillagoknak nevezték, amelyeket azonos távolságúnak hittek. A „könnyebb azonosíthatóság kedvéért” csillagképeket rendeltek a csoportokhoz, ezekhez a csillagképekhez mítoszokat és legendákat társítottak. Emiatt az sem véletlen, hogy például az Androméda, Cassiopeia és Perzeusz csillagképek az égbolton egymáshoz közel helyezkednek el. Ennek megfelelően azt is ki kellett volna emelni, hogy a csillagképek rendszerének alapja az ókori görög-hellén kultúrkör.

A csillagképek szemléltetésére a tankönyvben egy rajzos ábrázolást választottak a szerzők, sajnos az ábra túl kicsi ahhoz, hogy élvezhető legyen.²⁰ A képen a Nagy Medve csillagkép (Ursa Maior) látható. A képaláírásban olvasható továbbá, hogy a Nagy Medve egy részét „Göncölszerkérnek” nevezzük, ami viszont a csillagkép „pongyola neve”. Az emlegetett csillagcsoportot hivatalosan Nagy Göncölnek nevezik (párja pedig a Sarkcsillagot is tartalmazó Kis Göncöl)! Amit még érdemes ennél a képnél megjegyezni, hogy az ábrázolás az *Uránia Tükre* (angolul *Urania's Mirror*) 1824-25-ben Londonban megjelent képeslapsorozat egy darabja, amely egy ismeretlen szerző-rajzoló munkája; nem pedig ókori hellén ábrázolás!²¹

Az Uránia Tükrenek alkotója nem véletlenül maradt akkoriban ismeretlen. A (választott) anonimitás oka, hogy a tanítási segédletként árusított 32 kártyából álló készlet Alexander Jamieson „A Celestial Atlas” című 1822-ben kiadott munkájából átvett csillagképrajzokat tartalmazott – kiszínezett formában. Tehát egy 19. századi plágium története kerekedik ki előttünk! Hogy a sorozatnak valóban nem sok köze volt a csillagászathoz, jól példázza, hogy a képeslapokat karácsonyi ajándékként reklámozták. Ez a „művészeti alkotás”, amely a Cultiris gondozásából került a tankönyvbe (lásd tankönyv 239. oldal, Képek jegyzéke), a sorozat egy fennmaradt eredetijét a RAS könyvtárában ma már kincsként őrzik. A történethez az is hozzátartozik, hogy 1994-ben a Royal Astronomical Society (RAS, [Brit] Királyi Csillagászati Társaság) könyvtárosa, Peter Hingley azonosította a szerzőt, aki nem más mint egy Richard Rouse Bloxam nevű plébános.²²

A sorozat sajnos már nem tekinthető a csillagképek hiteles forrásának. A sorozat 32 „kártyán” 79 konstellációt ábrázol, de ezek között található olyan, amelyeket ma már

²⁰Ilyen vagy ehhez hasonló esetekben érdemes lenne a kép eredetijének hiteles digitális forrását feltüntetni.

²¹A tanulók egyéb információ birtokában jogosan gondolhatják, hogy egy az ókori csillagászok megfigyeléseit taglaló szöveg mellett egy ókori ábrázolás van feltüntetve!

²²Forrás: <https://www.ras.org.uk/library/treasures-of-the-ras>.

nem tekintünk hivatalosan csillagképnek. A Nemzetközi Csillagászati Unió (International Astronomical Union, IAU²³) 1928-ban hozott döntést a 88 modern csillagképről (ezek közé beletartozik 48 görög csillagkép is). De miért is fontos, hogy melyek a hivatalosan elfogadott csillagképek? A csillagok azonosítása és a pontos helymeghatározás végett.



2.5 ábra: A tankönyvi ábra eredetije és a tankönyben is szereplő 19. századi plagizált változat. A bal oldali kép forrása: United States Naval Observatory Library, http://aa.usno.navy.mil/library/rare/jamieson_plate6.jpg;2017.11.20.

A leckében (78.oldal) szó esik a csillagok együtt mozgásáról az éjszaka folyamán. Mivel egyáltalán nem biztos, hogy minden 14-15 éves kiül az éjszakai csillagos eget bámulni, érdemes ezt szemléltetni! (Ráadásul a fényszennyezés miatt a horizonthoz közelebb eső csillagokat, ahol a legjobban észlelhető az elmozdulás, nem is lehet mindenhol észlelni.) A 2.6 egy jó példa a tankönyvben többször is emlegetett Nagy Göncöl csillagainak együtt mozgására.

Tovább haladva a leckében a bolygók háttércsillagokhoz képesti mozgásáról esik szó. Sajnos a szövegből nem derül ki egyértelműen, hogy a bolygók (is) az ekliptika síkjában mozognak! A tankönyvi szöveget könnyen félre lehet érteni, mintha a bolygók véletlenszerűen „bolyonganának” a csillagképek között. A Naprendszer bolygói, mivel pályájuk az ekliptika síkjába vagy ahhoz nagyon közel esik, ezért az állatövi csillagképekben lesznek láthatóak az év folyamán. A *Hallotál róla?* zárt részben található ábráról lemaradtak a hónapok!

A bolygó szó eredetével kapcsolatban meg lehetett volna jegyezni²⁴, hogy a görög *planéta* (=vándor) szóból származik a bolygó nemzetközi elnevezése (például angolul *planet*). A magyar nyelvben a bolygó szó eredete a *bolyong* ige (lásd Magyar Nyelv

²³Ez az a nemzetközi szervezet, amelynek közgyűlése 2006-ban döntött arról, hogy a Plútó nem tekinthető bolygónak. Helyette a Plútó az ún. törpebolygók családjába került.

²⁴anyanyelvi kompetencia fejlesztéssel kapcsolatban

Etimológiai Szótára^{25, 26)}

A 79. oldalon található sematikus ábra a Mars sajátos mozgásáról akkor lett volna igazán érthető, ha az ábráról pontosan látszik az a konfiguráció, ami miatt a „hurok” képződik, például hogy a Föld mivel gyorsabban mozog a pályáján kvázi lehaladja a Marsot. A Kepler művéből kivett rajz esetében semmiféle magyarázatot nem adnak a szerzők.



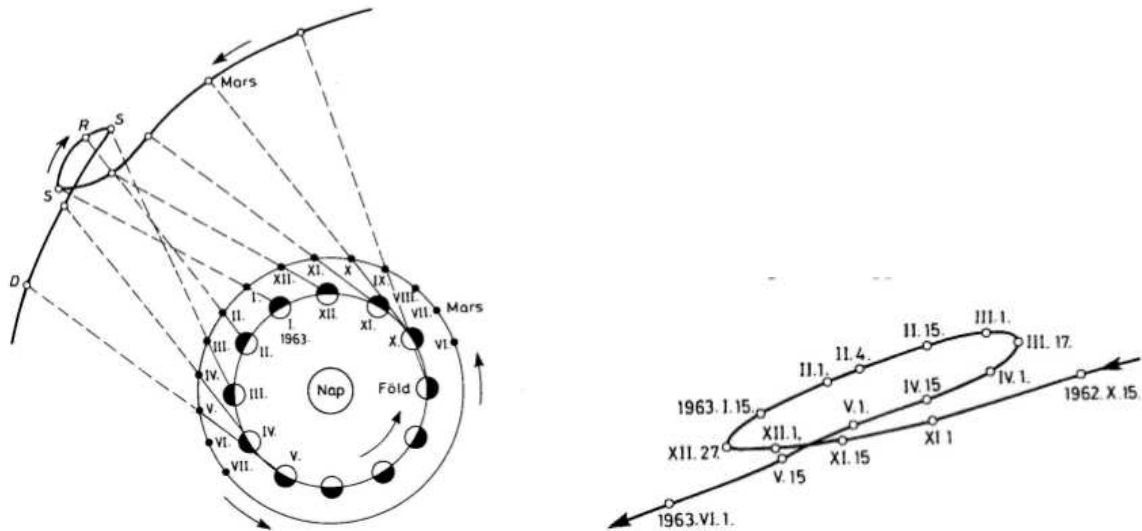
2.6 ábra: Fél órás folyamatos expozícióval a csillagok által az égen hagyott „nyomvonal”. A kép bal alsó részében a Nagy Göncöl látható. Kép forrása: <https://physics.weber.edu/schroeder/ua/StarMotion.html>, 2017.11.20.

Tőled függ!

Ebben a keretes részben a fényszennyezésről olvashatnak a tanulók. Érdekes a tanulókkal megismertetni azokat a kezdeményezéseket, amik az égbolt látványának megőrzésére indultak. Bizonyos helyeken olyan természetvédelmi területeket hoznak létre, ahol nem lehet fényszennyező objektumokat telepíteni. Ezek az ún. csillagoségbolt parkok, amiket

²⁵bolyong: ‘céltalanul járkal, tévelyeg’. Származékai: bolygó, bolygat, bolydít, bolydul. Hangfestő eredetű szócsalád, esetleg a bolyból mint alapszóból eredezik. A bolygó mai főnévi értelmében a bolygó csillag szókapcsolatból önállósult.

²⁶Elérhető: www.szokincshalo.hu.



2.7 ábra: A Föld és a Mars egymáshoz viszonyított mozgása. A bal oldali ábrából egyértelműen kiderül, miért láthatjuk a Marsot a Földről nézve néha hátrálni. A Mars lassabban járja körbe a pályáját, egy marsi év hossza 687 földi napnak felel meg. A Föld gyorsabb haladása miatti perspektíva váltás miatt lép fel a jobb oldali ábrán szemléltetett jelenség. A képeket a saját tulajdonú Csillagászati földrajz c. tankönyvből szkenneltem.

már Magyarországon is találunk. Például a Zselici vagy Hortobágyi Csillagoségbolt-park kiváló célpontja lehet egy többnapos osztálykirándulások is!

A Föld középpontú világbkép

A tankönyv 43. oldalán már felvázolt arisztotelészi fizika egyik sarokkövéként vezeti be a geocentrikus világbképet a lecke ezen része. Itt kellett volna tisztázni, hogy a bolygómodell megalkotója Ptolemaiosz volt. Források szerint maga a geocentrikus világbkép eredetileg a Kr. e. VI. században élt gondolkodó Anaximandrosztól származhat. Ptolemaiosz rendszerére erősen hatott Platón és tanítványa, Eudoxos munkássága ill. gondolatai. Ezek közé tartozik a Föld mint égitest és gömb alakjának felismerése. Platóntól származik a körkhöz való ragaszkodás is (kör egy tökéletes geometriai forma). A 80. oldalon, a *Hogyan volt régen?* keretes részben szerepel Ptolemaiosz egy késői barokk ábrázolásban, mellette egy 2x2 cm-esnél nem nagyobb ábra a rendszeréről, ami fölösleges, hiszen az előző oldalon már szerepelt egyszer egy rajz a geocentrikus világbképről. A főkör és segédkör (vagy epiciklus) fogalmát a szerzők nem tisztázták kellőképpen.

Kopernikuszi forradalom

A tudománytörténet Kopernikusz új rendszerének, a heliocentrikus világbképnek bevezetését „kopernikuszi forradalomként” emlegeti. Lehet, hogy modellje pontatlanabb jóslatokat adott, de a modell alapja, miszerint a Nap áll a Naprendszer középpontjában, fontos előrelépés a tudományban. Talán ezt kellett volna didaktikailag kiemelni, s nem

az asztrológiában való használhatatlanságát! Tartok tőle, sok tanulóban a modell pontatlansága fog megragadni. A heliocentrikus világgépet ábrázoló képről nem derül ki, mi micsoda, a kép aláírásból hiányzik a magyarázat. Ráadásul a kép túlságosan kicsi, probléma továbbá, hogy a tankönyv következő két leckéjében sem található kellően értelmezhető ábra a Naprendszer felépítéséről!

A Hallottál róla? Kopernikusszal foglalkozó keretes rész tele van felesleges információhalmazzal. El kellett volna hagyni Kopernikusz rekonstruált fejét, exhumálásáról és DNS-ének rekonstrukciójáról szóló rész elviszi a lényegről a figyelmet. Sajnos, erre a leckére egyébként is jellemző, hogy túlságosan széttördeli a figyelmet a sok oda nem illő kép (a portrék, a kastély rajza a 81. oldalon), a felesleges életrajzi adatok stb.

Tycho Brahe munkássága

Sajnos, ennél a rövid résznél nem tudtam eldönteni, fizika vagy pedig történelem tankönyvet olvasok; emiatt is meglepőek a szövegben felfedezhető pontatlanságok. Rögtön elsőként említeném, hogy Tycho Brahe Hven szigetén alapított csillagvizsgálóját nem Uranienborgnak, hanem *Uraniborg*nak mondjuk, hasonlóan a svéd alakhoz. A szövegben Tycho Brahe életútjából kimaradt, hogy 1597-ben hagyta el Hven szigetét, 1601-ben bekövetkezett halála után a csillagvizsgálót lerombolták!²⁷ Uraniborg egyébiránt Uránia kastélyát jelenti (borg = kastély); Uránia pedig a csillagászat múzsájaként volt ismert.

A tankönyv szerzői nem bántak valami kegyesen Tycho Brahe személyével. Némiképp furcsának tartom, hogy egy fizika tankönyben olyan mondatok szerepelnek egy tudósról, mint „Tycho Brahe erőszakos, kötekedő ember volt. Orrának egy darabját egy párbajban elvesztette, ..., orrprotézist hordott.”²⁸ Miközben korszakalkotó felfedezéséről, az 1572-ben a Cassiopeia csillagképben megfigyelt szupernováról még említést sem tesznek! Brahe a hirtelen felfénylő és körülbelül egy év alatt elhalványuló objektumot Nova Stella-nak, azaz új csillagnak nevezte el. Megfigyelte, hogy a csillag nem mozdult el a háttércsillagokhoz képest, amiből a csillagok szférájába tartozó objektumnak vette. Viszont így a Nova Stella megjelenése az arisztotelészi dogma egy erős cáfolata: a csillagok szférájában is vannak változások! Lásd még Székely László (2000): A csillagászat története Ptolemaiosztól Keplerig.

Kérdések

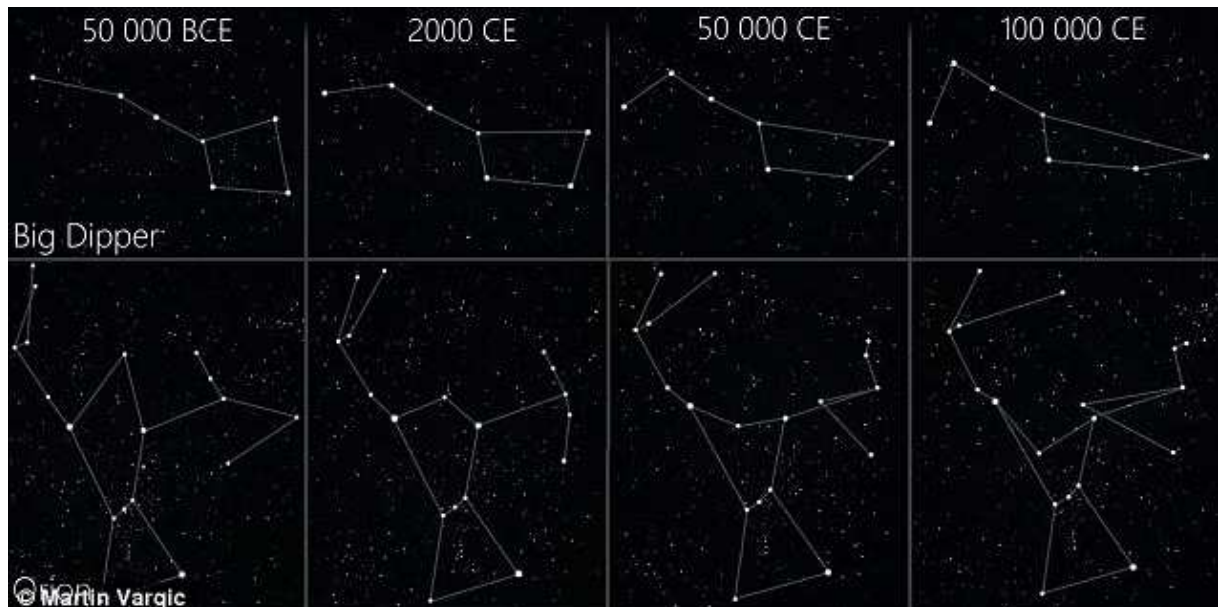
Az egyszerű kérdések megválaszolása nem okozhat problémát a tanulóknak. Az első kérdéshez (*Tájékozódj az interneten, mikor lehet megfigyelni a Marsot a tanév*

²⁷2008-ban jártam a szigeten, a csillagvizsgálónak hűlt helye van; a hozzá tartozó épületek egy részét és néhány műszert sikerült rekonstruálni. Hven szigete egyébként ma már Svédországhoz tartozik.

²⁸Az átlagos 14-15 évesek lelkivilágából kiindulva sokaknak ez a kép fog Brahéről megmaradni.

során!) érdemes némi segítséget adni. Ezt a kérdést a Magyar Csillagászati Egyesület (MCSE) honlapja segítségével is megválaszolhatjuk <http://www.mcse.hu>, de segítségül hívhatjuk az egyesület által kiadott Meteor Csillagászati Évkönyvet is. Az évkönyv kalendáriumában havi lebontásban megtaláljuk a Naprendszer bolygóinak láthatóságát. Például ebben a hónapban (2017. november) a Mars „előretartó mozgást végez a Szűz csillagképben. Kora hajnalban kel, a hajnali órákban látszik a délkeleti ég alján.” (Meteor évkönyv, 2017, 180. oldal)

Az összetett kérdések között már több „előkészítetlen” kérdés található. Például rögtön az első kérdés: *A csillagképek a múltban nem így néztek ki, ahogy ma látjuk azokat. Milyen okokra vezethető vissza a jelenség?* Ehhez meg kell ismerkedni azzal a ténnyel, hogy a csillagok a térben nem rögzítettek, hanem mozognak. A térbeli mozgás éggömbre vetítve a sajátmozgás, aminek a nagyságrendje több tényezőtől is függ: az adott csillag térbeli mozgásának irányától és sebességének nagyságától, és a csillag távolságától. Mivel a csillagképek csak látszólag tartoznak össze, ezért a csillagok térbeli mozgása különböző lehet, ami miatt a most ismert csillagképek tízezer éves(!) időskálán „szétesnek”. Ehhez példaként illesztettem be 2.8 ábrát. Ez azt is jelenti viszont, hogy az ókori csillagászok óta az égbolt látványa alig változott!



2.8 ábra: A kép Martin Vargic munkája, aki az űrtávcsövek által készített eredeti felvételeket és a csillagászati adatbázisokban megtalálható adatokat felhasználva készítette el néhány csillagkép múltbeli és jövőbeli képét. A kép letöltve: <http://www.halcyonmaps.com>, 2017.11.21.

Az összetett kérdésekben található *A csillagkép a csillagok egy csoportjának látványa az égbolton. Ez a látvány azért különös, mert az idő különböző mélységeiből közvetít egyszerre információt. Mit jelenthet ez a mondat? Hogyan függ össze az állítás a*

fény véges természetével? némiképp filozófiai kérdés szerintem meghaladja a 15 évesek gondolkodási képességeit. Emiatt pedagógiailag erősen megkérdőjelezhető a helye egy 9. tankönyvben. Az „idő mélységei” költői megfogalmazás sem való ide (az időnek távlatai vannak). Szerencsésebb lett volna eleve beleírni, hogy az égboltra tekintve a „múltba” tekintünk, enek hiányában a tanulónak kellene erre is rájönnie.

Az 5. kérdés asztrológia: *Nézz utána, hogy születésed napján melyik csillagképben tartózkodott a Mars, a Jupiter, a Vénusz, a Nap!* Az internetet böngészve arra kérdésre, hogy „Where was Mars on given date”, a google által kiadott eredmények zöme a horoszkópokkal foglalkozik...

A 6. kérdés a Nap látszólagos égi mozgását kéri számon: *Mi a magyarázata a Nap mozgásának az égbolton? Hogyan mozog az égen a Nap télen és nyáron?*, amiről a Csillagászati földrajz című tankönyv 41-43. oldalán olvashatunk bővebben. Ami itt a legfontosabb jelenség, hogy a Nap delelési magassága a téli napforduló idején a legalacsonyabb, nyári napfordulókör a legmagasabb. A napkelte és napnyugta iránya is folyamatosan változik, téli napforduló idején a keleti irányhoz képest legdélebbre kel fel a Nap, és a nyugati irányhoz képest legdélebbre nyugszik. A nyári napforduló idején pedig a napkelte a keleti irányhoz képest legészakabbra esik, a napnyugta nyugati irányhoz képest legészakabbra. A két napforduló között a két pont között változik a napkelte és a napnyugta iránya. Ezzel összefügg a nappalok és éjszakák hosszának változása is. (Csillagászati földrajz 107-115. oldal)

A 7. kérdés ismét asztrológiai jellegű. A 8. és 9. kérdés kutatómunkát igényel Jeszenszky János életéről és Tycho Brahe munkásságáról, amit csoportmunkában lehetne leghatékonyabban feldolgozni. Az eredményeket 10-15 perces kiselőadás formájában célszerű ismertetni a többi tanulónak. Ennek a szűkös órakeret viszont gátat szabhat!

2.2.2 Kepler törvények - Fizika 9./83.

Teljesen felesleges volt a Kepler-törvényeknek külön fejezetet szentelni. A 84. oldalon található *Hogyan határozta meg Kepler a Föld pályáját?* bekezdés tankönyvi szerepeltetése értelmetlen, a magyarázatul szolgáló ábrák értelmezhetetlenek. A tankönyv eddig nem foglalkozott a csillagászati helymeghatározással, sem a különböző koordináta-rendszerekkel, amelyekben a csillagok és bolygók pozíciói megadhatóak. Az a fizikatanár szakos kollégákon múlik, hogy egyáltalán – a szabadon felhasználható órakeret terhére – ezekre sor kerülhet-e a 9. osztályos tanmenetben. ²⁹

²⁹Csillagásattörténeti előadáson is csak érintve foglalkoztunk azzal, hogyan is határozta meg Kepler a Mars illetve a Föld pályáját.

A 85. oldalon tárgyalt Kepler második törvénye pongyola megfogalmazásban került a tankönyvbe: „...a bolygót a Nappal összekötő egyenes (vezéregyenes) azonos idők alatt azonos területeket sűrol (a területi sebesség állandó).” Problémának tekintem a matematikai fogalmak nem pontos használatát, 1) az egyenes két pontot nem összeköt, hanem áthalad rajta; 2) ebből következően az egyenes által sűrolt terület végtelen nagyságú (lenne); 3) két pontot szakasz köt össze, ezért használta Kepler a vezérsugár fogalmát. Az azonos idők és azonos területek megfogalmazás is pongyola. Mi az *azonos* mivel? Egyenlőség az időtartamok között, és az időtartamok alatt érintett területek között áll fenn. Tehát a második Kepler törvény helyes megfogalmazásban:

A Naptól a bolygóhoz húzott vezérsugár egyenlő idők alatt egyenlő területeket sűrol.

Megjegyzem, hogy az emelt szintű fizika tankönyv 199. oldalán a Kepler-törvények az ismert megfogalmazásban szerepelnek. A törvények kerettantervtől függetlenül léteznek, megfogalmazásukhoz ragaszkodjunk! Autentikus csillagászati forrásnak tekinthető például a Marik Miklós szerkesztésében megjelent Csillagászat című könyv, vagy a Bevezetés a csillagászatba című tankönyv, a sort több csillagászati tankönyvvel lehetne folytatni.

A 85. oldalon található *Hallottál róla?* keretes részben a szerzők az alábbi megfogalmazást használják: „A Kepler-törvények általunk tárgyalt változata nem veszi figyelembe, hogy a Napra is hat a bolygók gravitációja ...”. A Kepler-törvényeknek nincsen semmilyen más változata! Amire a szerzők gondolnak, vagy gondolhattak, hogy az égi mechanikai kéttest problémában elhanyagoljuk annak az égitestnek a tömegét (Föld, Mars stb.), amelyiknek a mozgását leírjuk! (Az égi mechanikai kéttest problémáról Érdi Bálint: *Égi mechanika* című egyetemi tankönyvében lehet kimerítően olvasni.)

Kérdések, feladatok

A 86. oldalon található egyszerű kérdések számbavételét a végén kezdem. *10. A napi sajtóban nagyjából 14 havonta superholdról beszélnek. Mikor van superhold? Hogy Csizmadia Szilárd kollégámat idézzem: superhold = GIGABUTASÁG! A superhold egy nem létező fogalom a csillagászatban! Ez egy „hoax”, egy átverés! Kapcsolódó cikkeket a <http://www.csillagaszat.hu> hírportálon lehet olvasni . Mit keres ez az áltudományos híresztelés egy tankönyvben? A kérdést átfogalmazva kell a gyerekeknek feltenni: *Létezik-e a superhold jelensége?* Egy másfajta tálalással a gyerekek kritikai érzékét lehet fejleszteni: ne higgyenek el mindent, amit a napi sajtóban lehet hallani, olvasni.*

A 8. kérdés (*Mi lehetett a tudománytörténeti magyarázata annak, hogy Kepler*

a szabályos testek által kijelölt bolygószférák gondolatától eljutott az ellipszis alakú bolygópályák gondolatáig?) nehézségét tekintve szerepelhetne az összetett kérdések között.

Az összetett kérdések között szép matematikai jellegű bizonyítási és számítási feladatokat is találunk.

2.2.3 A Föld, a Hold és a Nap mérése - Fizika 9./87.

A 16. lecke tulajdonképpen kiegészítő anyagrészeket tartalmaz, a Föld, Hold és a Nap ókori módszerekkel történő méréseit ismertetik a tankönyv írói. A leckében ismét tévesen szerepel a Föld keringési idejére vonatkozó adat, amit a szakdolgozat 17 oldalán már egyszer érintettem.

A *Mekkora a Föld kerülete?* részben a tanulók megismerkedhetnek Erasztothenész mérésével, aki kivételes pontossággal mérte meg a Föld kerületét. A *Mennyi idő alatt fordul meg a Föld a tengelye körül?* bekezdést annyival lehetne kiegészíteni, hogy az állócsillagokhoz viszonyított napot csillagnapnak nevezzük, a nap két delelése közt eltelt idő pedig a közepszoláris nap. A kettő közti különbséget a Csillagászati földrajz c. tankönyv 54. oldalon lévő 27. ábrája szemlélteti, ami eben a tankönyvben megfelelőbb lett volna, mint a 88. oldalon közölt ábra.

A 89. oldalon sematikus ábrák láthatóak a Holdfogyatkozásról és a háromszögmódszerről. Ezek az ábrák semmit nem adnak hozzá a Hold méretének meghatározásának elvéhez! Feleslegesen foglalják a helyet.

A 90. oldalon található keretes írás (*Hogyan volt régen?*) nagyon értékes tudnivalókat tartalmaz Sajnovics Jánosról, aki bizonyította a finnugor nyelvrokonságot és csillagászként lett az összehasolító nyelvészet atyja!

2.3 Általában a Fizika 9. tankönyvről

A tankönyvben elég sok csillagászati vonatkozást találunk. Ezek nagy része sajnos kontextusból kiragadva került be a tananyagba, ami nehezen értelmezhetővé, kvázi feldolgozhatatlanná, megtanulhatatlanná teszi a tankönyv egyes részeit. Az általam is felvonultatott kiegészítésekéből, amik gyakran csak egy rövid kérdés megválaszolásához voltak szükségesek, is látszik, hogy a pedagógusnak rendkívül sok plusz feladatot jelent az ebből a tankönyvből való tanítás. Elég, ha a bevezető fejezetben található Hubble Extreme Deep Field képre gondolunk.

A tanulóra is több feladat hárul, ami a kutatásalapú tanulás alapja. De azért jó lenne, ha nem minden kérdés megválaszolása a google.com-mal kezdődne. (És akkor a megfelelő kereső kulcsszó kitalálásának problémáját nem is feszegettük.) A kérdések között - amint azt több helyen is jeleztem - sok olyan található, amihez nincs meg a tanuló megfelelő előzetes tudása. Ennek főleg az az oka, hogy kérdésben elvárt tudásanyag nem szerepel a lecke törzsszövegében. A kérdésekben gyakran új fogalommal is találkozhatnak a tanulók, ami rettetően zavaró és frusztráló lehet. (Például a kettőscsillag, vagy az állatövi csillagkép megnevezés.)

Az interneten való kutakodással kapcsolatban itt is meg kell jegyeznem, hogy a gyerekekkel meg kell ismertetni a kritikai gondolkodást. Sajnos, nem minden interneten elérhető forrás hiteles!

A tankönyvben található kérdések gyakran túl nehezek. Sem megfogalmazásuk nem felel meg a 15 évesek értelmi szintjének, sem az elvárt tudás. A javasolt gyűjtőmunkák gyakran nem túl relevánsak csillagásztörténeti szempontból, a tanár csak az időt fecsérelné feldolgozásukkal.

A tankönyvben nincsenek összefoglaló jellegű leckék. A kérdések között is kevés olyan akad, amelyek segítenének a tananyag rendszerezésében, a lényeg kiemelésében. Ez a feladat a fizikatanár kollégákra marad.

Az előbbiekből következik a könyvvel kapcsolatos másik problémám is. A kerettanterv 49 órát szentel a kijelölt tananyagra, a 180 tanítási napból álló tanév során a hagyományos heti 2 órás órakeretben összesen 72 tanítási órája van egy kilencedikes tanulónak, ami a tanár számára 23 szabadon felhasználható órát jelent. A könyvben megjelenő tananyag (38 lecke, 8 témakörben) legalább 8 összefoglaló órát, és 8 témazárót jelent. Ami a 23 órából 16-ot elvesz, tehát marad 7 óra, amit az anyagban való elmélyülésre lehet használni. Kiselőadásokra, interaktív órákra, a digitális tananyag feldolgozására nem sok lehetőség nyílik ebben az óraszámban. Emiatt viszont a kísérleti tankönyv alapkonceptiói sem tudnak megvalósulni.

3

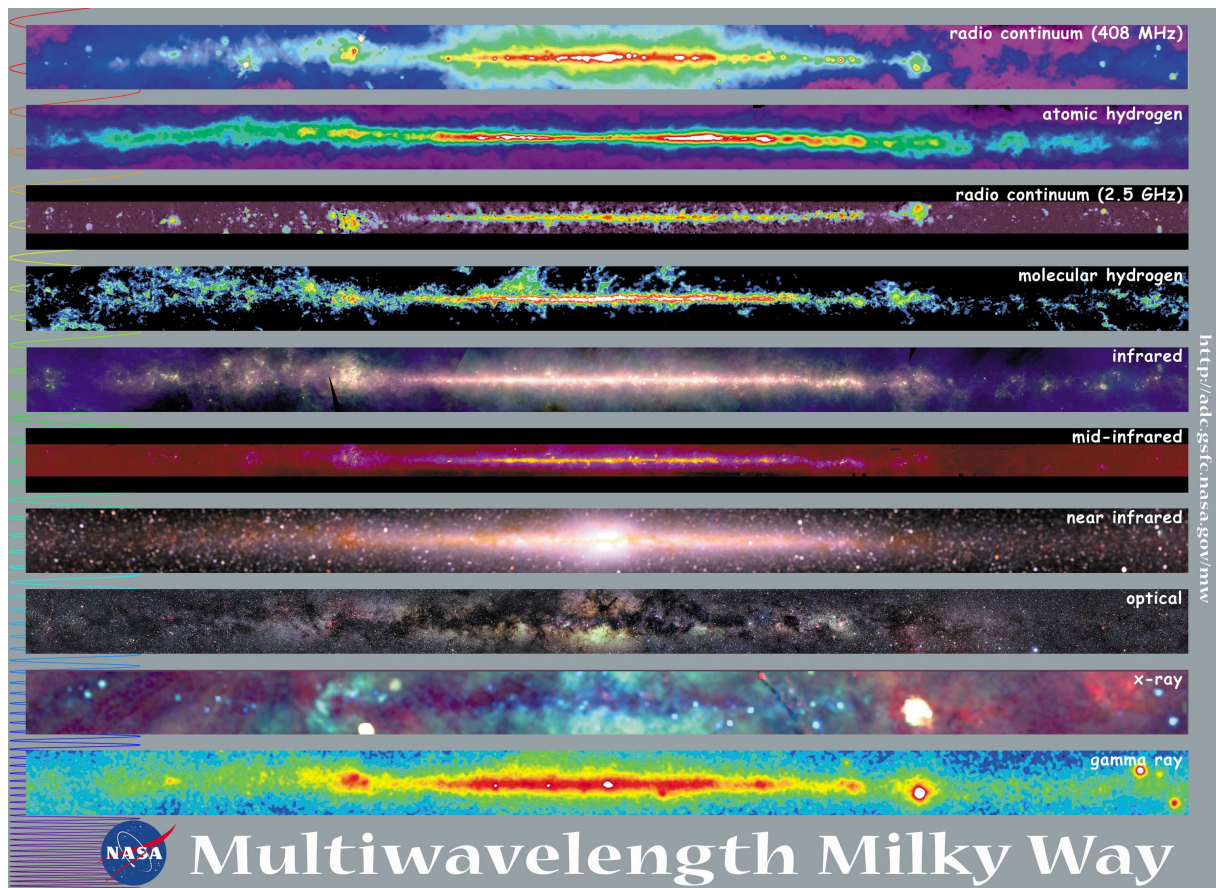
A 11. osztályos tankönyv csillagászati tartalmai

A 11. osztályos fizika tananyagban arányában több csillagászati téma található, mint a 9. osztályos tananyagban. Ez a tankönyv szerkezetéből is kitűnik: a tankönyv második felét kitöltik a csillagászati témájú leckék. A tankönyvben a modern csillagászat elemei is helyet kaptak, mint a kozmológia, vagy az exobolygó kutatás, de találkozhatunk az űrkutatás legújabb fejezeteivel is. A terjedelem végett csak a szűkebb értelemben vett csillagászati tartalmakat veszem górcső alá.

A tankönyv szerkezete megegyezik a 9. osztályos tankönyvével. A törzsszöveg mellett ugyanazok a keretes írások színesítik a szöveget, amiket a diákok a korábbi tankönyvekben megszokhattak. A leckék végén egyszerű és összetett kérdések, feladatok segítik a tananyag elmélyülését.

3.1 A fény természete. Hogyan látunk?

Ebben a fejezetben, ahogy a cím is sugallja, a kerettantervi követelményeknek megfelelően a fény természetéről, eredetéről, tulajdonságairól van szó. A csillagászatban különleges jelentősége van annak, hogy a fény mint elektromágneses hullám információt hordoz keletkezésének körülményeiről. Szemléletes példa erre a Tejútrendszer különböző hullámhosszakon készített felvételei, amelyeket a 3.1. ábrán lehet látni. Jól kivehető, hogy a különböző tartományokban a Tejútrendszer más szerkezetét látjuk, ami a különböző források eredetére utal. Fontos még megjegyezni, hogy optikai tartományban a Tejútrendszer korongja a benne lévő csillagközi por miatt gyakorlatilag átlátszatlan, még infravörös tartományokban a csillagok fénye zavartalanul jut el hozzánk.



3.1 ábra: A Tejútrendszer rádiótól a gamma tartományig. A kép forrása: https://mwmw.gsfc.nasa.gov/mwpics/mmw_8x10.jpg, 2017.11.25.

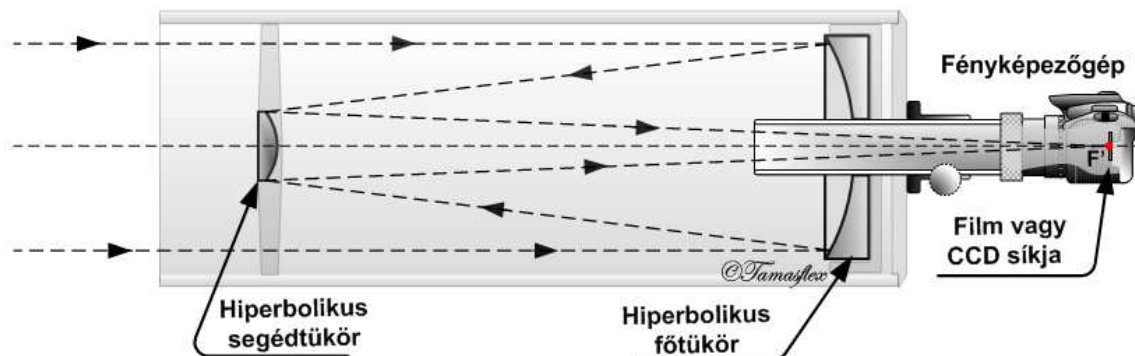
3.1.1 Hogyan működik? A nagyítótól a távcsöig (Fizika 11./23)

Ez a lecke a különböző leképező eszközökkel foglalkozik. A lecke bemutatja a Newton-féle tükrös távcsövet (reflektort), ami manapság jellemzően az ún. amatőr csillagászatban használt eszköz. A professzionális csillagászatban használt távcsövek alapja a Cassegrain-távcső, amelynek az egyik továbbfejlesztett változata a Ritchey–Chrétien-távcső. Ezeknél a távcsöveknél a segédtükör a főtükör mögött elhelyezett detektorra irányítja a fényt (tehát a főtükör közepén van egy lyuk), a Ritchey–Chrétien-távcső elvi rajzát lásd a 3.2. Ezeken kívül még számos teleszkóp „dizájn” létezik, de a legtöbb professzionális távcső Cassegrain szerelésű. Példaként említhetném többek között a Hubble űrtávcsövet vagy a Keck teleszkópokat is.¹

A távcsövekkel kapcsolatban a tanulóknak kiadható kutatási feladat lehetne a Magyarországon található professzionális távcsövek összegyűjtése. Hol találhatóak, milyen építésűek, esetlegesen milyen kutatómunkára alkalmasak, illetve milyen felfedezéseket tettek velük a hazai csillagászok. Javaslat osztálykirándulásra: Piszkéstetői-obszervatórium látogatás. Érdekes lehet még egy a Kutatók Éjszakája alkalmával szervezett csillagászati

¹A Keck teleszkópok Hawaiion találhatóak, főtükör átmérőjük ~10 m.

Ritchey-Chrétien távcső



3.2 ábra: A Ritchey-Chrétien (RC) távcső és a Cassegrain távcső a főtükör ívében térnek el, az előbbi hiperbolikus, az utóbbi parabolikus főtükörrel rendelkezik. A segédtükrök mindkét távcsőtípusnál hiperbolikusak. A kép forrása: <https://hu.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Ritchey-Chr%C3%A9tien.png>, 2017.11.25.

programon való részvétel. Több helyen ilyenkor távcsöves és planetáriumi előadásokat is szoktak tartani.

3.2 A csillagok világa

Ahogy már előzőleg említettem, a Fizika 11. tankönyv 107-185. oldalig már szinte kizárólag csillagászzal vagy űrkutatással kapcsolatos tananyagot tartalmaz. A tananyag elrendezésében számos logikai bukfencet észleltem. A Naprendszer fizikai viszonyai fejezetben, a Föld csillagkörnyezete című leckében találkozhatnak először a tanulók a galaxisokkal általában. Az extragalaktikus témák inkább az „[U]niverzum szerkezete” című fejezetbe kívánkoznak, ott viszont a földönkívüliekről esik szó, de ebben fejezetben olvashatunk az időutazásról is. Az utolsó négy fejezetben mindenképpen célszerű lenne a tankönyv következő kiadásában néhány szerkezeti változást eszközölni!

A csillagászati témákat feldolgozó leckékben helyenként méltatlanul kevés tudományos tartalommal találkozunk. Sajnos, tárgyi tévedésekkel is találkozni. A csillagok tulajdonságai, méretviszonyai nincsenek rendszerbe foglalva, mintha a Hertzsprung–Russell diagramról sohasem hallottak volna a tankönyvírók. A galaxisoknak fél oldal jutott, a különleges galaxisokról egyáltalán nem esik szó a tankönyvben.

3.2.1 A világegyetem méretei (Fizika 11./108)

A lecke eléggé összefoglaló jellegű, felépítése „evolúciós” – a Naprendszerbeli távolságok és méretektől eljutnak a galaxisok távolságáig és méretéig. Az *Emlékeztetőben* kis ismétlés található, a korábban tanult csillagászati egység (CSE), fénysebesség és fényév fogalmát elevenítik fel a tankönyvről.

A *Hallotál róla?* keretben a csillagászatban használt távolságegység, a parszek(!) definíciója szerepel. A távolságegységet a tankönyvben helytelenül „parsec”-ként írják, a parsec angol szó, magyarul helyesen parszeknek írjuk. A tankönyvi definíció kissé túl bonyolult sikerült, helyette alkalmazandó: *Egy parszek (pc) távolságra van tőlünk az az objektum, amelyből merőleges rálátás esetén a földpálya sugara éppen 1” szög alatt látszik (1”=1 szögmásodperc, azaz a fok 1/3600-ad része).*

Ennek a távolságegységnek az alapja a trigonometrikus parallaxis nevű távolságmérési módszer. A közeli csillagok a Föld éves mozgása miatt a háttércsillagokhoz képest piciny szögben körbejárnak, ezt a csillag éves parallaxisának nevezzük. Az éves parallaxis szöge a csillag távolságával fordított arányban csökken. A digitális tananyagban² található **Csillagmérés** című rövid videó a GAIA űrmissziót mutatja be³, ami a csillagok éves parallaxisának segítségével szeretné megmérni közel egy milliárd csillag távolságát és feltérképezni a galaxisunk szerkezetét. A videó érintőlegesen szemlélteti az éves parallaxist, de a jobb érthetőség érdekében célszerű külön is foglalkozni vele, esetleg kis animációt mutatni.⁴ A tanulók felé fontos közvetíteni, hogy a trigonometrikus parallaxis egy alapvető távolságmérési módszer a csillagászatban. (Aminek meg vannak a maga korlátai. Ezért a csillagászatban számtalan egyéb módszer létezik a csillagok és galaxisok távolságának mérésére.)

Méretek és távolságok a Naprendszerben

Ebben a bekezdésben értelmetlen arányosítások találhatóak. A tankönyvben a konkrét csillagászati egységben megadott távolságadatokat helyett narancsméretű Nappal és ~450 méterre lévő fél centiméter átmérőjű Neptunusszal találkozunk. A távolságok összehasonlításához a 9. osztályos tankönyv kapcsán már említett Titius-Bode szabályt meg lehetne ismertetni a diákokkal. (Lásd a 15 oldalon a 2.2 táblázatot!) *11. osztályban a tanulók értelmi színvonalára azért már meg kell, hogy haladja egy „narancsét”.* A szemléltetésként érdekes, de valódi fizikai tartalma nincs az ilyenfajta összevetéseknek.

²<http://portal.nkp.hu>

³Megjegyzés: a videó még azelőtt készült, hogy a GAIA megkezdte volna működését (a GAIA 2014. július 25. óta gyűjti az adatokat.)

⁴Az alábbi weboldalon található egy szemléletes animáció
: http://www.konkoly.hu/~kovari/CSILLAGASZAT/tananyag/CSILLAGASZAT/04_02.html.

A Naprendszer méretének definícióját is érdemes lenne tisztázni, ez eddig kimaradt, márpedig fontos tudni, a Naprendszer nem a Neptunusznál ér véget! A „Naprendszeren a Nap környezetének azt a tartományát értjük, amelyet a Nap gravitációs tere dominál”! Ez egy ~ 2 fényév ($2 \cdot 10^{13}$ km) sugarú gömb, amin kívül már a környező csillagok gravitációs hatása érvényesül. (Gábris-Marik-Szabó: Csillagászati földrajz, 139. oldal)

A Naprendszer tömegviszonyait jól jelzi, hogy a Naprendszer teljes tömege $1,0014m_{\odot}$, azaz a nagybolygók a holdjaikkal, a kisbolygók, az üstökösök, a csillagközi anyag stb. a Naprendszer tömegének mindösszesen $\sim 1\%$ -át teszik ki. A tankönyv 109. oldalán található keretes *Hallottál róla?* részben szerepel a Föld tömege a Napéhoz viszonyítva ($m_{\oplus} = \frac{m_{\odot}}{3000000}$), illetve a Jupiter tömege a Földéhez viszonyítva ($m_J = 317,8m_{\oplus}$). A Jupiter tömege naptömegben megadva $m_J \approx \frac{m_{\odot}}{1000}$.

A csillagok mérete és távolsága

A csillagok méreteinek az előzőekhez hasonló arányos összevetése erőltetettre sikerült. A tankönyv írói az ismeretterjesztő irodalomban is ismert példákat hoznak (Pollux, Aldebaran, Antares) a csillagok méretének összehasonlítására. *Ha a Nap 14 centiméteres lenne, akkor a Pollux 1,1 méteres, az Aldebaran 5,5 méteres, az Antares pedig 60 méteres.* De mi a fizikai értelme, hogy pontosan 14 cm-re kell a Nap méretét lecsökkenteni? Miért pont ezeket a csillagokat választották? Ezek az óriáscsillagok mennyire mondhatók tipikusnak a galaxisban? Vagy csak kivételek?

A Nap a tankönyvben átlagos csillagként szerepel, az „átlagost” nem tekintjük csillagászati fogalomnak, helyette a fősorozati csillag jelzőt szokás használni. A fősorozati csillagok arról ismeretesek, hogy magjukban hidrogén-fúzió termeli az energiát, továbbá érvényes rájuk a tömeg-fényesség reláció. A példaként hozott csillagok mindegyike a csillagfejlődés egy későbbi állapotában van (a Pollux és Aldebaran ún. vörösóriások, az Antares egy szuperóriás csillag). Ezekben az állapotokban a magon kívüli energiatermelő folyamatok hatására a csillagok atmoszférája erősen felfúvódott állapotban van. Itt meg kell jegyezni, hogy a csillagok fejlődése (és annak üteme) egy fő tényezőtől függ: a kezdeti tömegüktől. Erre a témára még későbbi leckék kapcsán visszatérek.

A galaxisok mérete, távolsága

A *Hallottál róla?* keretes részhez kapcsolódó kép az Androméda galaxisról (M31) nem a látható fény tartományában, hanem ultraibolya (UV) tartományban készült. A kép a Galaxy Evolution Explorer (GALEX) űrtévcső felvételeiből készült. A távoli-ultraibolya és közeli-ultraibolya tartományban készült felvételeket összeadták, abból készült ez az ún.

hamis-színes felvétel. Az UV felvételen kirajzolódnak a spirálkarok, amelyek mentén a fő csillagkeletkezési régiók találhatóak. A csillagkeletkezési régiók erős ultraibolya sugárzók, emiatt az UV felvételeket szokás az ún. csillagkeletkezési ráta meghatározására is használni. Megjegyzés: az Androméda galaxis sokkal látványosabb optikai tartományban.

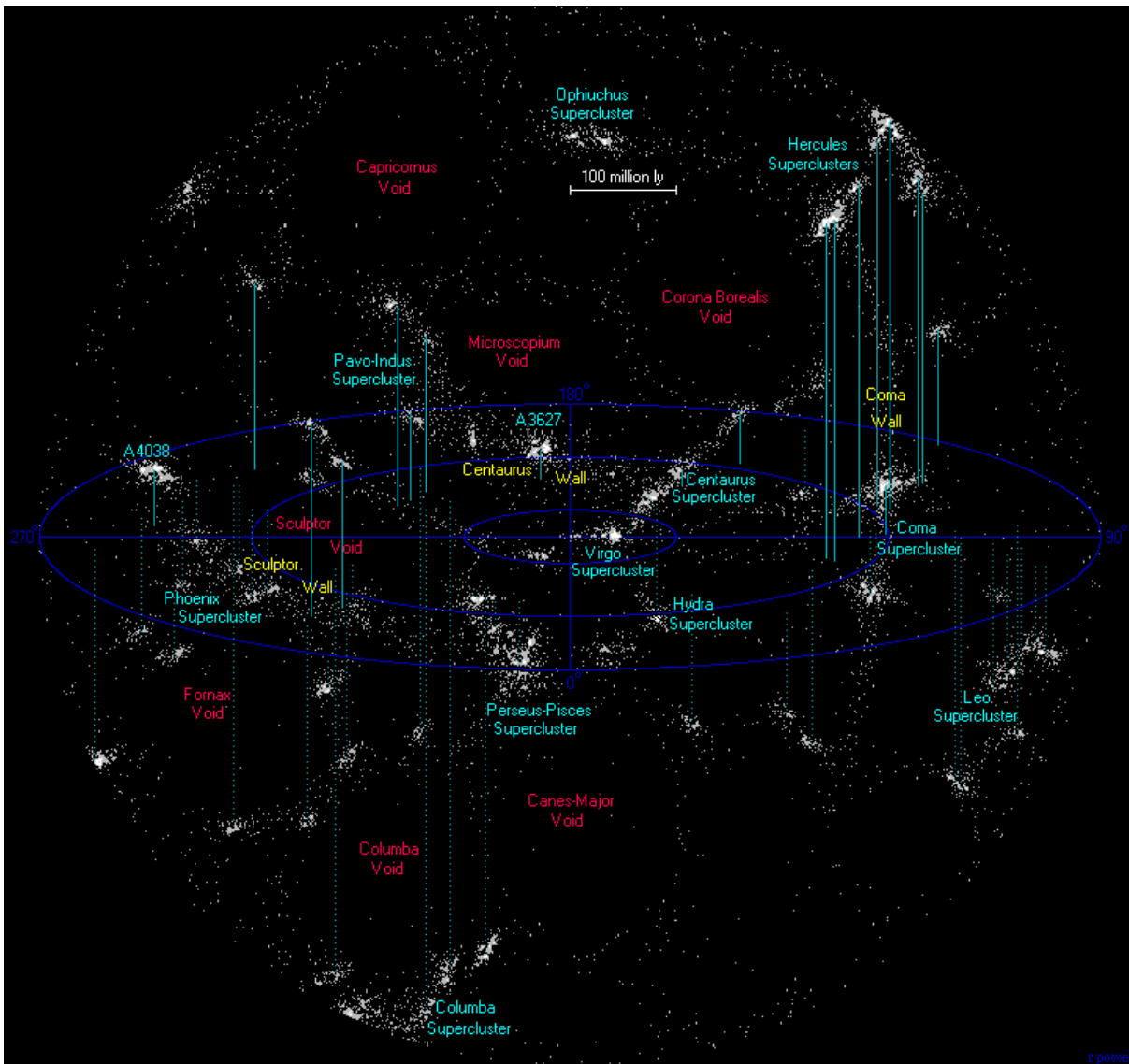
A bekezdésben találkozunk a galaxishalmaz „definíciójával”, ami pontatlanul került a tankönyvbe: „*A galaxisok csoportosulását galaxishalmaznak nevezzük.*” (Fizika 11. 110. oldal) A galaxisok valóban nagyobb – gravitációsan kötött – rendszerekbe szerveződnek. Ezeket a csoportosulásokat méret szerint az alábbi felosztás szerint különböztetjük meg: 1) csoport, 2) halmaz, 3) szuperhalmaz. A csoport a galaxisok legkisebb csoportosulásának felel meg, kb. 50 és 100 közötti galaxist tartalmaz. Egy galaxiscsoport átlagos átmérője 1–2 Mpc körüli⁵. A galaxiscsoport össztömege $\sim 10^{13}m_{\odot}$ (naptömeg). A galaxishalmazban már több galaxist találni (100–1000), átmérője is nagyobb 2–10Mpc közötti. Egy galaxishalmazban „összezsúfolódott” tömeg $10^{14} - 10^{15}m_{\odot}$ lehet. A szuperhalmazok a világegyetem hierarchikus szerveződésének legnagyobb szintjei, amelyek több galaxishalmazból és galaxiscsoportból állnak.

Az Androméda galaxis és a Tejút a körülöttük lévő irreguláris (pl. Nagy Magellán Felhő) és törpegalaxisokkal együtt alkotják a Lokális Csoportot vagy Lokális Galaktikus Csoportot, ami ~ 60 objektumot tartalmaz. A Lokális Csoport a Helyi Szuperhalmazba tartozik, amit más néven Virgo Szuperhalmaznak is neveznek. A 3.3 képen a helyi szuperhalmazt körülvevő többi szuperhalmaz elhelyezkedése látható. A szuperhalmazok ún. filamentek mentén helyezkednek el, közöttük több Mpc-es üregek (void) találhatóak. (A szuperhalmazok elhelyezkedése méhsejtekre emlékeztethet.)

Kérdések, feladatok

Az egyszerű kérdések a Naprendszer szerkezetét érintik. A 6. kérdésre (*Milyen messze van a Föld a Vénustól, ha legközelebb esne egymáshoz?*) a válasz nem triviális, mert nem tudhatjuk, hogy a pályák perihélium pontjai egy egyenesbe esnek-e. A bolygók Naptól vett átlagos távolságaival számolva ezt a problémát kiküszöbölhetjük: a Vénusz akkor van legközelebb a Földhöz, ha mindketten a Naptól számítva azonos irányba, sőt egy egyenesbe esnek. A 7. kérdés esetében hasonló logikával kell eljárnunk (*Milyen messze van a Föld a Vénustól, ha legtávolabb kerülnek egymástól?*) A megoldást mindkét kérdésre Geogebra-ban való szerkesztéssel lehetne megtalálni. Ha a bolygók pályaelemeinek ismeretében megszerkesztenénk a pályákkal méretarányos ellipsziseket (a pályaelhajlások illetve a félnagy tengelyek által bezárt szögek figyelembevételével), vizsgálhatnánk a két ellipszis távolságának változását a pálya mentén.

⁵1Mpc = 10^6 pc



3.3 ábra: Az ismert univerzum superhalmazai, középen a Földet is tartalmazó Virgo Superhalmazzal. A világegyetem legnagyobb szerveződése a superhalmazok, amelyek ún. filamenteket alkotnak. A filamentek között üres terek (void) láthatóak. A kép forrása: <http://www.atlasoftheuniverse.com/nearsc.html>, 2017.11.22.

3.2.2 A csillagfény üzenete (Fizika 11./112.)

Ez a lecke a csillagok alapvető tulajdonságaival foglalkozik, ezek a fényesség és a „szín”. A csillagok fényességét magnitudóban mérjük, ami egy alapponthoz rögzített logaritmikus skála. A logaritmikus skála alkalmazásának alapja az emberi érzékelésre vonatkozó Weber–Fechner-törvény, ami szerint az „inger relatív változása arányos az érzeterősség megváltozásával”, azaz minél nagyobb a jel intenzitása (pl. fényerősség), annál nagyobb relatív intenzitásváltozás szükséges magának a változásnak az észleléséhez. (Orvosi Biofizika, 307. oldal)

A törvény matematikai alakja az alábbi formátumban is felírható: $\frac{\Delta I}{I} = k$, ahol ΔI

a relatív intenzitásváltozás, I az intenzitás, k az érzeterősséget leíró konstans. Ennek a differenciál-egyenletnek a megoldása logaritmikus összefüggésre vezet, ami alapján Pogson megalkotta a fotometriai mérések alapelvét:

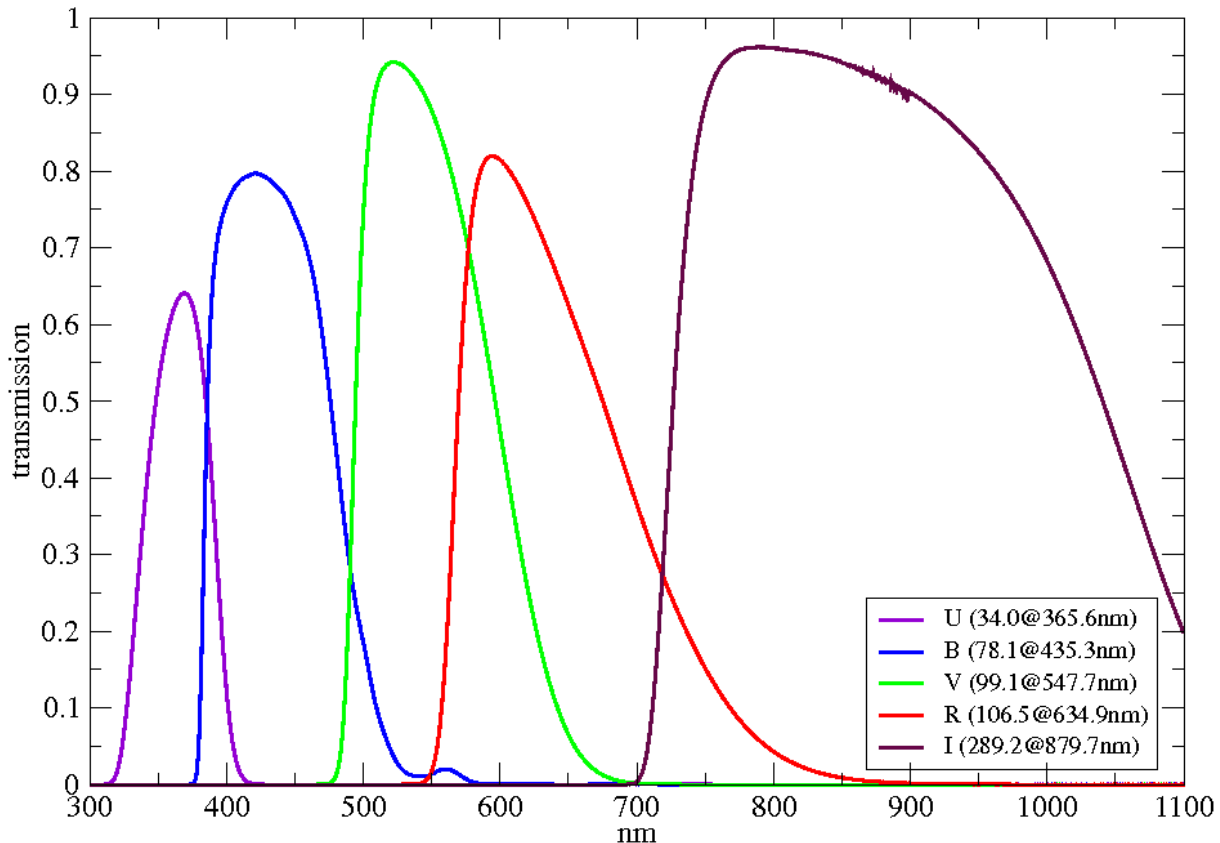
$$m = -2.5lg(I) + zp, \quad (3.1)$$

ahol m csillag fényessége magnitudóban mérve, I a csillag (detektoron) érzékelt intenzitása, zp pedig a skála nullpontja. Pogson olyan magnitudóskálát alkotott, ahol a csillagok fényességét a Vegához (α Lyrae, azaz a Lant csillagkép legfényesebb csillagához) viszonyítják. Tehát a Vegához kötött rendszerben a Vega fényessége 0 magnitúdó!

A csillagászati fotometria (fényességmérés) a XXI. századra sokat fejlődött. Ma már különböző (standardizált!) szűrőket alkalmaznak, hogy a csillagok, galaxisok fényességét különböző spektrális tartományokban megmérhessék. A magnitúdó-rendszerek alapja is valós energiaértékekhez lett rögzítve; a csillagászok a csillagászati felvételek kalibrálását (ez az adott felvétel zérópontjának, viszonyítási alapjának meghatározását jelenti) standard csillagok, vagy katalógusok segítségével végzik. Nagyon szofisztikált módszerek léteznek a fényességmeghatározásra, ez egy külön tudomány a tudományban. Érdekesség, hogy a nagy égbolttelmérő programokban (például Sloan Digital Sky Survey, SDSS) automatizált szoftver végzi a fényességmérést. A CCD technika és általában a csillagászati műszertechnika fejlődése lehetővé tette, hogy ne csak optikai, hanem UV és infravörös tartományban is lehessen objektumokat detektálni.

A különböző szűrőkön mért fényességek segítségével lehet meghatározni a csillagok színindexét, szakzsargonban „színét”. A színindex két szűrőn mért fényesség különbségeként adódik; például a sokáig egyeduralkodónak számító UBVRI fotometriai rendszerben (UBVRI az öt szűrőt jelenti) meghatároztak U–B, B–V, V–I, B–I stb. színindexeket. A színindexek a csillag energiakibocsátásáról árul el információt.

A tankönyv **A csillagok színe** bekezdésében található alábbi két mondatot is értelmezni kell: *A csillagok színe hőmérsékletükről árulkodik; és ... a csillagok által kibocsátott elektromágneses hullámok összetétele jellemző a csillagok hőmérsékletére.* Itt vissza lehet utalni a tanév elején tanult „hőmérsékleti sugárzásra”. A csillagok által kibocsátott energia ill. elektromágneses sugárzás jó közelítéssel leírható a Planck-függvénnyel, amelynek maximuma a csillag fotoszférájának (felszínének) hőmérsékleténél található. A forróbb csillagok sugárzásának maximuma a rövidebb hullámhosszak felé tolódik, a „hidegebb” csillagok maximuma a vörös, infravörös tartományba esik. A csillag „látható színét” is az határozza meg, hogy a kibocsátott sugárzásban mely hullámhosszak dominálnak! Szabad szemmel az égre tekintve is fel lehet fedezni kékesen vagy narancsosan



3.4 ábra: forrás: A Johnson-Cousins féle szűrőfüggvények. Az adott szűrőfüggvény az átengedett intenzitás egyre normált értékét adja meg a szűrőfüggvény spektrális tartományán. A különböző szűrők szélessége és közepes hullámhosszuk a kép jobb alsó sarkában olvasható. A csillag adott szűrőn mért fényessége tulajdonképpen a csillag teljes spektrumon kibocsátott energiaeloszlásának és a szűrőfüggvénynek a konvolúciója. A kép forrása:

<http://www.aip.de/en/research/facilities/stella/instruments/data/johnson-ubvri-filter-curves>, 2017.11.20.

világító csillagokat. Ennek kvantitatív leírása a csillagok (a fentebb már említett) színindexével történik! A csillagászati felvételekből ún. hamis színes képeket lehet készíteni: a különböző szűrőkön rögzített monokróm felvételeket digitálisan összeadják (a megszokott RGB csatornákhöz rendelik). Ilyen hamis színes felvétel a tankönyv 113. oldalán található „Színes csillagok” c. kép.

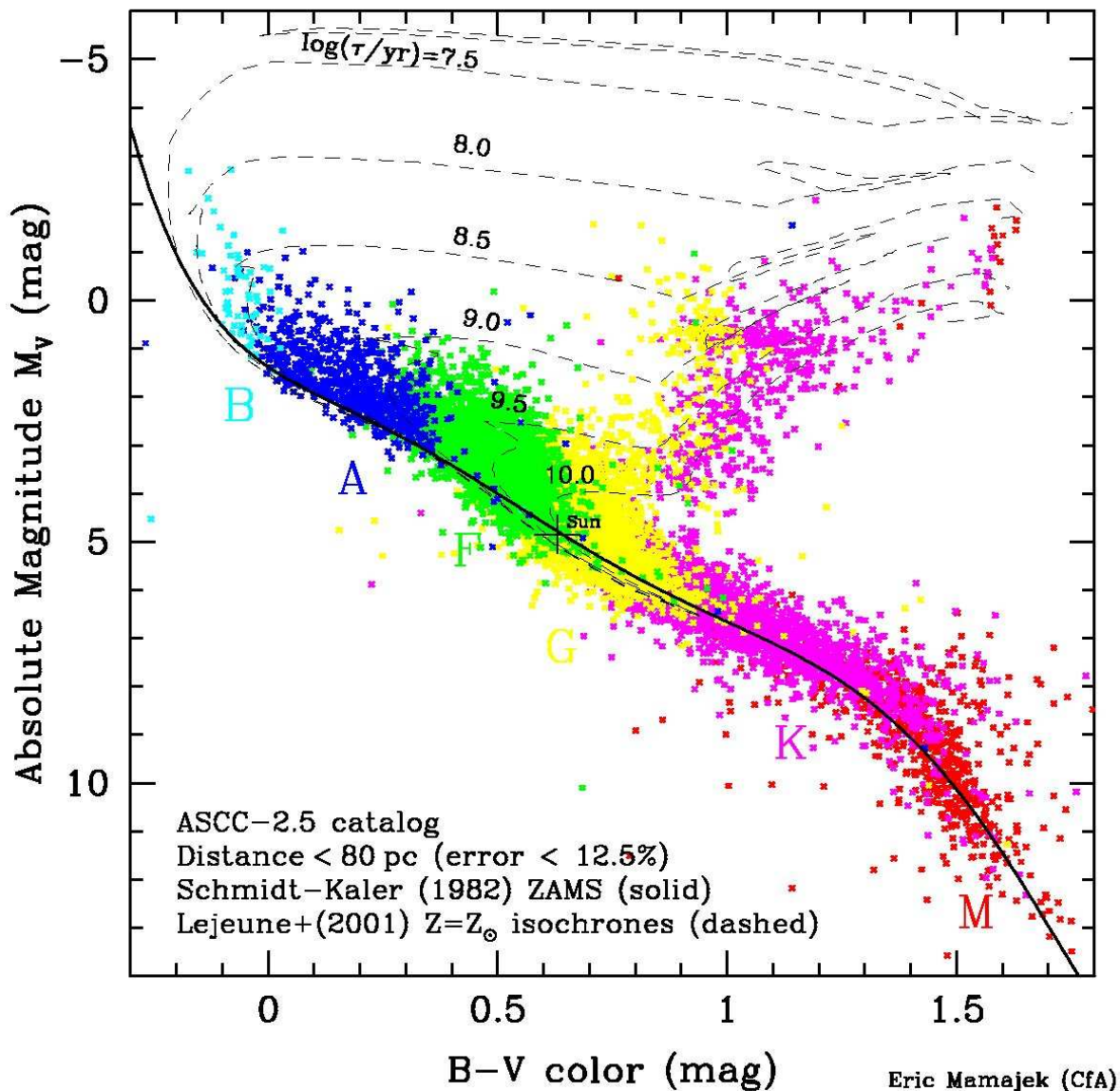
A tankönyv 113. oldalán található egy táblázat a csillagok színképeivel. Le kell szögezmem a színkép fogalma nem egyenlő a színes kép fogalmával! A táblázatban különböző színképtípusú csillagok vannak felsorolva, az adott színképtípushoz tartozó felszíni hőmérséklettartományokkal együtt. A hőmérséklet fejlécéből lemaradt a mértékegység. Feltételezve, hogy a hőmérséklet Kelvinben vannak megadva, a tartományok alsó és felső értékei nem pontosak! Lemaradt az adott színképosztály típusának megnevezése is! A színképosztályok sorban haladva a következők: O, B, A, F, G, K, M. A Nap ebben az osztályozásban egy G típusú csillag. Ez a csillagok legelső osztályozási rendszere! A tankönyvből az sem derül ki egyértelműen, hogy az

egyes színképtípusba sorolható csillagok spektrumában az adott színképtípus jellegzetes (elnyelési) vonalai találhatóak meg. Tehát más vonalak láthatóak egy B és egy G típusú csillagban.⁶ A tanórába a színképpel való megismerkedést mindenképpen érdemes beintegrálni, vissza kell utalni az atomfizikából már tanult elnyelési ill. kibocsátási színképekre (Fizika 11. 19. lecke Az atomok ujjenyomata). Meg kell mutatni, hogy például a korai (O,B) színképtípusú csillagokban a hidrogén Balmer-vonalai dominálnak! A későbbi színképtípusokban már egyéb elemek színképvonalai is megjelenhetnek (például fémvonalak). A spektráلكlasszifikáció (színképi osztályozás) másik dimenzióját adja a luminozitási osztályokban való csoportosítás, ami gyakorlatilag a csillagfejlődés különféle állapotainak megfelelő osztályozás. A csillagok (csillagpopulációk) szín-fényesség diagrammon való ábrázolásakor a különböző típusú csillagok jól meghatározható csoportokba különülnek el!

A lecke további része a csillagászati műszertechnika kérdéseivel foglalkozik. A tankönyv bemutatja a Gran Telescopio Canarias-t (röviden GTC), a világ jelenleg legnagyobb optikai tükrös távcsövét (tankönyv 114. oldal). A tankönyvi ismertetésből lemaradt, hogy a távcső a Roque de los Muchahcos obszervatóriumban található, La Palma szigetén, ami a Kanári-szigetek „egyik szigete”. (Az obszervatórium látogatható, ha valakinek az a szerencséje akad, hogy szüleivel a Kanári-szigeteken nyaral, érdemes ellátogatni az obszervatóriumba, ahol angol nyelven is tartanak túravezetést.) A felvételen látszik a hatalmas, 10,4 méter átmérőjű főtükör és a távcsövet védő kupola egy része is. A távcső különlegessége, hogy a főtükör nem egy darabban készült, hanem 36 db hatszög alakú szegmensből áll. Ezt a mozaikos megoldást már több 10 méteres távcsőnél is alkalmazták (a Hawaii-on található Keck-teleszkópoknál).

A csillagászati megfigyeléseket befolyásoló légköri jelenségekről szól a **Miért remegnek a csillagok?** című bekezdés. A csillagok megfigyelhetőségét erősen befolyásolja a légkör átlátszósága, ami alatt a légkör páratartalmát kell érteni! A légkör turbulens áramlásai miatt a csillagok képe nem szabályos korong alakú, hanem elmosódik. Ennek a problémának a kiküszöbölésére már több technikát is alkalmaznak, a legismertebbek az aktív és az adaptív optika. Mindkettő lényege, hogy vagy hardveres, vagy szoftveres úton rekonstruálják a megfigyelésre jellemző PSF-et. (A PSF a csillagfényintenzitás egydimenziós eloszlása egyre normálva, amit egy Gauss-függvénnyel jól le lehet írni.) A 114. oldalon található magyarázó ábrán (jobb oldali négyzetben lévő kép) egy viszonylag szabályos PSF látható. De honnan lehet tudni, hogy mennyi fény kerül ki a központi régióból, ha nincs megadva a viszonyítási alap - például a PSF mérete

⁶A csillagászati színképosztályozásról, kiterjesztéséről bővebben a <http://www.gothard.hu/astronomy/astroteaching/astrophysics/spectroscopy/spectral-classification/> és a <http://astro.u-szeged.hu/spectra/spektr5.html> oldalon lehet hitelesen tájékozódni.



3.5 ábra: Csillagok szín-fényesség diagramja a csillagok színképosztályinak feltüntetésével. A szín-fényesség diagrammon a különböző korú illetve fejlődési állapotú csillagok jól elkülönülten helyezkednek el. A vastag vonal (modellszámítások alapján) a „nulla-korú” fősorozati csillagok helyét adja meg a diagrammon. A szaggatott vonalak az azonos korú csillagokat jelölik, (a csillagok korának logaritmus értékei vannak feltüntetve, azaz a legfelső „izokrón” a ~ 50 millió éves csillagokat mutatja, a legalsó izokrón a tízmilliárd éves csillagoknak felel meg). A kép forrása:

<http://www.pas.rochester.edu/~emamajek/images/bv.jpg>, 2017.11.20.

szögmásodpercekben.

A lecke a rádiótávcsövekkel, majd „az űrtávcsövel” folytatódik. A 116. oldalon több látványos kép szerepel szemléltetésül. A leckét olvasva körvonalazódik, hogy földi körülmények között észlelni csak optikai- és rádiótartományokban. Sajnos, a közeli infravörös tartományok (0,7 – 1,6 m-t lefedő J,H és K Johnson-Cousins-féle szűrők) kimaradtak. Az extragalaktikus csillagászatban ez a tartomány is nagyon sok információt

közül a galaxisok szerkezetéről. Az űrtávcsövek közül is kimaradt a Spitzer, Herschel, Kepler, Galex, Einstein, Rosat, Chandra, Hipparchos, GAIA stb. missziók (legalább felsorolás jellegű) megemlézése. Nem csak a NASA állított pályára távcsövet az elmúlt 20 évben! Ha már a tankönyvből kimaradt, a tanulók számára csoportfeladatként ki lehetne adni néhány űrmisszió feldolgozását, legfontosabb eredmények felkutatását.

A leckéhez tartozó kérdések között megint találhatóak olyanok, amelyeket az ebben a részben beemelt információk nélkül a tanulók nem tudnak megoldani. A leckéből két fontos dolgonak kellett volna „átjönnie”, hogy a legalapvetőbb csillagászati módszereknek a fotometria és a spektroszkópia! A csillagok osztályozásának alapja a színképük (spektrum), nem a színes képük!

Kérdések, feladatok

Az egyszerű kérdések ismétlő jellegűek, a tananyagban található tényanyagot „kéri számon” mind a 10 kérdés. Egyedül az ötös kérdés okozhat némi nehézséget (*Mit jelent, hogy egy csillagnak negatív a magnitúdója? Mi a nulla magnitúdó jelentése?*). A Pogson-formula ismeretében viszont könnyen megválaszolható a kérdés. A nulla magnitúdó tehát a magnitúdóskála alappontja, ilyen például a Vega, amelynek fényességéhez viszonyítjuk a többi csillag fényességét. A negatív magnitúdós csillagok fényesebbek a Vegánál, a pozitív magnitúdós csillagok halványabbak. Ennek a logaritmikus skálának a megértése nem egyszerű!

Az összetett kérdésekben található első kérdés (*Két csillag abszolút fényessége azonos. Az egyik 5 parszekre van, és 2 magnitúdóval fényesebbnek látszik a másikonál. Milyen messze van a másik csillag?*) megválaszolásához ismerni kell a látszó fényesség és az abszolút fényesség közti relációt. Miután az abszolút fényesség a csillag 10 pc távolságból vett látszó fényessége, felírhatjuk a következőket:

$$M = -2.5lg \frac{F}{2\pi 10^2}, m = -2.5lg \frac{F}{2\pi d^2}, M = m + 5 - 5lgd. \quad (3.2)$$

Ahol F a csillagok által kibocsátott sugárzás intenzitása. Az egyenletet mindkét csillagra felírva és az ismert adatokat behelyettesítve kapjuk, hogy:

$$d_2 = d_1 10^{0.4} = 12,56pc. \quad (3.3)$$

3.2.3 Aki távolba néz, a múltba néz (Fizika 11. / 118.)

Ez a lecke Einstein speciális relativitáselméletének néhány gondolatával foglalkozik (fénykép, ok-okozati viszonyok). Véleményem szerint a lecke olyan filozofikus gondolatokkal is foglalkozik, aminek megértése igen nehéz. A leckét emiatt csak azoknak

a diákoknak ajánlanám egyéni feldolgozásra, és esetleg szakkörön való megbeszélésére, akiknek célja az érettségi és/vagy a továbbtanulás.

3.2.4 Fekete lyukak és más csillagsorsok (Fizika 11./122.)

A tankönyv 31. leckéje a csillagok keletkezéséről és fejlődésük végállapotairól szól. A leírt törzsszövegben semmiféle különösebb hibát nem észleltem. A tananyag kiegészítéseként a Hertzsprung-Russell diagram (HRD) vagy a fenti szín-fényesség diagram segítségével lehetne magyarázni a kisebb ($0.4M_{\odot} < m < 10M_{\odot}$) és nagyobb ($m > 10M_{\odot}$) tömegű csillagok fejlődési ütemét: a nagy tömegű, O és B típusú csillagok kb. 100 millió év alatt felélik hidrogén-készletüket, gyorsan elfejlődnek a fősorozatról, vörösóriás illetve szuperóriás állapotokba kerülnek, amely állapotokból százezer évek alatt is képesek továbbfejlődni. Tehát a nagytömegű csillagok gyorsan leélik életüket! Az alacsonyabb tömegű fősorozati csillagok fejlődési üteme viszont milliárd években mérhető!

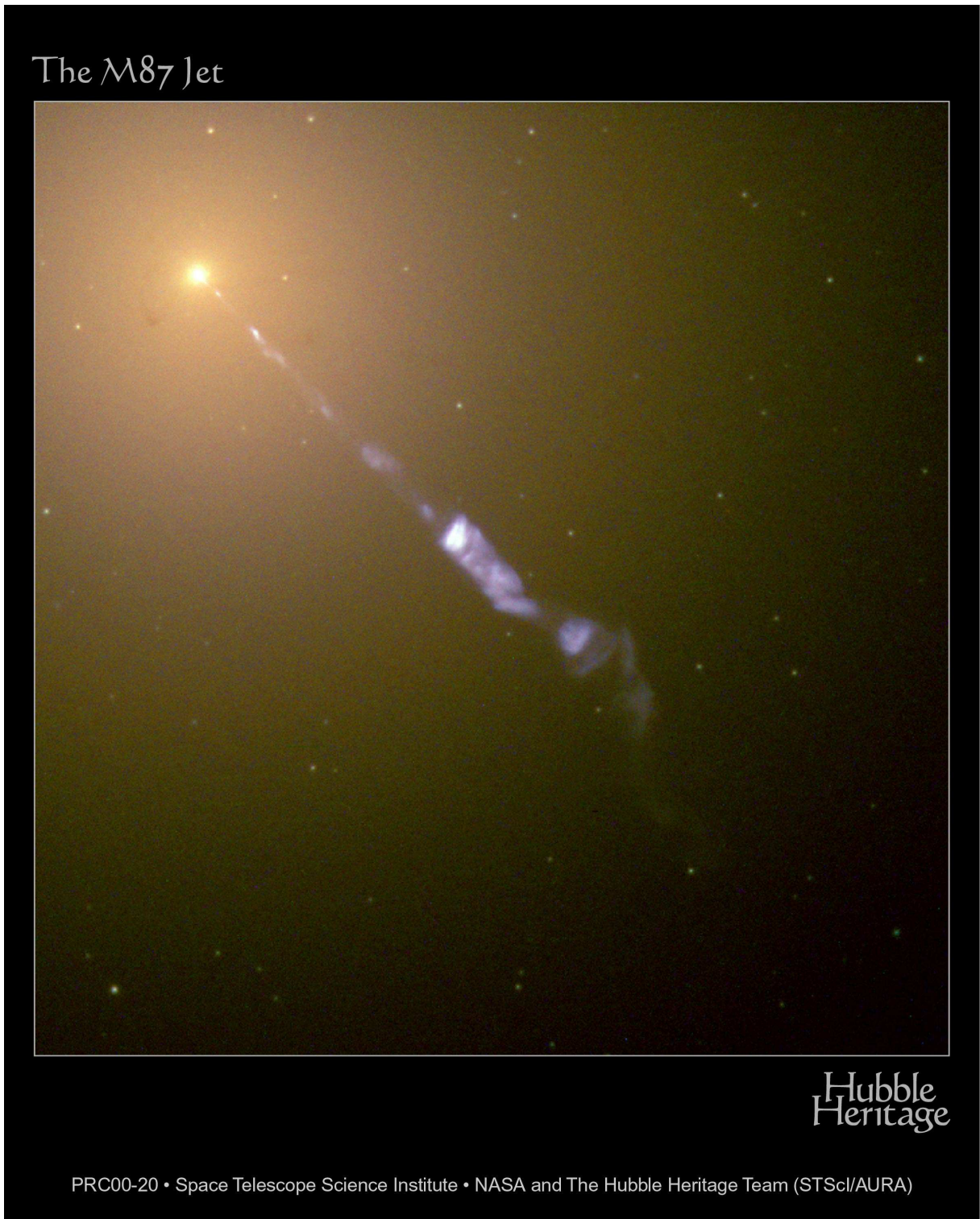
A szupermasszív fekete lyukakkal kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy kialakulásuk nem a csillagfejlődés végállapotaként tekinthető. Jelenleg is tudományos viták övezik ezt a kérdést. De az bizonyos, hogy a csillagkeletkezés maximuma 500 naptömeg körül van, amiből az is következik, hogy maximálisan néhány száz naptömegnyi fekete lyuk képződhet a csillag életének végén. Ezek a szupermasszív fekete lyukak feltehetőleg az ősrobbanáskor illetve az ősrobbanást követően jöhettek létre - az is elképzelhető, hogy a sötét anyag rendeződése okozott olyan potenciálgödröket, amelyekben kifejlődhettek.

Ilyen szupermasszív fekete lyukak találhatóak a különleges típusú, aktív galaxisok középpontjában, de a kvazárok illetve az aktív galaxismagok („active galactic nuclei”, AGN) középpontjában is fekete lyukakat találunk.

A fekete lyukakról környezetük árulkodik! „Megfigyelhetjük” őket pl. kettős csillagrendszerben (ezek az ún. röntgenkettősök), ahol a kísérőről akkretált anyag (plazma) relativisztikus sebességekre felgyorsulva röntgenben sugároz. Hasonló jelenség játszódik le az aktív galaxisok magjában, vagy a távoli univerzum objektumaiban a kvazárokból is, ahol az akkréciós korongra merőleges irányban ún. jeteket (anyagkidobódás) is megfigyeltek már a csillagászok. A jetek „anyaga” szintén relativisztikus sebességekre felgyorsított részecskékből áll. A 3.6 ábrán az M87 elliptikus galaxis jetje látható, a HST felvételén.

Kérdések, feladatok

A tankönyv 124. oldalán található kérdések között több asztrofizikai problémával is találkozhat a tanuló, melyeknek a megértése nem triviális. Például ezen a szinten az



3.6 ábra: Anyagkidobódás (jet) az M87 elliptikus galaxisban. Jól kivehető, ahogy a jet a galaxis anyagával kölcsönhatásba lép. Forrás: http://imgsrc.hubblesite.org/hvi/uploads/image_file/image_attachment/6275/print.jpg, 2017.11.25.

egyszerű kérdések közé sorolt 8. *Miért sugároz a fekete lyukba behulló anyag?* inkább az összetett kérdések közé való. A választ a részecskék fekete lyukhoz viszonyított potenciális energiájának csökkenése; ami sugárzás formájában távozik. A helyzetet a fekete lyukba

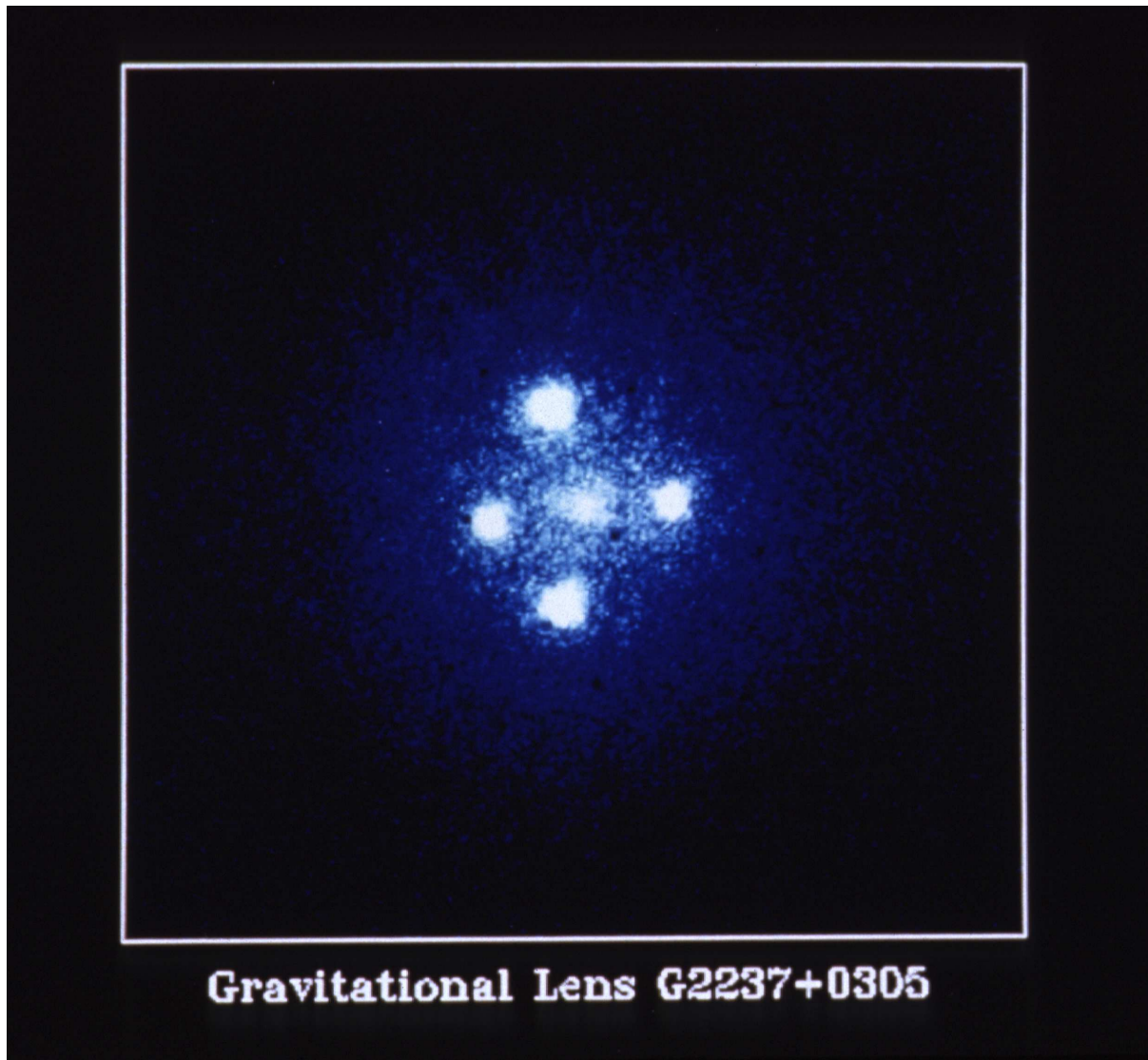
„befagyott” erős mágneses tér tovább bonyolítja, a töltött részecskék mágneses térben haladva sugároznak.

A 5. *Miért tömörödik össze egy csillag belseje, ha a külső fele lerobban? A csillag mely tartományában zajlik ilyenkor a robbanás?* kérdés kicsit furcsán lett feltéve. A szupernóva robbanás (II. típus) magyarázata, hogy a nukleáris magreakciók befejeztével (utolsó fázis a Si–Fe átalakulás) a csillag magja dinamikailag instabillá válik, ami a mag rendkívül gyors összeomlásához vezet. A szabadesési időskála msec-os. A hirtelen felszabaduló „gigantikus” nukleáris és gravitációs potenciális energia ($\sim 10^{42}$ J) a burok kinetikus energiájává alakul, szétveti a csillagot a mag kivételével. (Lásd még Petrovay Kristóf, Cserepes László: Kozmikus fizika)

Az összetett feladatok egyike 7. *Keress az interneten képeket a gravitációs lencsehatásról!* igen hálás feladat. A tanulók szeretni fogják. Érdekes a korábban már használt Google Sky vagy SKY–MAP online elérhető felületek keresni. Példaként az Einstein Keresztje (Einstein Cross) néven ismert gravitációs lencse a HST egy korai felvételén (lásd 3.7 ábra).

Az egyszerű kérdések között fellelhető *Keress az interneten minden csillagtípusra néhány példát!* feladat megoldása szintén nem egyszerű, inkább az összetett feladatok közé kellene besorolni ezt a feladatot is. Általában egy ilyenfajta jellegű probléma megoldását az adatbázis megválasztásával kell kezdeni. Hol keresik a csillagászok az „adatokat”? Például a SIMBAD adatbázisban, ami mindenki számára hozzáférhető a simbad.u-strasbg.fr/simbad/ weboldalon. Itt ún. kritérium alapú kereséssel lehetne különböző spektráltípusú csillagokat kibányászni. Probléma viszont, hogy egyetlen keresési kritérium hatására egy több tízezer csillagból álló listát kapunk vissza. A több keresési feltétel megfogalmazása már bonyolultabb feladat, és tapasztalatot igényel.

A mindentudó Google-hoz vagy wikipediához fordulva könnyebben jutunk eredményre. A https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification oldalon megtaláljuk a különböző spektrális osztályok ún. standard csillagait. A tanulóknak további feladatként lehetne adni, hogy keressenek a csillagokhoz spektrumokat is, és tanulmányozzák a bennük lévő vonalakat!



3.7 ábra: A G2237 + 0305 jelű galaxis körüli gravitációs lencse, a galaxis egy „mögötte lévő” távoli kvazár fényét erősíti fel. A galaxis halvány képe a középső fényfolt, a kereszt alakban elhelyezkedő 4 fényesebb folt a kvazár lencsézett képe. A kép forrása: http://hubblesite.org/image/22/news_release/1990-20,2017.11.25.

3.3 A Naprendszer fizikai viszonyai

Ebben a fejezetben kaptak a helyet a galaxisok. A csillagászat mint tudomány logikája azt követelné, hogy a galaxisokról az univerzum szerkezete kapcsán essék szó! Sajnos, a galaxisokról méltatlanul kevés szó esik a tankönyvben. Pedig a galaxisok látványosak, gyönyörűek, és rengetegen vannak! Látványos égi jelenségeket produkálnak számunkra. Tehát egy olyan fejezete a csillagászatnak, ami képes megfogni a nagyközönséget és a tanulókat!

A szakdolgozat utolsó részében a galaxisokkal kapcsolatos tudnivalókat rendszerezem - fizikatanárként, bár lehet, hogy elfogultságom vezet, több órát szánnék a galaxisokra! Ennek oka a már említett látványossága az extragalaktikus csillagászatnak, másrészt

számos olyan interneten is elérhető tananyag, tanulóprogram érhető el az interneten, amelyekkel az aktív tanulás eszközeit be lehet vinni az órára (is).

3.3.1 A Föld csillagkörnyezete (Fizika 11./152.)

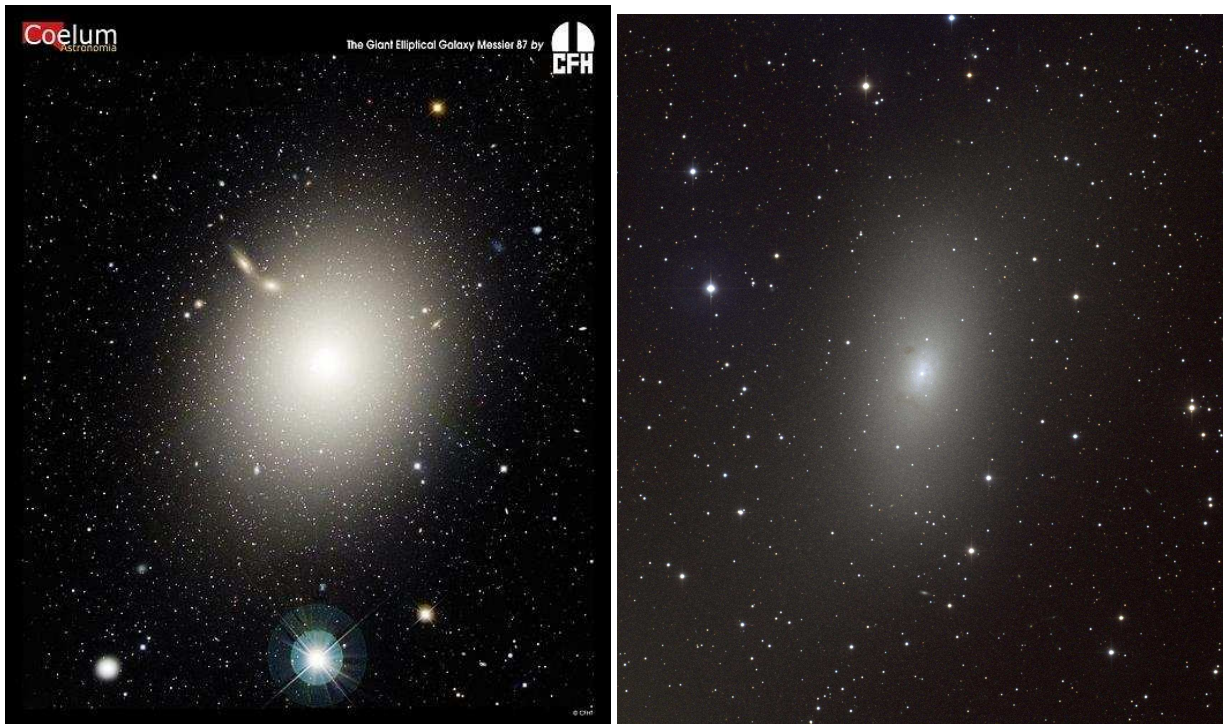
A tankönyv 154. oldalán látható egy nyomtatásban nem túl látványos kép a Tejútrendszeréről. A hozzá tartozó törzsszövegben találjuk a magyarázatot, hogy a Tejútrendszerben a csillagok eloszlása nem egyenletes. A képen a „Tejút csillagokkal telehintett fényes sávját figyelhetjük meg”, ami valójában tele van kozmikus porral, ami miatt a korongban található csillagok fénye elnyelődik.

A galaxisokról általában

Ez a bekezdés nagyon elnagyoltra sikeredett. A galaxisok morfológiájuk, azaz szerkezetük szerint az alábbi osztályokba sorolhatóak: elliptikus, spirális, lentikuláris v. szferoidális galaxisok, az univerzum találunk még szabálytalan alakú ún. irreguláris galaxisokat is. Ezek az osztályok a Hubble-féle osztályozás alapját képezik. Megjegyzés: Professzionális csillagászatban a spirális galaxisok helyett gyakran a korong-galaxisok ('disk galaxy') terminológiával találkozunk, aminek az az oka, hogy sok galaxisban nincs, vagy az égen való elhelyezkedés miatt nem láthatóak a spirálkarok.

A tankönyvben a 155. oldalon szereplő két képen egy spirális és egy (állítólagos) elliptikus galaxis látható. A tankönyvi ábráról lemaradt az objektumok neve, a spirálgalaxis az M101 jelű ún. „Grand Design” spirálgalaxis (a „Grand Design” spirálgalaxisokban a spirálkarok igen prominensek, a galaxisok mérete és szépsége miatt különböztetjük meg csoportjukat). A másik galaxisra nehezebben jöttem rá, hogy melyik objektum, de a képen látható csillagok jó referenciaként szolgáltak. A képpel kapcsolatban rögtön szemet szúrt, hogy a galaxis fényességeloszlása (azaz a galaxis középpontjától mért távolságától való függése) nem az elliptikus galaxisoknál megszokott de Vaucouleurs profilt követi, hanem sokkal inkább a korong galaxisokra jellemző exponenciális lecsengés látszik a képen. A de Vaucouleurs profil a fényesség sugárral való $I \sim R^{1/4}$ függését jelenti. Az is szemet szúrt, hogy a galaxis alapvetően nagyon halvány a csillagokhoz képest, és a központi régiója sem elég prominens, egy elliptikus galaxis központi régiója jóval fényesebb. A galaxis az M110 (NGC205)⁷ jelű törpe elliptikus galaxis, ami az Androméda (M31) galaxis egyik kísérője (például van den Bergh, 2000). A törpe elliptikus galaxisokra pedig valóban jellemző, hogy általában több magnitúdóval halványabbak (abszolút fényességben is értendő) óriás társaiknál, és profiljuk exponenciális lecsengésű. (Binney és Merrifield: Galactic Astronomy, 1998)

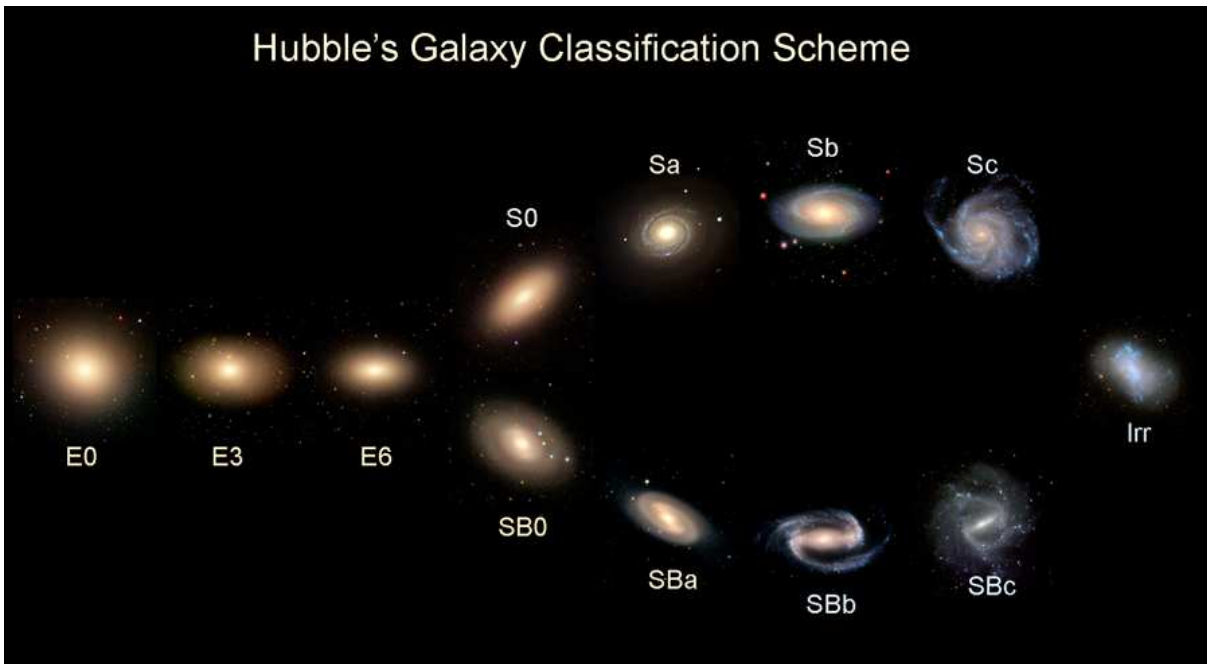
⁷Az „M” Messier katalógusban való besorolás számát jelenti, az NGC jelzés pedig az ún. „New General Catalog” katalógus szerinti elnevezést.



3.8 ábra: Bal oldalon az M87 jelű óriás elliptikus galaxis. Jobb oldalon a tankönyvben is szereplő M110 törpe elliptikus galaxis. A képek forrásai: M87, https://apod.nasa.gov/apod/image/0406/m87_cfht_big.jpg, 2017.11.25.; M110, https://www.noao.edu/image_gallery/images/d5/m110.jpg, 2017.11.26.

Hubble az ún. „hangvilla-diagram” mentén rendezte osztályokba a galaxisokat (Hubble, 1925 idézi Binney és Merrifield, 1998). A 3.9 ábrán is nyomon követhetőek a fő morfológiai típusok: E (elliptikus) és S (spirális). Az elliptikus galaxisok morfológiai altípusaiban (E0–E7) a finomítás alapja a galaxis elnyúltsága, lapultsága (E7 a legelnyúltabb, leglapultabb típus). A szferoidális/lentikuláris (S0) galaxisok „átmenetet” képeznek a spirálgalaxisok felé. A szferoidális/lentikuláris és spirálgalaxisoknál is figyelembe kell venni, hogy rendelkezik-e küllővel (SB0 és SB típusok) vagy sem. Itt válik szét a diagram hangvilla két ágára. A spirálgalaxisok osztályozása hagyományosan figyelembe veszi a spirálkarok feltekeredtségét is, illetve a központi dudor (angol szakirodalomban „bulge”) méretét. Az ún. korai típusú spirálgalaxisokban (Sa, Sb vagy SBa, SBb ha küllővel is rendelkezik) a karok nagyon fel vannak csavarodva a galaxis központi régiója köré, az ún. késői típusú galaxisokban (Sc és Sd típusok) viszont a spirálkarok nyitottabbak és a központi dudor mérete is jelentősen lecsökken, azaz a galaxisban a korong dominál. Az osztályozás kiterjeszhető még gyűrűs galaxisokkal is (Binney és Merrifield: Galactic Astronomy, 1998).

A tananyagot tovább lehetne bővíteni a galaxisok, köztük a saját galaxisunk szerkezetének tárgyalásával, külön említést érdemelnének a nyílt és gömbhalmazok. Az



3.9 ábra: A Hubble-féle osztályozási rendszer. A kép forrása: <http://candels-collaboration.blogspot.hu/2013/08/dont-judge-galaxy-by-its-cover.html>, 2017.11.26.

extragalaktikus csillagászati témákat tekintve nagyon látványos felvételeket lehet mutatni a tankönyvben is többször emlegetett galaxisütközésekről. A továbbiakban felsorolom azokat az alapkérdéseket (a teljesség igénye nélkül), amikkel kapcsolatban egy fizikatanár extragalaktikus csillagászat témában érdekes és új ismereteket emelhet be a tananyagba.

Az extragalaktikus csillagászat néhány alapkérdése

A csillagászokat, asztrofizikusokat a galaxisok keletkezésével és fejlődésével kapcsolatban az alábbi kulcskérdések foglalkoztatják:

- Hogyan keletkeztek a galaxisok, ha a Λ CDM kozmológia helyes?
- Mi a spirálgalaxisok keletkezésének domináns mechanizmusa?
- Milyen folyamatok vezérlik a galaxisok fejlődését?
- Hogyan keletkeztek a gömbhalmazok?
- Hogyan kerültek a csillagok a galaktikus halókba?

Ezen kérdésekkel kapcsolatban igen komoly numerikus szimulációk is láttak már napvilágot, pl. egy ilyen az Aquarius projekt. A tanórán érdemes az ilyen szimulációkat, videókat lejátszani, mert nagyon szemléletesen mutatják meg az univerzum fejlődését az Ősrobbanás óta.

Megjegyzés: mit értünk egy galaxis fejlődésén? A galaxis szerkezetének megváltozását; a galaxist alkotó csillgpopulációk öregedését, fémekben való gazdagodását; a csillagok vándorlását („migration”); a gáz beáramlását a galaxisba, ami új „rezervoir”-t szolgáltat a csillagkeletkezéshez, a csillagkeletkezés megjelenését a korong galaxisok peremvidékén, más galaxisokkal való interakciót.

3.4 Általában a 11. osztályos tankönyvről

A 11. osztályos tankönyv általam már nem elemzett csillagászati illetve csillagászat közeli témái a planetológia, a földönkívüli élet lehetőségei és az exobolygó kutatás, a Naprendszer kutatása. Ezeket a leckéket látványos képekkel illusztrálják, a tananyaghoz kapcsolódóan több digitális tartalom⁸ található, amik az anyag elsajjtítását, gyakoroltatását célozzák meg.

A tankönyvről általában elmondható, hogy a szövegezése nem túl „tudományoskodó”, kerüli a szakzsargon használatát, bár az megnehezítheti a tudományos szakirodalommal való ismerkedést. A törzsszöveget helyenként túl sok, nem a fizikához kapcsolódó felesleges információ tördeli szét. Az illusztrációként használt ábrák egy részét érdemes lenne jobb minőségűre cserélni, általános jelenség, hogy az ábrák alatti szövegek nem elég magyarázó jellegűek, és esetlegesen a törzsszövegben sem elég szemléletes a magyarázat.

⁸<http://portal.nkp.hu>

4

Összegzés

Mi lehet a középiskolai csillagászatoktatás elsődleges célja vagy céljai? Véleményem szerint a fő cél az, hogy olyan kiművelt emberfőket eresszünk ki érettségi után a való életbe, akiknek van valamiféle természettudományos, ezen belül pedig csillagászati világképe. Ennek a világképnek elsődlegesen biztos alapokon kell állnia; ehhez téveszméktől mentes tudással kell felvérteznünk a jelen diákjait. Ez a mai világban elengedhetetlen, ha azt akarjuk, hogy a csillagászat iránt valamilyen szinten is érdeklődő ember el tudjon igazodni az új felfedezések között.

A NAT A kerettanterve alapján készült tankönyvek sok csillagászati témát tartalmaznak, de a beltartalom lehetne tetszetősebb és pontosabb is. Mindazonáltal a tanárt nagyon egyedül hagyják. A csillagászatban járatlanabb fizikatanárnak mindennek alaposan utána kell járnia, a tankönyvben található kérdések kapcsán a tanulók számára alapos útmutatást kell adnia. A tankönyv a tanulókat önálló munkára ösztönzi, de a csillagászati fogalmak, összefüggések pontos ismerete nélkül a munka megakad. A 9. tankönyvben sok kérdés megfogalmazása meghaladta a 15 évesek értelmi színvonalát vagy előzetes tudását. A tankönyvekben nincsenek összefoglaló jellegű leckék, emiatt ez a feladat teljes egészében a fizikatanár kollégákra hárul.

A tankönyvekben szereplő anyag a 9. osztályos keretóraszámhoz viszonyítva terjedelmes, nem sok időt enged a konstruktív pedagógiák alkalmazására (interaktív órákra, digitális tananyag feldolgozására, kiselőadásokra). A 11. osztályos tankönyvet a keretóraszámiban jobban el lehet végezni, főleg csak a továbbtanulóknak érdekes anyagok kihagyásával.

A 11. osztályos tankönyv a csillagászati tartalmak logikusabb elrendezése végett átszervezést igényelnek. A digitális tananyagok kereszthivatkozásait, elérhetőségeit is meg kellene adni a tankönyvekben. Szükséges lenne az általam is felsorolt pontatlanságok és

hibák javítására is. Egyáltalán helyesebb lett volna, hogyha csillagász szakmai lektor is segíti a tankönyvek megírását. Összességében azért elmondható, hogy üde színfolt lehet ez a fajta tankönyv a magyar fizikaoktatásban. Konceptiójával jobban meg tudja majd fogni az átlagos, nem kifejezetten természettudományos érdeklődésű tanulót is, és talán abban a tekintetben is sikerül elérni a NAT által kitűzött célt, hogy mindenki rendelkezzen a mindennapokban alkalmazható természettudományos műveltséggel, intelligenciával. (De ez a jövő zenéje.)

Irodalomjegyzék

(2012). 51/2012. (XII. 21.) számú EMMI rendelet 3. melléklet. *Magyar Közlöny*, 177:29877–36480. Letöltés: http://kerettanterv.ofi.hu/03_melleklet_9-12/index_4_gimn.html (2017. 09. 10.).

Arató, L. (2016). Bíráló az irodalom 9. kísérleti tankönyvről és a hozzá készült digitális tananyagáról. *Iskolakultúra*, 03:131–151.

Balázs, B., Érdi, B., Marik, M., Szécsényi Nagy, G., és Vízi, Z. (1998). *Bevezetés a csillagászatba*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.

Binney, J. és Merrifield, M. (1998). *Galactic Astronomy*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Bouwens, R. J., Illingworth, G. D., Blakeslee, J. P., Broadhurst, T. J., és Franx, M. (2004). Galaxy Size Evolution at High Redshift and Surface Brightness Selection Effects: Constraints from the Hubble Ultra Deep Field. *The Astrophysical Journal Letters*, 611(1):L1.

Bouwens, R. J., Illingworth, G. D., Labbé, I., Oesch, P. A., Trenti, M., Carollo, C. M., van Dokkum, P. G., Franx, M., Stiavelli, M., González, V., Magee, D., és Bradley, L. (2011). A candidate redshift $z \approx 10$ galaxy and rapid changes in that population at an age of 500 Myr. *Nature*, 469:504–507.

Bouwens, R. J., Oesch, P. A., Illingworth, G. D., Labbé, I., van Dokkum, P. G., Brammer, G., Magee, D., Spitler, L. R., Franx, M., Smit, R., Trenti, M., Gonzalez, V., és Carollo, C. M. (2013). Photometric Constraints on the Redshift of $z \approx 10$ Candidate UDFj-39546284 from Deeper WFC3/IR+ACS+IRAC Observations over the HUDF. *The Astrophysical Journal Letters*, 765(1):L16.

Brammer, G. B., van Dokkum, P. G., Illingworth, G. D., Bouwens, R. J., Labbé, I., Franx, M., Momcheva, I., és Oesch, P. A. (2013). A Tentative Detection of an Emission Line at 1.6 μm for the $z \approx 12$ Candidate UDFj-39546284. *The Astrophysical Journal Letters*, 765(1):L2.

- Csajági, S. és dr. Fülöp, F. (2015). *Fizika 9. Emelt szintű képzéshez*. Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet.
- Cserepes, L. és Petrovay, K. (2001). *Kozmikus fizika*. Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar.
- Csizmadia, S. (2016.). Szuperhold: gigabutaság. Hozzáférés: 2017. 10. 27.
- Damjanovich, S., Fidy, J., és Szöllősi, J. (2007). *Orvosi Biofizika*. Medicina Könyvkiadó Zrt. Pdf formátumban letöltve a <http://www.tankonyvtar.hu> oldalról, 2017.11.10.
- Ellis, R. S., McLure, R. J., Dunlop, J. S., Robertson, B. E., Ono, Y., Schenker, M. A., Koekemoer, A., Bowler, R. A. A., Ouchi, M., Rogers, A. B., Curtis-Lake, E., Schneider, E., Charlot, S., Stark, D. P., Furlanetto, S. R., és Cirasuolo, M. (2013). The Abundance of Star-forming Galaxies in the Redshift Range 8.5-12: New Results from the 2012 Hubble Ultra Deep Field Campaign. *The Astrophysical Journal Letters*, 763(1):L7.
- Érdi, B. (1996). *Égi mechanika*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Gábris, G., Marik, M., és Szabó, J. (1998). *Csillagászati földrajz*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Hogg, D. W. (1999). Distance measures in cosmology. *ArXiv:9905116*.
- Hubble, E. (1929). A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae. *Proceedings of the National Academy of Science*, 15:168–173.
- Illingworth, G. D., Magee, D., Oesch, P. A., Bouwens, R. J., Labbé, I., Stiavelli, M., van Dokkum, P. G., Franx, M., Trenti, M., Carollo, C. M., és Gonzalez, V. (2013). The HST eXtreme Deep Field (XDF): Combining All ACS and WFC3/IR Data on the HUDF Region into the Deepest Field Ever. *The Astrophysical Journal Supplemental Series*, 209:6.
- Kojanitz, L. (2014). A kísérleti tankönyvek fejlesztésének koncepcionális háttere. *Új Pedagógiai Szemle*, 5-6:45–67.
- Marik, M. s. (1989). *Csillagászat*. Akadémia Kiadó.
- Mizser, A. (2014). A nagy szuperhold átverés. <https://www.csillagaszat.hu/hirek/a-nagy-szuperhold-atveres>, Hozzáférés: 2017.10.27.
- Oesch, P. A., Brammer, G., van Dokkum, P. G., Illingworth, G. D., Bouwens, R. J., Labbé, I., Franx, M., Momcheva, I., Ashby, M. L. N., Fazio, G. G., Gonzalez, V., Holden, B., Magee, D., Skelton, R. E., Smit, R., Spitler, L. R., Trenti, M., és Willner,

- S. P. (2016). A Remarkably Luminous Galaxy at $z=11.1$ Measured with Hubble Space Telescope Grism Spectroscopy. *The Astrophysical Journal*, 819:129.
- Peebles, P. J. E., Schramm, D. N., Kron, R. G., és Turner, E. L. (1991). The case for the relativistic hot big bang cosmology. *Nature*, 352:769–776.
- Székely, L. (2000). *A tudományos gondolkodók története*, A csillagászat története Ptolemaiosztól Keplerig, 152–172. oldal. ELTE.
- van den Bergh, S. (2000). Updated Information on the Local Group. , 112:529–536.
- Wright, E. L. (2006). A Cosmology Calculator for the World Wide Web. , 118:1711–1715.

NYILATKOZAT

Alulírott Dr. Egedyné Bakos Judit, Fizikatanár MSc szakos, levelező tagozatos hallgató (EGBYAAT.SZE) a **Középiskolai „kísérleti” fizika tankönyvsorozat elemzése csillagász szemmel** című szakdolgozat szerzője fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy dolgozatom önálló munkám eredménye, saját szellemi termékem, abban a hivatkozások és idézések általános szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

Szeged, 2017. november 30.

.....
a hallgató aláírása