

◀	Tartalom	Fogalmak	Törvények	Képletek	Lexikon	▶
---	----------	----------	-----------	----------	---------	---

Az űrkutatás és űrhajózás legfontosabb állomásai

1. Az űrkutatás alapfogalmai

A *légnyomás* című fejezetben láttuk, hogy a levegő nyomása a földfelszíntől távolodva egyre csökken, kellően nagy magasságban már gyakorlatilag nincs levegő. Ebből kiindulva *világűrnek* nevezzük az égitestek közötti légüres térséget. Űrhajózási és repülési szempontból a földfelszín feletti 100 kilométert meghaladó magasságon túli teret nevezik világűrnek.



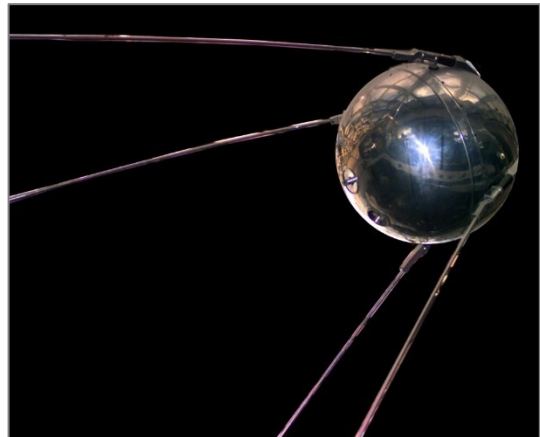
A világűrbe kijutott mesterséges égitesteket összefoglaló néven *űreszközöknek* nevezzük. Az űreszközök legfontosabb típusai a következők:

- *hordozórakéta*: a földi rakományokat világűrbe juttató rakéta,
- *műhold*: egy bolygó (jellemzően a Föld) körül keringő űreszköz,
- *mesterséges bolygó*: a Nap körül keringő űreszköz,
- *űrszonda*: a Földet végleg elhagyó, más égitesteket vagy a világűrt kutató űreszköz,
- *űrtávcső*: űreszközen elhelyezett távcső égitestek (nem a Föld) megfigyelésére,
- *űrhajó*: embereket szállító űreszköz,
- *űrrepülőgép*: többször felhasználható, repülőgéphez hasonló űrhajó,
- *űrállomás*: emberek tartós befogadására is alkalmas, bolygó (jellemzően a Föld) körül keringő űreszköz.

A *mesterséges égitestek mozgása* című fejezetben láttuk, hogy az űreszközöket viszonylag nagy sebességgel (*kozmosz sebességek*) kell elindítani, hogy további üzemanyag felhasználása nélkül is a kívánt pályán tudjanak maradni. Ehhez *többszörfokozatú rakétákat* használnak, melyek több részből állnak, és ha egy-egy fokozat elhasználta üzemanyagkészletét, leválik. A következő fokozat hajtóművének így egy kisebb tömegű rakétát kell gyorsítania. Emiatt az űreszköz gyorsulása és az így elérhető sebesség nagyobb lesz, mint az előző fokozat leválasztása nélkül lenne.

2. Az első műholdak és űrszondák

Az első mesterséges égitest a *Szputnyik-1* műhold volt, amelyet 1957. október 4-én a Szovjetunióból rakéta segítségével állítottak Föld körüli pályára. A műhold tömege mindössze 83,6 kg volt, és 92 napig keringett a Föld körül rádiójeleket sugározva. Földközeli pályájának legközelebbi pontjában 215 km-re, pályájának legtávolabbi pontjában pedig 939 km távolságra volt a földfelszíntől.



Az első élőlény, amely kijutott a világűrbe, a *Lajka* nevű kutya volt. A szovjet Szputnyik-2 fedélzetén 1957. november 3-án fellőtt kutyával a kilövéskor fellépő terheléseket és a súlytalanság emlősökre gyakorolt hatását tanulmányozták.

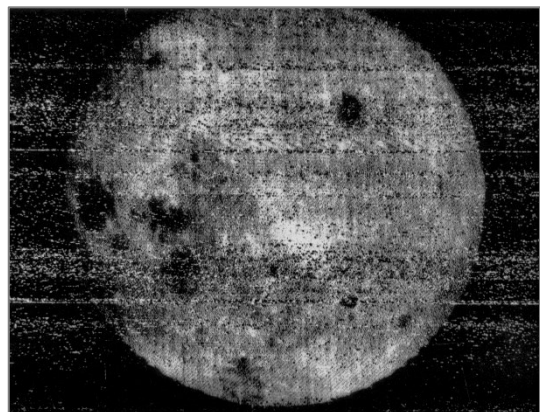
Az első amerikai műhold az *Explorer-1* volt. 1958. január 31-én bocsátották fel, tömege mindössze 14 kg volt. Az Explorer-1 fedélzetén elhelyezett műszerek által szolgáltatott adatok alapján *James Alfred Van Allen* (1914–2006) amerikai fizikus felfedezett egy elektromosan töltött részecskéket tartalmazó sugárzási öveget (*Van Allen-övezet*).

Az első hírközlési műhold az 1958. december 18-án pályára állított amerikai *SCORE* volt. A műhold 1958 karácsonyán David Eisenhower amerikai elnök üzenetét közvetítette.

Az első mesterséges égitest, amely elérte a *második kozmikus sebességet*, és megközelítette a Holdat, az 1959. január 2-án felbocsátott szovjet *Luna-1* volt. A Holdat nem érte el, kb. 6000 km távolságra haladt el tőle. Ezt követően Nap körüli pályára került, így a *Lunik-1* lett az első mesterséges bolygó.

A Holdat elsőként a szovjet *Luna-2* érte el 1959. szeptember 14-én, 34 órás repülés után. Ez volt az első olyan földi tárgy, amely egy másik égitestre jutott. A Luna-2 fékezés nélkül csapódott a Hold felszínére.

Az első űrszonda, amely megkerülte a Holdat, és fényképeket készített annak túlsó, a Földről nem látható oldaláról az 1959. október 4-én fellőtt szovjet *Luna-3* volt. A filmre készített képeket automatikusan előhívta, majd képtávíron keresztül a földi központba továbbította.



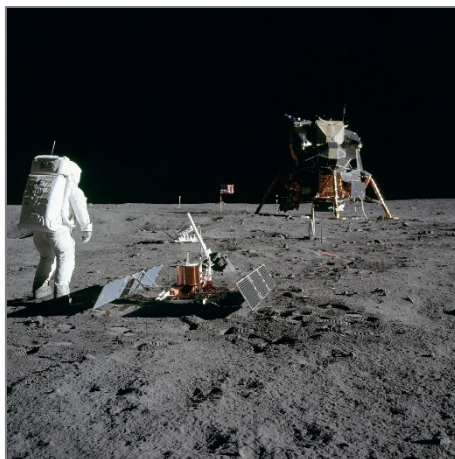
1960-ban bocsátották fel az amerikai *Tiros-1* műholdat, amely az *első meteorológiai műhold* volt. A műhold három hónap alatt kb. 23 000 felhőképet készített.

3. Emberes repülések

Az első űrhajós a szovjet *Jurij Alekszejevics Gagarin* (1934–1968) őrnagy, vadászpilóta volt, aki az 1961. április 12-én felbocsátott *Vosztok-1* nevű űrhajón megkerülte a Földet. Egy fordulatnál valamivel többet tett meg a Föld körül, a keringési idő 89 perc, a teljes repülési idő 104 perc volt. A pálya legalacsonyabb pontja 181 km-re, a legmagasabb 327 km-re volt a földfelszíntől. (Gagarin később berepülőpilótaként, egy repülőgép kipróbálása során balesetben vesztette életét.)



Az 1960-as években az amerikai űrprogram a Hold meghódítását tűzte ki célul. Ennek legfontosabb pillanata 1969. július 20-án az *Apollo-11 holdraszállása* volt. *Neil Armstrong* (1930–2012) amerikai mérnök, űrhajós volt az első ember, aki a Holdra léphetett. Az *Apollo-program* keretében 1969–1972 között további öt alkalommal jártak űrhajósok a Holdon. A program során összesen 381,7 kg holdkőzetet hoztak a Földre. A Holdon az életnek semmiféle jelét nem tapasztalták.



A Szovjetunió (később Oroszország) a Föld körül keringő űrállomások és a hosszan tartó űrrepülések felé fordult. Az első űrállomás a szovjet *Szaljut-1* volt, melyet 1971. április 19-én állítottak pályára. A folyamatos űrben tartózkodás rekordja jelenleg (2026-ban) 437 nap. Ezt *Valerij Poljakov* érte el az 1986-ban fellőtt *Mir* űrállomáson 1995-ben. (Poljakov korábbi repülésével együtt összesen 678 napot töltött a világűrben.) Mindezek előkészületet jelenthetnek egy bolygóközi űrutazáshoz, egyúttal lehetővé teszik a Föld folyamatos megfigyelését. Az űrállomáson emellett olyan kísérletek is elvégezhetők, amelyekhez *súlytalanság* szükséges: Például eltérő sűrűségű fémek ötvözetének előállítása, mesterséges kristályok gyártása stb.



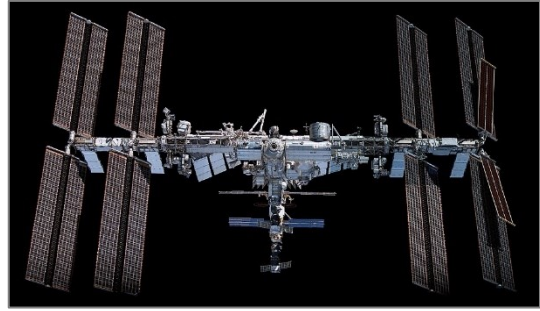
Az 1980-as évekre az USA kifejlesztette a többször is felhasználható *űrrepülőgépeket*, amelyek alaphelyzetben egyszerre 7 főt szállíthattak. Ennek nyitható rakterében több tonnányi hasznos teher vihető az űrbe, vagy hozható vissza onnan javításra. A kisebb javítások az űrrepülőgép fedélzetén is elvégezhetők. Az űrrepülőgépek rakétaként, függőleges helyzetből indultak, de repülőgépként értek földet.



Az első űrrepülőgép a *Columbia* volt, 1981-ben repült először. Öt ilyen űrrepülőgép (*Columbia, Challenger, Discovery, Atlantis, Endeavour*) járt az űrben, összesen 135 repülést hajtottak végre velük. Az űrrepülőgépek repüléseit 2011-ben állították le.

1995-től kezdve rendszeressé váltak az űrrepülőgépek repülései a szovjet/orosz *Mir* űrállomásra is, amelyen folyamatosan nemzetközi legénység dolgozott 15 éven át. (2001 márciusában a kiszolgált *Mir* űrállomást „lehozták”: egy része a légkörben elégett, néhány nagyobb darabja pedig a Csendes-óceán előre kijelölt, lakatlan területére hullott.)

Ugyancsak jelentős szerepe volt a *Nemzetközi Űrállomás* (ISS = *International Space Station*) létrehozásában az űrrepülőgépeknek. Az űrállomás amerikai–orosz–európai–japán–kanadai összefogással épült, és 2000 novembere óta napjainkig (2026) folyamatosan dolgoznak fedélzetén űrhajósok. (Egy 2011-ben készült videó az űrállomás összeszereléséről itt található: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISS_Assembly.webm.)



Az űrrepülőgépek forgalomból történő kivonása után, 2011 és 2020 között az amerikai és más nemzetiségű űrhajósok is az orosz *Szozjuz* űrhajókkal jutottak fel a Nemzetközi Űrállomásra. 2020-tól az amerikai *SpaceX* vállalat többször felhasználható *Crew Dragon* űrhajói vették át a szerepet.

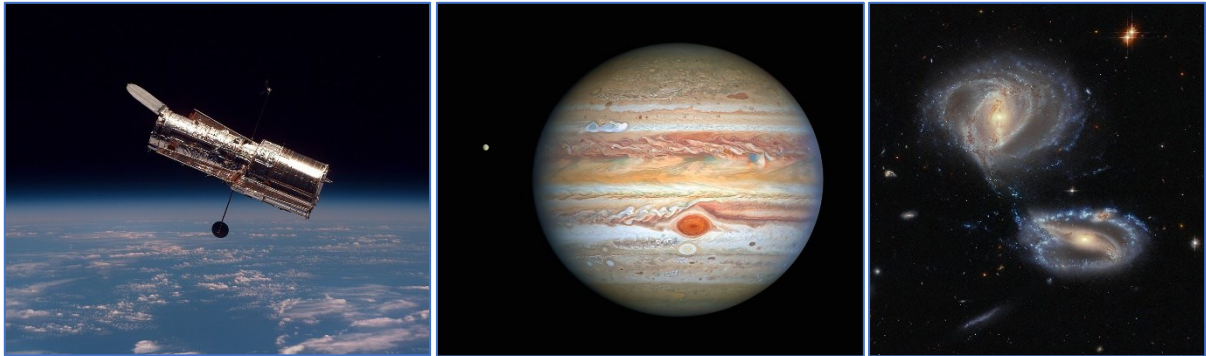
Embert szállító, földkörüli pályán keringő űrhajót eddig (2026) csak három ország tudott megalkotni: *Szovjetunió/Oroszország* (1961), *USA* (1962) és *Kína* (2003). E három ország űrhajóin azonban eddig 44 ország 637 ember repült Föld körüli pályán. Kínának is sikerült saját űrállomást létrehoznia. A 2021–2022 között megépített *Tiangong* űrállomáson 2022-óta vannak űrhajósok.

4. Űrtávcsövek

Tudjuk, hogy a légkör a rajta áthaladó elektromágneses sugárzás egyes tartományainak jelentős részét elnyeli, ezért a csillagászok ezekben a tartományokban nem tudnak földfelszíni megfigyeléseket és méréseket végezni. A légkör egymástól eltérő hőmérsékletű, sűrűségű és törésmutatójú rétegeinek folyton változó határfelülete ugyancsak zavarja az égitestek megfigyelését. A felhőzet és a légkörben található por pedig időnként teljesen lehetetlenné teszi a megfigyeléseket. Emiatt a csillagvizsgálók egy részét általában száraz, sivatagos területek hegyein építik meg.

Az elektronikus képalkotó eszközök fejlődésével azonban lehetővé vált, hogy a távcsöveket a világűrbe telepítsék, és emberi megfigyelés helyett digitális kamerákat használjanak. Az így készült képeket ezután rádiójelek segítségével a földi állomásokra továbbítják. Ennek a megoldásnak az is előnye, hogy olyan tartományokban is megfigyelhetik az objektumokat, melyeket a légkör egyébként teljesen elnyelne.

A legismertebb űrtávcső a 11 tonna tömegű, 13 m hosszú, 2,4 m átmérőjű *Hubble-űrtávcső*, amelyet 1990-ben a Discovery űrrepülőgép állított Föld körüli pályára, és az azóta szükségessé vált javításokat, szervizelést (5 alkalommal) szintén űrrepülőgépek segítségével végezték el. Mivel a Hubble-távcső működését a légköri jelenségek nem zavarják, a földi távcsöveknél sokkal jobb képek készíthetők vele. Jelenleg (2026) is üzemel, de az űrrepülőgépek hiányában már nem szervizelhető.



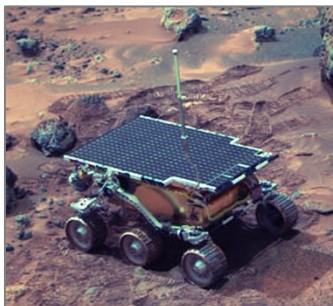
Az űrtávcsövek segítségével számos mérést és megfigyelést végeztek. Ezek közül is kiemelkedő volt a *Kepler űrtávcső* (2009) mérésorozata, mellyel 2016-ig 1284 *exobolygót* találtak. (Az exobolygó olyan bolygó, amely nem a Nap, hanem valamilyen másik csillag körül kering.)

A Hubble űrtávcső leendő utódjaként 2021-ben felbocsátott *James Webb űrtávcső* a nagyobb tükre miatt részletgazdagabb képeket készít. Mivel infravörös kamerája nem csak a közeli, hanem a közepes infravörös tartományra is érzékeny, a gáz- és porfelhőkön is képes keresztüllátni. A képen az *Sas-ködben* található *Teremtés oszlopai* elnevezésű terület látható, amelyben a por- és hidrogénfelhőkből új csillagok keletkeznek. (Balra a Hubble, jobbra a Webb űrtávcső felvétele. Videó a képek összehasonlításáról: [itt](#).)



5. Űrszondák

Az űrkutatásnak jelentős szerepe van a Naprendszer kutatásában is. A különféle *űrszondák* eddig a Naprendszer valamennyi bolygóját, számos holdat és egyéb égitestet meglátogattak. Több égitest felszínére szálltak már le, és ott méréseket végeztek, sőt néhány esetben anyagmintát is visszahoztak a Földre.



Néhány űrszonda a bolygók mellett elhaladva azok környezetét vizsgálta. Ezen kutatások közül kiemelkedik az 1977-ben felbocsátott amerikai *Voyager-2* útja. A szonda a *Jupiter*, a *Szaturnusz* és az *Uránusz* mellett elhaladva 12 évi repülés után, 1989-ben ért a *Neptunusz* közelébe. Ezekről a bolygókról a szonda minden eddigénél részletesebb képeket készített. Ezek elemzése során fedezték fel a csillagászok például a Jupiter, az Uránusz és a Neptunusz gyűrűrendszerét, továbbá számos új holdat. A *Voyager-2* napjainkra elhagyta a Naprendszert.

6. Az űreszközök mindennapi alkalmazásai

Az első *geostacionárius műhold* az 1965. április 6-án fellőtt *Early Bird* volt, amely hírközlési feladatokat látott el. A geostacionárius műholdakat ma elsősorban meteorológiai, távközlési és navigációs célokra használják.

A geostacionárius pályán keringő *meteorológiai műhold* a földfelszínnek csaknem felét egyszerre látja. Segítségével pontosan nyomon követhetők a meteorológiai folyamatok, így az időjárás-előrejelzés lényegesen pontosabbá vált. Ebben azonban jelentős szerepet játszik a számítástechnikai háttér is, amely nélkül a hatalmas adathalmaz kezelhetetlen lenne. (A képen a *METEOSAT 12* műhold által 2025.03.12-én készített időjárás-műholdkép látható.)



A távközlési műholdak nélkül a földrészek közti telefon-, tv-, és adatátviteli kapcsolat ma már elképzelhetetlen. A műholdas tv-adások vételére alkalmas műholdvevők napjaink mindennapos használati eszközei.

A navigációs műholdak által kibocsátott rádiójelek vételével meghatározható a műholdaktól való távolság, és ebből a pontos földrajzi hely. Ezzel az eljárással néhány centiméter pontossággal meghatározható egy hajó, repülő vagy gépkocsi helye. A műholdas helyzetmeghatározó eszközök korábban különálló készülékek voltak, jelenleg viszont szinte minden mobiltelefonban megtalálhatók. Az 1973-ban indult amerikai GPS (Global Positioning System, magyarul globális helymeghatározó rendszer) volt az első globális navigációs műholdas rendszer (Global Navigation Satellite System, GNSS), ezért a köznyelvben gyakran a GPS megnevezést használják a GNSS helyett.

A szovjet/orosz és az amerikai űreszközök mellett napjainkra további államok is bekapcsolódtak az űrkutatásba–űrhajózásba. Jelentőssé vált Japán, Kína, India, valamint az európai országokat tömörítő Európai Űrügynökség (ESA) űrtevékenysége. Több ország rendelkezik saját hordozóeszközzel, illetve műhoddal, űrszondával.

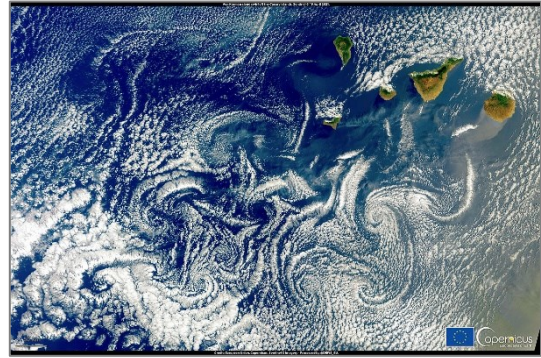
Kiegészítések

1. Kármán Tódor (1881–1963) magyar származású amerikai mérnök, fizikus volt. A Műegyetemen gépészmérnöki diplomát szerzett, majd Németországban, a Göttingeni Egyetemen doktorált. Itt kezdett áramlástannal foglalkozni és itt fedezte fel, hogy az áramlásba helyezett akadály mögött ellentétes irányba forgó örvények sorozata jön létre. (*Kármán-féle örvénysor*, 1911). Ezek az örvények lobogtatják a zászlót, de lengésbe hozhatják a vezetékeket, és megrongálhatják a nagy sebességű repülőket vagy a rakétákat. Egy videó az örvénysorról:



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karman_Vortex_Street_Off_Cylinder.ogv. A következő oldalon található fotón egy műholdfelvétel látható a Kanári-szigeteknél kialakult Kármán-féle örvénysorról. (A felhők alapján következtetni lehet a légáramlás eredeti irányára, valamint a szigetek után az ellentétes irányba forgó örvényekre.)

Kármán 1930-tól az USA-ban dolgozott, itt elsősorban a szuperszonikus repülés és a rakétatechnika áramlástani alapjaival foglalkozott. Az amerikai állam anyagi támogatásával egy aerodinamikai kísérleti laboratóriumot alapított, melynek első vezetője is ő volt. Az intézmény 1944 után *Jet*



Propulsion Laboratory (Sugárhajtás-laboratórium) néven működött tovább, és azóta is jelentős szerepet játszik az amerikai űrkutatási programban.

2. A légkör és a világűr közti, 100 km magasan húzódó határt *Kármán-vonalnak* nevezik. Ez azért viseli Kármán Tódor nevét, mert (több repüléssel és rakétatechnikával foglalkozó kutatóval egyeztetve) ő javasolta a *Nemzetközi Repülési Szövetség* (*Fédération Aéronautique Internationale*, FAI) számára a 100 km-es magasságot a légkör és a világűr közötti határként. A szövetség 1960-ban fogadta el a javaslatot.

3. A légkör és a világűr közti határ annak alapján jelölhető ki, hogy milyen magasság érhető el hagyományos repülőgépekkel. Nagyobb magasságon ugyanis az egyre ritkább levegőben a szárnyakra ható *aerodinamikai felhajtóerő* csak akkor elegendő a repülőgép levegőben tartásához,



ha a gép nagyobb sebességgel repül. Ebből kiindulva meghatározható az a magasság, amelynél már az *első kozmikus sebességgel* kellene haladnia a repülőgépnek a szükséges aerodinamikai felhajtóerő eléréséhez. Ekkor azonban ezt már nem repülésnek, hanem űrrepülésnek kellene nevezni, mivel ilyen sebességnél a jármű egyébként is körpályán keringene a Föld körül (ha nem volna közegellenállás). A számítások szerint ez a magasság 80–100 km körül van, Kármán javasolta ennek kerekített értékeként a 100 km-es magasságot.

4. Konsztantyin Eduardovics *Ciolkovszkij* (1857–1935) orosz matematikatanár, mérnök bizonyította be, hogy az űrhajózás csak többlépcsős rakétákkal valósítható meg. Eredményeit a *Szabad tér* (1883) és *A világűr kutatása reaktív meghajtású eszközökkel* (1903) című műveiben tette közzé. (Ez utóbbi műve a címre kattintva érhető el.)

5. *A mesterséges égitestek mozgása* című fejezetben már láttuk, hogy az M tömegű bolygó körüli, R sugarú körpályán mozgó műholdnál az *első kozmikus sebesség* nagysága a

$$v_{k1} = \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{R}}$$

összefüggés alapján számítható ki.

6. A *második kozmikus sebesség* kiszámításához meg kell határozni azt a kezdősebességet, amelynél az űreszköznek már akkora mozgási energiája van, hogy az adott égitest felszínéről éppen eljuthat egy végtelen távoli pontba (a hajtóművek további használata nélkül). Ehhez kiindulásként írjuk fel az űreszközre a munkatételt!

$$\Delta E_{\text{mozg}} = \Sigma W, \quad \text{illetve részletesebben} \quad E_2 - E_1 = \Sigma W. \quad (1)$$

A második kozmikus sebességet v_{k2} -vel jelölve a mozgási energia induláskor

$$E_1 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{k2}^2.$$

A végtelen távoli pontba érkezéskor a sebesség, és így a mozgási energia is éppen nullára csökken, azaz

$$E_2 = 0.$$

Az űreszközre csak az égitest által kifejtett gravitációs erő hat, ezért csak ennek az erőnek a munkáját kell figyelembe venni. Ez a munka *A munkavégzés fajtái* című fejezetben levezetett (3) összefüggés szerint

$$W = -\frac{\gamma \cdot M \cdot m}{R}.$$

Ezeket az (1) összefüggésbe behelyettesítve

$$0 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_{k2}^2 = -\frac{\gamma \cdot M \cdot m}{R}.$$

Mindkét oldalt $-m$ -mel osztva, és 2-vel szorozva

$$v_{k2}^2 = 2 \cdot \frac{\gamma \cdot M}{R}.$$

Ebből a *második kozmikus sebesség*

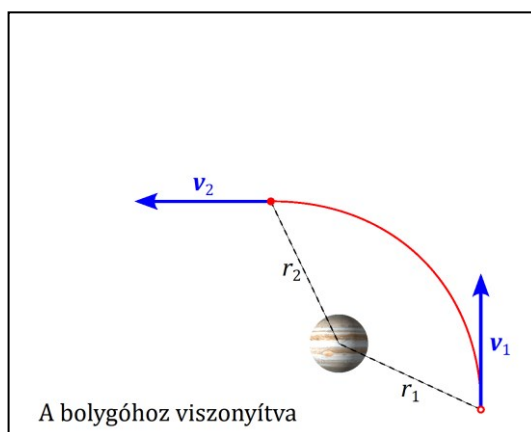
$$v_{k2} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot M}{R}}.$$

Mivel a szorzat második tényezője éppen az első kozmikus sebességgel egyenlő, ezért az első és a második kozmikus sebesség közti összefüggés:

$$v_{k2} = \sqrt{2} \cdot v_{k1}.$$

7. A második kozmikus sebesség kiszámításánál nem vettük figyelembe, hogy az űreszközre nem csak a kiindulási égitest (jellemzően a Föld), hanem más égitestek gravitációja is hat. Ezeket a gravitációs hatásokat kihasználva az űreszköz akkor is eljuthat (a hajtóművek további használata nélkül) egy végtelen távoli pontba, ha kezdősebessége nem éri el a második kozmikus sebességet. Ehhez az űreszköz pályáját úgy tervezik meg, hogy megfelelő irányból és sebességgel érje el a kiszemelt, gyorsításra használt égitest közvetlen környezetét, és *az égitest gravitációs hatására nagyobb sebességgel hagyja el azt, mint amekkorával odaért.* Az ilyen műveletet *hintamanővernek* nevezik.

Ennek megértéséhez elemezzük az itt látható rajzot! Ezen az űreszköz pályájának egy szakasza látható egy bolygó mellett, olyan vonatkoztatási rendszerből nézve, amely nyugalomban van a bolygóhoz képest. A megrajzolt pályaszakasz kezdetét és végét úgy választottuk meg, hogy egyenlő távolságra legyenek a bolygótól, azaz $r_1 = r_2$.

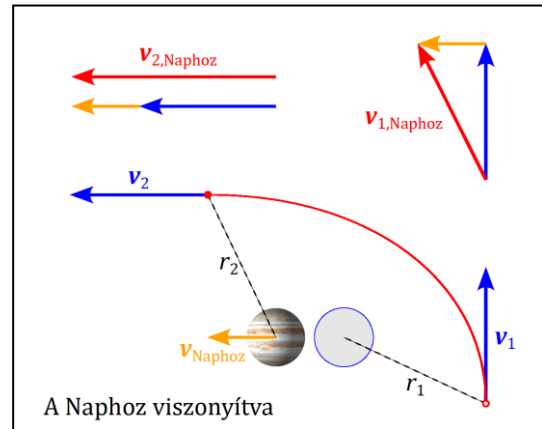


Ezekben a pontokban berajzoltuk az űreszköz bolygóhoz viszonyított sebességét is. Belátható, hogy ez a két sebesség ugyanakkora. *A munkatétel pontszerű testre* című fejezetben ugyanis láttuk, hogy ha a testre ható erők által végzett munkák összege nulla, akkor a test mozgási energiája nem változik meg. Mivel a kezdő- és végpontban az űreszköz ugyanakkora távolságra van a bolygótól, így ezekben a pontokban a gravitációs mező helyzeti energiája ugyanakkora. Ez csak úgy lehetséges, ha *a bolygó körüli gravitációs mező nem végzett munkát a bolygón.* Mivel az űreszközre gyakorlatilag más erő nem hat (a Föld gravitációja ekkora távolságból elhanyagolható), így az adott szakaszon végzett összes munka nulla. Ennek megfelelően

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 = 0,$$

$$v_2^2 - v_1^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad v_2 = v_1.$$

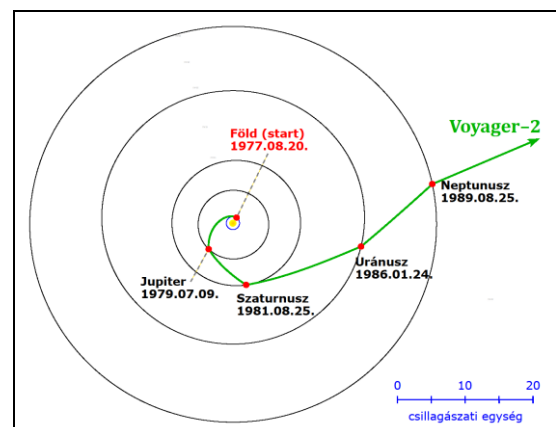
Azonban a bolygó a Naphoz viszonyítva mozog a pályáján. Az űreszköz Naphoz viszonyított sebessége a *Mozgások összegzése* című fejezetben tanultak szerint megegyezik az űreszköz bolygóhoz viszonyított sebességének és a bolygó Naphoz viszonyított sebességének a vektori összegével. A rajz alapján belátható, hogy a vizsgált szakasz végpontjában az űreszköz Naphoz viszonyított sebessége nagyobb, mint a kezdőpontban ($v_{2,Naphoz} > v_{1,Naphoz}$).



A hintamanőver során a pályáján haladó bolygó a gravitáció közvetítésével mintegy húzza maga után az űreszközt, így annak sebessége növekszik. Eközben az űreszköz ugyanekkora erővel visszafelé húzza a bolygót, azaz csökkenti a bolygó sebességét. A bolygó tömege azonban olyan nagy az űreszközhöz viszonyítva, hogy az űreszköz által kifejtett erő a bolygó sebességét csak mérhetetlenül kis mértékben befolyásolja.

A hintamanőverrel az űreszköz sebessége csökkenthető is, az így lefékezett űreszköz pedig pályára is állhat a bolygó körül. Ilyenkor az űreszköznek nem a bolygó „mögött”, hanem a bolygó „előtt” kell kereszteznie a bolygó pályáját.

8. Az első hintamanővert használó űreszköz a *Mariner-10* űrszonda volt, amely 1973-ban indult a Merkúr felé. A szonda a Vénusz mellett elrepülve hajtott végre hintamanővert. Az 1977-ben indított *Voyager-2* űrszonda a Jupiter, Szaturnusz, Uránusz és a Neptunusz mellett hajtott végre *négy hintamanővert* és napjainkra elérte a naprendszer szélét. Az alábbi képeken a szonda és annak naprendszeren belüli pályája látható.



A fejezet írásakor a Voyager-2 szonda 21 215 011 286 km távolságban, azaz megközelítőleg 142 csillagászati egységre volt a Naptól. Ezt a távolságot a fény és a szonda rádiójelei kb. 19 óra 43 perc alatt teszik meg. A jobb oldali ábra a két Voyager szonda aktuális (2026.01.12.) adatait tartalmazó NASA-honlap képernyőfotója.

	Voyager 1	Voyager 2
Launch Date	Mon, 05 Sept 1977 / 12:04:00 UTC	Mon, 03 Aug 1976 / 13:04:00 UTC
Mission / Planned Time	48: 04: 00: 20: 30: 03 160, 340, 330, 360, 380, 390	48: 04: 22: 18: 57: 03 160, 340, 330, 360, 380, 390
Distance from Earth	21,508,581,885 km 179.037 AU (2026 Jan)	21,383,458,078 km 142.271 AU (2026 Jan)
Distance from the Sun	25,377,387,280 km 169.12677897 AU	25,285,511,208 km 171.87359241 AU
Velocity with Respect to the Sun (km/s)	15,3995 km/s	15,2741 km/s
One-Way Light Time	23:42:25.88 (min:15)	15:42:13.79 (min:12)

9. A következő táblázat az űrhajózással kapcsolatos néhány „elsőséget” tartalmaz:

Időpont	Az első...	Személy/ország
1961.04.12.	űrrepülés	<i>Gagarin / SZU</i>
1962.02.20.	amerikai űrrepülés	<i>Glenn / USA</i>
1963.06.16.	női űrhajós	<i>Tyereskova / SZU</i>
1964.10.12.	többszemélyes űrhajó	<i>Komarov, Feoktyisztov, Jegorov / SZU</i>
1965.03.18.	űrséta űrhajón kívül	<i>Leonov /SZU</i>
1966.03.16.	űreszközök összekapcsolása	<i>Armstrong, Scott / USA</i>
1968.12.24.	Hold körüli repülés	<i>Bormann, Lovell, Anders / USA</i>
1969.01.16.	át szállás másik űrhajóra	<i>Jeliszejev, Hrunov / SZU</i>
1969.07.20.	emberek a Holdon	<i>Armstrong, Aldrin / USA</i>
1971.06.06.	űrállomás használata	SZU
1973.05.14.	külső javítási munka	USA
1975.07.17.	Szojuz-Apollo összekapcsolás	SZU – USA
1980.05.26.	magyar űrhajós	<i>Farkas Bertalan / SZU – H</i>
1981.04.12.	repülés űrrepülőgépen	USA
1998.11.20.	Nemzetközi Űrállomás	USA–RUS–EU–CAN

10. A Földön kívül eddig csupán egyetlen égitestre, a Holdra jutottak el emberek. Összesen 12 amerikai űrhajós járt a Holdon. A következő táblázat az Apollo-expedíciók legfontosabb adatait tartalmazza:

Űrhajó	Start	Holdra léptek	Hold körül	Idő a Holdon
Apollo–11	1969.07.16	<i>Neil Armstrong Edwin Aldrin</i>	<i>Michael Collins</i>	21,6 h
Apollo–10	1970.02.14.	<i>Alan Bean Charles Conrad</i>	<i>Richard Gordon</i>	31,5 h
Apollo–13	1970.04.11.	műszaki hiba, nem szállt le		–
Apollo–14	1971.01.31.	<i>Edgar Mitchell Alan Shepard</i>	<i>Stuart Roosa</i>	33,5 h
Apollo–15	1971.06.26.	<i>James Irwin David Scott</i>	<i>Alfred Worden</i>	66,9 h
Apollo–16	1972.04.16.	<i>Charles Duke John Young</i>	<i>Thomas Mattingly</i>	71 h
Apollo–17	1972.12.07.	<i>Eugene Cernan Harrison Schmitt</i>	<i>Ronald Evans</i>	75 h

11. Eddig három magyar járt az űrben: *Farkas Bertalan* (1949–) vadászpilóta, űrhajós, *Charles Simonyi* (született: *Simonyi Károly*, 1948–) szoftverfejlesztő, űrturista, a Word és az Excel programok fejlesztőcsapatának vezetője, és *Kapu Tibor* (1991–) mérnök, űrhajós.

Név	Űrhajó/Űrállomás	Indulás	Leszállás
<i>Farkas Bertalan</i>	Szojuz–36 / Szaljut–6	1980.05.20.	1980.06.03.
<i>Simonyi Károly (Charles Simonyi)</i>	Szojuz TMA–10 / ISS / Szojuz TMA–9	2007.04.07	2007.04.21.
	Szojuz TMA–14 / ISS / Szojuz TMA–13	2009.03.26.	2009.04.08.
<i>Kapu Tibor</i>	Crew Dragon / ISS	2025.06.25.	2025.07.15.

12. Az űrszondák által meglátogatott kisméretű égitestek (angol nyelvű) listája az angol nyelvű Wikipédián: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_minor_planets_and_comets_visited_by_spacecraft#List_of_minor_planets_visited_by_spacecraft

13. Az amerikai GPS mellett további három *globális navigációs műholdrendszer* (GNSS) üzemel: az orosz *GLONASS*, a kínai *BeiDou*, és az európai *Galileo*. Valamennyi rendszer legalább 24 (+néhány tartalék) műholdból áll, melyek a földfelszíntől kb. 20 000 km-re keringenek. Pályáik olyanok, hogy a felszín bármely pontjáról egyszerre legalább 4 műhold jeleit lehessen venni. A műholdak által küldött időjelekből a műholdvevő meg tudja állapítani a műholdak távolságát, ebből pedig meghatározza a vevő pozícióját (földrajzi koordinátáit és a magasságot). A bal oldali kép egy GPS navigátorról készült, melynek képernyőjét a gépkocsi fedélzeti számítógépének képernyője nagy méretben is megjeleníti. (A napjainkban forgalomba kerülő autókban a fedélzeti számítógép többnyire alapfelszerelésként tartalmaz GPS alapú navigációs programot.)



A jobb oldali fotón egy mobiltelefon látható, amelyen a földrajzi koordinátákat megjelenítő egyszerű *html/javascript* program fut. (A program a *fizkapu.hu* oldalról itt érhető el: https://www.fizkapu.hu/fiztan/toltes/t_0058/gps.html.)

A GPS pontosságával kapcsolatban érdemes átgondolni, hogy *1 méteres pontossághoz* a 20–30 ezer kilométer távolságban levő műholdakról érkező rádiójelek futási idejét a

$$c = \frac{s}{\Delta t}$$

összefüggés alapján

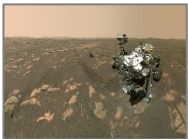
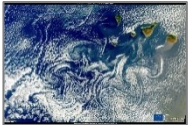
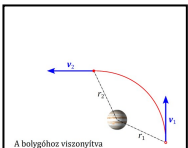
$$\Delta t = \frac{s}{c} = \frac{1 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 3,33 \cdot 10^{-9} \text{ s},$$

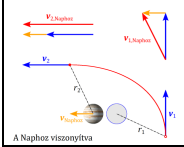
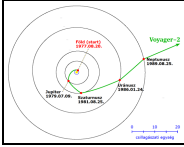
azaz 0,00000000333 másodperc pontossággal kell megmérni. (Természetesen legalább ugyanilyen pontossággal kell ismerni a műholdak aktuális helyzetét is.)

Képek jegyzéke

	Űrhajós (Nicholas Patrick) a világűrben W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:STS-130_EVA3_Nicholas_Patrick_1.jpg
	A Szputnyik–1 (másolat, National Air and Space Museum, Washington) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sputnik_asm.jpg
	Az első fotó a Hold túlsó oldaláról (a szovjet Luna–3 felvétele) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Luna_3_moon.jpg
	Gagarin arcképe W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yuri_Gagarin_portrait.png
	A Vosztok–1 rakétája (másolat, Ciolkovszkij Múzeum, Kaluga) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kaluga_-_Tsiolkovsky_Park_and_Museum_(09).jpg
	A Vosztok–1 eredeti kabinja az RKK Enyergija múzeumában (Koroljov) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vostok_1_after_landing.jpg
	Az Apollo–11 indulása (1969.07.16.) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apollo_11_liftoff_from_launch_tower_camera.jpg
	Edwin Aldrin űrhajós, az Apollo–11 holdkompja és műszerek a Holdon W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aldrin_Looks_Back_at_Tranquility_Base_-_GPN-2000-001102.jpg

	Neill Armstong arcképe W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neil_Armstrong_pose.jpg
	A Mir űrállomás W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:STS089-346-002_-_STS-089_-_DTO_1118_-_Survey_of_the_Mir_Space_Station_-_DPLA_-_6d6207ef826cc25651f6e8c730e57916.jpg
	A Columbia űrrepülőgép első indítása W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Space_Shuttle_Columbia_launching.jpg
	A Discovery űrrepülőgép a Nemzetközi Űrállomásról fényképezve W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:STS-133_Discovery_approaches_the_Space_Station.jpg
	A Columbia űrrepülőgép első leszállása W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:S81-30455.jpg <i>Videó:</i> W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-0084-01.ogv
	A Nemzetközi Űrállomás 2021-ben W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_station_pictured_from_the_SpaceX_Crew_Dragon_5_(cropped).jpg
	A Hubble űrtávcső 1997-ben W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hubble_Space_Telescope_(27946391011).jpg
	A Jupiter és az Europa nevű holdja a Hubble felvételén W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hubble_captures_crisp_new_image_of_Jupiter_and_Europa_(50354436493).jpg
	Két egyesülő galaxis (NGC 7733 és NGC 7734) a Hubble felvételén W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_dynamic_duo_or_trio_-_potw2343a.jpg

	A teremtés oszlopai a Hubble és a Webb űrtávcső felvételén W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hubble_and_Webb_Showcase_the_Pillars_of_Creation_(Side_by_Side)_(weic2216d).jpeg
	A szovjet Lunohod–1 holdjáró makettje (Űrhajózási Múzeum, Moszkva) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Soviet_moonrover.JPG
	A Sojourner marsjáró a Marson (1997) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sojourner_on_Mars_PIA01122.jpg
	A Perseverance marsjáró és az Ingenuity marshelikopter a Marson (2021) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ingenuity_near_Perseverance_after_deployment_on_April_7,_2021.tiff?page=1
	METEOSAT 12 műhold időjárásí műholdképe (2025.03.12.) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meteosat-12-fci-march-equinox-2025-noon.jpg <i>Az eredeti, teljes felbontású képen (36 000 km-ről) a Balaton is látható.</i>
	Kármán Tódor arcképe (csoportkép részlete) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Theodore_von_Kármán_230419-F-F3405-0001_(restored).jpg
	Kármán-féle örvénysor a Kanári-szigetekenél W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Von_Kármán_vortex_cloud_s_wirls_off_the_Canary_Islands,_Spain.jpg
	A légkör és az űr határa a Holddal (A fotó az ISS-ről készült.) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Top_of_Atmosphere.jpg
	Hintamanőver a bolygóhoz képest nyugvó vonatkoztatási rendszerből © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0799.svg

	Hintamanőver a Naphoz képest nyugvó vonatkoztatási rendszerből © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0800.svg
	A Voyager–2 (a NASA fantáziarajza) W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Voyager_spacecraft.jpg
	A Voyager–2 pályája a naprendszerben © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0801.svg
	A Voyager szondák aktuális adatait tartalmazó NASA-honlap fotója © http://www.fizikakonyv.hu/fotok/0051.png
	GPS navigátor egy autó fedélzeti számítógépéhez kapcsolva W https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tom_Tom_Navi._Spielvogel.jpg
	Földrajzi koordináták megjelenítése okostelefonon © http://www.fizikakonyv.hu/fotok/0052.jpg A <i>html/javascript program elérhetősége:</i> https://www.fizkapu.hu/fiztan/toltes/t_0058/gps.html

Jelmagyarázat:

- © **Jogvédett anyag**, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.
- W A **Wikimedia Commons**-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.