

A FEKETE VÉNUSZ

Döményné Ságodi Ibolya

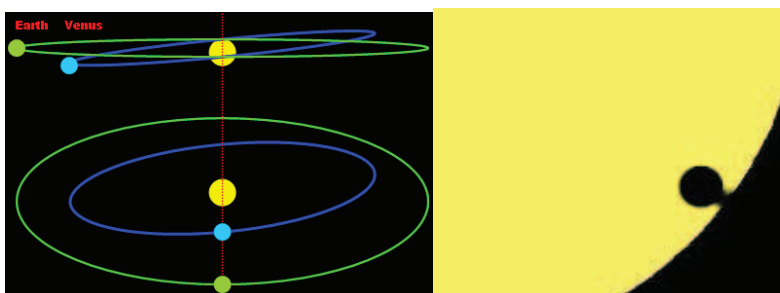
Garay János Gimnázium, Szekszárd, sagodi62@freemail.hu,
az ELTE Fizika Tanítása doktori program hallgatója

ÖSSZEFOGLALÁS

2004-ben és 2012-ben is átvonult a Vénusz a Nap előtt. Idén júniusban, a távcső feltalálása óta, az emberiség mindössze a nyolcadik alkalommal figyelhette meg a jelenséget. Tudományos jelentőségét korábban az adta, hogy a megfigyelési adatok segítségével meghatározható volt a Föld - Nap távolság. Középiskolás tanítványaimmal megismertük a jelenség történeti hátterét, a Föld - Nap távolság számolási módszereit, a felkészülés után pedig megfigyeltük a jelenséget. Az alábbi cikkben ezt a szakköri munkát mutatjuk be.

BEVEZETÉS

Az erősen eltérő méretű, egymás körüli pályán keringő égitestek esetén bekövetkezhet, hogy a kisebb égitest áthalad a nagyobb előtt. Ezt nevezik átvonulásnak. A Nap és egy bolygó esetén az átvonulás létrejöttéhez két feltétel szükséges: a bolygó belső együttállásban legyen (ekkor a bolygó a Napot és Földet összekötő egyenes mentén fekszik) és emellett még közel is essék a csomóvonalhoz (az a vonal, amelyben a bolygó pályája metszi az ekliptika síkját). Mivel a fenti feltételek ritkán teljesülnek, a bolygóátvonulás különleges égi jelenség.



1. ábra. A Föld és a Vénusz pályája és a fekete csepp jelenség.

Edmond Halley már 1716-ban kifejtette, hogy ha a Föld egymástól távoli pontjairól figyeljük meg a Vénusz átvonulását a Nap előtt, akkor az átvonulási húrok látszólagos eltolódásából a Föld - Nap távolság (a Csillagászati Egység) kiszámítható. A Föld különböző helyein feljegyezve a bolygó belépésének időpontját a napkorong elé, illetve kilépésének időpontját a napkorong elől, az időadatokból és a mérési pontok távolságából a parallaxis elméletét felhasználva, meghatározhatjuk a Föld - Nap távolságot. A csillagászati egységet alapegységnek tekintve meghatározható a Naprendszer más objektumainak illetve a közelebbi csillagoknak a Földtől vett távolsága is. Ezután természetesen a naprendszerbeli égitestek és a közeli csillagok egymástól mért távolsága is meghatározható. A mérés elvégzéséhez szükség van a megfigyelők pontos földrajzi koordinátaira, mivel az átvonulás eltérő földrajzi helyekről másképpen látszik.

TÖRTÉNETI HÁTTÉR

Az idők folyamán egyetlen csillagászati esemény kapcsán sem indítottak annyi expedíciót, mint a Vénusz átvonulások megfigyelésére, hiszen a jelenség egy-egy földrajzi helyről

gyakran csak részlegesen figyelhető meg, a pontos számítások miatt pedig lényeges, hogy az elejétől a végéig nyomon követhető legyen.

A Vénusz átvonulások aránylag ritkák, az egymást követő átvonulások közötti időtartamok sora a következő: ...8 év – 121,5 év – 8 év – 105,5 év – 8 év... Ha a két egymást követő átvonulás között 8 év telik el, ikerátvonulásról beszélünk. A távcső megalkotása óta az első két átvonulás 1631-ben és 1639-ben történt, amikor még a távcsövek minősége és az égi mechanikai számítások is kezdetlegesebb szinten voltak, mint jó száz évvel később az 1761-ben és 1769-ben bekövetkező ikerátvonulás idején.

Az 1761-es átvonulás keserves csalódást okozott, mert nagyon tág határok között mozgott az észlelési adatokból számolt parallaxis értéke: $8,5''$ – $10,5''$. A parallaxis bizonytalanságát az okozta, hogy abban az időben sem a Vénusz pályáját, sem a megfigyelési helyek földrajzi koordinátáit nem ismerték kellő pontossággal, és a megfigyeléseknél más nem várt hibák is jelentkeztek. Egyik legsúlyosabb problémát a fekete csepp jelenség okozta (1. ábra). Ez a tünet akkor lép fel, amikor a Vénusz korongja belülről érinti a Nap korongját. Ilyenkor a napperem és a Vénusz között rövid, fekete híd jelenik meg, ami megnehezíti kontaktusok pillanatának pontos megállapítását. További hibaforrás vált azonosíthatóvá a Vénusz légkörének felfedezésével. A légkör a bolygókorongot övező fénylő gyűrű alakjában jelent meg, és ez nehezítette az időpontok pontos megállapítását. Ezek után nagy érdeklődés előzte meg az 1769-es átvonulást. A csillagászok már idejekorán előre jelezték az átvonulás lefolyását. Hell Miksa, a bécsi egyetemi obszervatórium igazgatója azonban az 1761-es adatok alapján újraszámolta az 1769-es átvonulás időpontjait. Erről szóló tanulmánya, amelyben részletesen leírta az jelenséggel kapcsolatos tudnivalókat és teendőket, az általa szerkesztett 1764. évi Csillagászati Almanachban jelent meg. A cikk nagy érdeklődést váltott ki szakmai körökben, ennek alapján hívta meg Hell Miksát a dán uralkodó a vardöi expedíció élére. Kivételes szerencsével meg tudták figyelni a jelenséget. De sikerrel járt a Hudson-öbölnél, Kaliforniában és Tahiti szigetén (Cook kapitány által vezetett) expedíció is. Ez utóbbi méréseket egybevetve számította ki Hell Miksa a napparallaxis szögét. Erről írt tanulmánya, amely 1772-ben jelent meg Bécsben, nagy vitákat kavart. A Hell által számított érték: $8,7''$.

A XIX. század két átvonulásának megfigyelésére újabb eszközök alkalmazása vált lehetővé: a távcsövek általános optikai teljesítményének javulása mellett megjelent a fényképezés módszere. A korszerűbb eszközök alkalmazása mellett célul tűzték ki a napparallaxis ezrelék pontossággal való meghatározását. Az 1874-es német expedíciók egyikén (Kerguelen-szigetek) a magyar Weinek László vezette a fotográfiai csoportot. Sikerült a teljes átvonulást megfigyelni, összesen 61 lemezfelvétel készült, ami abban a korban nagy technikai teljesítménynek számított. A felvételek kiértékelésének tanulsága mégis az volt, hogy a fényképezés alkalmazása sem tette pontosabbá a parallaxis értékét. 1881 októberében nemzetközi konferencián vitatták meg a következő átvonulással kapcsolatos kérdéseket és egységes észlelési normákat dolgoztak ki. Mégis, 1882-ben kevesebb expedíciót indítottak az átvonulás megfigyelésére, mert az előző átvonulás bizonytalan eredményei megrendítették a bizalmat az alkalmazott módszerek hatékonyságában.

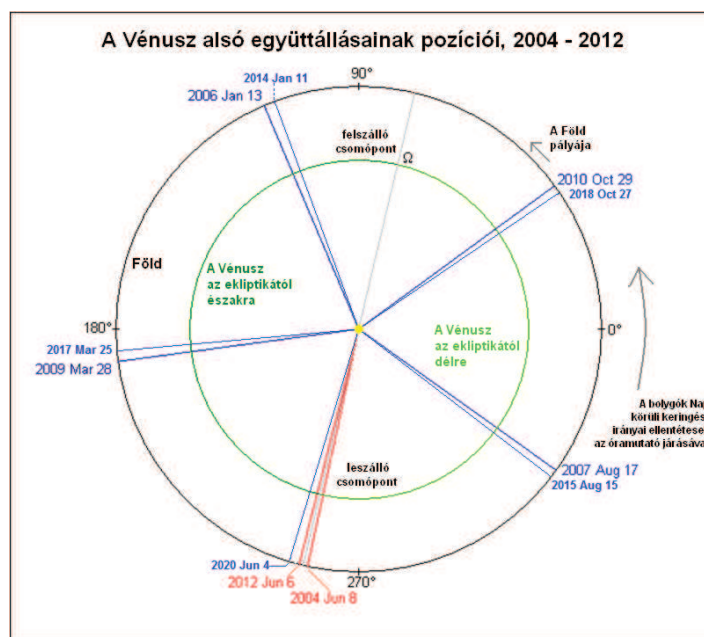
A mostani ikerátvonulások első eseménye 2004. június 8-án történt. Akkor a jelenség teljes egészében megfigyelhető volt, a belépéstől a kilépésig. Magyarországon komoly szervezettséggel, sok eredményes megfigyelés történt, a derült idő is elősegítette ezt. Az észlelt adatokból meghatározták a csillagászati egységet is, bár az űrtechnika korában ennek már nem tudományos, hanem inkább tudománytörténeti és pedagógiai értéke volt. A mostani átvonulásnak az utolsó kétórányi része esett napfelkelte utánra, így tanulóimmal csak ezt a

részletet figyelhattuk meg. Ők a 2004-es átvonuláskor még kisgyermekesek voltak, így azt nem láthatták.

AZ ÁTVONULÁS GEOMETRIÁJA

A Vénusz átvonulás megfigyelése, az átvonulás furcsa, nem egyenletes időközönkénti bekövetkezése mindig felkelti a tanulók érdeklődését és alkalmat ad arra, hogy néhány csillagászati tényt elmondjunk és egyszerű geometriával, ha közelítőleg is, de értelmezzük az átvonulás periodicitását. A gondolatmenet a [7] honlapon található követi. A leírásban igyekszünk minél kevesebb csillagászati szakszót használni, mert a túlságosan sok új fogalom nehezítheti a megértést.

A Vénusz és a Föld is a Nap körül kering, mindkét bolygó pályája körnek tekinthető. A Vénusz átvonulás jelensége azért következhet be, mert a Vénusz pályasugara kisebb, mint a Földé. A Vénusz Nap körüli keringésének ideje 224,6987, a Földé 365,25 nap. Tudjuk továbbá, hogy a Vénusz pályasíkja 3,4 fokos szöget zár be a Föld pályasíkjával, az ekliptikával (1. ábra). Mivel az átvonulás csak akkor következik be és figyelhető meg, ha a Föld, a Vénusz és a Nap jó közelítéssel egy egyenesbe esik, a pályasíkok dőlése miatt ez az egyenes csak a pályasíkok metszésvonala lehet. A jelenség időbeli lefolyásának megértéséhez vetítsük le a Vénusz pályasíkját az ekliptikára, azaz tekintsük úgy, mintha a két bolygó azonos síkban keringene.



2. ábra. A tranzitok periodicitása. [7]

Kezdjük az időmérést egy valódi átvonulási helyzettől! A Vénusz és a Föld Nap körüli keringési idejét egybevetve megállapítható, hogy jó közelítéssel 1,6 földi év elteltével a Vénusz éppen eggyel többször, azaz 2,6-szor kerüli meg a Napot, vagyis ha a bolygók azonos síkban mozognának, akkor újabb átvonulás következne be. Ezután az átvonulások 1,6 évenként követnék egymást és nyolc év után újra a kiinduló helyzet ismétlődne. Eközben a Vénusz éppen tizenháromszor - azaz 5-tel többször, mint a Föld - kerülné meg a Napot. A 2. ábra ezeket a helyzeteket, és a következő nyolc évben bekövetkező együttállásokat mutatja a 2004-2012 és 2012-2020 időszak megfelelő dátumainak bejelölésével. Látható, hogy a nyolc évenkénti ismétlődés csak közelítőleg teljesül. Ez érthető, hiszen az 1,6 évenkénti együttállás is csak igen jó közelítés, mert 8 földi év 22 órával hosszabb, mint 13 Vénusz év.

A 22 órányi eltérés azonban még éppen olyan helyzetet eredményez, hogy a Vénusz a napkorong előtt halad el. Újabb nyolc év múlva azonban a Földről nézve a Vénusz már a napkorong felett halad el. A mozgás geometriájának elképzelése nehéz feladat elé állít bennünket és a diákokat is. Sokat segít, ha a magyarázat mellett a mozgás szimulációjának bemutatásával is segítjük a tanulókat. Az interneten található kitűnő szimulációk egyike a [9] weblapon található.

A továbbiakban a vetületi képen az együttállások a bolygók keringési irányával ellentétes irányban tolódnak el, és 105,5 év elteltével a Föld, Vénusz Nap égitest hármass ismét jó közelítéssel a Vénusz és a Föld pályasíkjának metszéspontjába kerül, s a Vénusz átvonulása észlelhetővé válik, a nyolc évvel később bekövetkező átvonulással együtt. Ez azonban éppen a földpálya ellentétes oldalán következik be. Hasonló érvelést alkalmazva adódik, hogy újabb 121,5 év múlva valóban megismétlődik a kiinduló átvonulásnak megfelelő helyzet.

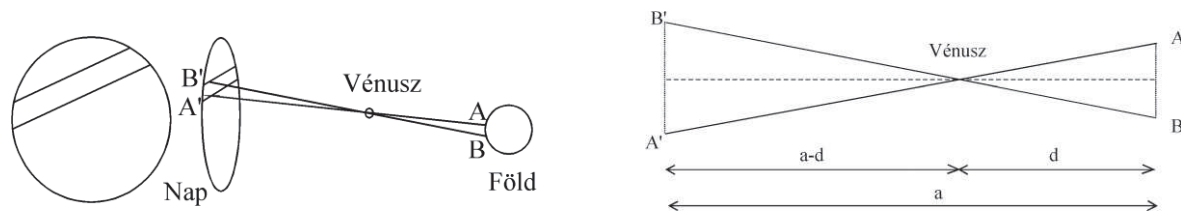
A CSILLAGÁSZATI EGYSÉG MEGHATÁROZÁSA

Az alábbiakban leírt módszer véleményünk szerint a lehetséges legegyszerűbb a Csillagászati Egység kiszámítására a Vénusz észlelése alapján. A cél az, hogy a diákok megértsék az alap gondolatot. Több egyszerűsítést teszünk, hogy a szükséges háttértudás minimális lehessen. Nem használunk sem trigonometriát, sem a parallaxisfogalmat. Hasonlóságból adódó geometriai összefüggések mellett csak Kepler harmadik törvényére lesz szükségünk.

Emlékeztetünk, hogy a Nap a Föld körüli látszólagos mozgása során „a” sugarú kört ír le, ahol „a” a Föld-Nap távolság (Csillagászati Egység). A Nap szögátmérője kb. 0,5 fok (melyet a diákok könnyen megmérnek) és Nap által leírt teljes kör 360 fok. A Nap valódi átmérőjét D -vel jelölve felírhatjuk a következő arányosságot: $\frac{D}{0,5} = \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{360}$, amiből a Csillagászati Egység a Nap átmérőjével kifejezve:

$$a = \frac{360 \cdot D}{\pi} \quad (1)$$

A Nap D átmérője a Vénusz átvonulásából határozható meg. Vizsgáljuk a Föld, a Nap és a Vénusz helyzetét az átvonulás alatt, és figyeljük a Vénusz átvonulását a Föld felszínének két különböző, A és B pontjáról. A számítások egyszerűsítésére tegyük fel, hogy A és B ugyanazon a hosszúsági körön (meridiánon) helyezkedik el (3. ábra).



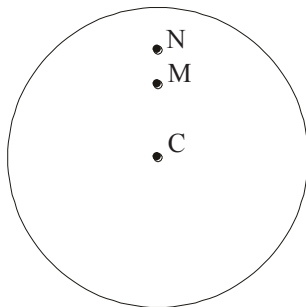
3. ábra. Balra: A Vénusz átvonulás sematikus képe. Jobbra: A sematikus kép kiemelt részlete. [10]

Az 3. ábra ABV és A'B'V háromszöge hasonló, így:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{a-d}{d} \quad (2)$$

Az $a-d$ és a távolság jó közelítéssel megegyezik a Vénusz és a Föld pályasugarával, tehát arányuk Kepler harmadik törvényéből meghatározható: $\left(\frac{a-d}{d}\right)^3 = \left(\frac{T_V}{T_F}\right)^2$, ahol T_V és T_F rendre a Vénusz és a Föld keringési ideje. Behelyettesítve a kapott értéket a (2) összefüggésbe: $A'B' = 2,61$. Az AB a földfelszíni távolság ismert, tehát a Nap felszínén lévő A' és B' pontok távolsága is kiszámítható.

A Nap valódi átmérőjének kiszámításához a Föld két különböző helyén végzett méréseket használjuk. Készítsünk ábrát (4. ábra) és jelöljük be a Napkorong képén az M és N pontokat, melyek a Vénusz pozícióját jelzik a földi A és B pontból nézve (3. ábra).



4. ábra. A két különböző földrajzi helyen megfigyelt pozíciók egyesített ábrája.

Ezután az ábrán mérjük meg a Nap Δ átmérőjét (mely a valóságban D -nek felel meg) és az MN távolságot (mely a valóságban $A'B'$). Felírhatjuk a következő arányt: $\frac{A'B'}{MN} = \frac{D}{d}$. Innen a Nap átmérője: $D = \frac{2,61 \cdot AB \cdot d}{MN}$. Behelyettesítve a D értékét az (1) kifejezésbe, a Nap-Föld távolságra

$$a = \frac{939,6 \cdot AB \cdot d}{\pi \cdot MN} \quad (3)$$

adódik. (Megjegyezzük, hogy AB nem a Föld felszínén mért távolság, hanem egy egyenes vonal azon a korongon, mely a Földnek a Nap-Föld irányra merőleges metszete, amint az a 3. ábrán látható.)

MEGFIGYELÉS SZEKSZÁRDRÓL

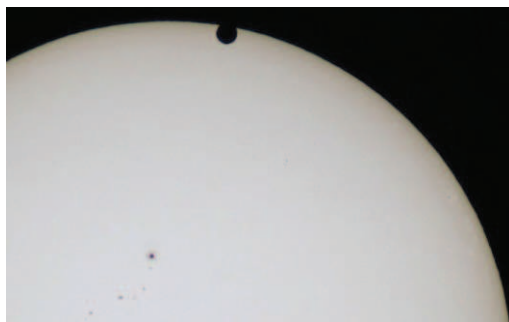
A tanulók kiselőadás formájában ismertették meg egymással a távcső felfedezése óta lezajlott hét Vénusz-átvonulást. Ezután a parallaxis ill. Nap-Föld távolság számítási módszerei kerültek bemutatásra tanári segítséggel, a szakirodalom alapján.

Az alapos elméleti felkészülés után következett a gyakorlati munka megszervezése. Megkerestük azt a helyszínt, ahonnan a keleti horizontot zavartalanul megfigyelhetjük, és közzétettük az MCSE honlapján. Voltak olyan érdeklődők, akik jelezték, hogy az interneten keresztül szereztek tudomást a szekszárdi megfigyelési lehetőségről. Plakátokat terveztünk és megszerveztük a távcsövek helyszínre szállítását, majd a fagyos hajnalon elvégeztük az észlelési munkát.

A csillagászati egység meghatározása meglehetősen bonyolult feladat, két távoli földrajzi helyről végzett megfigyelés adatai kellenének hozzá, ezért számolást nem végeztünk az észlelési adatokból. Egyébként is csak a kilépési kontaktusokat láttuk, valamint a sok érdeklődő tudományos munkát zavaró hatása miatt a feljegyzett időpontok pontossága sem lett kielégítő.



5. ábra. A megfigyelő diákok.



6. ábra. A Vénusz kilépése.

Az átvonulásról készült felvételeket egy 127/1200 refraktor primer fókuszában Canon EOS 1000D fényképezőgéppel készítettük, 1/1000 és 1/2000 közötti expozíciós idővel.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőmnek, dr. Tasnádi Péter egyetemi tanárnak a munkámhoz nyújtott szakmai segítségéért és támogatásáért.

A TÉMÁVAL KAPCSOLATOS IRODALOM

1. Bartha L., Mitre Z., Keszthelyi S., Mizser A., Szabó S., Tuboly V.: A fekete Vénusz. Vénusz átvonulások a Nap előtt. Hegyháti Csillagvizsgáló Alapítvány, Hegyhátsál, 2004
2. Érdi B.: Égi mechanika, Tankönyvkiadó, Budapest, 1977
3. Péntek K.: A Vénusz átvonulásának matematikai leírása Halley módszere alapján. Gothard Egyesületi Füzetek 3., Szombathely, 2004
4. sts.bdtf.hu/olvasoterem/.../SEK%20E.../PentekKalman.doc
5. NASA, ESO honlapja
6. www.venuszatvonulas.load.hu
7. www.rasnz.org.nz/2012Transit/Transits.html
8. www.venus-transit.de/TransitMOtion/index.html
9. <http://www.venus2012.de/venusprojects/contacttimes/basicidea/basicideatimes.php>
10. <http://fenyi.solarobs.unideb.hu/VT-tan%E1r.html>