

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI ÉS INFORMATIKAI KAR

KÍSÉRLETI FIZIKAI TANSZÉK

CSILLAGÁSZATI KÍSÉRLETEK A FIZIKA TANÍTÁSÁBAN

Astronomical experiments in the education of physics

SZAKDOLGOZAT

Készítette: Bodó Gergely fizikatanár MSc szakos hallgató

Témavezető: Dr. Szatmáry Károly egyetemi tanár

Kísérleti Fizikai Tanszék

Szeged 2017

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
2. Égi mechanika.....	2
2.1. Gumilepedős modell.....	2
2.1.1. Merev falú modell.....	7
2.2. Az ellipszis.....	9
2.3. Éggömb készítése.....	16
2.4. Két égitest tömegközéppontjának meghatározása.....	20
3. Központi égitestünk, a Nap.....	23
3.1 A Nap méretének meghatározása.....	23
3.2 A Nap kivetítése távcsővel, napfoltok megfigyelése.....	26
3.3 A Nap felszínének modellezése.....	28
4. Csillagászati földrajz.....	31
4.1 Az évszakok kialakulásának oka.....	31
4.2 Foucault-inga.....	34
4.3 Üvegházhatás.....	36
5. Egyéb, a fizika tanításához köthető kísérletek.....	38
5.1 Űrrakéták.....	38
5.2 Üstökös modellezése.....	41
5.3 Fényszórás: Miért kék az ég, és miért vörös a felkelő/lenyugvó Nap?.....	43
5.4 Spektroszkóp készítése.....	46
6. Projektek.....	48
6.1 Csillagászathoz köthető tárgyak gyűjtése.....	48
6.2 A Naprendszer modellezése.....	50
7. Összefoglaló.....	52
8. Nyilatkozat.....	53
9. Irodalomjegyzék.....	54
10. Köszönetnyilvánítás.....	55

1. Bevezetés

A csillagászat jellemzően az a része a közoktatásbeli fizikának, amelyre kevés vagy egyáltalán nem jut idő. A tanulók viszont nagy érdeklődést mutatnak a témakör iránt.

A jelenlegi alaptanterv (NAT 2012) a közműveltségi tartalmaknál előírja, hogy általános iskolában (7-8. osztály) a tanulók ismerkedjenek meg a Világegyetem és a Naprendszer fejlődésével, a Naprendszer és a Nap felépítésével. A kerettanterv erre az anyagrésze, a két évre összesen 8 órát biztosít. Jellemző azonban, hogy egyáltalán nem kerülnek be a tanórákra ezek az anyagok, az egyébként is rendkívül alacsony óraszámoknak köszönhetően. Középiskolában (gimnázium 9-12. osztály) összesen 23 óra jut kifejezetten a csillagászathoz köthető tartalmak oktatására.

A csillagászatra jutó kevés óraszám mellett nem sok lehetőség adódik az anyagrészek gyakorlati demonstrálásához: a kísérletekhez. E dolgozat célja, hogy kísérleteket gyűjtsön össze, amelyek a csillagászat tanításához kapcsolódnak közvetlenül vagy a fizika tanításához köthetők, azonban van csillagászati vonatkozásuk. Néhány kísérlet kapcsolható más tantárgyakhoz is, segítve a tantárgyi koncentrációt. A kísérletek gyűjtésénél elsődleges szempont volt az anyagi vonzat. A fizika szertárak döntő többsége nincs felszerelve az ilyen célt szolgáló „gyári” eszközökkel, ezért olyan kísérleteket válogattam, amelyekhez a szükséges eszközök olcsón vagy akár házilag, otthon található eszközökből, így minimális ráfordítással is összeállíthatók.

Az összegyűjtött kísérleteket a témakörök szerint rendeztem. A kísérleteket igyekeztem részletesen feldolgozni. A kísérletek elején ismertetem a kapcsolódási pontokat a tananyaghoz, a célkitűzést és a szükséges eszközöket. Elméleti áttekintést adok az adott részben használt ismeretekről. A kísérletek, mérések menetéről részletesen beszámolok, hogy könnyen lehessen megismételni. A kísérletek végén lehetőség szerint videó elérhetőséget adok meg, hogy eszközök hiányában is tudjunk szemléltetni valamilyen módon. Ahogy a lehetőségeim engedték, igyekeztem minél több kísérletet saját magam is elvégezni, így saját tapasztalataimat is közzé tudom tenni. Mindegyik általam elvégzett kísérletről fotók is készültek, amelyeket mellékeltem a leírások mellé.

2. Égi mechanika

2.1. Gumilepedős modell

Bevezető: A Kepler-törvényeknek szemléletes jelentésük is van. Azonban, ha a tanár szemléltetés nélkül tanít, nem fognak megfelelően rögzülni a tanulóknak az elhangzottak. Ez az elrendezés, amelyet akár házilag is elkészíthetünk, lehetőséget ad Kepler törvényeinek (és más jelenségeknek) megfelelő bemutatására.

A kísérlet célja: lehetséges bolygópályák és bolygómozgások szemléltetése.

Kapcsolódása a fizika tanításához: bolygómozgás, Kepler-törvények

Szükséges eszközök: kör alakú keret, gumilepedő, kötél, különböző méretű fémgolyók.

A kísérlet menete:



1. ábra: Az SZTE Kísérleti Fizikai Tanszékén használt eszköz: kerékpár abroncsra feszített gumilepedő, „indító” szerkezettel.

A keretre kifeszített gumilepedőt ha középen lenyomjuk egy gömb alakú tárggyal, egy tölcészerű felületet kapunk. Ha erre a felületre egy testet helyezünk el, a testre a középpont felé mutató erő hat. Megállapítható, hogy az erő nagysága csökken a középponttól mért távolság növekedésével. Ez az erő hasonló a gravitációs erőhöz. Ha a lepedőre helyezett golyót érintő irányú sebességgel indítjuk el, akkor a golyó egy meghatározott pályán fog mozogni a centrum körül. A golyó és a gumilepedő között lévő súrlódás miatt a golyó

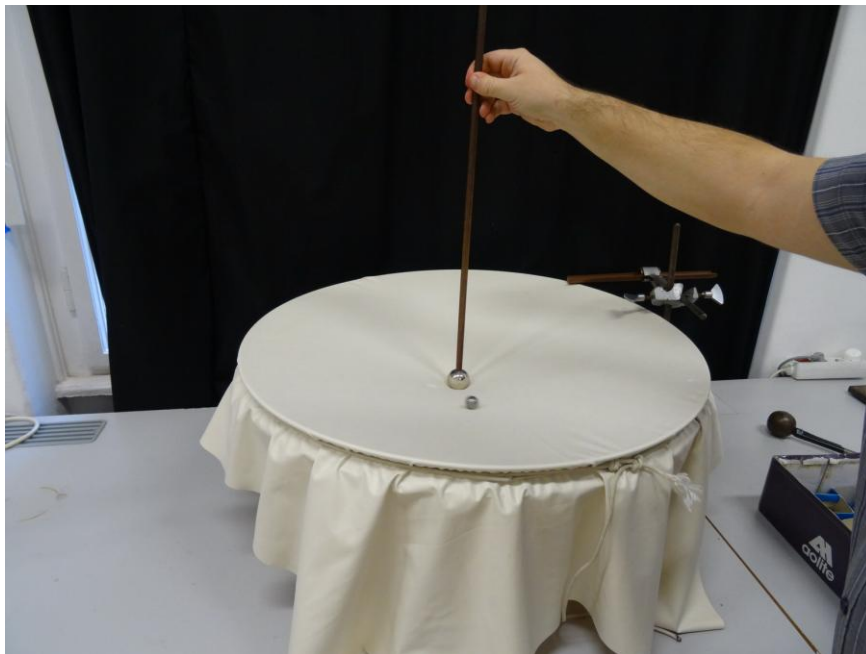
mozgása erősen csillapodik. Ez azt jelenti, hogy a golyó pályája nem egy zárt görbére hasonlít, hanem inkább egy spirálhoz hasonló vonalra. A golyó pályáját egy fordulat alatt a központi test körül azonban jó közelítéssel Kepler-pályának tekinthetjük. A megfigyelések alatt is egy-két fordulatra vonatkozóan vonjuk le következtetéseinket. Némi gyakorlással és ügyességgel, ami a golyó(k) indításához szükséges, számos jelenséget, törvényszerűséget tudunk szemléltetni.

A) Kepler II. törvénye

Kepler II. törvénye kimondja, hogy a Naptól egy bolygóig húzott vezérsugár azonos idők alatt, azonos területeket sűrol. Ez azt fejezi ki, hogy napközelpben a bolygók gyorsabban (nagyobb kerületi sebességgel), naptávolban lassabban mozognak.

Ha a golyó ellipszis (nem kör) alakú pályán mozog, akkor megfigyelhetjük, hogy a középpontban lévő gömb körül felgyorsul, távolabb tőle lelassul a mozgása. Minél lapultabb pályája van a golyónak, annál szembetűnőbb a különbség.

Hasznos lehet, ha a gumilepedőt nem közepén, hanem excentrikusan nyomjuk le. Ezzel a pálya nagytengelyének változását mérsékelhetjük.



2. ábra: Ellipszis pályán mozgó golyó.

B) Kepler III. törvénye

Kepler III. törvénye kimondja, hogy a bolygók nagytengelyeinek harmadik hatványai úgy aránylanak egymáshoz, mint a keringési idők négyzetei. Megjegyzés: ez azonban csak

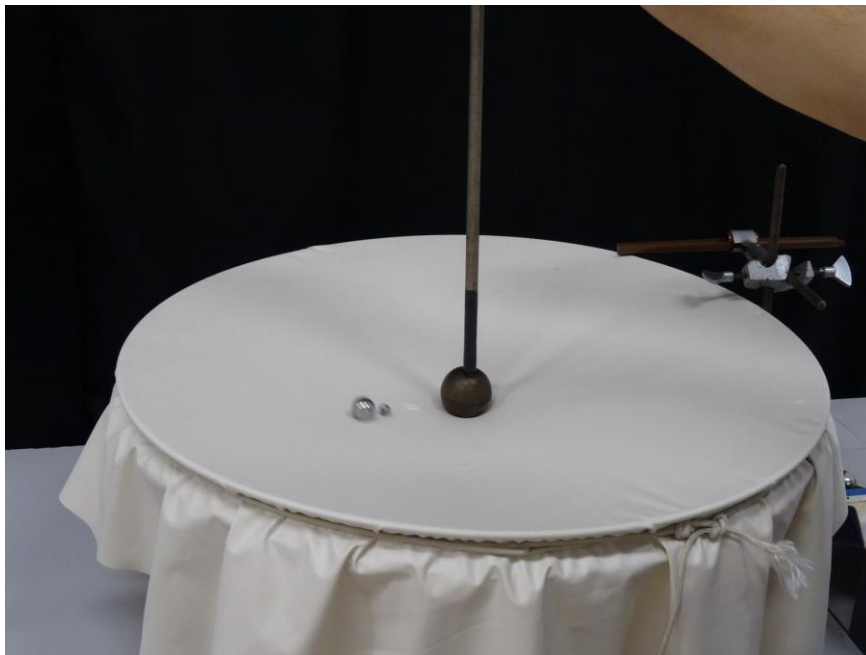
közelítőleg igaz, az a^3/P^2 érték függ a bolygó és a Nap a össztömegétől. A bolygók tömege azonban elhanyagolhatóan kicsi a Nap tömegéhez képest, ezért az arány csak a Nap tömegével lesz arányos, ami állandó, tehát minden bolygóra ugyanakkora lesz az a^3/P^2 érték. A törvény szemléletesen szólva azt fejezi ki, hogy minél távolabb van egy bolygó a Naptól, annál nagyobb a keringési ideje.

Ezt szemléltetni tudjuk a modellel. Indítsuk különböző távolságokra a golyót a középponttól. Megfigyelhetjük, hogy minél közelebb van a golyó pályája a középponthez, annál kevesebb idő kell neki egy fordulat megtételéhez.

C) Perturbáció (zavarás)

A Naprendszerben lévő égitestek nem csak a Nappal vannak gravitációs kölcsönhatásban. Az égitestek egymásra is hatást gyakorolnak. A nagyobb tömegű bolygók (jellemzően a Jupiter) befolyásolják, zavarják a kisebb bolygók és más égitestek mozgását a pályájukon.

Indítsunk el egy kisebb golyót és várjunk addig, amíg a pályája közepes méretű nem lesz. Ekkor gurítsunk be egy nagyobb tömegű golyót. Megfigyelhetjük, hogy a nagyobb golyó hatással van a kisebb golyó mozgására. Három féle hatást figyelhetünk meg: a bolygó pályája közelebb a „Naphoz”, a bolygó pályája távolabb kerül a középponttól ill. ha megfelelőek a körülmények, akkor a nagyobb golyó befogja a kisebbiket, holdja lesz a nagyobboknak.



3. ábra: A nagyobb golyó eleinte csak zavarta a kisebb golyó mozgását, majd be is fogta.

D) Bolygópályák kettős rendszerekben

Azt gondolhatnánk, hogy a mi Naprendszerünkhöz hasonló a többi rendszer: a központban lévő csillag körül keringenek az égitestek. Pedig ez nem így van, többségben vannak azok a rendszerek, amelyekben kettő, vagy esetleg több csillag található.

A gumilepedőt most két helyen nyomjuk le, létrehozva így a kettőscsillagot. Az indítási módtól függően három különböző pályát tudunk szemléltetni: a bolygó egy csillag körül kering, mind a két csillag körül kering vagy egy „nyolcas” alakú pályán kering a két csillag körül. A nyolcas alakú pálya eléréséhez gyakorolni kell egy kicsit az indítást.

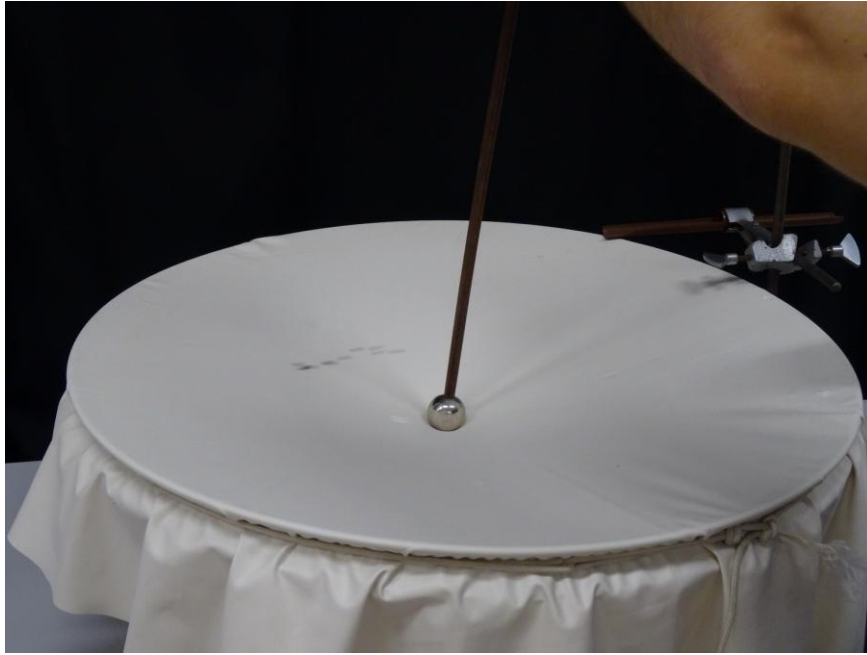


4. ábra: „Nyolcas” alakú pályán mozgó golyó kettős rendszerben.

E) Meteorraj

A meteorraj olyan meteorokból áll, amelyeknek azonos az eredete (ez azt jelenti, hogy azonos égitestből származnak) és azonos pályán keringenek a Nap körül. Többségében üstökös a meteorraj eredete. Amikor az üstökös közelebb kerül a Naphoz, a benne lévő jég szublimál, a folyamat során porrészecskék is elhagyják az üstökös felszínét. A kiszabaduló részecskék pályája nem fog jelentősen eltérni az üstökösétől, de a periódusidőben következhet be változás. Ez azt eredményezi, hogy a meteorok lemaradnak az üstököstől idővel.

A meteorrajt apró fémsörétekkel tudjuk szemléltetni, amelyeket egyszerre indítunk el. Megfigyelhetjük, hogy pályájuk közel azonosnak mondható.



5. ábra: Sörétekből álló meteorraj.

Videó: <https://www.youtube.com/watch?v=MTY1Kje0yLg>

Források:

S. Tóth László: 1977, Néhány demonstrációs eszköz a csillagászat tanításához, Fizikai Szemle 1977/6. 219-225.o.

<http://www.konkoly.hu/evkonyv/meteor/meteor.html> (2017.03.11.)

2.1.1. Merev falú modell

A rugalmas gumilepedő használata lehetővé teszi, hogy pl. egy csillagból álló rendszert és kettősrendszert is bemutassunk. A nagy súrlódás miatt azonban erősen csillapodó lesz a rajta gördülő golyók mozgása. Ezt műanyagból készült, merev falú tölcser használatával kiküszöbölhetjük. A szilárd burkolat miatt azonban korlátozódnak a lehetőségeink a bemutatatható jelenségek terén.

Léteznek olyan modellek, amelyeknek a közepe lyukas. Az ilyen modellekkel fekete lyukat tudunk szemléltetni.



6. ábra: Kisebb méretű merev falú modell.

Forrás: <https://i.ytimg.com/vi/gJfSPE9xuTQ/hqdefault.jpg> (2017.04.22.)

Ezekbe az eszközökbe jellemzően pénzérmeket gurítunk be. Amint begurítjuk az érmét, keringeni kezdenek, lassan közelednek a centrum felé. Az érme a középpont közelébe érve nagy sebességgel keringenek körülötte, igen hosszú ideig. A tölcser aljára érve leesnek, megszűnik a mozgásuk.

A „kilyukasztott” tölcserfelülettel a fekete lyuk gravitációs mezejét tudjuk modellezni. Amikor az érme leesik az alján, azt mondhatjuk, hogy az égitest átlépi az eseményhorizontot.



7. ábra: Nagyobb méretű modell.

Forrás: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/1e/c8/de/1ec8de8c6c3d15ff0df8cafa87bbfa6d.jpg>

(2017.04.22.)

Videók:

<https://www.youtube.com/watch?v=4ffI018vUK8>

<https://www.youtube.com/watch?v=gJfSPE9xuTQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=h6itJ1GkTqI>

2.2. Az ellipszis

Bevezető: A Kepler-féle törvényeknél a tanulók megismerkednek azzal, hogy a bolygók ellipszis alakú pályán keringenek a Nap körül. Több azonban nem hangzik el az ellipszissel kapcsolatban, sőt még matematika órán sem. Így a tanulók semmiféle ismerettel nem rendelkeznek az ellipsziszről. Ha feltennénk a kérdést nekik, hogy mit tudnának mondani az ellipsziszről, olyan válaszokat kapnánk, hogy „Az olyan mint egy tojás.”.

A kísérlet célja: a tanulók ismerkedjenek meg az ellipszis pontos (matematikai) fogalmával és alapvető jellemzőivel, illetve egy ábrázolási módszerrel. Ezután pedig a rajzolt ellipsziseken végzünk méréseket és összehasonlítsuk össze a Naprendszerben található néhány égitest pályájával.

Kapcsolódása a fizika tanításához: bolygómozgás, Kepler-törvények.

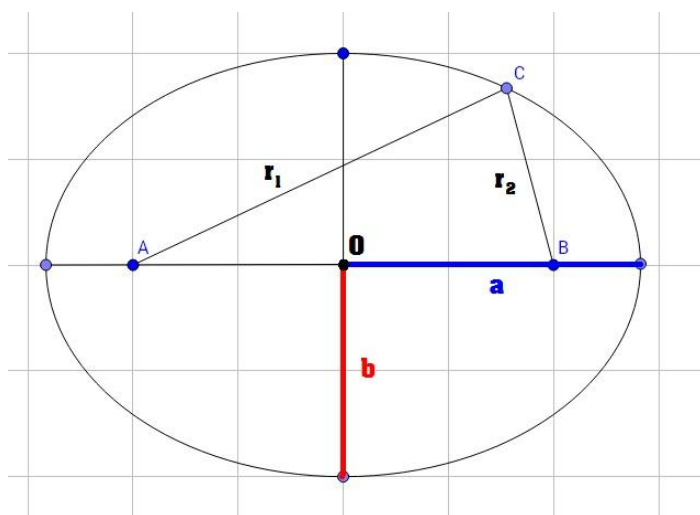
Szükséges eszközök: fatábla, cérna, 2 db rajzszög, papír, íróeszköz.

Elméleti áttekintés:

A kör definíciójával már biztosan találkoztak, megfogalmazásában az ellipszis definíciója hasonlít rá.

Az ellipszis: Olyan pontok halmaza a síkon, amelyeknek két adott ponttól vett távolságösszege állandó. Ezt a két pontot az ellipszis fókusz- vagy gyújtópontjainak nevezzük.

Az ellipszis jellemzői:



8. ábra: Az ellipszis főbb jellemzői.

A, B: a két fókuszpont; a: fél nagy tengely; b: fél kis tengely; r_1, r_2 : vezérsugarak; O: szimmetria középpont

Forrás: Geogebra

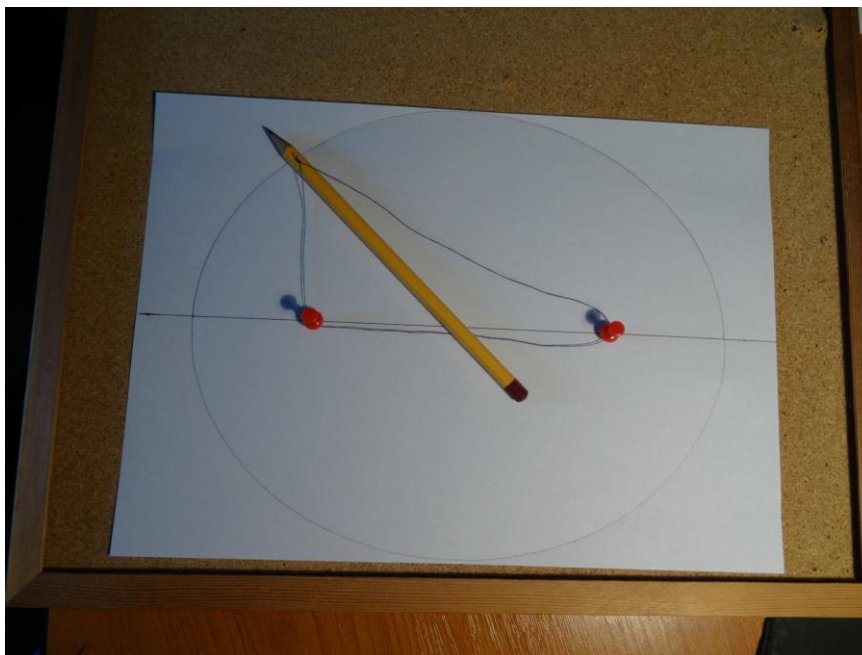
Az ellipszisnek két szimmetriatengelye van, ezek merőlegesek egymásra. A két tengely metszéspontja a szimmetria középpont.

A kísérlet menete:

Ellipszis szerkesztése

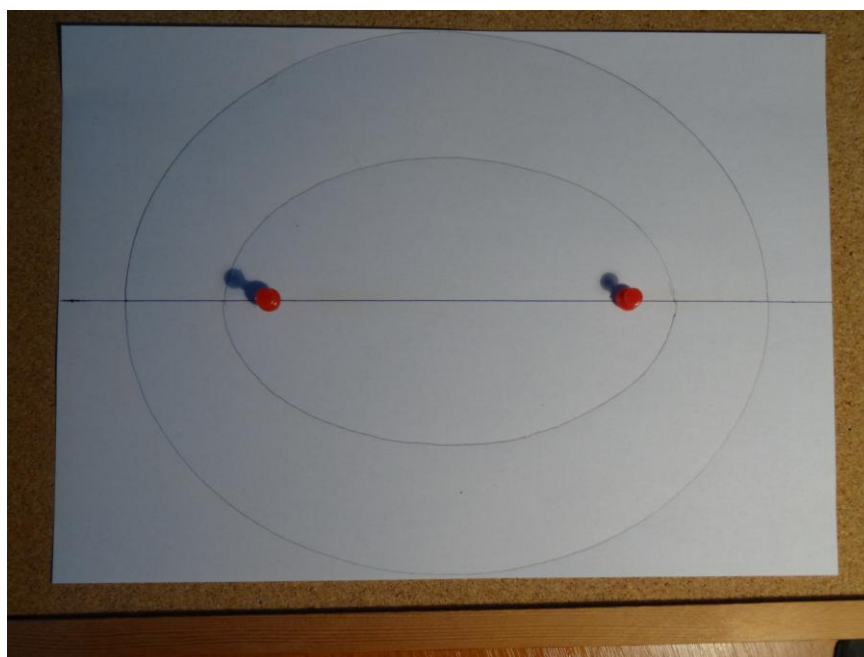
- A) Szükséges egy parafatábla (olyan fából készült tábla is jó lehet, amibe könnyen tudunk rajzsögeket nyomni).
- B) Egy A4-es lapot hosszában elfelezünk egy vonallal. Ezen a vonalon kijelölünk két pontot ugyanakkora távolságra a szélektől. Ez a két pont lesz a két gyújtópont.
- C) Cérnából vágunk egy darabot, a két végét összecsomózzuk, hogy egy hurkot kapjunk.
- D) Miután a lapot felhelyeztük a táblára, a két fókuszpontba két rajzsöget nyomunk. A cérnahurkot a szögek köré rakjuk.
- E) Egy ceruza hegyéhez odafogjuk a cérnát, és miközben a cérnát feszesen tartjuk, megrajzoljuk az ellipszist.
- F) Rajzoljunk egy másik ellipszist is, de ezúttal rövidebb cérnát használjunk.

A kapott alakzatok ellipszisek lesznek, mert a ceruzahegy távolságösszege a két rajzsögtől (gyújtópontok) állandó. Ezt a feszesen tartott cérna biztosítja, a cérna pedig nem nyúlik meg a rajzolás közben (legalábbis számunkra lényeges mértékben nem).

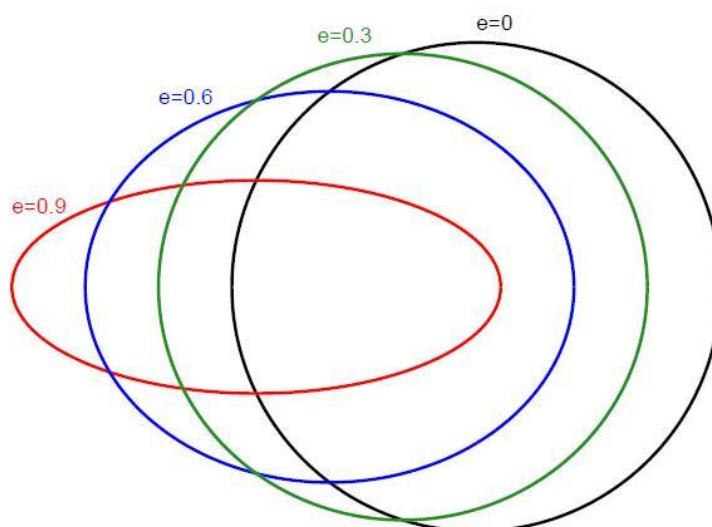


9. ábra: Az ellipszis szerkesztése.

Vizsgáljuk meg az így kapott két alakzatot! A két ellipszis nem csak a méretben, hanem alakban is különbözik. A csillagászok az égitestek pályáját alak szerint is vizsgálják: pontosan milyen mértékben tér el a körtől a pálya, milyen mértékben „lapult”. Ehhez az ellipszis jellemzőiből képzett hányadost, az ún. excentricitást vizsgálják. Az ellipszis excentricitásán (lapultságán) a következő mennyiséget értjük: $e = \frac{c}{a}$, ahol c az egyik fókuszpont távolsága a szimmetria középponttól és a a fél nagytengely. Az excentricitás egy 0 és 1 közötti szám. Ha 0, akkor a pálya az kör alakú, és minél közelebb van az 1-hez, annál lapultabb.



10. ábra: A szerkesztett két különböző ellipszis.

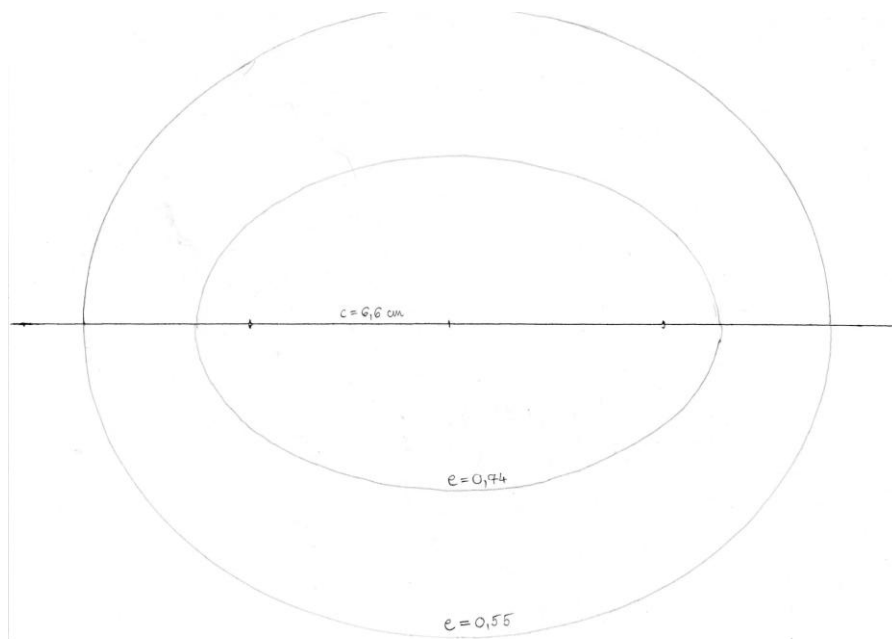


11. ábra: Különböző excentricitású ellipszisek.

Mérési feladat: Határozzuk meg a rajzolt ellipszisek lapultságát és vessük össze a Naprendszerben található néhány égitest lapultságával!

<i>Az égitest neve</i>	<i>Pályája excentricitása</i>
Merkúr	0,2056
Vénusz	0,0068
Föld	0,0167
Mars	0,0933
Jupiter	0,048
Szaturnusz	0,056
Uránusz	0,046
Neptunusz	0,01
Plútó	0,25
Halley üstökös	0,9669

1. táblázat: Néhány égitest pályájának lapultsága.



12. ábra: Az általam szerkesztett ellipszisek és excentricitásaik.

Itt megjegyezhetjük, hogy:

A bolygók (kivétel: Merkúr, Mars) pályája jó közelítéssel körpálya, ezért a számításos feladatoknál nem tévedünk hatalmasat, amikor körpályákat feltételezünk a bolygóknak.

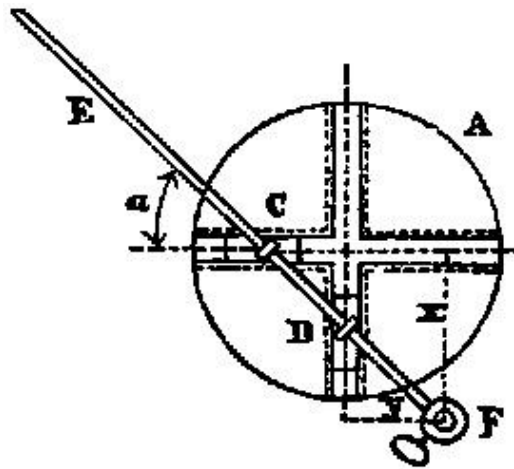
Más lehetőségek az ellipszisek ábrázolására:

A) Geogebra

Egyszerűen, gyorsan és pontosan tudunk akár több ellipszist is rajzolni. Ha számolni szeretnénk, akkor a szükséges adatokat is könnyen le tudjuk olvasni.

B) Az ellipszográf

Az ellipszográf ellipszisek szerkesztésére alkalmas eszköz. Elvi működését a következő ábra mutatja:

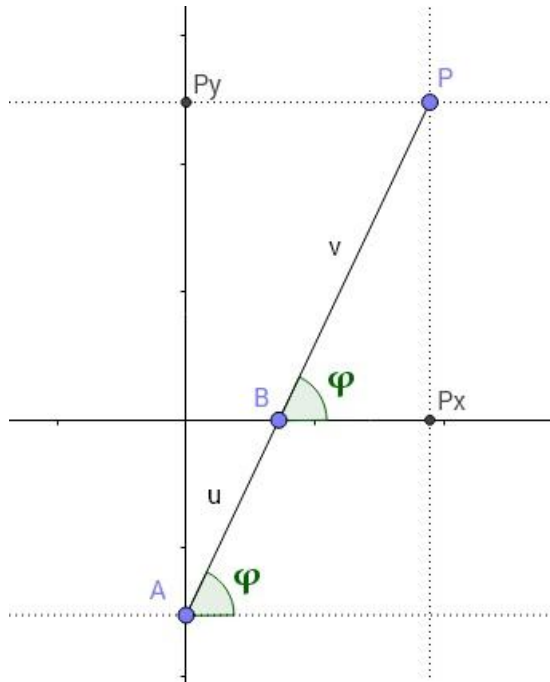


13. ábra: Az ellipszográf részei.

Forrás: <http://mek.nif.hu/00000/00060/html/kepek/ellipszograf.png> (2016.10.18)

C és D pontok az egymásra merőleges vágatokban mozoghatnak, az E rúd ezeken keresztül halad. A rúdon található F pontban pedig ceruzahegy található, a rúd mozgásával ez rajzolja ki az ellipszist.

De honnan tudjuk, hogy a rajzolt alakzat ellipszis lesz? Tekintsük az ellipszográf rúdját egy tetszőleges helyzetben:



14. ábra: Az ellipszográf végpontjának koordinátái.

Forrás: Geogebra

A P pont koordinátái:

$$P_x = (u + v) \cdot \cos \varphi \text{ és } P_y = v \cdot \sin \varphi$$

Fejezzük ki $\cos \varphi$ -t és $\sin \varphi$ -t:

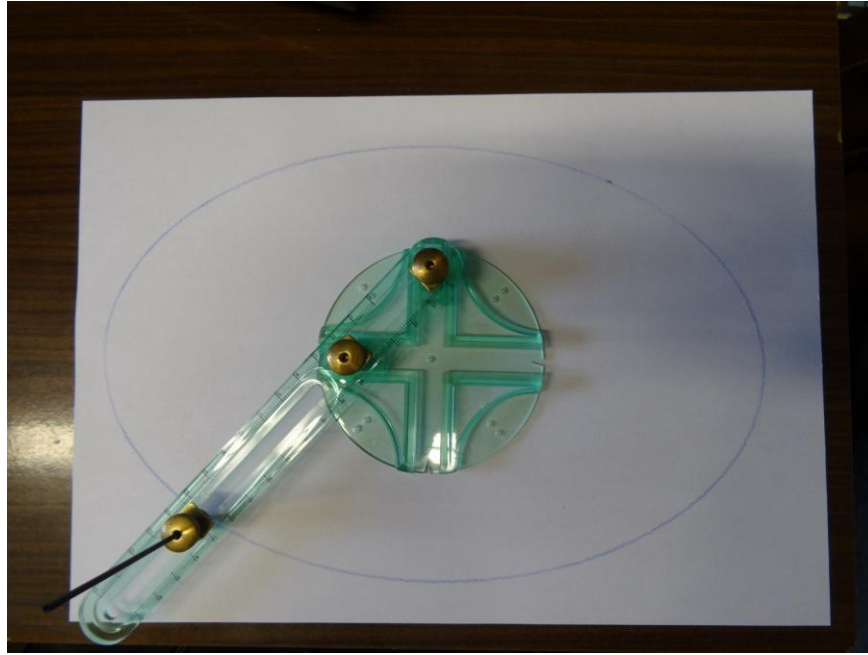
$$\frac{P_x}{(u + v)} = \cos \varphi \text{ és } \frac{P_y}{v} = \sin \varphi$$

Emeljük négyzetre és adjuk össze a két egyenletet:

$$\frac{P_x^2}{(u + v)^2} + \frac{P_y^2}{v^2} = \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi$$

$$\frac{P_x^2}{(u + v)^2} + \frac{P_y^2}{v^2} = 1$$

Ez pedig egy ellipszis középponti egyenlete $u + v = a$ fél nagytengellyel és $v = b$ fél kistengellyel. Tehát a P pont valóban egy ellipszis mentén mozog.



15. ábra: Ellipszográf és a rajzolt ellipszis.

Videó: <https://www.youtube.com/watch?v=7UD8hOs-vaI>

Források:

<http://www.education.com/science-fair/article/orbital-eccentricity/> (2016.10.18)

Geogebra (<https://www.geogebra.org/graphing>)

www.galgoczi.net/anyagok/Tudtud_13.pdf (2016. 08.18)

2.3. Éggömb készítése

A kísérlet célja: Az égbolt néhány jelenségének bemutatása és értelmezése az eszköz által, egyszerűbb mérések elvégzése.

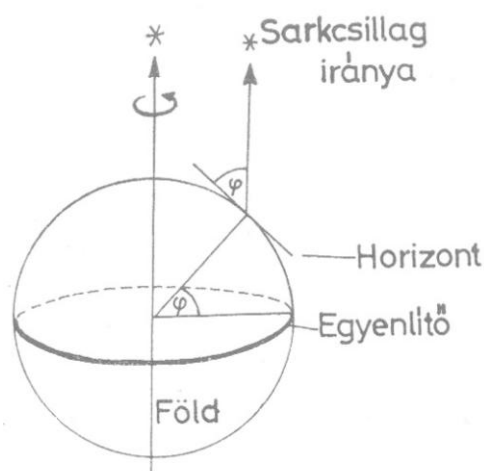
Kapcsolódása a fizika tanításához: az égbolt jelenségei, égitestek mozgása.

Szükséges eszközök: gömblombik, állvány, víz.

A kísérlet menete:

Egy gömblombikon, a lombik tengelyére merőlegesen, felvesszük a gömb „egyenlítőjét”, ez lesz az éggömbön az égi egyenlítő. Mellé felvesszük még az ekliptikát is. Az ekliptikára vékony drót vagy gumiszalag segítségével rögzítünk egy Napot ábrázoló kis korongot, úgy, hogy a pozíciója állítható legyen. Végül jelöljük csillagokat a gömb felszínén. A gömböt töltjük meg vízzel, úgy, hogy az égi egyenlítőig érjen a víz szintje, ha a lombik nyaka lefelé áll. Ez fogja számunkra jelenteni a horizontot. Az így kapott éggömböt erősítsük fel egy állványra, ügyelve arra, hogy a lombik forgatható legyen a foglalatban és a dőlésszögét is tudjuk állítani.

A dőlésszög állításával a megfigyelés földrajzi helyét tudjuk változtatni, a megfigyelési helynek be tudjuk állítani a szélességi fokát. Ugyanis a szélességi fok egy adott helyen, geometriai okok miatt, megegyezik a Föld forgástengelyének (vagy a Sarkcsillagnak) a vízszintessel bezárt szögével. Ha tehát a lombik tengelyének a vízszintessel bezárt szögét beállítjuk egy adott szögre, akkor a megfigyelési hely szélességi fokát állítottuk be. Szeged szélességi foka kb. 46° .

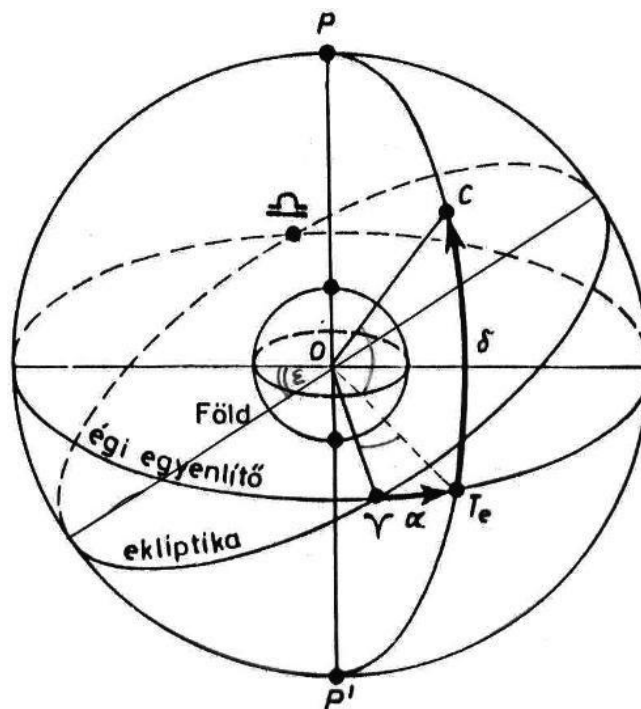


16. ábra: A földrajzi szélesség egy adott helyen.

Forrás: S. Tóth László 1977

Megjegyzés: pontosabb megállapításokat tudunk végezni a megfigyelések közben, ha koordináta-rendszerrel (II. ekvatoriális koordináta-rendszer) látjuk el a gömbünket. Ennek pontos megvalósítása azonban már bonyolultabb feladat.

A II. ekvatoriális koordináta-rendszerben két koordinátával tudjuk megadni az éggömbön elhelyezkező pontok helyzetét. A két koordináta a deklináció és a rektaszenzió. A deklináció alatt azt szöveget értjük (az ábrán: δ), amelyet a pont (az ábrán: C) az égi egyenlítővel zár be. A rektaszenzió a pont vetülete az égi egyenlítőre (az ábrán: α), órákban mérjük a tavaszponttól számítva (24 órára osztottuk be az égi egyenlítőt).



17. ábra: II. ekvatoriális koordináta-rendszer.

Forrás: http://astro.u-szeged.hu/oktatas/csillagaszat/2_Szferikus_csillagaszat/szferikus_csillagaszat.htm
(2017.03.12.)

A megfigyeléseinket úgy végezzük, mintha mi magunk a gömb középpontjában lennénk. Ami a vízszint (horizont) alatt található, az számunkra nem látható.

Az eszközzel szemléltethető jelenségek:

A) Az égbolt látszólagos forgása

Az éggömböt állítsuk be a kívánt megfigyelési helynek megfelelően. A Földről úgy látjuk, hogy az égitestek keletről nyugat felé haladnak az éggömbön, a mi gömbünket is így forgassuk meg a tengelye körül. Figyeljük meg, hogy vannak olyan csillagok, amelyek

mindig a horizont alatt maradnak, így sosem láthatóak és vannak olyanok, amelyek pedig mindig fölötté vannak (az ilyen csillagokat nevezzük cirkumpolárisnak), tehát mindig láthatóak, ha éjszaka van természetesen. Változtassunk a megfigyelés földrajzi helyzetén, figyeljük meg, hogy most más csillagok lesznek cirkumpolárisak, és mások pedig sosem láthatóak.

B) A nappalok és éjszakák változása, a csillagképek láthatósága

Az éggömböt állítsuk be a kívánt megfigyelési helynek megfelelően. Az ekliptika egy pontjára helyezzük fel a Napot jelképező korongot. Ilyen módon kijelöltünk egy napot, amelyen megteesszük vizsgálatainkat. Forgassuk az éggömböt a megfelelő irányba, amikor a Nap a horizont fölé emelkedik napkeltét, amikor alábukik naplementét figyelhetünk meg. Amikor a Nap a horizont alatt van (éjszaka van), akkor a horizont fölötti csillagokat láthatjuk, amikor pedig fölötté van (nappal van), akkor nem tudjuk azokat megfigyelni a Nap erős fénye miatt.

C) A nappalok és éjszakák hossza

Ha az éggömbünket elláttuk koordináta-rendszerrel, akkor 24 részre felosztottuk az égi egyenlítőt. Mivel a rektaszenziót órákban mérjük, ezért időmeghatározásra is használhatjuk. Forgassuk úgy a gömböt, hogy éppen napkelte legyen. Ekkor olvassuk le a horizont egyik metszéspontját az égi egyenlítővel, olvassuk le, hogy milyen időpont tartozik a metszésponthoz. Forgassuk tovább a gömböt tovább napnyugtáig. Ekkor olvassuk le ugyanarról a metszésponttól az időpontot. A két időpont különbségéből megkapjuk, hogy milyen hosszú a nappal, ebből pedig az éjszakának a hosszát. Ismételjük meg a mérést úgy, hogy a Napot máshová helyezzük az ekliptikán, így más napon is meghatározzuk a nappalok és éjszakák hosszát.

D) A Nap mozgásának vizsgálata

Az éggömböt állítsuk be a kívánt megfigyelési helynek megfelelően. Határozzuk meg, hogy mikor delel a Nap, azaz mikor van a legmagasabban a horizont fölött. Ezt a Nap deklinációjának leolvasásával tudjuk megtenni ebben a helyzetben. A mérést ismételjük meg hónaponként. Ha ábrázoljuk a delelési magasságot az idő függvényében, amelyen jelöljük a hónapokat, akkor egy olyan görbét kapunk, amellyel igazolhatjuk, hogy télen alacsonyabban, nyáron magasabban jár a Nap, így szemléltetni tudjuk az évszakok kialakulásának az okát.



18. ábra: Az SZTE Kísérleti Fizikai Tanszékén használt eszköz, a Napot szimbolizáló jelöléssel.

Forrás:

S. Tóth László: 1977, Néhány demonstrációs eszköz a csillagászat tanításához, Fizikai Szemle 1977/6 219-225.o.

2.4. Két égitest tömegközéppontjának meghatározása

Bevezető: Megtanultuk már, hogy a Hold kering a Föld körül, a Föld pedig a Nap körül. Szigorúan nézve azonban ez nem igaz. Ha két égitestet nézünk, a mozgásegyenleteikből levezethető, hogy mindkettő a tömegközéppontjuk körül kering.

A kísérlet célja: Két test tömegközéppontjának meghatározása mérés segítségével.

Kapcsolódása a fizika tanításához: pontrendszerek, bolygómozgások.

Szükséges eszközök: gyurma, konyhai mérleg, vékony pálca (pl. hurkapálca), vonalzó/mérőszalag, fonál.

Elméleti áttekintés:

Newton III. törvénye alapján, ha egy kölcsönhatásban egy test erővel hat egy másikra, akkor az utóbbi is erőt fejt ki az elsőre. Ez a két erő egyenlő nagyságú, de ellentétes irányú. Ha a Föld gravitációs mezőjénél fogva erőt fejt ki a Holdra, akkor a Hold is erőt fejt a Földre (ugyancsak a gravitációs mezőjénél fogva) és ez a két erő nagyságát tekintve azonos. Mindkét égitest így hatással van egymás mozgására. Nemcsak a Föld van hatással a Holdra. Hasonlóan érvényes a gondolatmenet a bolygókra és a Napra: a Nap is mozog kis mértékben a bolygók által gyakorolt hatás miatt.

A kísérlet menete:

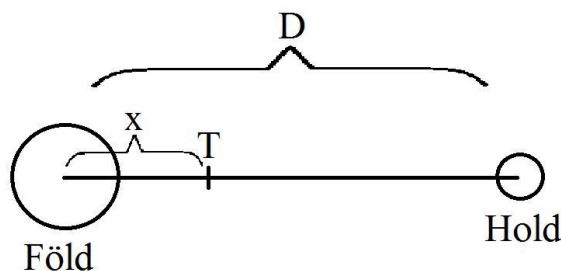
Gyurmából készítsünk két különböző tömegű golyót. A golyók tömegét mérjük meg konyhai mérleg segítségével. Ezután a két golyót függesztjük fel a pálca két végére. Ha egy rendszert a tömegközéppontjánál felfüggesztünk (vagy alátámasztunk), akkor egyensúlyba kerül. Így tehát, ha a pálcánkat felfüggesztjük és egyensúlyba hozzuk a rendszert, akkor megtaláltuk a tömegközéppontot. Pontosabban szólva azt a pontot, amely a tömegközépponttal együtt egy függőleges egyenes mentén helyezkedik el. Azonban nekünk ez is elég. Mérjük meg a testek felfüggesztésének a helyét, a pálca felfüggesztésétől. Ezek lesznek a testek tömegközéppontjai és a rendszer tömegközéppontja közötti távolságok. Méréseinket foglaljuk táblázatba:

m_1 (kg)	d_1 (m)	m_2 (kg)	d_2 (m)	$m_1 \cdot d_1$ (kg·m)	$m_2 \cdot d_2$ (kg·m)

2. táblázat: A méréshez használt táblázat.

Ahol m_1 ; m_2 a golyók tömege, d_1 ; d_2 a két golyó tömegközéppontjának távolsága a rendszer tömegközéppontjától. A mérést ismételjük meg többször is, úgy hogy változtatjuk a két gyurmagolyó tömegét. A mérések alapján képezzük a $m_1 \cdot d_1$ és $m_2 \cdot d_2$ szorzatokat minden esetben. Vegyük észre, hogy a szorzatok megegyeznek egy mérés esetében. Használjuk ki ezt a tényt és határozzuk meg a Föld-Hold rendszer tömegközéppontjának a helyét!

Feladat: Határozzuk meg a Föld-Hold rendszer tömegközéppontjának a helyét, ha a Föld tömege $6 \cdot 10^{24}$ kg, a Holdé pedig $7,4 \cdot 10^{22}$ kg, távolságuk pedig 384400 km!



19. ábra: Nem méretarányos, értelmező rajz a feladatról.

Ahol T a rendszer tömegközéppontja, D a Föld-Hold távolság, x pedig a Föld középpontjának távolsága T -től.

Felírhatjuk a következő egyenletet:

$$M \cdot x = m \cdot (D - x)$$

Ebből x -et kifejezve azt kapjuk, hogy:

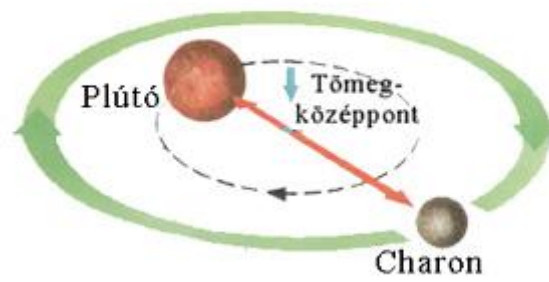
$$x = m \cdot D / (M + m)$$

Behelyettesítés és számolás után: $x = 4683174 \text{ m} \approx 4683 \text{ km}$

A Föld sugara kb. 6400 km, tehát a Föld-Hold rendszer tömegközéppontja a Föld felszíne alatt kb. 1700 km-re található. A Föld tehát e pont körül körül is kering.

Kutatómunka otthonra: Milyen jelenség figyelhető meg a Földön ennek a mozgásnak a hatására?

Érdekesség: A Plútó és a Charon nevű holdjának a tömegközéppontja a Plútó felszínén kívülre esik, ezért úgy járnak egymás körül, mint egy kettőscsillag.



20. ábra: A Plútó és a Charon mozgása.

Forrás: <http://csillagaszat.uw.hu/pluto.html> (2017.04.18.)

Források:

<https://www.education.com/science-fair/article/barycenter-balancing-point/> (2017.04.18.)

<http://csillagaszat.uw.hu/pluto.html> (2017.04.18.)

3. Központi égitestünk, a Nap

3.1 A Nap méretének meghatározása

Bevezető: Mekkora is pontosan a Nap? Egy egyszerű kísérlettel meg tudjuk állapítani a nagyságát. A kísérletet a szükséges eszközök és a meghatározáshoz használt geometriai ismeretek miatt, akár matematika órán is be lehet mutatni.

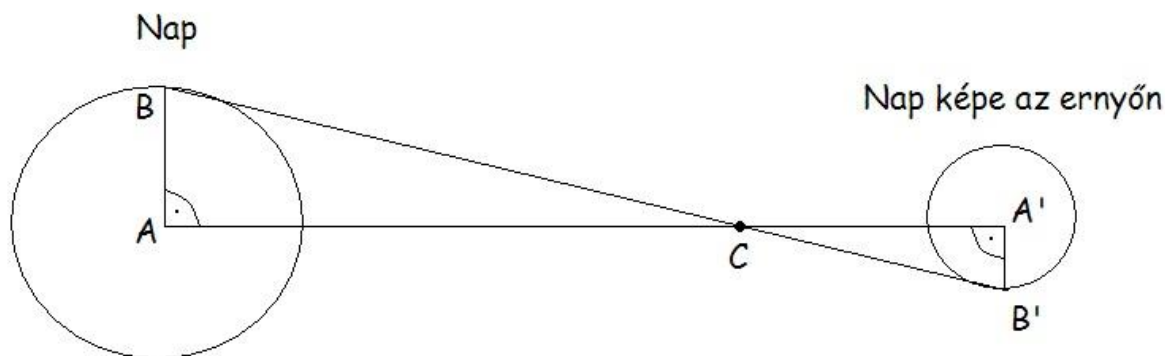
A kísérlet célja: a Nap méretének meghatározása lyukkamera, és a hasonló háromszögekre jellemző összefüggések felhasználásával.

Kapcsolódása a tanításához: csillagászat, hasonló háromszögek.

Szükséges eszközök: kartonpapír, alufólia, ragasztószalag, papír, mérőszalag.

A kísérlet menete:

Egy papírkartonra vágunk egy kb. 4 cm × 4 cm-es ablakot. Az ablakra alufóliát helyezünk, majd rögzítjük ragasztószalaggal. Majd a fóliát egy tűvel közepén kilyukasztjuk. Ezzel elkészítettük a lyukkameránkat. Egy papírlapra, melyet ernyőként használunk, vetítsük ki a Napot.



21. ábra: Az elrendezés elvi vázlata (nem méretarányos!), a C pont a lyukat jelöli.

Egy segítőt kérjünk meg, hogy egy mérőszalag segítségével mérje meg a kép átmérőjét és az $\overline{A'C}$ szakaszt. Az átmérőből határozzuk meg a Nap képének sugarát.

Vegyük észre, hogy $ABC\Delta \sim A'B'C\Delta$. Ugyanis $ACB\angle = A'CB'\angle$, mert csúcsszögek és $BAC\angle = B'A'C\angle$ derékszögek. Ezekből következik, hogy a harmadik szögeknek is egyenlőnek kell lenniük, tehát a két háromszög szögei páronként egyenlők, a két háromszög hasonló.

Mérési feladat: Határozzuk meg a Nap sugarát, ha a Nap-Föld távolság 149 600 000 km!

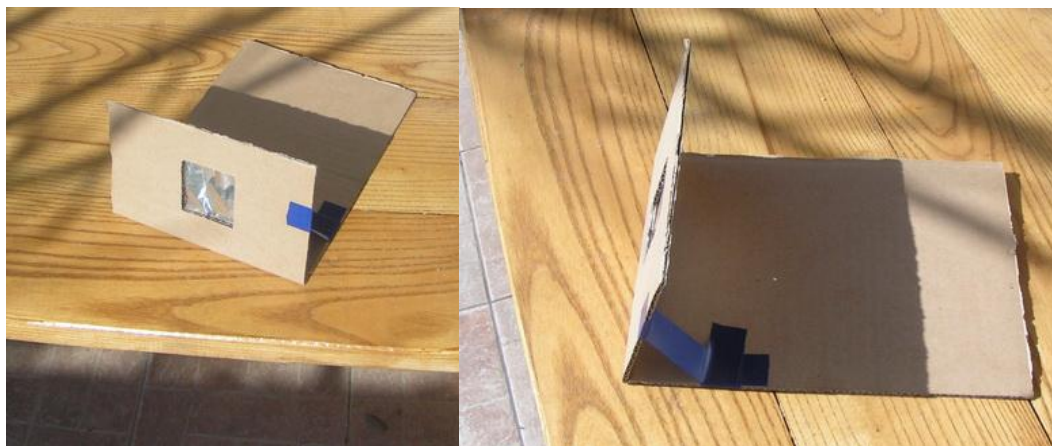
A két háromszög hasonlósága miatt felírhatjuk, hogy:

$$\frac{|AB|}{|AC|} = \frac{|A'B'|}{|A'C'|}$$

Átrendezve az egyenletet:

$$|AB| = \frac{|A'B'|}{|A'C'|} \cdot |AC|$$

Saját mérés:



22. ábra: Az elkészített lyukkamera és a Nap képe.

A fólián ütött lyuktól 18 cm-re, 2 mm átmérőjűnek mértem a Napot. Az adatokat behelyettesítve azt kapjuk, hogy:

$$|AB| = \frac{0,000001 \text{ km}}{0,00018 \text{ km}} \cdot 149600000 \text{ km} = 831111 \text{ km}$$

A Nap valódi sugara: 695700 km.

Relatív eltérés: $\delta = 0,195 \rightarrow 19,5 \%$.

Megjegyzések:

Láthatjuk, hogy a Nap képe igen kicsi. Vékony hegyű ceruzával jelöljük a keletkező kép széleit, hogy minél pontosabban tudjunk leolvasni. Én (vonalzó használatával) pontosan 2 mm-nek mértem az átmérőt, azonban ha kell becsüljünk meg fél mm-t is, sokat jelenthet a mérés pontosságában.

Lyukkamerák, ahogyan nem számítunk rájuk:



23. ábra: Lyukkameraként használt téstaszűrő napfogyatkozás idején.

Forrás:

http://1.bp.blogspot.com/_YoMr0FTliDU/S1BHMtm8omI/AAAAAAAAFBA/MT8rUgAvnOk/s320/Eclipse09.JPG

(2017.04.18.)



24. ábra: Falevelek közti rések, mint lyukkamerák napfogyatkozásakor.

Forrás: <http://www.physicstogo.org/features/images/eclipseimage.jpg> (2017.04.18.)

Forrás:

http://cse.ssl.berkeley.edu/AtHomeAstronomy/activity_03.html (2017.04.18.)

3.2 A Nap kivetítése távcsővel, napfoltok megfigyelése

Bevezető: Közvetlenül a Napba nézni veszélyes, a szemünk súlyosan károsodhat, ezt még a legkisebbek is tudják. Ha azonban akad a környezetünkben egy (bármilyen) távcső, akkor biztonságosan is tudjuk végezni a megfigyelést. Egy jó nagyítású távcsővel pedig akár nem várt részleteket is észlelni tudunk.

A kísérlet célja: a Nap biztonságos megfigyelésének bemutatása, napfoltok megfigyelése.

Kapcsolódása a fizika tanításához: a Nap szerkezete, jellemzői.

Szükséges eszközök: távcső, kartonpapír, papír, esetleg állvány.

A kísérlet menete:

Ha távcsővel szeretnénk tanulmányozni a Napot, akkor azt nem tehetjük meg közvetlenül, speciális szűrők használatával tudjuk csak biztonságossá tenni a megfigyelést. Ha nem rendelkezünk ilyen szűrővel, akkor is létezik egy módszer, amellyel biztonságosan figyelhetjük meg a Napot. Vetítsük ki a Nap képét a távcső segítségével egy papírlapra. Ezt a kivetített képet már teljes biztonsággal tudjuk nézni, mindenféle biztonsági felszerelés nélkül is.



25. ábra: A Nap képe kivetítve távcső használatával.

Forrás: <http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0514.jpg> (2017.04.15.)

Fontos, hogy csak olyan távcsövet használjunk, amelynek okulárja nem ragasztóval van rögzítve. Ekkor ugyanis megfigyelés közben a ragasztó felmelegedhet annyira, hogy megolvad. A távcső ezután használhatatlanná válik. A távcsövünket egy kivágott kartonpapír nyílásába helyezük (ez azért szükséges, hogy a kartonpapír által vetett árnyék könnyebbé

tegye a megfigyelésünket), majd fordítsuk a Nap felé. A Nap képét egy fehér papírlapra vetítsük ki. A képet állítsuk élesre a távcső fókuszának beállításával.



26. ábra: A 2012-es Vénusz-átvonulás megfigyelése, távcsővel való kivetítéssel.

Forrás: <http://www.csillagaszat.hu/wp-content/uploads/2012/06/20120601-kivetites.jpg> (2017.04.15.)

Valószínű, hogy a kivetített képen tudunk napfoltokat megfigyelni (feltéve, ha nincs naptevékenységi minimum). Ha az általunk kivetített képről fotót készítünk és a megfigyelést megismételjük néhány naponta, akkor az általunk észlelt napfoltok elmozdulását tapasztalhatjuk. A foltoknak az elmozdulásával, a Nap tengely körüli forgását bizonyíthatjuk.



27. ábra: Az általam vetített kép a házfalon

Megjegyzés:

Lehetőség szerint használjunk állványt a távcső rögzítéséhez. Kézben tartott távcsővel nehéz megfigyeléseket végezni az egyfolytában mozgó kép miatt.

Videó: <https://www.youtube.com/watch?v=fCnZIH4-6Go>

Forrás:

Juhász András (szerk.):1996, Fizikai kísérletek gyűjteménye 3., 240-241. o., Arkhimédész Bt.-Typotex Kiadó

3.3 A Nap felszínének modellezése

Bevezető: Ha a Nap felszínéről nézünk felvételeket, akkor különös mintázatot figyelhetünk meg. Ez a felszín alatt végbemenő folyamatokról árulkodik. Ezeket a folyamatokat egyszerűen tudjuk szemléltetni.

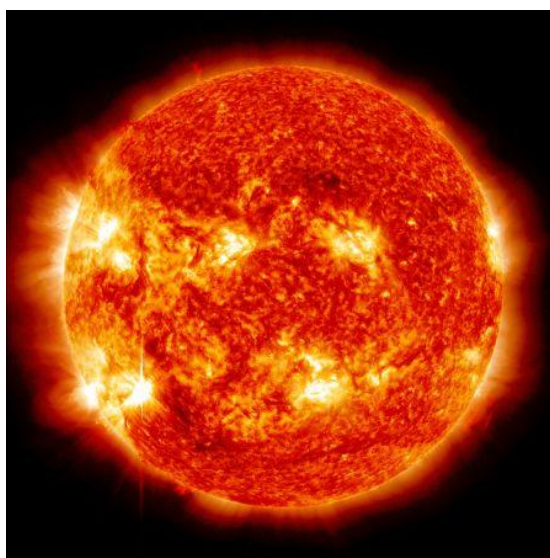
A kísérlet célja: a Nap konvektív zónájában végbemenő áramlási folyamatok szemléltetése.

Kapcsolódása a fizika tanításához: hőáramlás, a Nap szerkezete.

Szükséges eszközök: bögre, tej, kakaópor, melegítő eszköz.

Elméleti áttekintés:

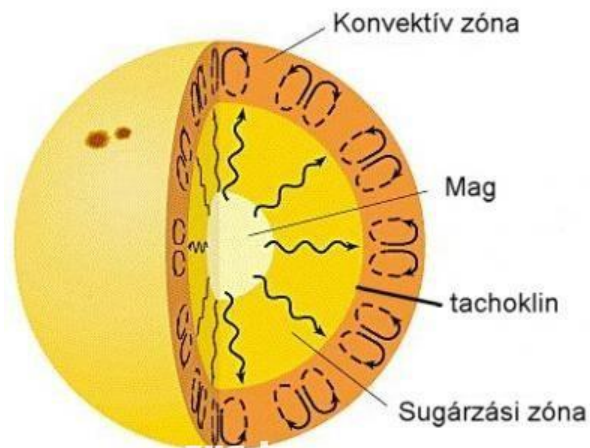
A Nap szerkezetét tekintve több rétegből áll, ezekben különböző folyamatok mennek végbe. Az általunk megfigyelhető része a Napnak az ún. fotoszféra.



28. ábra: A fotoszféra.

Forrás: http://www.innoportal.hu/wp-content/uploads/2013/02/sun_450px.jpg (2017.04.08.)

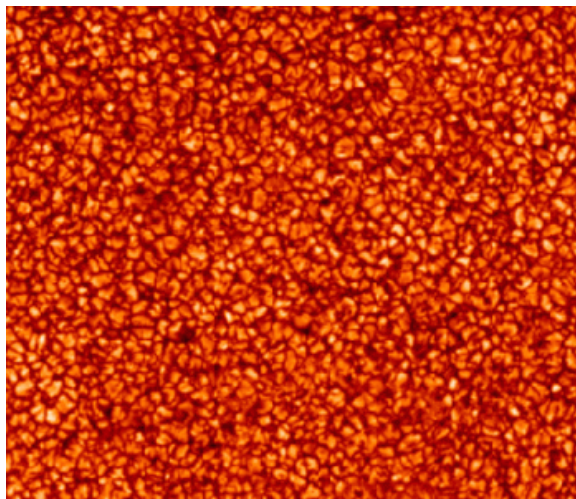
Itt jön létre a Naptól származó sugárzás túlnyomó (kb. 90%) része. A fotoszféra különböző hőmérsékletű részekből áll. A magasabb hőmérsékletű részeket fáklyáknak, a kisebb hőmérsékletű részeket pedig napfoltoknak hívjuk. A fotoszféra átlagosan 5800 K (kb. 6000 °C) hőmérsékletű. A hő a fotoszférába hőáramlás útján jut el. A fotoszféra alatti réteget ezért konvektív zónának nevezzük.



29. ábra: A konvektív zóna elhelyezkedése.

Forrás: http://ufo-scifi.com/galeria/kepek/img_513.jpg (2017.04.08)

A sugárirányban kifelé áramló forró anyag sebessége elérheti a 7 km/s-ot. Ezeket a részeket, ahol az anyag kifelé áramlik granuláknak nevezzük. A lehűlt gázok a granulák szélén áramlanak vissza, a Nap belseje felé. Egy granula alakja nem állandó, alakja változik, megnő, idővel pedig meg is szűnik. A granulák egymással akár egyesülhetnek is. A granulák átmérője átlagosan 500 km, élettartamuk kb. 20 perc.



30. ábra: Granulák a Nap felszínén.

Forrás: <http://www.reec.hu/glossz/solar-granulation.gif> (2017.04.08.)

A kísérlet menete:

A fotoszféra granulás szerkezetét könnyen tudjuk modellezni. Egy bögre forró tejbe szórjunk kakaóport. A tetején keletkező habot távolítsuk el (legegyszerűbb, ha ehhez a szánkat használjuk). Keverjük el alaposan, majd vegyük ki a kanalat és várjunk 1-2 percet. Ennyi idő

elteltével már megfigyelhetjük a kialakuló áramlásokat. A granulák alakját a leáramlásoknál összegyűlő tejszín rajzolja ki. Figyeljük meg: a létrejövő granulák alakja, nagysága idővel változik, ill. „összeolvadnak” egymással.



31. ábra: A „Nap felszíne” egy bögre kakaóban. Figyeljük meg a feláramlások változását!

Megjegyzések:

- 1) Instant kakaóport használva jobban látszódik a várt eredmény.
- 2) Használjunk minél zsírosabb tejet.
- 3) Ne melegítsük fel forráspont közelébe a kakaót. Ekkor ugyanis „bőrösödik” a felszín, akadályozva a megfigyelést.

Forrás:

Kopasz Katalin, Papp Katalin, Szabó M. Gyula, Szalai Tamás: 2009, Üstökös az asztalon – Hogyan „főzzünk” csillagászati demonstrációs eszközöket?, Fizikai Szemle 2009/7-8, 257-260. o.

http://astro.u-szeged.hu/oktatas/csillagaszat/6_Naprendszer/0102Nap/nap.html (2017.04.08.)

4. Csillagászati földrajz

4.1 Az évszakok kialakulásának oka

Bevezető: A Kepler-törvényeknél tanuljuk, hogy a Föld nem körpályán, hanem ellipszis alakú pályán kering a Nap körül: azaz valamikor közelebb, valamikor távolabb található a Naptól. Sokan ehhez kötik az évszakok kialakulásának okát, tévesen.

A kísérlet célja: a tanulók ismerkedjenek meg az évszakok kialakulásának valódi okával.

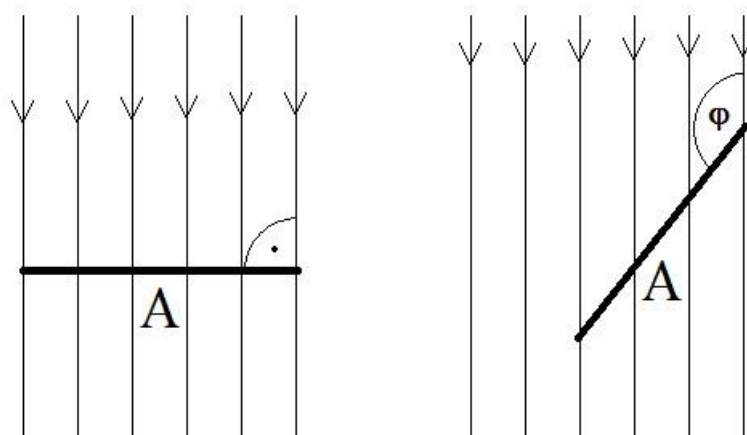
Szükséges eszközök: 2 db hőmérő.

Elméleti áttekintés:

Az évszakok kialakulásának oka nem abban rejlik, hogy egyszer közelebb vagyunk, máskor pedig távolabb vagyunk a Naptól. Amikor nálunk nyár van, akkor a déli féltekén tél van, és fordítva. Sőt nálunk akkor van tél, amikor a Föld napközelen tartózkodik. Tehát egyértelműen cáfolni tudjuk, az ellipszispálya miatti elképzeléseket.

Akkor miben rejlik a magyarázat? Az ok abban keresendő, hogy a Föld forgástengelye nem merőleges a keringés síkjára, az ekliptikára, hanem attól kb. $23,5^\circ$ -kal eltér. Ezért amikor egy év alatt a Föld körbejárja a Napot, a forgástengely különböző irányokban áll a Naphoz képest. Ez azt eredményezi, hogy egy adott földrajzi helyet a napsugarak különböző irányokból érik egy év leforgása alatt.

A Föld felszínét a Naptól érkező fotonok egyenletes sűrűséggel érik el. Tegyük a fotonok útjába egy tetszőleges méretű kör alakú A felületdarabot.



32. ábra: A felszínre érő sugárzás mértéke a talaj helyzetétől függően.

Ezt a felületet most oldalról nézzük. A felületdarabba akkor tud a legtöbb foton beleütközni, és így átadni az energiáját, ha az merőleges a fotonok haladási irányára. Az, hogy mennyi foton tud beleütközni a felületbe, csak a φ szögtől függ, ha a felület nagyságát állandónak tekintjük.

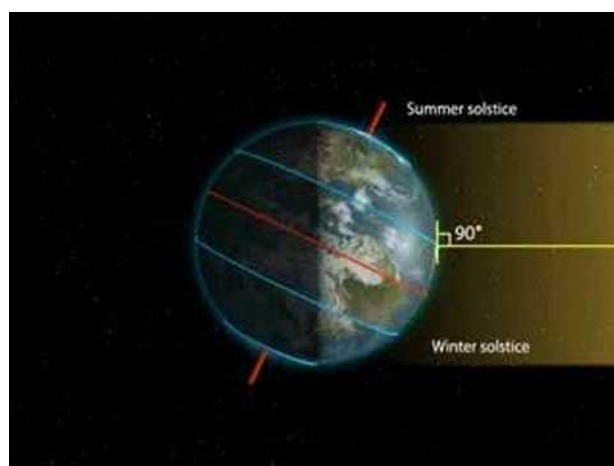
A talajba tehát akkor csapódik be a legtöbb foton, amikor a Nap a zenitben tartózkodik. Amikor elnyelődnek a fotonok, növelik a környezetük hőmérsékletét. Minél alacsonyabban van a Nap, annál kevesebb sugárzás éri a felszínt. Megfigyelhetjük, hogy a Nap nyáron magasan, télen pedig alacsonyan jár.



33. ábra: A Nap járása az év különböző részein.

Forrás: http://i.dailymail.co.uk/i/pix/2012/01/23/article-2090658-116B0D4700005DC-995_634x421.jpg

(2016.11.06.)



34. ábra: Nyár az északi féltekén, tél a déli féltekén.

Forrás: <http://video.foldrajzmagazin.hu/wp-content/uploads/2012/11/047.jpg> (2016.11.06.)

A kísérlet menete:

Helyezzünk két hőmérőt egy fekete lapra, majd állítsuk be a lapokat úgy, hogy az egyikre közel merőlegesen essenek rá a napsugarak, a másikra pedig ferdén essenek. Kapcsoljuk be a hőmérőket (ha digitálisat használunk). Pár perc múlva azt tapasztaljuk, hogy eltérést mutatnak a hőmérők.

Forrás:

Juhász András (szerk.):1996, Fizikai kísérletek gyűjteménye 3., 258. o., Arkhimédész Bt.-Typotex Kiadó

4.2 Foucault-inga

Bevezető: A Föld tengelykörüli forgását mi emberek nem tudjuk érzékelni. Ha csupán a megfigyeléseinkre támaszkodnánk, azt is mondhatnánk, hogy a Föld nyugalomban van, körülötte keringenek az égitestek. Ezzel a kísérlettel meg tudjuk cáfolni az előző gondolatmenetet.

A kísérlet célja: a Föld tengelykörüli forgásának bizonyítása matematikai inga segítségével.

Kapcsolódása a fizika tanításához: harmonikus rezgőmozgás, matematikai inga.

Szükséges eszközök: vékony fonál, gömb alakú test.

Elméleti áttekintés:

Ha egy elhanyagolhatóan kicsiny tömegű fonál végére erősítünk fel egy pontszerű testet, akkor matematikai ingát kapunk. Az így kapott inga lengésidejét jól ismerjük. A pontszerű test harmonikus rezgőmozgást végez, mozgása egy síkban történik.

Léon Foucault (1819-1868) francia fizikus volt az első, aki a Föld tengelykörüli forgásának bizonyítására használta fel ezt az ingát 1851-ben.



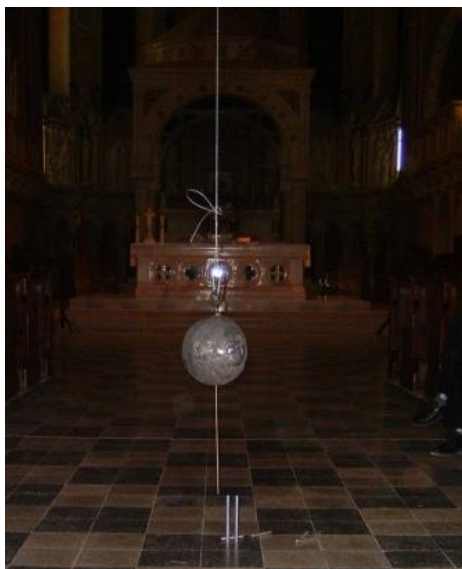
35.ábra: A Foucault által végzett kísérlet helye a párizsi Panthéon-ban.

Forrás: http://farm4.static.flickr.com/3124/3121050652_c1d49030a3.jpg (2017.04.16.)

A kísérlet menete:

A Foucault által használt inga lényege az, hogy a testet egy hosszú fonálra függesztjük fel. Kis kitérések esetén a felfüggesztésnél fellépő súrlódási erő csekély lesz, az inga mozgása lassan fog csillapodni. Ha az ingát lengésbe hozzuk, egy idő után azt tapasztaljuk, hogy az inga

„elfordult”, más irányba végzi a mozgását, mint a kísérlet kezdetekor. Ezt az elfordulást úgy szemléltethetjük, hogy az inga aljára egy vékony pálcát erősítünk, ez a pálca a mozgás során kis hengeres testeket borít fel, amelyeket egymás mellé helyezünk el.



36. ábra: A szegedi Dómban felállított inga 2003-ban.

Forrás: <http://sagv.gyakg.u-szeged.hu/tantargy/FIZIKA/inga/szeginga/p6.jpg> (2017.04.16.)

Az ingának a mozgása síkmozgás, így nem lehetséges az a magyarázat, hogy az inga „fordul el”. A jelenséget úgy tudjuk megmagyarázni, hogy az inga egy síkban leng, alatta a Föld a tengelykörüli forgása miatt elfordul, ezt látjuk mi úgy, hogy az inga síkja fordul el. Ekkor a jelenséget egy inerciarendszerből írtuk le, nem a Földhöz viszonyítva. A Foucault-féle inga elfordulása a Föld különböző pontjain más. A sarkokon a leggyorsabb, távolodva tőlük csökken az elfordulás mértéke (ugyanannyi idő alatt), az Egyenlítőn pedig nem figyelhetünk meg elfordulást. Magyarországon az inga elfordulása kb. $11^\circ/\text{óra}$.

Videó: https://www.youtube.com/watch?v=1K_fbJ1dYIU

Forrás:

Juhász András (szerk.):1996, Fizikai kísérletek gyűjteménye 3., 230. o., Arkhimédész Bt.-Typotex Kiadó

4.3 Üvegházhatás

Bevezető: Széles körben ismert ez a jelenség és a magyarázata. A hatásaival kapcsolatban azonban nem mindenki van tisztában. Tényleg csak negatív következményei vannak ennek a jelenségnek?

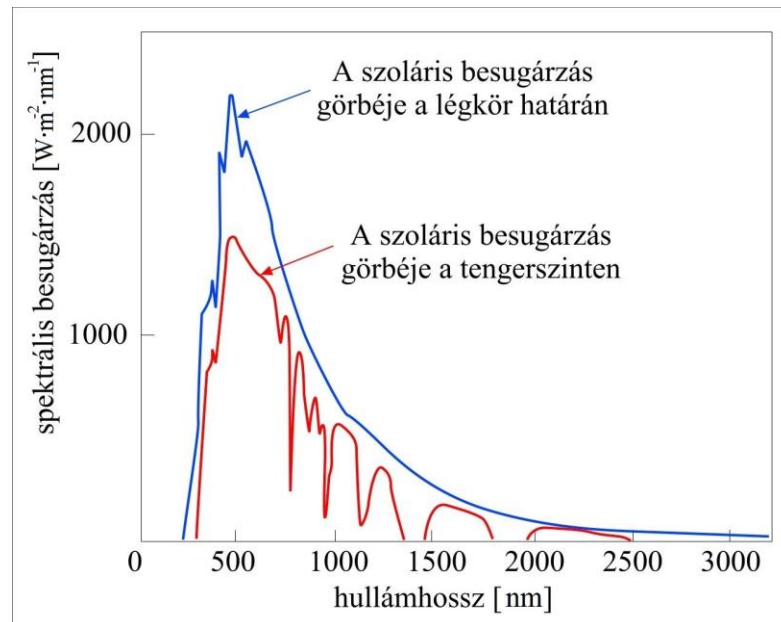
A kísérlet célja: az üvegházhatás eredményének szemléltetése.

Kapcsolódása a fizika tanításához: elektromágneses hullámok.

Szükséges eszközök: befőttesüveg, 2 db hőmérő.

Elméleti áttekintés:

A Naptól érkező sugárzásnak, ami a Földet éri, csak egy része jut el a felszínre. Egy részét a légkör elnyeli.



37. ábra: A légkör abszorpciója a hullámhossz függvényében.

Forrás:

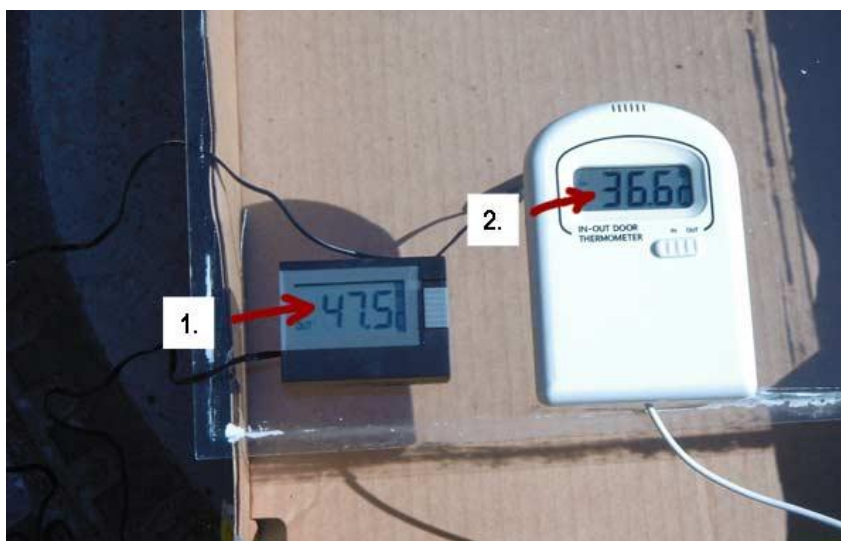
<http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MeteorologiaiMuszerekEsMerorendszerek/images/m34d30361.jpg> (2017.08.09.)

Az ábra alapján látható, hogy magasabb hullámhosszakon nagyobb az elnyelődés. Azok a sugarak, melyek elérik a felszínt, vagy visszaverődnek (kisebbik rész), vagy elnyelődnek. Az elnyelődő sugarak felmelegítik a földfelszínt, amely infravörös tartományban sugározza szét energiája egy részét. Ebben a tartományban viszont a légkörnek nagy az abszorpciója, így ennek a sugárzásnak a jó része elnyelődik, ezzel tovább melegítve a levegőt.

Az emberek többsége, ha meghallja az üvegházhatás szót, negatív hatást tulajdonít neki. A valóság ezzel szemben pedig az, hogy nélküle a Föld éves középhőmérséklete kb. 30 °C-kal lenne hidegebb. Láthatjuk, hogy pozitív hatása is van a folyamatnak.

A kísérlet menete:

Az üvegházhatást egyszerűen tudjuk szemléltetni tantermi környezetben is. Két hőmérőt kiteszünk a napra. Az egyiket egy befőttesüveg alá helyezzük el. 10-20 perc elteltével a két hőmérő más értéket fog mutatni, az üveg alattiról magasabb hőmérsékletet tudunk leolvasni.



38. ábra: A két hőmérő által mutatott értékek. Az 1-es számú egy üveglemez alatt található.

Forrás: <http://klimat.czn.uj.edu.pl/media/archive/2477.jpg> (2017.04.13.)

Videó: <https://www.youtube.com/watch?v=uI8sE6A5vPo>

Forrás:

Juhász András (szerk.):1996, Fizikai kísérletek gyűjteménye 3., 258. o., Arkhimédész Bt.-Typotex Kiadó
<http://astro.u-szeged.hu/szakdolg/vegiandras/felhasznalas/uveghazhatas.html> (2017.04.13.)

5. Egyéb, a fizika tanításához köthető kísérletek

5.1 Űrrakéták

Bevezető: Ha a világűrbe szeretnénk valamit kijuttatni, legyen az akár egy más bolygót kutató szonda vagy egy Föld körül keringő műhold, rakétákat használunk. De milyen elv alapján működnek a rakéták?

A kísérlet célja: a tanulók ismerjék meg az űrrakéták működési elvének az alapjait.

Kapcsolódása a fizika tanításához: impulzus-megmaradás tétele.

Szükséges eszközök: vékony fonál, szívószál, léggömb, ragasztószalag.

Elméleti áttekintés:

A kísérletben látottak megértéséhez szükséges, hogy a diákok az impulzus fogalmával, jelentésével, használatával egyes feladatokban, tisztában legyenek. A kísérlettel valójában az impulzus megmaradásának tételét szemléltetjük, ezért az elején mondjuk ki a tételt:

Az impulzus-megmaradás tétele: Zárt rendszerben az összimpulzus állandó. Kis magyarázatra az szorulhat, hogy mit értünk zárt rendszeren. Zárt rendszer: a rendszer és a környezete között nincs anyagcsere.

A kísérlet menete:

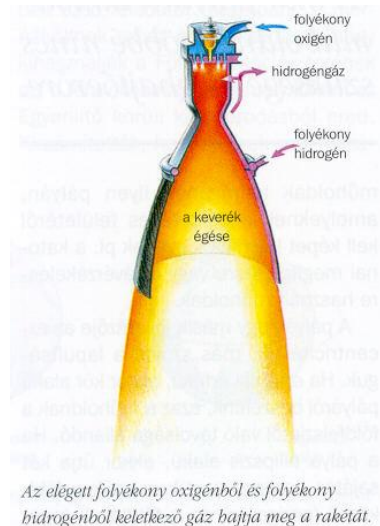
A szívószálat fűzzük át a fonálon, majd a fonalat feszítjük ki. A szívószálra erősítjük fel a lufit a ragasztószalag segítségével. Fújuk fel a lufit, majd engedjük el. Eredmény: a lufi elmozdul a fonal mentén. Ismétljük meg a kísérletet még egy pár alkalommal, úgy, hogy különböző mértékben fújuk fel a lufit. Figyeljük meg, hogy mikor meddig jut el a léggömb: mikor nagyobbra fújuk, akkor tesz meg nagyobb utat.

A kísérlet magyarázata:

A felfújt léggömb impulzusa az elengedés pillanatában zérus, hiszen nem rendelkezik sebességgel. Amint a levegő elkezd kiszökni a nyíláson, a levegő részecskék impulzusra tesznek szert. Azonban a megmaradási tétel miatt a rendszer összimpulzusának nullának kell lennie. Ezt úgy tudja elérni, mivel az impulzus vektormennyiség, hogy a léggömb vele ellentétes irányban mozdul el, így a két ellentétes irányú impulzusvektor összege fogja kiadni a nullvektort. A folyamat során így tud a rendszer összimpulzusa változatlan maradni.

Az űrrakétákról:

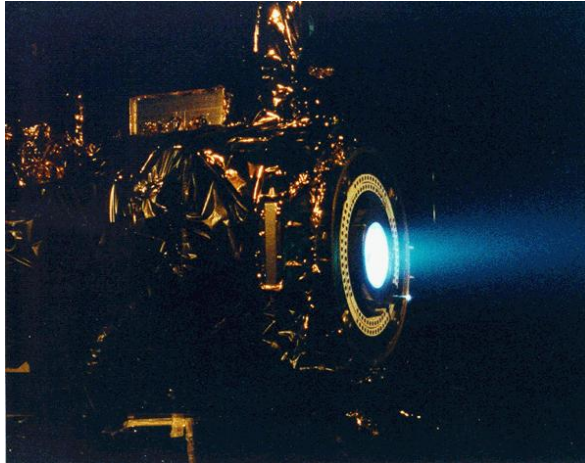
A rakétahajtóművekben üzemanyagot égetnek. A forró, kiáramló égéstermékek hajtják előre a rakétát. A rakéták magukkal viszik az égéshez szükséges oxigént, ezért tudnak működni a világűrben, ahol nincs oxigén. Kétféle üzemanyagot használhatnak: folyékonyat és szilárdat.



39. ábra: A rakétahajtómű felépítése.

Forrás: <http://astro.u-szeged.hu/szakdolgozok/vegiandras/mukodes/raketahajtomu.html> (2017.04.22.)

Egy másik típusú hajtómű, amit használnak az ún. ionhajtómű. Az ionhajtómű belsejében elektromos mezőt hoznak létre. A mezőbe belépő ionizált gárrészecskékre Coulomb-erő hat, amely gyorsítja a részecskéket. Ezek a felgyorsított részecskék hajtják előre a rakétát, a sebességük meghaladja a hagyományos hajtóművekből kiáramló gázok sebességét. Így ugyanannyi hajtóanyaggal nagyobb sebességet tudunk elérni ionhajtómű alkalmazásával. A teljesítménye viszont kicsi, kevés tolóerőt tud biztosítani. Előnye abban rejlik, hogy üzemanyagát hosszú idő alatt fogyasztja el (akár évek alatt), ez idő alatt folyamatosan gyorsítja a rakétát, amely nagy sebességre tesz szert. Ezért az ionhajtóműveket nagy távolságok megtételénél alkalmazzák.



40. ábra: Az első űrszonda, amit ionhajtóművel szerltek fel: Deep Space 1.

Forrás: <http://astro.u-szeged.hu/szkdolg/vegiandras/mukodes/ionhajtomu.html> (2017.04.22.)

Más lehetőség rakétakészítésre:

Nagy népszerűségnek örvendenek a PET-palackból készült rakéták. A kevés vízzel megtöltött palackba, amelyet szájával lefelé fordítunk, egy pumpa segítségével levegőt juttatunk (egy szelepen keresztül). Így nagy nyomású levegőt hozunk létre a palack belsejében. A szelep kiengedésekor a magas nyomású levegő kinyomja a bent lévő vizet, felfelé hajtva ezzel a palackot.

Részletes leírás a rakéta készítéséről: <http://www.sze.hu/~horvatha/Vizraketa/index.html>

Videók:

<https://www.youtube.com/watch?v=d5vpVgOUcd8>

<https://www.youtube.com/watch?v=0qzOzjRJpaU> (kétfokozatú rakéta)

Források:

http://cse.ssl.berkeley.edu/AtHomeAstronomy/activity_06.html (2017.04.22.)

<http://astro.u-szeged.hu/szkdolg/vegiandras/mukodes/raketahajtomu.html> (2017.04.22.)

<http://astro.u-szeged.hu/szkdolg/vegiandras/mukodes/ionhajtomu.html> (2017.04.22.)

5.2 Üstökös modellezése

Bevezető: Az üstökösök a szabad szemmel is megfigyelhető égbolt látványos jelenségei. Alakjukat, méretüket és helyzetüket is változtatják, ahogy elhaladnak a Föld közelében. Az üstökösök számunkra látható alakját az alábbi kísérlettel tudjuk szemléltetni.

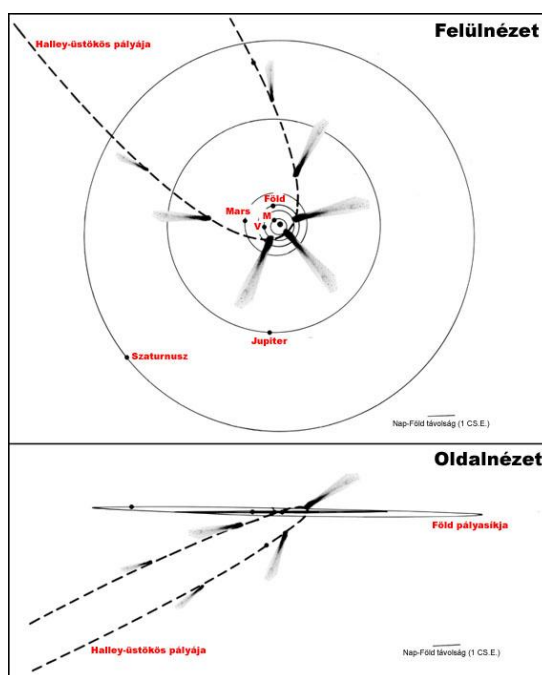
A kísérlet célja: az üstökösök számunkra látható alakjának bemutatása.

Kapcsolódása a fizika tanításához: égi mechanika, csillagászat.

Szükséges eszközök: szárazjég, jeges víz, homok.

Elméleti áttekintés:

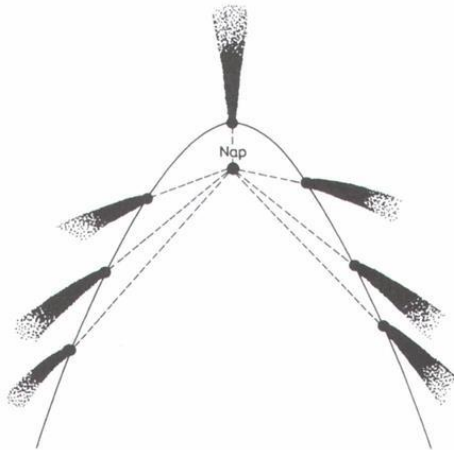
Az üstökösök a Naprendszer külső részeiből, a Kuiper-övből vagy az Oort-felhőből származnak. Pályájuk jellemzően nagyon lapult, keringési síkjuk eltér a bolygók keringési síkjától. Keringési idejük széles skálán mozog.



41. ábra: A Halley-üstökös pályája.

Forrás: <http://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyezettan9/www/images/img026.jpg> (2017.04.08.)

Az üstökös magja csupán néhány km átmérőjű, port és jeget tartalmaz. Napközelbe érve a jég szublimál. A gőzzel távoznak porszemcsék is, melyek együtt felhőt képeznek a mag környezetében. Ezt nevezzük az üstökös fejének. A napszél hatására ebből a felhőből kialakul a csóvája az üstökösnek. Ez a csóva a közhiedelemmel ellentétben nem a mozgás irányával ellentétes, hanem a napszél irányával megegyező irányú.



42. ábra: Egy üstökös csóvája a Nap közelében.

Forrás: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_519_42294_1/ch06s04.html
(2017.04.08.)

A kísérlet menete:

Az üstökösökre szoktak „piszkos hógolyó”-ként is hivatkozni, utalva arra, hogy jégből és porból áll a magjuk. Elkészíthetjük saját a saját piszkos hógolyónkat, hogy bemutassuk az üstökösök kialakuló csóváját. Az összetevőket (a homokot, a jeges vizet és a szárazjég) jól keverjük össze és gyúrjuk egybe egy zacskóban. Ezzel elkészítettük az üstökösünk magját. Helyezzük a „magot” egy tálcába. A szárazjég hatására kialakuló felhőt megfújva szemléltethetjük a csóva kialakulását.



43. ábra: Az elkészített „üstökös” és csóvája.

Forrás: Kopasz Katalin, Papp Katalin, Szabó M. Gyula, Szalai Tamás 2009

Forrás:

Kopasz Katalin, Papp Katalin, Szabó M. Gyula, Szalai Tamás: 2009, Üstökös az asztalon – Hogyan „főzzünk” csillagászati demonstrációs eszközöket?, Fizikai Szemle 2009/7-8, 257-260. o.

http://astro.u-szeged.hu/oktatas/csillagaszat/6_Naprendszer/010601ustokosok/ustokosok.html (2017.04.08.)

5.3 Fényszórás: Miért kék az ég, és miért vörös a felkelő/lenyugvó Nap?

Bevezető: A hétköznapiak során tapasztaljuk, hogy tiszta időben kék az ég színe, a felkelő vagy lenyugvó Nap pedig vörös. De mi áll pontosan ezeknek a jelenségeknek a hátterében? Erre a kérdésre biztosan csak kevés pontos választ kapnánk, ha feltennénk a kérdést az utca emberének.

A kísérlet célja: a tanulók ismerkedjenek meg a fent említett légköri jelenségek magyarázatával.

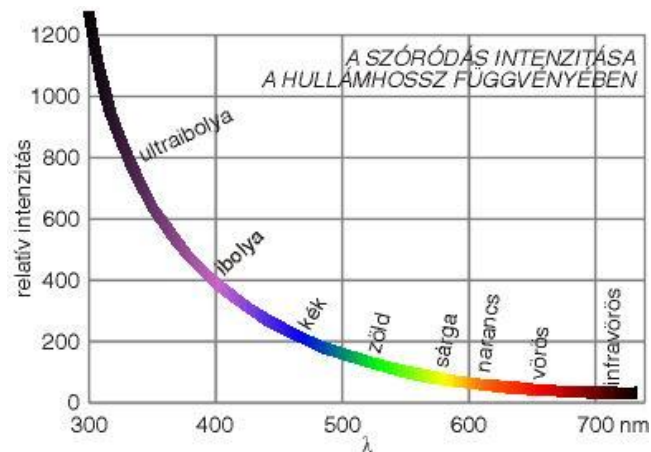
Kapcsolódása a fizika tanításához: optika, fényszóródás, a fény kettős természete.

Szükséges eszközök: nagy üvegkád, víz, pár csepp tej (vagy tejpor), zseblámpa

Elméleti áttekintés:

A címben is jelzett két jelenség magyarázata a fényszóródás. A szórás egy hullámjelenség. Akkor beszélünk szórásról, amikor a hullám egy, a hullámhosszánál kisebb méretű akadályba ütközik. Ilyenkor az akadály pontszerű forrásként viselkedik: gömbhullámok indulnak ki belőle (ha a térben vagyunk). Tehát a fent említett két légköri jelenség a fény hullámtermészetének is bizonyítékai.

A Napból érkező fény amint a légkörbe ér, találkozik a levegőben lévő atomokkal, molekulákkal. Ezek mérete sokkal kisebb, mint a (látható) fény hullámhossza, ezért fényszóródás jön létre. Ebben az esetben az ún. Rayleigh-féle szóródásról van szó. Ennél a szóródásnál a következő összefüggést találták: a szóródás intenzitása $\frac{1}{\lambda^4}$ -el arányos, ahol λ a fény hullámhosszát jelenti. Vagyis minél kisebb hullámhosszú, minél „kékebb” a fény, annál jobban szóródik.



44. ábra: A szóródás intenzitása a hullámhossz függvényében.

Forrás: <http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Kepek/RaylSzor.gif> (2016.10.21.)

Ennek eredményeképpen lesz kék az ég színe. Ha a Nap a horizont közelében tartózkodik, a szemünkbe jutó fénynek vastagabb légrétegen kell áthaladnia. Ez azt eredményezi, hogy több kék fény tud kiszóródni. Ezért látjuk vörösnek a felkelő vagy lenyugvó Napot. Itt megjegyezhetjük, hogy lényeges szerepet játszik a fénytörés is: ugyanis amikor éppen még a horizont fölött látjuk a Napot, az akkor valójában a horizont alatt található. A fénysugarak légkörben való megtörése miatt látjuk mi abban a helyzetben a Napot.

A kísérlet menete:

Egy üvegedényt töltünk fel vízzel, majd néhány csepp tejet rakjunk bele. Zseblámpával világítsunk keresztül a folyadékon. Oldalirányból nézve kékes fényt láthatunk. Ha a fényforrásba nézünk az edényen keresztül, akkor „vörösebb” fényt láthatunk, mint ami a forrást elhagyja.



45. ábra: A fény szóródása tejjel „szennyezett” vízben.

Megjegyzések:

- 1) Érdeemes elsötétített teremben végezni a kísérletet.
- 2) Kevés tejet adjunk hozzá a vízhez először, a kívánt hatás eléréséhez folyamatosan adagoljuk a tejet. Kevés tejnél nem látszik a jelenség, sok tej esetén pedig megnő az abszorpció, ami szintén hátráltatja a kísérletet.
- 3) Lehetőség szerint használjunk olyan fényforrást, amelynek kicsi a divergenciája. Nehéz a forrás vörösebb színét megfigyelni, ha a sugarak széttartóak. Gyűjtőlencse alkalmazásával tudunk még segíteni ezen.

Videó:

<https://www.youtube.com/watch?v=LSf7iRD5Jws>

Forrás:

<http://www.csiro.au/en/Education/DIY-science/Earth-and-Spaceciences/Why-is-the-sky-blue> (2016.10.21.)

5.4 Spektroszkóp készítése

Bevezető: A Naprendszeren kívüli objektumokat (pl. csillagok, galaxisok) csak egyféle módon tudjuk megismerni: az általuk kibocsátott fény (fotonok) segítségével. Ezért fontos, hogy meg tudjuk mondani, hogy pontosan milyen „típusú” fotonokat vagyis milyen hullámhosszú fotonokat bocsát ki a megfigyelt objektum. A spektroszkóp egy ilyen eszköz: segítségével meg tudjuk állapítani, hogy a vizsgált fény milyen hullámhosszú komponenseket tartalmaz. A spektroszkóp ezért a csillagászok egyik alapvető mérőeszköze.

A kísérlet célja: a tanulók ismerjék meg a spektroszkóp elvi működését, használatát és segítségével figyeljenek meg különböző fényforrások által létrehozott spektrumot.

Kapcsolódása a fizika tanításához: fénytörés, fényelhajlás.

Szükséges eszközök: CD/DVD lemez, papír henger, kartonpapír, szigetelőszalag.

Elméleti áttekintés:

A spektroszkópokról: A spektroszkóp egy olyan eszköz, amely a vizsgált fényt felbontja és egy skála segítségével leolvashatóvá teszi, hogy milyen hullámhosszú részeket tartalmaz. Kétféle spektroszkópot különböztethetünk meg a bontóelem alapján: prizmás és rácsos spektroszkópot. A prizmára érkező fény megtörik, a törésmutató pedig függ a fény hullámhosszától, ezért a különböző színű fotonok más szögben törnek meg. Így teszi lehetővé a vizsgálatot. A rácsos spektroszkópnál fényelhajlás következik be a bontóelemen, az optikai rácson. A különböző hullámhosszú fény más-más irányokban látszik, a különböző maximális erősítési irányok miatt.

A kísérlet menete:

Az elkészülő spektroszkóp rácsos lesz. A bontóelem szerepét a CD lemez játssza. Felülete nem egyenletes, rajta bemélyedések találhatóak, így a fény valahol keresztüljut rajta, valahol pedig nem. Ebben a funkciójában a lemez optikai rácsként viselkedik.

Spektroszkóp készítése

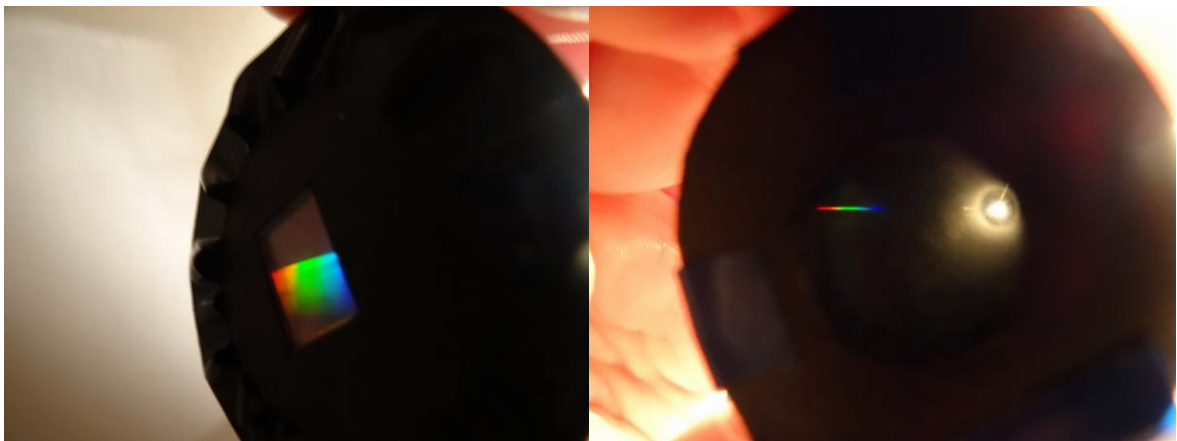
- 1) Vegyük le a lemezről a felső, fényvisszaverő réteget, és vágjunk egy kis darabot belőle.
- 2) Vágjunk fekete kartonból két akkora méretű kört, amekkora a papír henger átmérője.
- 3) Az egyiket ketté vágjuk, ez lesz a rés (amit a két félkör összeillesztésével kapunk).
- 4) A másikra egy kis ablakot vágjunk.
- 5) Az ablakra ragasszuk fel a lemezdarabot.
- 6) A rést és az ablakot tartalmazó darabot ragasszuk fel a papír henger két végére.

Megjegyzések:

A rést nem mindegy, hogy milyen helyzetben rögzítjük. Figyeljük a színeképet, közben forgassuk a spektroszkópot. Amikor a legjobban látszódik a spektrum, akkor rögzítsük a rést. Ha elégedettek vagyunk a végeredménnyel, akkor becsomagolhatjuk az elkészített eszközt a jobb esztétikai élmény érdekében.



46. ábra: Az általam készített spektroszkópok. A rövidebben rés, a hosszabban kör alakú nyílás található.



47. ábra: Hagyományos izzó folytonos színeképe a készített eszközökkel.

Más felépítésű házilag elkészíthető spektroszkópok:

<http://kulipintyotechnika.lapunk.hu/?modul=oldal&tartalom=1196589>

http://h2so4.blog.hu/2008/09/28/fehernek_latszo_lampak

6. Projektek

6.1 Csillagászathoz köthető tárgyak gyűjtése

Gyűjtést is adhatunk ki a tanulóknak feladatként. A gyűjtésre adjunk elég időt, akár néhány hónapot is. A végeredményt kérjük valamilyen kézzelfogható formában, pl. egy prezentációban bemutatni. Az alábbi ötletekben szereplő gyűjtések nem ténylegesen a tárgyak összegyűjtését jelenti, hanem az interneten való felkutatásukat és összegyűjtésüket.

Ötletek a gyűjtéshez:

A) Csillagászati témájú bélyegek



48. ábra: „Szovjet Holdrakéta”

Forrás: <http://astro.u-szeged.hu/ismeret/belyeg/1959.html> (2017.04.01.)



49. ábra: „Masat-1”

Forrás: <http://astro.u-szeged.hu/ismeret/belyeg/2012.html> (2017.04.01.)

B) Csillagászati témájú papír- és fém pénzek



50. ábra: „Szojjet-magyar közös űrrepülés”

Forrás: http://astro.u-szeged.hu/ismeret/galilei/csill_fempenzek/album/slides/1980_magyar_urrepules2.html

(2017.04.01.)



51. ábra: Galileo Galileit ábrázoló líra Olaszországból.

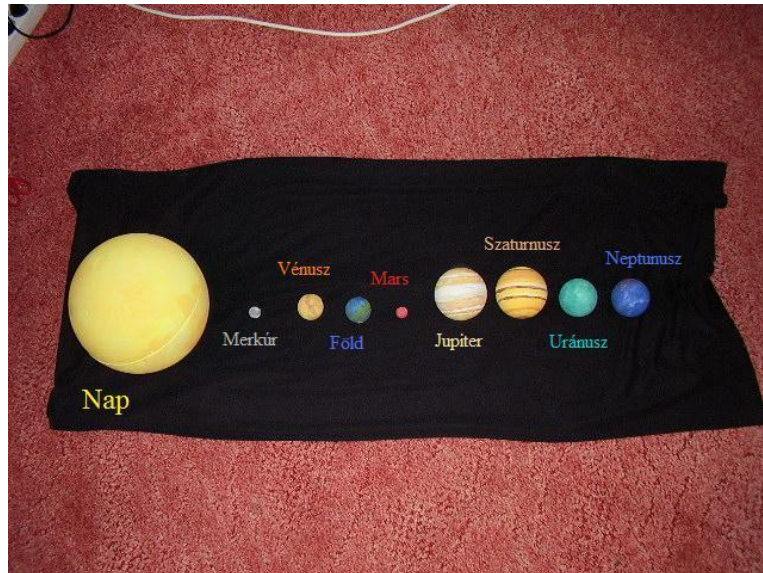
Forrás: http://astro.u-szeged.hu/ismeret/galilei/csill_papirpenzek/album/slides/galilei200lirason.html

(2017.04.01.)

Természetesen nem csak itthon, hanem külföldön is jelentek meg ilyen témájú bélyegek, pénzek, így onnan is lehetséges a gyűjtés. A munkát nem kell kötelezővé tenni, a tanulók önkéntesen vegyenek benne részt. Ennek fejében a jutalmazás se maradjon el az igényes munkáért cserébe. A munka önálló illetve páros feldolgozásra is alkalmas szerintem.

6.2 A Naprendszer modellezése

Tudjuk, hogy a Naprendszerünkben található égitestek méretükben igencsak eltérőek. A különbségeket méretarányos szemléltetéssel tudjuk megérteni. Projekt munkában kiadhatjuk, hogy készítsenek méretarányos modelleket a Naprendszer bolygóiról. Tehetik ezt úgy, hogy ők készítik el a részeit, vagy már kész tárgyakból (pl. labdákból) állítják össze.



52. ábra: Saját készítésű modell.

Forrás: http://astro.u-szeged.hu/ismeret/galilei/Naprendszer_modellek/album/slides/G2_Fiastyuk789_2.html

(2017. 04.01.)



53. ábra: Labdákból összeállított modell.

Forrás: http://astro.u-szeged.hu/ismeret/galilei/Naprendszer_modellek/album/slides/G2_gagarin007_2.html

(2017.04.01.)

A tervezéshez segítséget adhat a következő link:

http://www.exploratorium.edu/ronh/solar_system/

Megadjuk a Nap átmérőjét, a program pedig kiszámolja a többi bolygó méretét, arányosan. Kiszámolja azt is, hogy milyen távolságban keringenének a bolygók az általunk használt Nap körül.

7. Összefoglaló

A dolgozatban, a terület által elért eredmények ellenére meglehetősen alulreprezentált csillagászat tanításához kapcsolódó kísérleteket gyűjtöttem össze. A kísérleteket témakörök szerint rendeztem. A kísérletek között vannak, amelyek közvetlenül kapcsolódnak a csillagászathoz (Égi mechanika című fejezet), vannak olyanok, amelyeknek csillagászati vonatkozással rendelkeznek (pl. spektroszkóp készítése) és vannak olyanok is, amelyek más természettudományhoz is kötődnek szorosan (Csillagászati földrajz című fejezet).

A kísérleteket úgy gyűjtöttem össze, hogy kevés anyagi ráfordítással is kivitelezhetőek legyenek, ne legyen szükség drága, speciálisan ezekre a célokra készített demonstrációs eszközökre beruházni. A kísérletek közül többet magam is elvégeztem, részben saját készítésű eszközökkel, a tapasztalataimat megjegyzések formájában osztottam meg.

Az egyes kísérleteket részletesen mutattam be. Ismertettem a kapcsolódási pontjait a tanításhoz, a célkitűzését és a szükséges eszközöket. Elméleti áttekintést adtam a szükséges ismeretkről, a kísérletek menetét lépésről-lépésre írtam le, a könnyed utólagos megismétlés érdekében.

Az egyes kísérleteket végezzük el többször mielőtt bemutatjuk órán (ez igaz bármely kísérlet esetén is), hogy lássuk meg az esetleges buktatókat. A „kakaós” kísérletet, amikor először néztem az egyik reggel, elsőre sikerült. Másodjára, amikor a fotókat szerettem volna elkészíteni csak többszöri próbálkozás után jött össze a várt eredmény.

Az utolsó fejezetben olyan ötleteket adtam, amelyeket nem egy tanóra alatt lehet megvalósítani. Ezeket a tanulók önállóan vagy csoportosan tudják feldolgozni hosszabb idő alatt, számos készséget fejlesztve ezzel.

8. Nyilatkozat

Alulírott Bodó Gergely, fizikatanár MSc szakos hallgató (ETR azonosító: BOGRABT.SZE), a „Csillagászati kísérletek a fizika tanításában” 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. április 26.

.....
a hallgató aláírása

9. Irodalomjegyzék

S. Tóth László: 1977, Néhány demonstrációs eszköz a csillagászat tanításához, Fizikai Szemle 1977/6.

Juhász András (szerk.):1996, Fizikai kísérletek gyűjteménye 3., Arkhimédész Bt.-Typotex Kiadó

Kopasz Katalin, Papp Katalin, Szabó M. Gyula, Szalai Tamás: 2009, Üstökös az asztalon – Hogyan „főzzünk” csillagászati demonstrációs eszközöket?, Fizikai Szemle 2009/7-8, 257-260. o.

<http://www.konkoly.hu/evkonyv/meteor/meteor.html> (2017.03.11.)

<http://www.education.com/science-fair/article/orbital-eccentricity/> (2016.10.18)

www.galgoczi.net/anyagok/Tudtud_13.pdf (2016. 08.18)

<https://www.education.com/science-fair/article/barycenter-balancing-point/> (2017.04.18.)

<http://csillagaszat.uw.hu/pluto.html> (2017.04.18.)

http://cse.ssl.berkeley.edu/AtHomeAstronomy/activity_03.html (2017.04.18.)

http://astro.u-szeged.hu/oktatas/csillagaszat/6_Naprendszer/0102Nap/nap.html (2017.04.08.)

<http://astro.u-szeged.hu/szakdolg/vegiandras/felhasznalas/uveghazhatas.html> (2017.04.13.)

http://cse.ssl.berkeley.edu/AtHomeAstronomy/activity_06.html (2017.04.22.)

<http://astro.u-szeged.hu/szakdolg/vegiandras/mukodes/raketahajtomu.html> (2017.04.22.)

<http://astro.u-szeged.hu/szakdolg/vegiandras/mukodes/ionhajtomu.html> (2017.04.22.)

http://astro.u-szeged.hu/oktatas/csillagaszat/6_Naprendszer/010601ustokosok/ustokosok.html (2017.04.08.)

<http://www.csiro.au/en/Education/DIY-science/Earth-and-SpaceSciences/Why-is-the-sky-blue> (2016.10.21.)

10. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni Dr. Szatmáry Károly tanár úrnak, hogy ötleteivel, tanácsaival és munkájával segítette a szakdolgozat létrejöttét. Köszönöm a Kísérleti Fizikai Tanszéknek, hogy a számomra szükséges eszközöket a rendelkezésemre bocsátotta és helyet biztosított a hozzájuk kapcsolódó kísérletek elvégzéséhez.