

SZAKDOLGOZAT

Török Tamás

2009

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM

Természettudományi és Informatikai Kar

Kísérleti Fizika Tanszék

Fizika kiegészítő levelező szak

SZAKDOLGOZAT

Kisbolygók és üstökösök jelentősége a középiskolában

Készítette: Török Tamás

Témavezető: Dr. Szabó M. Gyula

egyetemi tanársegéd

2009

Tartalmi összefoglaló

Az embereket mindig is foglalkoztatta az a kérdés, hogy hol van a helyünk az Univerzumban. A történelem során rengeteg elképzelés született, míg ki nem alakult a valós kép. A Föld a Naprendszer egy bolygója, amely a Nap körül kering ellipszis alakú pályán. A Naprendszer pedig a Tejútrendszer nevű galaxis része. A bolygók közül már az ókorban is ismertek ötöt, de viszonylag későn derült arra fény, hogy a nagybolygók és holdjaikon kívül található más is a Naprendszerben. Az üstökösöket szintén régóta ismeri az emberiség, csak kezdetben légköri jelenségeknek tekintették őket. Az első kisbolygót viszont csak 1801-ben fedezték fel, számuk mára meghaladja a 300000-et. Többségük a Mars és a Jupiter között kering, de a belső és a külső Naprendszerben is jelen vannak. Pályasíkjuk nagyjából megegyezik a nagybolygókéval, kőzetalkotóik többsége a Földön is megtalálható. Az üstökösök azonban sokkal titokzatosabbak. Habár ők is a Naprendszer születésével egyidősek és a Nap körül keringenek pályájuk sokkal változatosabb. A fagyos vándorok csak a Naphoz közel válnak jól láthatóvá, amikor a mag körül fényes kóma, mögötte pedig több millió kilométeres csóva jelenik meg. Legismertebb közülük a Halley, amely 1986-ban járt napközeli, nem emlékezhetek rá, de titokzatossága mindig is lenyűgözött. Szakdolgozatomban próbáltam röviden áttekinteni a Naprendszer kis égitestei néhány jellemzőjét. A kisbolygók és üstökösök történetét, összetételét, működését és természetesen az esetleges ütközések lehetőségét is. A becsapódásokkal feltétlenül foglalkoznia kell az emberiségnek, mivel a Föld már jó néhányat megélt. A csillagászat és ezen belül a Naprendszer egy kicsiny része a kisbolygók és üstökösök mindenképpen az a téma, amely könnyen tanítható és felkelti a középiskolás diákok érdeklődését. A problémát egyedül a rendkívül alacsony óraszámok jelentik, de elhivatottsággal és akarattal meg lehet ismertetni a csillagászatnak ezt a látványos részét.

Tartalomjegyzék

Tartalmi összefoglaló	3
Tartalomjegyzék	4
1. Bevezetés	5
1.1. A csillagászat története	5
1.2. Naprendszer	7
2. Kisbolygók	9
2.1. Keletkezésük	10
2.2. Pályái	10
2.3. Felépítésük, összetételük	11
2.4. Méreteik	13
2.5. Becsapódások	14
3. Üstökösök	17
3.1. Pályái	20
3.2. Felépítésük	20
3.3. Működésük	22
3.4. A Halley üstökös	24
3.5. Becsapódások	26
4. Meteorok, meteoritok	29
5. Védekezés	30
6. Kisbolygók és üstökösök a középiskolai oktatásban	33
Köszönetnyilvánítás	35
Irodalomjegyzék	36
Nyilatkozat	38

1. Bevezetés

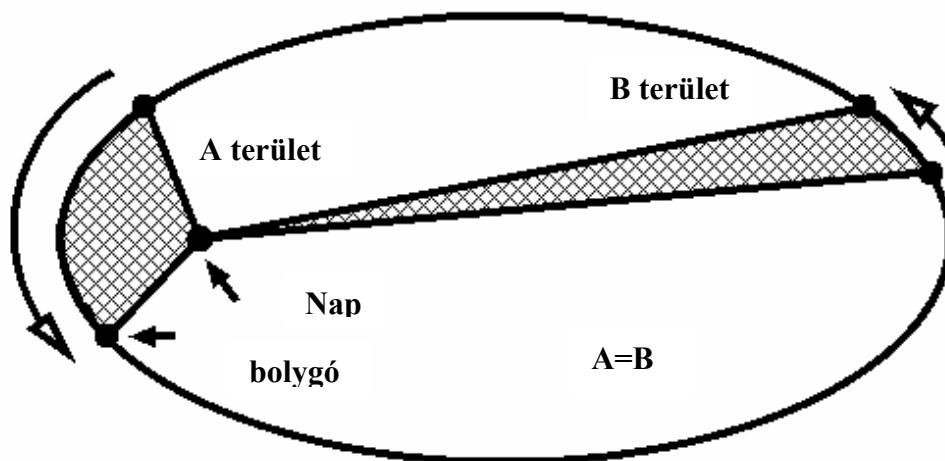
1.1. A csillagászat története

Az emberiség története során mindig is fontos szerepet játszott a csillagászat, különös jelentőséget tulajdonítottak az égi jelenségeknek. Az embereket többségében vonzotta és érdekelte a távoli, misztikus ismeretlen és így van ez napjainkban is. A csillagászat kialakulásának több gyakorlati oka volt, ilyenek például az időszámítás, naptárkészítés, de az égboltot tájékozódásra is használták. A csillagászat elsősorban a potamikus, tehát folyó menti kultúrákban fejlődött dinamikusan. A Kínai alföldön megfigyeltek és elneveztek csillagképeket, a babiloniak a Szaturnuszig ismerték a bolygókat. Az egyiptomiak a Nap járásához igazodó naptárat készítettek, de a túlvilági létbe vetett hitük is összefonódott a csillagászattal. A maják olyan naptárat szerkesztettek, amely a Vénusz járásán alapult. A nagy-britanniai Stonehenge elrendezése a nyári és téli napforduló alapján történt. Az ókori görögöknél jelent meg először az összefüggő világgép gondolata, Thalész szerint a Föld egy lapos korong, egy gömbön vannak a csillagok, a Nap és a Hold pedig egy külső búrán mozog. Anaximenész megállapította, hogy a Hold a Naptól kapja a fényét és felismerte a holdfogyatkozás jelenségét is. Arisztarkhosz összehasonlította a Föld – Hold, Föld – Nap távolságot mérés segítségével, 1:19 arányt kapott, a valós érték 1:390. Eratoszthenész megmérte a Föld kerületét i.e. 300-ban és viszonylag pontos eredményt kapott. Hipparkhosz több mint ezer csillagot írt le és csillagkatalógust készített. Klaudiosz Ptolemaiosz az elődei munkáját is felhasználva kidolgozta a geocentrikus világgépet, mely értelmében a világegyetem középpontjába a Földet képzele. Ez az elgondolás 1400 éven keresztül tartotta magát. A középkori csillagászok közül Nikolausz Kopernikusz nevét kell elsőként megemlíteni. A Napot helyezi a világegyetem középpontjába, ezzel megalkotta a heliocentrikus világnézetet. Tycho de Brahe dán csillagász felismeri, hogy az üstökösök a világűr jelenségei, a világnézete viszont a geocentrikus és heliocentrikus világgép elegye. Asszisztense Johannes Kepler, akit a bolygók mozgására kidolgozott három törvénye miatt kell megemlíteni, de szerkesztett távcsövet is. I.: A bolygók olyan ellipszis alakú pályán keringenek, melynek egyik gyújtópontjában a Nap áll. II.: A bolygókhoz húzott vezérsugár egyenlő idők alatt egyenlő területeket sűrol. (1. ábra) III.: A bolygók keringési ideik négyzetei úgy aránylanak egymáshoz, mint a Naptól mért távolságaik köbei. Giordano Bruno dominikánus szerzetes érdekes gondolattal állt elő, azt mondta, hogy a világűrben másutt is lehetnek a miénkhez hasonló Naprendszerek.

Galileo Galilei nevéhez fűződik a távcső feltalálása, a Jupiter négy holdját is ő fedezte fel (Io, Europa, Ganymedes, Callisto), de tanulmányozta a Napot is, melynek következménye lett, hogy idős korára megvakult. Isaac Newton gravitációs erőtvényével fizikai alapot adott a korabeli gondolatoknak. Bármely két test között van vonzóhatás és ez igaz a Világegyetemben lévő testekre is. A fellépő gravitációs vonzóhatás egyenesen arányos a testek tömegével és fordítottan arányos a köztük lévő távolság négyzetével. Ahol F a gravitációs erő, γ a gravitációs állandó, m a testek tömege, r pedig a köztük lévő távolság.

$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

A tudományos és technikai fejlődésnek köszönhetően egyre többet ismertünk meg a Naprendszeréről és az Univerzumról. Felfedezték a Naprendszer további bolygóit, az Uránuszt, a Neptunuszt és 1930-ban a Plútót, melyet 2006 óta nem tekintünk nagybolygónak. A XIX. századra az is világossá vált, hogy bolygókon és holdjaikon kívül van más is a Naprendszerben, mégpedig a kisbolygók és az üstökösök. A XX. század pedig igazi „űrversenyt” hozott, melynek köszönhetően robbanásszerűen megnőtt a világegyetemről kapott ismereteink száma. Elég, ha csak az űrjárműveket, a Holdra szállást és a Hubble – űrteleszkóp által szolgáltatott rengeteg hasznos információt és elképesztő felvételt említem.

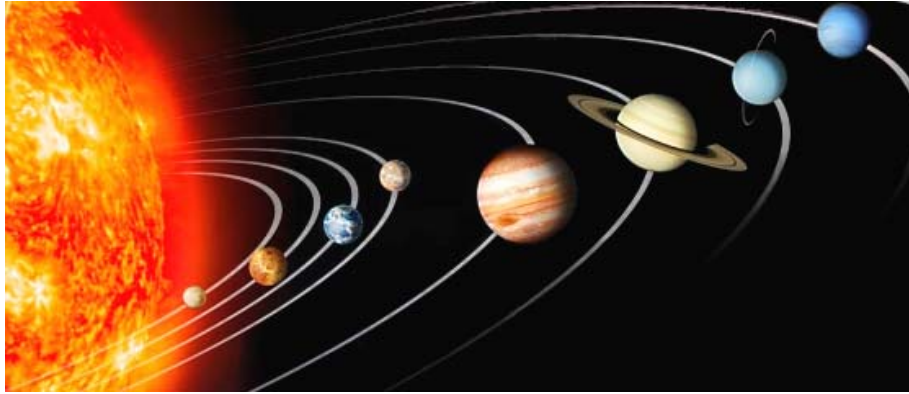


1. ábra

Kepler II. törvénye, a bolygók napközelségben gyorsabban mozognak, mint naptávolban

1.2. Naprendszer

Naprendszerünk a Tejútrendszernek azt a két fényév sugarú gömb alakú részét jelenti, ahol a Nap gravitációs hatása érvényesül. A Tejútrendszer közepétől 30000 fényév távolságra helyezkedik el a galaxis egyik spirálkarjában. A Naprendszer középpontjában lévő csillag a Nap, amely egy hatalmas izzó gázgömb. Átmérője 110 szerese a Földének, tömege körülbelül 750-szer nagyobb, mint a Naprendszerhez tartozó többi égitest össztömege. Összetétele nagy részben, 74%-ban hidrogén, hőmérséklete rendkívül magas 6000 Kelvin körüli. A Nap energiatermelését a hidrogén héliummá történő atommagfúziója biztosítja. Ez a folyamat még évmilliárdokra lehetővé teszi csillagunk működését. A Naprendszer forgó csillagközi por és gázfelhőből jött létre a galaxisunkon, a Tejútrendszeren belül, mintegy ötmilliárd éve. A forgás középpontjában elhelyezkedő gázfelhőből alakult ki a Nap, a bolygók pedig a kifelé áramló anyagból. A Naphoz közel a porrészecskék ütközése és egymáshoz tapadása indította el a Föld típusú bolygók kialakulását. Míg a Naptól távolabb lévő, könnyebb gázokból képződtek a Jupiter típusú bolygók. A Naprendszerben nyolc nagybolygó található (2. ábra), a Merkúr, a Vénusz, a Föld és a Mars kőzetbolygók, a Jupiter, a Szaturnusz, az Uránusz és a Neptunusz pedig gázbolygók. A kőzetbolygókat viszonylag kisebb méret, nagy sűrűség és szilárd kőzetburok jellemzi, ezzel szemben a gázbolygók nagyobbak és kisebb sűrűségűek. A holdak számában is jelentős eltérés mutatkozik, a kőzetbolygóknak összesen három holdja van, a gázbolygók ennek sokszorosával rendelkeznek. Mind a nyolc bolygó azonos irányban kering, a Nap forgásának irányában, tehát az óramutató járásával egyezően. A bolygók pályasíkja között sincs jelentős eltérés. Ezek a megállapítások is a forgómozgás következményeként létrejött kialakulás és a közös eredet bizonyítékai. Ám a Naprendszeren belül a központi csillagon, a nagybolygókon és holdjaikon kívül van más is, mégpedig a kisbolygók, az üstökösök és az apróbb törmelék, bolygóközi por és gáz.



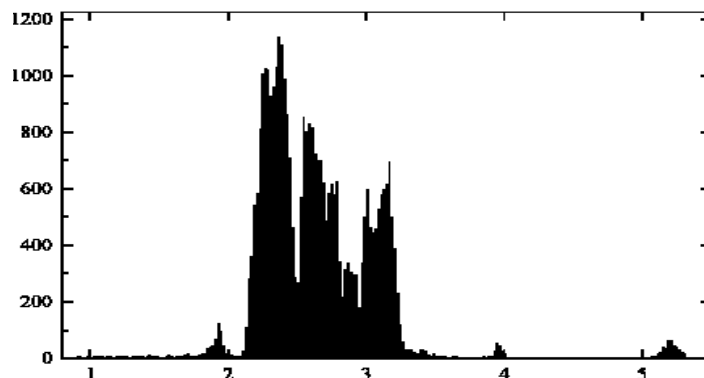
2. ábra
A Naprendszer



3. ábra
Két kisbolygó, a Ceres és a Vesta a Holdhoz viszonyítva

2. Kisbolygók

Az első kisbolygók felfedezése nem véletlenszerű volt, hanem nagyon is tudatos kutatómunka eredménye. Erre a Titius - Bode – szabály szolgáltatott megfelelő alapot, melyet Johann Daniel Titius (1729 - 1796) és Johann Elert Bode (1747 - 1826) adott ki 1773-ban. Elméletük szerint a Mars és a Jupiter között, a Naptól körülbelül 2,8 csillagászati egység távolságban egy eddig ismeretlen bolygónak kellene lenni. Az Uránusz felfedezését követően egyre több csillagász kezdett foglalkozni a Titius – Bode – szabályt használva az ismeretlen bolygó keresésével. A XIX. század első napján, 1801. január 1-én Giuseppe Piazzi (1746 - 1826) olasz csillagász, matematikus, teológus fedezte fel az első kisbolygót, a Cerest, miközben más égitest után kutatott. Először üstökösnek vélte, de többszöri megfigyelés és pályaszámítás után jött rá, hogy mi is valójában. Nevét Ceres istennő után kapta, aki a vetés, az aratás és az anyai szeretet istennője volt a római mitológiában. Érdekesség, hogy az ezredikként felfedezett kisbolygó, az 1000 Piazzia az első kisbolygó felfedezője Piazzi után kapta a nevét. A Ceres felfedezése után Olbers felfedezte a Pallast és a Vestát, majd pedig Harding a Júnót. 1807 után 38 éven keresztül egyetlen kisbolygót sem fedeztek fel a csillagászok, ezért azt gondolták, hogy csupán ez a négy aszteroida létezik. Miután 1845-ben Hencke felfedezte az ötödik kisbolygót szinte minden évben fedeztek fel újabbat. A kisbolygók többsége pontszerű fényforrásnak tűnik, még komolyabb távcsővel vizsgálva is, ezek alól talán csak a Ceres, a Pallas és a Vesta a kivétel (3. ábra). Ezért nevezte el őket Herschel aszteroidáknak, ami annyit tesz csillagszerű. Mára az ismert aszteroidák száma meghaladja a 300000-et, közülük több mint 100000 névvel is el van látva és ezeknek a pályája is részletesen ismert.



4. ábra: Vízszintesen a pálya fél nagytengelye (cs.e.), függőlegesen a kisbolygók száma van ábrázolva

2.1. Keletkezésük

A kisbolygók lényegében apró égitestek, kőzetből és fémből álló tömör tömbök, melyek a Naprendszer közel öt milliárd évvel ezelőtti kialakulásának maradványai. Többségük a Mars és a Jupiter között kering a belső kisbolygó övezetben.

Hosszú időn keresztül a több keletkezési elmélet közül a legelfogadottabb az volt, hogy egy nagyobb bolygó a Phaeton széttört roncsai lehetnek. A szabálytalan alakjuk és hasonló pályájuk is erre utalt. Ez a magyarázat az aszteroidák jelenlétére manapság már nem állja meg a helyét.

Vannak olyan elképzelések is, amelyek szerint a Jupiter hatása miatt bekövetkező ütközések határozták meg a kisbolygók kialakulását. Az ütközések következtében rengeteg törmelékanyag keletkezett, de a nagyobb bolygók létrejöttét is az ütközések akadályozták meg.

2.2. Pályái

A kisbolygók a Naprendszer szinte teljes területén megtalálhatóak, de legnagyobb részben a Mars és Jupiter között keringenek (4. ábra). Legtöbbjük a Naptól átlagosan 2,2 - 4,5 csillagászati egység távolságban az úgynevezett főövben van jelen. Eloszlásukat a Jupiter hatalmas tömege miatt létrejövő zavaró hatás határozza meg, ezért egyes pályák szinte teljesen kiürülhetnek, ezek a rezonanciapályák vagy rezonanciaűrök. Vannak kisbolygók, amelyek a belső bolygók pályáján is belülré kerülhetnek. Ilyen földközeli kisbolygók például az Apollo - aszteroidák. Egyes kutatók ezeket kiegészített üstökös magoknak tartják, pályái hasonlítanak a rövid periódusú üstökösökhöz. A Trójai kisbolygók a Jupiter Nap körüli pályáján találhatóak, a bolygó előtt és mögött két csoportban, de a Kuiper - övezet a Neptunuszon túl helyezkednek el. A legismertebb Kuiper - objektum a Plútó, amely 2006 óta sorolható ide, korábban a Naprendszer kilencedik bolygójának tekintették. Elképzelhető, hogy a bolygók kisebb holdjai befogott kisbolygók is lehetnek.

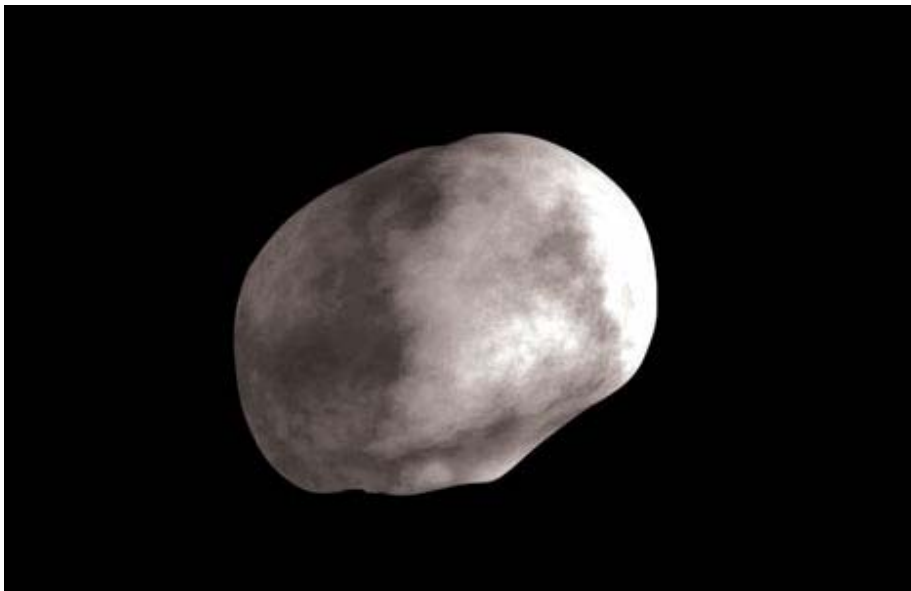
A főövben található és a földközeli kisbolygók pályasíkja nagyjából az ekliptika síkjával megegyezik. A Trójai kisbolygóké ettől akár 5 - 30 fokban is eltérhet, a külső Naprendszerben lévő kis égitestek, a Kuiper - objektumok esetében még nagyobb lehet ez az eltérés.

2.3. Felépítésük, összetételük

A kisbolygók felépítésének megállapításakor nagy segítséget jelentenek az egyszerű távcsövön kívül a színképelemzések, az űrszondák által szolgáltatott adatok és a Földön talált meteoritok. A kisbolygók szilikátokból, fémekből, bazaltból és ezek keverékéből épülnek fel, mely összetevőket a Földön is megtalálhatjuk. Az alapkőzetük sötét, melyben csillogó ásványi zárványok vannak. Az összetétel alapján történő csoportosítást a kisbolygók felszínét alkotó alapkőzet szerint tehetjük meg, fontos szerepet játszik még az albedó, a felszín fényvisszaverő képessége. A részletesebb osztályozáshoz szükség van jó néhány tényezőre, például a felszín életkorára, a hidrált kőzet jelenlétére, a por mennyiségére és különböző folyamatok meglétére.

A legtöbb kisbolygó az úgynevezett C típusba tartozik, melyeknek anyaga kondritos, hidrált szilikátok jellemzik. A Naptól 2,6 – 3,1 csillagászati egység távolságban keringenek, színüket illetően sötétek, szürkések.

A Földhöz közelebb találjuk a V típusú kisbolygókat, melyek fémekben gazdagok, kalciumban szegények, piroxént tartalmazó bazaltos égitestek. Ebbe a csoportba tartozik például a Vesta (5. ábra), amely a legnagyobb közülük, elképzelhető, hogy a többi V típusú kisbolygó annak töredéke, mert tulajdonságaik és a pályájuk is hasonló.



5. ábra
A Vesta kisbolygó

Az S típusú kisbolygók a Földhöz még közelebb helyezkednek el, ezek szilikátokban gazdagok, ilyen például az Eunomia. Az összetevőik között az olivin, piroxén és vas – nikkell-ötvözetek a jellemzőek, de találhatunk nagyobb sziklát, regolitot és port is a felszínükön. Az S típusúhoz hasonló meteort még nem találtak a Földön, ez arra utalhat, hogy az ebbe a csoportba tartozó kisbolygók felszínét több tényező is erősen módosította. Ilyenek például az apróbb részecskék, por becsapódása és a Nap hatása.

Az M típusú kisbolygók fő alkotórésze a vas – nikkell-ötvözet, ez meglehetősen kevés aszteroidát jellemez. Ilyen például a Psyche.

Az E típusúhoz tartozik a Nysa és a Hungária család többsége, melyek fényes, szürkés valószínűleg fémszegény anyagból, enstatitból állnak. Jellegzetes tulajdonságuk a nagy fényvisszaverő képesség.

Az A típusú kisbolygók olivint tartalmaznak, ilyenek például a Ninetta és az Aeternitas. További csoportosításra a fémtartalom következményeként az albedó alapján van lehetőség.

A Trójai kisbolygók eltérnek a főövbeliektől, mert alacsony albedó, eltérő spektrum és méreteloszlás jellemzi őket. Helyenként óriás üstökösök emlékeztetnek. Köztük a D típusú a jellemző, melyek az előző tulajdonságok mellett még szerves molekulákat tartalmazó jeges felszínnel is rendelkeznek. Ezek a kisbolygók tekinthetők leginkább ősinek, de át is alakulhatnak C típusú, tehát kondritos, vagy M típusú, fémes kisbolygókká.



6. ábra

A jellegzetes alakú Itokawa aszteroida

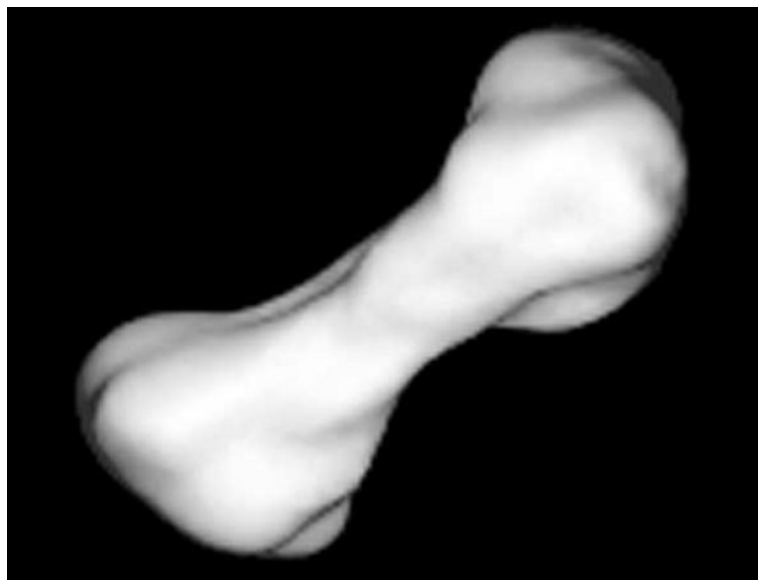
2.4. Méreteik

Össztömegük körülbelül a Mars tömegével egyezik meg, azaz a Föld tömegének nyolcada. A legnagyobb méretű aszteroida a Ceres, 1000 kilométer átmérőjű, a Vesta 500 kilométeres, de a legtöbbjük csak néhány kilométeres vagy éppen méteres nagyságrendű. A nagyobbak alakja inkább gömbhöz hasonlít, a kisebbek általában szabálytalan sziklák.

Tengelyforgást végeznek, melyet az ütközéseknek köszönhetnek. A kisméretűek gyorsabban, a nagyobbak lassabban forognak. De azokat a nagyméretű kisbolygókat, amelyeket az ütközések nem tudtak széttörni gyorsabb forgás jellemez.

A kisebb méretű kisbolygók szabálytalan alakjára utal a keletkezési elméletük is, mely szerint egy nagyobb égitest szét darabolódásával keletkeztek. Ennek a széthullásnak a következménye lehet az egyes kisbolygócsoportok az úgynevezett kisbolygócsaládok kialakulása is.

Alakjuk az ütközések miatt rendkívül változatos, nemcsak széttöredezésre, hanem összetapadásra is van példa. Jó néhány különleges alakzatnak még fantáziánévet is adtak. De egyéb jellegzetességek is megfigyelhetők, például a Kleopátra nevű kisbolygó kutyacsontra emlékeztet (7. ábra), elképzelhető, hogy ütközés során összetapadt két aszteroidából származik. Az Itokawa kisbolygó alakja krumpli formájú (6. ábra), az S típusba sorolható.



7. ábra

A Kleopátra kisbolygó kutyacsontra emlékeztet

2.5. Becsapódások

Nap, mint nap lehet a híradásokban, olyat hallani, hogy kisbolygó keresztezi a Föld pályáját és akár ütközhet is a bolygónkkal. Egy esetleges becsapódásnak azonban rendkívül kicsi az esélye. Néhány szempontot kell figyelembe venni, a becsapódások gyakoriságát és a várható pusztítás mértékét és következményeit. A nagy sebességgel érkező kisbolygó becsapódásakor a mozgási energiája hőenergiává alakul át, amin keresztül munkát végez. A Föld közelébe érve a légkör sűrűsödése miatt veszít a sebességéből és izzani kezd, de elképzelhető, hogy több darabra is hullik. A felszín elérve a maradék energiája a hirtelen ütközés hatására fölszabadul, melyet robbanás kísér. A kinetikus energia egyszerűen számolható, ha ismerjük a kisbolygó sebességét és tömegét.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

A kisbolygó pályájának ismeretében a sebesség kiszámolható, viszont a tömeg meghatározása már komolyabb fejtörést okoz a tudósoknak. Az aszteroidák tömege a méret, tehát a térfogat és az átlagsűrűség segítségével elvileg meghatározható lenne, azonban ez nem ilyen egyszerű. Egy pontatlan feltételezés sokszoros számítási hibát okozhat. Így a pusztítás mértéke is bizonytalan.

Földünk története során rengeteg becsapódást el már át, a legutóbbira egy évszázada került sor. 1908-ban hatalmas robbanás rázta meg az Oroszországban, Szibéria egy távoli zugában található Tunguzkát. A szemtanúk egy tüzes farkú repülő csillagról számoltak be, az ég megnyílt és a Napnál fényesebb tűz zúdult a Földre. Egy 60 méter átmérőjű kisbolygó volt, amely akkora sebességgel ütközött a Föld légkörébe, hogy ütközben darabokra hullott a sűrűsödéstől. Nem érte el a Föld felszínét, hanem attól nyolc kilométerre robbant fel hatalmas erővel, napokra beragyogta a légkört, Európában éjszaka is olvasni lehetett a fényénél. Az úgynevezett tunguzkai robbanás következtében nem jött létre becsapódási kráter, de a sokmillió fából álló erdőt viszont 40 kilométer átmérőjű területen letarolta. A pusztítás szerencsére teljesen lakatlan területen történt a mai Oroszország területén. Ha mindez egy nagyváros közelében történik, akkor végzett volna a lakossággal a becsapódási hely környezetében. A csillagászok szemében a Tunguzka olyan eset, melyet éppen hogy megúsztunk, viszonylag kisebb erejű, globális katasztrófát nem okozhatott volna.

1989. március 23-án, egy 800 méteres kisbolygó keresztezte a Föld pályáját, csupán hat órával a kék bolygó elhaladása után érkezett. Ez ahhoz hasonlítható, hogy két repülőgép

csupán másodpercekkel kerüli el az ütközést. Az egész emberiségnek lehet félnivalója, mert akár el is találhatta volna a Földet.

2002. június 14-én egy egész város elpusztításához is elegendő nagy aszteroida közeledett, melyet a Föld egyetlen teleszkópja sem észlelhetett. A 2002MN kisbolygó a Nap mögül bukkant elő és puskalövedéknél is nagyobb sebességgel száguldott a Föld felé. A Föld Hold távolság kevesebb, mint harmadával suhant el mellettünk, ami meglehetősen közelinek mondható. Senki sem látta csak három nappal később az éjszakai égbolton távolodva, míg ki nem lépett a Föld árnyékából. Az a lehetőség, hogy egy aszteroida csapódik a Földbe nagyon is valós és tudjuk, hogy a történelem során már sokszor megtörtént. A Holdon látható kráterek (8. ábra) tanúsítják, hogy milyen becsapódásoknak volt kitéve a Föld is. Az is tény, hogy ritka esemény, különös vészhelyzet, hiszen kicsi az esély, hogy egy adott évben bekövetkezik. Amikor viszont sor kerül rá, elsöpörheti a civilizációt. Ezek a kozmikus lövedékek a Marson túlról a fő kisbolygó övből származnak, ez a Nap körül keringő törmelék gyűréje. A szikladarabok egymástól távol száguldanak nagy sebességgel, méretük a kavicsétól a Mount Everestéig terjed. A Jupiter roppant tömegvonzása letérít egyet - egyet a pályájáról, így az egy másik kisbolygónak ütközik. Néhányan új pályára állnak, amely keresztezi a Marsét, a Földét, a Vénuszét vagy a Merkúrét is. A 2002MN egy viszonylag kisméretű aszteroida, körülbelül 50 – 100 méter átmérőjű, nagyjából akkora, mint a tunguszkai esetnél felrobbant kisbolygó.



8. ábra

Kráterek a Holdon

Milyen lenne egy igazán katasztrofális ütközés?

Egy közepes, tehát százméteres nagyságrendű kisbolygó becsapódása a szárazföldre nagy erejű lökéshullámot indít el, melynek következményként a megolvad, és végül kráter keletkezik a robbanás hatására. Viszont nagyobb az esély arra, hogy óceánba csapódik az aszteroida. Ebben az esetben a robbanás hatására cunami keletkezik, amely több méter magas, nagy sebességű hullámot indít el. A cunami óriási pusztítással és rengeteg halálos áldozattal jár, így történt ez 2004-ben Délkelet-Ázsiában is. Viszont még csak lokálisak a következmények egy ilyen közepes méretű kisbolygó becsapódásakor.

Egy 1 kilométernél nagyobb test becsapódása már az egész bolygóra kiterjedő pusztítással jár. Ilyen esetben több tíz, sőt száz kilométeres kráter is keletkezik és a hatalmas robbanás következtében fölszabaduló por és gáz elborítja a légkört. Ennek hatására klimatikus változások jönnek létre, amely savas esővel, heves esőzésekkel jár. A robbanás földrengéseket is kelthet, amely rengeteg ember halálát okozhatja. Az ilyen hatalmas pusztításra képes 1 kilométernél nagyobb aszteroidák számát több mint 900-ra becsülik a tudósok.

3. Üstökösök

A kis égitestek közé tartoznak a kisbolygók mellett a Naprendszer vándorai az üstökösök. Az emberiség az üstökösöket jóval korábban ismerte, mint a kisbolygókat, mert a Naphoz közeledve a nagyobbak szabad szemmel is jól láthatók. Észlelésük is sokkal könnyebb, hiszen az égbolt csillagai között kezdetben csak távcsővel megfigyelhető ködszerű folt egyre fényesebbé válik. Majd teljesen kivehető lesz az üstökös három fő alkotórésze: a mag, a kóma és a csóva. A történelem során az üstökösök érkezése legtöbb esetben félelmet váltott ki az emberekből, nem is alaptalanul. Bizonyos népek szóhasználatában a halál hírnökeinek tartották őket. Az üstökösök az égbolt leggyorsabban és legfeltűnőbbben változó jelenségei közé tartoznak, érthető, hogy a heteken át látható hosszú csóvájuk riadalmat okozott. A kezdeti félelmet az idő előrehaladtával egyre inkább az érdeklődés váltotta fel és egyre többen kezdték el vizsgálni az üstökösöket.

Már az ókorban is néhány gondolkodó megpróbált ésszerű magyarázatot adni az üstökösök jelenlétére. Arisztotelész az eget tökéletesnek és változatlanul tartotta, nem talált helyet rajta változékony, időszakos dolgoknak. A Föld légkörének magasabb részeiben elhelyezkedő égő gázoknak tulajdonította őket, tehát légköri jelenségnek. Giotto (1267 - 1337) Padovában a Scrovegni kápolna egyik freskóján a betlehemi csillagként ábrázolja a Halley üstökösöt, konkrét megfigyelés alapján (9. ábra).



9. ábra

A Halley 1301-ben történő ábrázolása

Regiomontanus (1436 - 1476) német csillagász egy 1473-ban feltűnő üstökös helyzetét naponta feljegyezte.

Petrus Apianus (1495 - 1552) német csillagász 1540-ben kiadott könyvében öt különböző üstökösöt írt le, és megemlíti azt a megfigyelést, hogy a csóva mindig a Nappal ellentétes irányba mutat.

Tycho de Brahe (1546 – 1601) dán csillagász 1577-ben egy üstökös parallaxisát próbálta mérni, sikertelenül. A Holdét viszont sikerült megmérnie, ebből arra következtetett, hogy az üstökös jóval messzebb van.

Johannes Kepler (1571 – 1630) német fizikus, matematikus, csillagász neve két szempontból említendő meg. Egyrészt a távcső miatt, másrészt a bolygók mozgására vonatkozó három törvénye kapcsán, melyekről már a csillagászat története című részben írtam.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

(Kepler III. törvénye)

Sir Isaac Newton (1643 – 1727) angol fizikus, csillagász gravitációs törvényének ismerete után egyértelműnek tűnt, hogy az üstökösökre is alkalmazható lesz, mint a világegyetemben lévő összes objektumra. Tehát az üstökösökre is hat a Nap gravitációs ereje, ezért a Nap körül keringenek. Az eltérést csak az jelentette a bolygókhoz képest, hogy az üstökösök pályái jóval eltérőbbek voltak.

Edmund Halley (1656 - 1742) angol tudós, Newton barátja oldotta meg a problémát. Miután áttanulmányozta az üstökösökről szóló korábbi feljegyzéseket rájött, hogy az 1456-ban, 1531-ben és 1607-ben megfigyelt objektum ugyanazt az utat járta be az égbolton, mint az 1682-ben általa is vizsgált üstökös. Megállapította, hogy 1758-ban vissza fog térni, nem tévedett sokat, mert az 1759-es év elején megjelent a bizonyos üstökös. Halley forradalmi felfedezése sokat eloszlalt az üstökösöket övező több évszázados homályból.

Bizonyos elképzelések szerint a Naprendszer kialakulásakor egyes porcsomók a leendő üstökösök nem tapadtak össze és nem tömörödtek bolygókká, több mint egymilliárd sodródott lassan a Neptunuszon túli területre az Kuiper-övezetbe. További trilliók a szomszédos csillagig tartó út egy részét is megtették, az Oort-felhő nevű ködszerű képződményig. Az óriásbolygók például a Jupiter tömegvonzása által kifelé hajítva rendkívül sokféle ellipszis pályára álltak rá. A Kuiper-övezetben összegyűlt üstökösök egy korong mentén oszlanak el, az ezerszer távolabbi Oort-felhőben viszont valóban felhőbe tömörülnek. Az égitestek pályája a tér bármely síkjába eshet, a Naprendszer legtávolabbi

pereméről származnak. A csillagászok 1992-ig nem ismerték fel a Kuiper-övezet létezését habár az a Naprendszerünk része. A Kuiper – övezetre esik a belső Naprendszert érintő 3-200 évig terjedő keringési idejű legstabilabb üstökös pályák legkülső szakasza. A legközismertebb a Halley (10. ábra), 76 évenként tér vissza. A kutatóknak mégis a két fényévnyire kiterjedő másik régió az Oort-felhő okozta a legtöbb fejtörést. A tudósok szerint egy váratlan zavar például egy csillag gravitációs mezejének megváltozása kilökhethet egy üstökösöt a felhőből. Ez azután a mi Napunk tömegvonzásának hatására megkezdheti a Naprendszer közepe felé tartó sok ezer éves útját. Nem lehet megjósolni ezeknek az üstökösöknek a felbukkanását, bármilyen irányból érkehetnek. Lehet, hogy az egyik éppen a Föld felé tart. A törékeny fagyos vándorok számára a Naprendszer közepére tett utazás tele van veszéllyel. Néhányan elveszítik jégtartalmukat, a Nap hőjének hatására távoznak belőlük a gázok és eltűnnek szem elől. Valamelyik darabokra hullik, amikor a Nap megolvasztja az őket összetartó jeget, a töredékeik tovább keringenek a Nap körül és meteorrajként vagy hullócsillagként látjuk viszont őket. Egyes üstökösöket magához vonz a Jupiter roppant gravitációs tere, az óriásbolygó parittyaként hajítja ki őket a Naprendszerből. Mások viszont egyenesen nekiütköznek egy másik égitestnek.



10. ábra
A Halley üstökös

3.1. Pályái

Az üstökösök a Naprendszer többi bolygójához és a kisbolygókhoz hasonlóan ellipszis alakú pályán keringenek a központi csillag a Nap körül. A többségük viszont erősen elnyúlt, excentrikus ellipszis pályán halad. A pálya perihéliumában 1 csillagászati egység távolságra, azaz Nap - Föld távolságra is megközelíthetik a Napot, aféliumban pedig a legtöbbjük a Plútónál is messzebbre kerül.

Az üstökösök pályasíkja a bolygók pályasíkjától akár jelentősen is eltérhet. A keringési idejük általában pontosnak mondhatók. A Jupiter zavaró hatása miatt az üstökőspályák azonban változhatnak, 50 - 60 csillagászati egység távolságban például egy üstökőcsoport található.

Az üstökösök keringési periódusuk és pályáik alapján csoportosíthatók.

- A rövidperiódusúak keringési ideje néhány évtized, például az Encke vagy a Halley. Az ilyen üstökőspályák esetében $e \leq 0,96$.
- A hosszúperiódusúak 200 évnél nagyobb keringési idővel rendelkeznek, de tízezer éves nagyságrendű is lehet. A pályát illetően $0,96 \leq e \leq 1$, ilyen például a Hale-Bopp vagy a Hyakutake üstökös.

3.2. Felépítésük

Az üstökösök három fő részből állnak. Csaknem a teljes tömeget magába foglaló magból, a magot körülvevő ködszerű burokból, a kómából és a hosszan elnyúló gáz és por alkotta csóvából.

A mag az üstökös egyetlen állandó jellegű része, de az időlegesen látható kóma és a csóva anyaga is a magból származik. A mag méretei kozmikus értelemben rendkívül kicsinek mondhatók, hiszen átmérője 10 kilométer körülire tehető. Tömege is kicsinek tekinthető, hiszen egyetlen égitest mozgására sem gyakorol perturbáló hatást, de a nagyobb bolygók jelentősen befolyásolhatják pályáját. Az üstökösök magjáról lényegesen több információt tudunk meg az űrszondáknak köszönhetően és meglepően nagy eltérés mutatkozott közöttük szerkezetüket illetően. A Borrelly üstökös magja kutyacsont alakú, elképzelhető, hogy összetapadással vált ilyenné. A Wild 2 üstökös magját mély kráterek borítják, ez porózus szerkezetre utal. A Stardust űrszonda felvételei alapján a magja egymáshoz lazán kötődő sóderkupacokra hasonlít. A Tempel 1 felszínén is található kráterek, de ezek porsivatagszerű sima területek. A Jupiter hatására széteső Schoemaker-

Levy-9 üstökös példája is arra utal, hogy az üstökösök magja több alkotórészből áll és közöttük elég gyenge a kapcsolat. Sőt az üstökösökről leváló darabok anyagi összetétele is más és más lehet. Az üstökösök rendkívül alacsony sűrűsége (500 kg/m^3 - 700 kg/m^3) is a söderkupac elméletet támasztja alá. Ez jóval kisebb érték akár a jég, akár a kőzetalkotók sűrűségénél. A porózus szerkezet mellett szól a Deep Impact űrszonda által felszórt anyag is, amely szintén aprószemű por. Az üstökösök részletesebb megismeréséhez még rengeteg kísérlet és megfigyelés szükséges az elkövetkező évtizedekben.

A kóma, amely por és elpárolgott jég keveréke teljesen körülveszi az üstökös magját. A kóma átmérője általában néhány tízezer és százezer kilométer közöttre tehető, tehát sokszorosa a mag átmérőjének. Ilyenkor kezd el az üstökös fényleni, mert nagyobb lesz a felülete és több napfényt képes visszaverni. A magot és a kómát együttesen szokták az üstökös fejének nevezni.

A csóva az üstökös leglátványosabb és legnagyobb része, amelynek sűrűsége rendkívül kicsi mindössze $1 - 10 \text{ molekula/cm}^3$. A csóva átlagos hossza $10 - 20$ millió kilométer, de léteznek ennél jóval hosszabbak is. Például a Donáti üstökös esetében 1882-ben 900 kilométeres csóvát mértek. Az üstökös csóvája a magból származó gáz és porrészecskékből áll. Ennek megfelelően lehet gázcsóva és porcsóva. A gázcsóva alakja egyenes, a Nappal ellentétes irányba helyezkedik el. Szokás ioncsóvának is nevezni, mert ionizált gázok biztosítják a fényét. A porcsóva anyagát a kómából áramló gázok és apró porrészecskék alkotják. Alakja görbült, színe azért sárgás, mert a Nap fényét veri vissza, iránya szintén a Nappal ellentétes. A Hale-Bopp üstökös például igen látványos kettős csóvával rendelkezik (11. ábra). A kutatók megfigyeltek már úgynevezett ellencsóvát is, amely a Nap felé mutat.



11. ábra

A Hale-Bopp üstökös jellegzetes csóvája

3.3. Működésük

Az üstökösök összetételére és felépítésére vonatkozóan a Whipple által 1950-ben kidolgozott „piszkos hógolyó” elmélet volt a legelfogadottabb. Mely szerint a mag jégbe ágyazott apró meteoridarabokból áll és a vízjég szublimációja hozza létre a kómát és a csóvát. Naptávolban gyakorlatilag szinte egyáltalán nem tapasztalható ez a jelenség. A szublimáció a halmazállapot - változásoknak az a fajtája, amely során szilárd halmaállapotú anyagból légnemű lesz. Napközelpben kezdődik az anyag párolgása, melynek következménye a kóma és a csóva látványos jelenségének létrejötte. A magból kipárolgó gázt a Nap sugárnyomása és mágneses tere a Nappal ellentétes oldalra taszítja. Minden egyes Nap körüli forduló után az üstökösök veszítenek anyagukból.

Az üstökösök összetételéről és működéséről a Deep Impact űrszonda szolgáltatott új információkat. 2005-ben a NASA hat év kutatás és előkészítés után felkészült a nagy kísérletre, azaz egy űrjárművet irányítanak egy üstökös felé. A Tempel 1 nevű kométa lett a kiválasztott, melyet 1867-ben fedeztek fel a csillagászok. Ez a hat kilométeres üstökös 5,5 évente kerüli meg a Napot, a gáz és jégkészletének nagy részét már elveszítette. A Deep Impact szonda öt hónap alatt érte el a Tempel 1 pályáját és 2005. július 2-án 860000 kilométerre megközelítette. Majd kilőtte a 600 kilogramm tömegű becsapódó egységet, amely 37000km/h sebességgel csapódott az üstökös magjába. Az előzetes számítások szerint 200 méter széles és 30 méter mély lyukat kellett ütnie az üstökösön, körülbelül akkorát, mint a Római Colosseum. Ennek az ütközésnek megvolt a kockázata, mivel előzetesen keveset lehetett tudni a Tempel 1 magjáról. Elképzelhető volt, hogy csak egy rendkívül keskeny kráter keletkezik, de a nagy sebességű ütközés hatására az üstökös akár darabjaira is hullhatott volna. A kísérlet jól sikerült, az ütközés kiszórta a felszín alatti anyagot, amely láthatóvá vált a Nap fényében.

A Deep Impact-nek a Tempel 1 üstökösbe történő becsapódási energiája könnyedén kiszámolható, ha ismerjük az űrszonda tömegét és sebességét.

$$m=600\text{kg}$$

$$v=37000\text{km/h}=10278\text{m/s}$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 600\text{kg} \cdot (10278\text{m/s})^2 = 31691185200\text{J} \approx 31,7\text{GJ}$$

A robbanás óriási volt, 4,5 tonna TNT erejével egyenértékű. A becsapódó jármű a vártnál több port szórt fel, ez azzal magyarázható, hogy a porszemcsék kisebbek és lazább szerkezetűek voltak a vártnál. A por mennyisége sokat elárult az üstökös összetételéről. A Tempel 1 legalább is a felszínén sokkal kevesebb jeget tartalmazott, mint amire a kutatók számítottak. Szó sem lehetett nagy jég vagy sziklatömbökről. A por elemzése széntartalmú molekulákat, vagyis szerves anyagot mutatott ki, elképzelhető, hogy az ilyen anyagokat üstökösök jutatták a Földre a kezdet kezdetén. A további vizsgálatok elvégzésére újabb űrrepülést terveznek, 2010-ben a NASA átprogramozza a Stardust űrszondát, hogy visszatér a Tempel 1-hez. Megvizsgálja a keletkezett krátert és megnézi, hogy mi történt az üstökös felszínével és a többi részével a becsapódáskor.



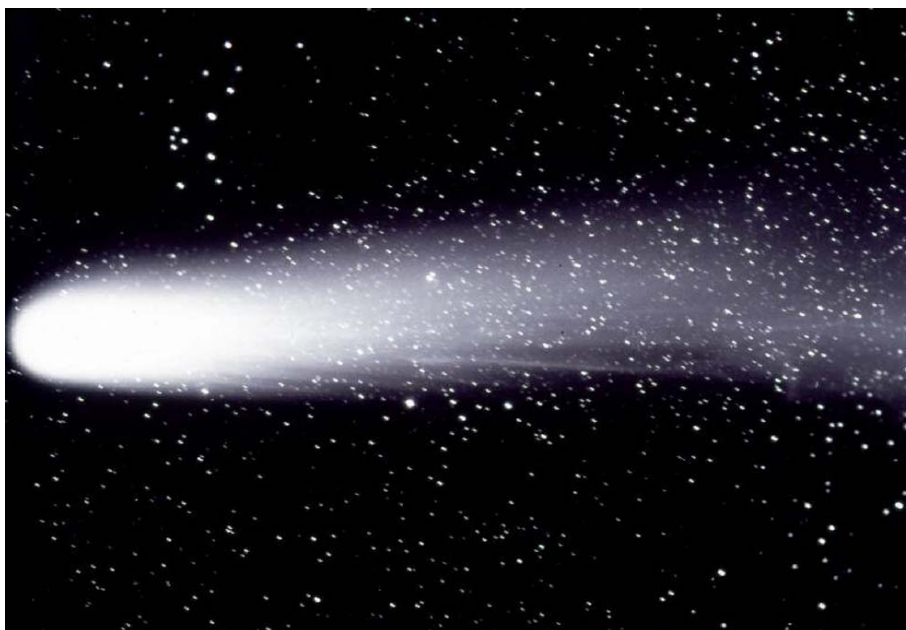
12. ábra

A Halley a nándorfehérvári diadal egyik ábrázolásán

3.4. A Halley üstökös

Az üstökösök közül a legnépszerűbb és legismertebb a Halley üstökös, amely minden üstököshöz hasonlóan az Oort-felhőből származik. Nevét felfedezője Edmund Halley angol tudós után kapta. Jelentősége az, hogy felismerte a korábban feljegyzett üstökös 1456-ból, 1531-ből, 1607-ből egy és ugyanaz. Megjósolta a következő visszatérését 1758-ra, ezzel nem is tévedett sokat, mert az 1759-es év elején jelent meg az égbolton a bizonyos üstökös, felfedezése mér földkőnek számított az üstökösök megismerését jelentő hosszú út során. A Halley egy rövid periódusú üstökös, amely átlagosan 76 évente tér vissza, illetve járja be Nap körüli ellipszis pályáját. Visszatérése legtöbbször riadalmat keltett az emberek körében, több pusztító eseményt, katasztrófát tulajdonítottak az üstökös érkezésének. Gondoljunk csak az első világháború kitörésére 1914-ben, előtte négy évvel látták az üstökösöt, vagy a Nándorfehérvári ütközetre 1456-ban, melyet meg is örökítettek (12. ábra). Valójában nincs összefüggés, hiszen tudjuk, hogy az emberi fantázia hajlamos összekötni eseményeket szokatlan, újonnan érkező dolgokkal. A Halley az ismert üstökösök közül az egyik legfényesebb és leglátványosabb, talán ezért is került ennyire a figyelem középpontjába. Legutoljára 1986-ban láthattuk földközeli (13. ábra), a következő visszatérésére pedig 2061-ig kell várni. Az emberiség a nyolcvanas évek közepén már rendelkezett a megfelelő tudományos és technikai ismeretekkel és eszközökkel, hogy alaposan tanulmányozhassa a Halley-t. A NASA, a volt Szovjetunió, Japán és az Európai Űrügynökség is külön űrszondát bocsátott fel 1986-ban. A megfigyelésekből és mérésekből rengeteg hasznos információt, ismeretet szereztünk a Halleyről és az üstökösökről általában. Elsősorban a Giotto űrszonda szolgáltat sok adattal, amely 570 kilométerre megközelítette a Halley üstökösöt. Az üstökös szilárd maggal rendelkezik, amely egy 16x8x6 kilométeres jég, kőtömb, melyet 100 méter vastag sötét porburok borít. Felszínének nagy része, 90%-a fagyott víz, a csóvája vízgőzt, port és gázt tartalmaz. A Naptól távol fagyottan, fény és csóva nélkül kering, szürkén és észrevétlenül. Viszont, ha napközelibe ér megindul az anyagkibocsátása, kezdetben 12 tonna/másodperc, majd a Naphoz közeledve 70 tonna/másodperc értéket jelent. A Nappal ellentétes irányba mutató csóvája a távolodáskor egyre kisebb lesz, majd teljesen leáll igen látványos működése. Pályáját illetően aféliumban 35,1 csillagászati egység, perihéliumban 0,586 csillagászati egység távolságra van a Naptól, tehát körülbelül fele annyira közelíti meg, mint a Föld Nap távolság. A Halley – üstökös manapság már alig halad túl a Neptunusz pályáján, de pont a Neptunusz volt az a bolygó, amely megváltoztatta az üstökös pályáját.

Így nem millió évente, hanem 76 évente tér vissza a Nap közelébe. A Halley üstökös kutatásának magyar vonatkozása is volt, mert a Giotto űrszondán magyar fejlesztésű műszerek is voltak. Négy fedélzeti tudományos műszer építésében vettek részt magyar tudósok. Valamint a szovjet mérnökökkel közösen ők építették az űrszonda központi adatgyűjtő és rendező egységét, az általuk készített berendezések nagyon megbízhatóan működtek. A Halley annyira népszerű, hogy bélyegeken is megjelenik, így a 14. ábrán látható ausztrál bélyegen is, de a Magyar Posta is adott ki sorozatot a kométa 1986-os érkezésére.



13. ábra

A Halley üstökös 1986-ban

14. ábra

Az ausztrál bélyeg témáját a Halley üstökös szolgáltatta

3.5. **Becsapódások**

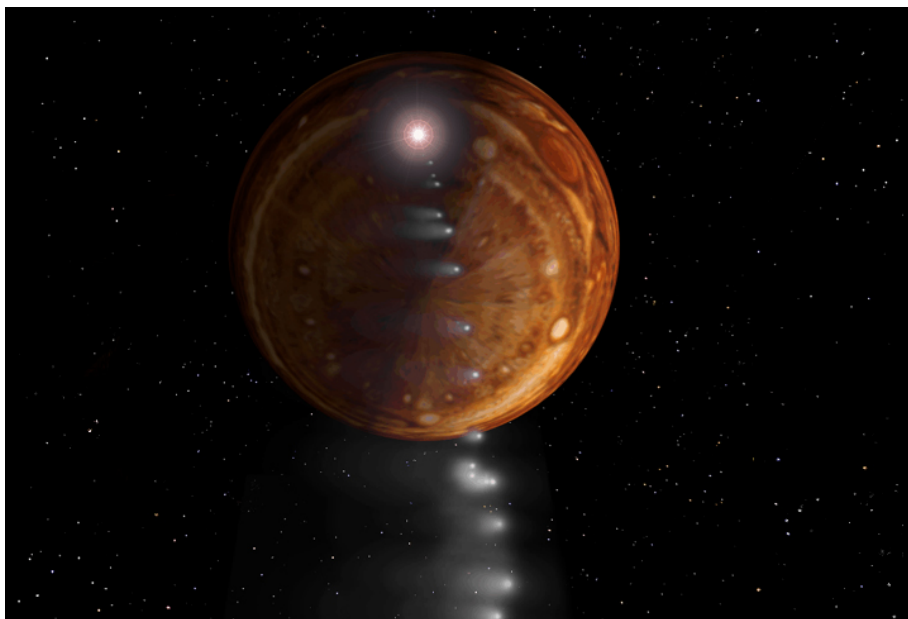
Amikor elképzelünk egy üstököst, akkor az égbolt egyik leglátványosabb jelenségére gondolunk. A többségük ártalmatlanul kerüli meg a Napot, de vannak, amelyek elkerülhetetlenül összeütközhetnek a többi égitesttel, akár a Földdel is. A több mint 40000 km/h sebességgel száguldó apró vándorok is félelmetes pusztításra képesek. Így történt Arizona sivatagjában is több mint 50000 évvel ezelőtt. Az óriási csaknem 20 méter átmérőjű szikla 1,5 kilométer átmérőjű 230 méter mély krátert hagyott maga után. Kozmikus léptékkal viszonylag kis ütközés történt. Ha ugyanaz a kőtömb ma érne földet Arizonában alig néhány kilométerrel távolabb, elpusztítana egy egész várost is, annak teljes lakosságával.

Egy még nagyobb ütközés mondjuk egy 1,5 kilométer átmérőjű vagy még nagyobb űrből érkező testel az egész bolygóra végzetes lehetne. Egy üstökös becsapódása annyi embert ölne meg és olyan hatásokkal járna, hogy teljes katasztrófát is jelenthetne az emberiség számára. A tudomány mai álláspontja szerint 60 millió évvel ezelőtt egyetlen űrből jött csapás járult hozzá a dinoszauruszok kipusztulásához. Egy mintegy 10 kilométer átmérőjű üstökös vagy aszteroida csapódott be a Yucatan - félszigeten. Csaknem 200 kilométer átmérőjű és 30 kilométer mély krátert ütött kevesebb min egy másodperc alatt. A robbanás ereje nagyobb volt, mint a világ összes nukleáris fegyvere együtt véve. A lökéshullámok bolygó szerte földrengéseket váltottak ki és szökőárakat keltettek. A becsapódás után kialakult hatalmas porfelhő sok kilométer magasra emelkedett és évekre elzárta a napfény útját. A dinoszauruszok lassan kihaltak és mellettük a földi fajoknak több mint a fele pusztult ki. Naprendszerünkben kétféle kozmikus lövedék képes bolygóméretű pusztítást végezni, a kisbolygók és az üstökösök.

1994-ben sokatmondó bemutatót kaphattunk, amikor is egy üstökös zuhant a Jupiterbe. Alig több mint egy évvel korábban észlelték a Shoemaker-Levy 9-et, miközben az üstökös a Naprendszer peremétől a Nap felé haladt pályáján, közel került a Jupiterhez. A Jupiter a Naprendszer legnagyobb bolygója, tömege körülbelül 318-szor nagyobb a Föld tömegénél gravitációja rendkívül erős. Miközben az üstökös elhaladt mellette az óriásbolygó eltérítette eredeti pályájáról. Ekkor az üstökös kezdett széttöredezni, a kisebb, három kilométeres darabok nem tudtak ellenállni a Jupiter hatalmas vonzásának. A kométa darabjai 1994. július 16-án kezdtek az óriásbolygó légkörébe zuhanni több mint 150000 km/h sebességgel. Ha valaki kétségbe vonta, hogy egy üstökös képes eltalálni a bolygókat, az most megláthatta. A Shoemaker-Levy 9 üstökös darabjai egyesével csapódtak bele az

óriásbolygóba (15. ábra). A látványos jelenséget a Földről is meg lehetett figyelni. A robbanások hatalmasak voltak, minden becsapódás több 1000 kilométerre szórta fel az anyagot a Jupiter légkörében. Óriási sebhelyeket hagytak a gázóriás képén, némelyik nagyobb volt, mint a Föld. Mit tehetne egy ilyen robbanásnak akár a töredéke itt a Földön? Egy nagyobb üstökös becsapódása nagyon pusztító hatással járna.

Az üstökösök közül sokan a Halley-hez hasonlóan kiszámítható pályán és szabályos periódussal keringenek a Nap körül. Van azonban jó néhány másik, amelyről nagyon keveset vagy semmit sem tudunk. Elképzelhetően nagy sebességgel több, mint 30000 km/h-val törnek elő az űrből. A világűrt fürkésző kutatók olyannak látják őket, mint egy darab szenet egy fekete vászon előtt, láthatatlanok, egészen addig, amíg közel nem érnek. Mivel az üstökösök csak a Nap közelében válnak könnyen észlelhetővé, ilyenkor már túl késő lenne, hogy megállítsuk őket. A mai napig több mint 1000 üstököst azonosítottak, minden évben körülbelül 100 olyan üstököst észlelnek, amelyet még sohasem láthattunk a Naprendszer belső részén. Minden újonnan érkezővel növekszik annak az esélye, hogy az egyik eltalálja a Földet. A Föld a Kozmosz lőterén bolyong, különféle méretű üstökösök és aszteroidák ütközhetnek bele. A nagyobbak mindenféleképpen valóságos veszélyt jelenthetnek számunkra. Csak idő kérdése, hogy egy üstökös a Földdel egy helyre kerüljön. Bolygó szerte hatalmas himlőhelyek tanúskodnak a múltbéli becsapódásokról. Az ilyen ütközések gyakoribbak lehetnek, mint amilyenek szívesen képzelnénk őket.



15. ábra

A Shoemaker-Levy 9 darabjai a Jupiterbe csapódnak (rajz)

1997-ben észrevétlenül és váratlanul egy üstökös került a belső Naprendszerbe. Két amatőr csillagász egy ismeretlen betolakodót észlelt a Jupiter közelében. A felfedezőjükről Hale-Bopp névre keresztelt látogató az Oort-felhőből érkezett, 5000 év óta először a Nap közelébe. A gyakran látott üstökösök alig különböznek az aszteroidáktól, a bennük lévő gázt és laza port már elvesztették a Nap körüli rendszeres fordulóik során. A Hale-Bopphoz hasonló az Oort-felhő mélyéről származó üstökösök sok kiszórható jéggel és porral rendelkeznek. Van bennük vízjég, széndioxidjég, vagyis szárazjég és szénmonoxidjég is, ezek sokkal illékonyabbak a víznél. A belső Naprendszerbe kerülve igen látványossá válnak. Szerencsére félelem nélkül lehetett csodálni a Hale-Bopp üstökösöt a napfényben, akadálytalanul suhant el a Földtől 200 millió kilométerre, valamivel távolabb, mint a Nap.

Egyes tudósok szerint a Föld 30 millió évenként átél egy olyan kozmikus pergőtűzet, amilyen a kialakulását segítette elő. Minden zápor a halál és az élet újabb ciklusát vezetheti be. Az elmélet a pusztítás és teremtés hindu istensége után a Shiva hipotézis nevet kapta. Egy adott időszakban az élet formái megfogyatkoznak, amit az élet robbanásszerű elterjedése követ. Az életben maradottak kitöltik a kihaltak által szabadon hagyott ökológiai hézagokat. A Shiva hipotézis szerint a ciklus mintegy 25 millió év múlva újra kezdődhet, amikor az újabb égi bombazápor bolygóméretű katasztrófája a fajok tömeges kihalását okozhatja. Az elképzelés ellentmondásos, a tudósok nagy része nem tekinti bizonyítottnak az ilyen záporok ismétlődését. Az előre jelezhetőségükről nem is beszélve, de az ilyen ismétlődő támadások okára is hiányzik a magyarázat.

Lehet, hogy sokan veszélyesnek és a halál hírnökeinek tartják az üstökösöket, viszont a tudomány szempontjából úgy kell rájuk tekintenünk, mint az élet, az újjászületés lehetséges eszközeire.

4. Meteorok, meteoritok

A legtöbben már láttak derült augusztusi éjszakán az égboltra felpillantva hullócsillagot felvillanni, majd eltűnni. A jelenség magyarázata csak a XVIII. század végén lett ténylegesen elfogadott. Mégpedig a Naprendszerben lévő apró testek, meteorok a Föld légkörébe jutnak. A meteorok vagy meteoroidok egy része a kisbolygók ütközéséből, másrészt üstökösök magokból származó törmelékek, melyek egyidősek a Naprendszer égitesteivel. A meteorok a Nap körül keringenek a többi objektumhoz hasonlóan és időnként keresztezik a Föld pályáját. Ilyenkor 45-65 km/s sebességgel a légkörbe érve lelassulnak, majd felizzanak. A felvillanás 120 - 130 kilométeres magasságban történik és legtöbbször nem éri el a földfelszínt. De vannak kivételek, például a mekkai Kábakő (16. ábra), amely szintén meteorit, az iszlám vallás szent köve. Ha a meteor eléri a felszínt, már meteoritnak nevezzük. A meteorhullás nem egyenletes jelenség, augusztus közepén a Perseidák, november derekán a Leonidák meteorraj kerül a Föld közelébe. A Perseidák meteorraj a Swift-Tuttle, a Leonidák meteorraj a Tempel-Tuttle üstökös törmeléke. A Földön talált meteoritokat három fő csoportba lehet sorolni: kő, vas és kő-vas meteoritok. A kőmeteoritok legfontosabb alkotórésze a szilikátok, melyek leglényegesebb alkotóelemeik a vas, a szilícium, a magnézium és az oxigén. A Földön talált meteoritok körülbelül negyede sorolható ebbe a csoportba. A vasmeteoritok elsősorban vasból és nikkeltől állnak, de előfordulhat bennük szén is. A fényes, csillogó felületük teszi őket felismerhetővé, a földi meteoritok több mint kétharmada ilyen. A kő-vas meteoritok fordulnak elő a legkisebb számban, alkotórészeik eltérően keverednek. A kábai meteorit szenes kondritokat tartalmazó kőmeteorit, tömege körülbelül három kilogramm. Jól láthatók rajta a légkörön történő súrlódás, felizzás nyomai.



16. ábra

A mekkai Kábakő az űrből származó meteorit

5. Védekezés

Az üstökösök és kisbolygók becsapódásának problémája azért különleges, mert az időjárástól, a földrengésektől vagy más természeti csapásoktól eltérően legalábbis elvben tehetünk ellenük. Kijelenthetjük, hogy ha kiderül, hogy az egyik felénk tart, akkor meglehetnek a technológiánk az elhárításra. A Föld geológiailag aktív, vannak vulkánok és a földrengések, a kontinensek vándorolnak, van eső, szél, viharok és hó. Mindezek elkoportatják a krátereket, azt a tévhitet ébresztve, hogy a Földet nem is éri olyan gyakran találat, mint a valóságban. Pedig elég, ha csak a Hold felszínére nézünk, és láthatjuk a kráterek száma alapján, hogy milyen gyakoriak a becsapódások.

1992-ben az Egyesült Államok kormánya programot indított az üstökösök és aszteroidák által a Földre jelentett veszély elemzésére és felmérésére. Ma a világ minden táján akadnak az aprólékos munkában részt vevő tudósok. Az égbolt egy adott területére irányítják a teleszkópjaikat és időnként felvételeket készítenek. A képeket sorba rakva olyan elemeket keresnek, melyek képkockáról képkockára elmozdulnak. Először a nagyobb aszteroidákat és üstökösöket kutatják fel, amelyeknek egy kilométer körüli az átmérője, végül áttérnek a kisebbekre. A kutatók szerint a Naprendszerünkben mintegy 1100 kilométeres nagyságrendű üstökös és aszteroida található, és ezek csupán a végítéletszerű pusztításra képes óriások. Talán sohasem leszünk képesek arra, hogy minden fenyegetést észleljünk, milliónyi százméteres kisbolygó és üstökös létezhet. Ezek háromszor akkora, mint az a szikla, amely 50000 éve csapódott be Arizonában (17. ábra).



17. ábra

Az arizonai Barringer kráter

Mégis a teleszkópok jelentik a bolygót fenyegető súlyos katasztrófával szembeni védelem első vonalát. Ha nem figyelünk, akkor nem tudhatjuk meg, hogy valami közeledik, ugyanolyan váratlanul fog bennünket érni minket, mint a dinoszauruszokat. A felmérés reményt ad arra, hogy legalább a figyelmeztetést megkapjuk, és évtizedekkel előre jelezhessük az esetleges veszélyt. A lényeg, hogy idejében észleljük őket, különben teljesen váratlanul érhet minket. Tegyük fel, hogy észleljük a Föld felé tartó üstökösöt, mit tehetünk ilyenkor? A kutatók kezdenek előállni a gondolataikkal. Az egyik legnépszerűbb ötlet, hogy lőjünk bele egy rakétát, amely lelassítja vagy letéríti a pályájáról. Ez azonban nehezebb feladat, mint amilyennek hangzik. Ha az üstökösök kemény jégtömbök lennének, ahogyan először gondoltuk, akkor megtenné egy rakétával mért kemény csapás. Egyes üstökösök azonban porózusak, úgy szívnanak mindent, amit bevetünk, mint a szivacs. A kutatók valami mást is szerettek volna megtudni a 2005-ös Deep Impact programtól, hogyan akadályozzuk meg, hogy egy üstökös eltalálja a Földet. Volt aki, úgy gondolta, hogy a Deep Impact enyhén módosítja majd a Tempel 1 pályáját (18. ábra), de az üstökös pontosan a korábbi pályán haladt tovább. A Deep Impact küldetés másodlagos célja egy terv kidolgozása volt egy esetleges becsapódás hatásainak mérséklésére. Tudjuk-e, hogy mit kell tennünk, ha egy a Föld felé tartó üstökös pályáját módosítani szeretnénk? Vajon elegendő tudással rendelkezünk mindezekhez? Az elégtelen eredmények dacára sokan még mindig a Deep Impact-et tartják a legjobb modellnek egy veszélyes üstökös megfékezésére. A megoldást egy nagyobb jármű jelentené, amely jóval erősebb csapást mér az üstökösre. Feltevések szerint az egyik lehetséges módszer, hogy az üstökös magjának egyszerűen nekiütöztetünk egy tárgyat, amely eltéríti az eredeti pályájáról. Ha ez kevésnek bizonyul, akkor újra és újra meg kell ismételni. Mások szerint sokkal radikálisabb módszerre lesz szükség, az egyik megoldás az lehet, hogy atomrobbantást kell végrehajtani az üstökös közelében, hogy más pályára terelődjön. Ez a javaslat ellentmondásos, hiszen nem ismerjük az űrben felszabadított sugárzás következményeit. Mások szerint le kell fűrnünk az üstökös belsejébe, hogy ott hajtsuk végre a robbantást. Ez azzal fenyeget, hogy egy test helyett sokat kaphatunk, a darabok ugyanazon a pályán haladnak tovább és a sörétes puska lövéséhez hasonlóan sokkal nagyobb területen végezhetnek pusztítást. Mások kevésbé erőszakos, de ugyanilyen érdekes megoldásokat javasoltak. Felvetették, hogy telepítsünk lézereket a Holdra, ahol nem téríti el őket a Föld légköre. A lézerek az üstökösre irányulnának és megolvasztanák az azt összetartó jeget. De akár rá is köthetünk egy űrhajót az üstökösre, hogy az félrevontassa az útból. Bármi legyen a megoldás az összes elképzelés csak a tervrajzokon létezik.

Ha egy üstökös célba vesz minket, akkor semmit sem tehetünk, még ha meg is állapítjuk, hogy valami felénk tart az űrből a védekezés eszközei még nem feltétlenül állnak rendelkezésünkre.



18. ábra

A Deep Impact éppen a Tempel 1 üstökösbe csapódik, jól láthatóan felszórja az anyagot

A Földet egy kisbolygóval vagy üstökössel eltalálni nem is olyan egyszerű feladat, mivel a Föld és a kis égitestek pályája egyaránt térben helyezkedik el és egymáshoz szögben hajlanak. A pályák lehetnek hasonlóak, de nem feltétlenül metszik egymást, de ha igen akkor is rendkívül csekély az esélye annak, hogy akár kisbolygó, akár üstökös adott időpillanatban egy pontban találkozzon a Földdel. A veszély valós, hiszen már a múltban sokszor bekövetkezett, de kicsi az ütközés valószínűsége. Amit tehetünk, hogy megpróbáljuk az összes olyan objektumot feltérképezni, amely a földi élet elpusztítására képes.

6. Kisbolygók és üstökösök a középiskolai oktatásban

A csillagászat témakör a középiskolai oktatásban a fizika és a földrajz tantárgy keretében is terítékre kerül. Az ember azt gondolná, hogy ez mennyire szerencsés helyzet, hogy kétféle tanórán is lehet a csillagászatról tanulni, tanítani. A helyzet sajnos általában nem ennyire rózsás, hiszen a reáltárgyak heti óraszámát az iskolák zömében minimálisra csökkentették. Így legtöbb esetben földrajzot csak egy évig heti két órában tanítanak, amely keretébe szűkösen fér bele a csillagászati földrajz témakör. De a fizikát illetően sem jobb a helyzet, mivel több helyen kilencedikben heti két óra, tizedik és tizenegyedik osztályban egy-egy a heti óraszám. Én úgy gondolom és tapasztalom, hogy a csillagászat az a téma, amely még a középiskolás korosztályt is érdekli. Például már kilencedik osztályban a bolygók mozgása című résznél a rendelkezésre álló egy óra helyett, ahol a Kepler törvények kerülnek terítékre én három-négy órát szoktam szánni. Szerintem érdemes az ismeretek átadása mellett vetíteni a Naprendszerrel és még jó néhány érdekes csillagászati jelenségről. Az érdeklődést az is bizonyítja, hogy a diákok gyűjtőmunkával és kiselőadásokkal szoktak készülni ezekre az órákra. A középiskolában az utolsó év utolsó témaköre a csillagászat, a tankönyvek többsége viszont csak néhány órában tárgyalja. Az általunk használt tankönyvcsalád csupán másfél órát szán csillagászatra, ez erősen elgondolkodtató. Fél órában a Nap energiatermelése, egy órában a Naprendszer, a Tejútrendszer és a galaxisok című anyagrészt tették terítékre.

Nekem az a véleményem, hogy mindenképpen szót kell ejteni olyan ismertekről, mint például:

- Az emberiség világszemléletének fejlődése, a csillagászat kialakulása
- A Föld alakja, mozgása és ennek következményei
- Naptárkészítés, időszámítás
- A Nap birodalma
- A Naprendszer felépítése, bolygók, kisbolygók, üstökösök
- Az Univerzum kialakulása, csillagok, csillagrendszerek
- Űrkutatás

Ez csak egy lehetőség, minimum hét új ismeretet feldolgozó órát jelent. Én még nem tanítottam utolsó évben fizikát, de feltétlenül időt fogok szánni ezeknek a jelenségeknek a megismertetésére. Ennek érdekében pedig minden rendelkezésre álló eszközt meg kell ragadni, hogy minél színesebbek, változatosabbak legyenek ezek az órák. Gondolok itt egyszerű képek vetítésére, projektor segítségével megfelelő oktatófilm megtekintésére, a gyerekek kiselőadásaira, gyűjtő munkájára, de a mai modern világban az internet is gond nélkül hasznosítható. A csillagászat tanításával kapcsolatban kiváló lehetőségnek számít, ha az adott csoportot elvisszük planetáriumba, vagy akár csillagvizsgálóba, ahol biztosan életre szóló élményeket szereznek. A kisbolygók és üstökösök című részre idő hiányában talán egy egész tanóra nem jutna, de rendkívül fontosnak tartom, hogy a középiskolás korosztály megismerje a Naprendszer eme kicsiny, de annál csodálatosabb égitesteit.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni Dr. Szabó M. Gyula egyetemi tanársegédnek a szakdolgozatom elkészítéséhez nyújtott segítségét.

Irodalomjegyzék

Kereszturi Ákos - Sárnecky Krisztián: Célpont a Föld? - Kisbolygók a láthatáron, MCSE 2003

Gábris – Marik – Szabó: Csillagászati földrajz, Nemzeti Tankönyvkiadó 2004

Gazda István: A magyar csillagászat történetéből, Magyar Tudománytörténeti Intézet 2002

Bérczi Szaniszló: Kis atlasz a Naprendszerről, Hunveyor, Budapest – Pécs - Szombathely 2001

Bérczi Szaniszló: Kristályoktól bolygótestekig. Akadémiai Kiadó, Budapest 1991

Bérczi Szaniszló: Kis atlasz a Naprendszerről, Holdközvetekről, meteoritekről, Budapest 2000

Mizser Attila: Amatőr csillagászok kézikönyve, Magyar Csillagászati Egyesület 2006

Ceman, Róbert - Pittich, Eduard: A Világegyetem 1. A Naprendszer, Rekordok sorozat, MAPA Slovakia 2003

Szécsényi Nagy Gábor: A Naprendszer parányai, Gondolat 1986

Marik Miklós: Csillagászat, Akadémiai 1989

Korda András-Tolnai Domonkos: Ez a mi Napunk, Athenaeum Kiadó 2000

Sárnecky Krisztián: Magyarok a Naprendszerben - és azon túl, Magyar Csillagászati Egyesület 2005

E. Übelacker: A bolygók és az űrkutatás, Tessloff és Babilon Kiadó 1995

Bödök Zsigmond: Látványos égi jelenségek 2005-2006, Nap Kiadó 2004

Csaba György Gábor: Kalandozás az égbolton, Gondolat 1987

Almár Iván - Both Előd - Horváth András: SH atlasz, Űrtan, Springer 1996

Ladányi Tamás: Amatőr csillagászok kézikönyve

Meteor folyóirat (Magyar Csillagászati Egyesület)

Fizikai Szemle (Eötvös Loránd Fizikai Társulat)

Ábrák:

<http://physics.uwo.edu/~stark/outreach/Kepler/oldareaellipse.gif>

http://studentweb.cortland.edu/knapp60/miniproj1/solar_system_large.png

<http://www.aeromagazin.hu/rovatok/friss/urkutatas>

<http://images.google.hu/imgres?imgurl=http://astro.u-szeged.hu/szakdolg>

<http://news.cnet.com/i/ne/p/2007/927vesta550x440.jpg>

<http://www.origo.hu/i/0511/20051103itokawa.jpg>

http://www.areavoices.com/astrobob/images/thumbnail/Radio_216_Kleopatra.jpg

<http://hirek.csillagaszat.hu/imgzoom.php>

<http://images.google.hu/imgres?imgurl=http://www.aformadidea.com/Avvento/MagiGiotto>

<http://images.google.hu/imgres?imgurl=http://science.nationalgeographic.com>

<http://images.google.hu/imgres?imgurl=http://www.astro.cz/galerie>

<http://images.google.hu/imgres?imgurl=http://users.atw.hu/duna>

<http://images.google.hu/imgres?imgurl=http://tuttidentro.files.wordpress.com/2009/05/shoemaker-levy-9>

<http://images.google.hu/imgres?imgurl=http://www.geocaching.hu/cacheimages/2007>

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cf/Meteor.jpg>

<http://images.google.hu/imgres?imgurl=http://www.didierbeck.com/pics/200507/DeepImpact>

Nyilatkozat

Alulírott Török Tamás, fizika kiegészítő levelező szakos hallgató, kijelentem, hogy a szakdolgozatban foglaltak saját munkám eredményei, és csak a hivatkozott forrásokat (szakirodalom, eszközök, stb.) használtam fel.

Tudomásul veszem azt, hogy szakdolgozatomat a Szegedi Tudományegyetem könyvtárában, a kölcsönözhető könyvek között helyezik el.

Szeged, 2009. december 6.

Török Tamás