

Műhold pályák

Űrtechnológia

Rieger István
rieger@mht.bme.hu

Kocsis Gábor
kocsis@mht.bme.hu



Rövid történelmi áttekintés

- 1945 Artur C. Clark, Wireless World
- 1955 az USA és a Szovjetunió bejelenti hogy mesterséges műholdat fognak pályára állítani
- 1957 okt. 4 Sputnik 1, első műhold
- 1958 jan. 31 Explorer 1, USA első műhold
- 1960 aug. Echo I, első kommunikációs műhold
- 1960 ápr. Tiros I, első meteorológiai műhold
- 1960 ápr. Transit 1B, első navigációs műhold, U.S. Navy
- 2000 elején, 40 ország, ~3000 műhold

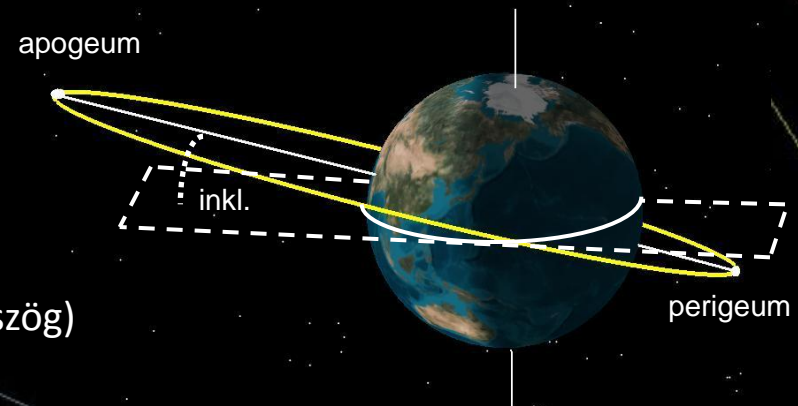
Wireless World		Radio and Electronics																						
35th YEAR OF PUBLICATION		OCTOBER 1945																						
Proprietors : ILIFFE & SONS LTD. Managing Editor : HUGH S. POOCK, M.I.E.E. Editor : H. F. SMITH Editorial, Advertising and Publishing Offices: DORSET HOUSE, STAMFORD STREET, LONDON, S.E.1. Telephones : Waterloo 3333 (35 lines). Telegrams : "Eithawald, South, London."	Branch Offices : COVENTRY : 8-10, Corporation Street, Telephone : Coventry 5510. Telegrams : "Autocor, Coventry." BIRMINGHAM : Guildhall Buildings, Navigation Street 2, Telephone : Midland 2571 (5 lines). Telegrams : "Autopress, Birmingham." MANCHESTER : 260, Deansgate, 3, Telephone : Blackfriars 4474 (4 lines). Telegrams : "Iliffe, Manchester." GLASGOW : 26, Renfield Street, C.2. Telephone : Central 4857. Telegrams : "Iliffe, Glasgow."	<table border="1"> <tr><td>MONTHLY COMMENTARY</td><td>289</td></tr> <tr><td>RADAR PRODUCTION</td><td>290</td></tr> <tr><td>AMATEUR TRANSMISSION By "Etheris"</td><td>296</td></tr> <tr><td>FUNDAMENTALS OF RADAR—I</td><td>299</td></tr> <tr><td>RANDOM RADIATIONS By "Diallist"</td><td>303</td></tr> <tr><td>EXTRA-TERRESTRIAL RELAYS By Arthur C. Clarke</td><td>305</td></tr> <tr><td>CONTRAST EXPANSION (Concluded) By J. G. White</td><td>309</td></tr> <tr><td>LETTERS TO THE EDITOR</td><td>313</td></tr> <tr><td>UNBIASED. By Free Grid</td><td>316</td></tr> <tr><td>WORLD OF WIRELESS</td><td>317</td></tr> <tr><td>RECENT INVENTIONS</td><td>320</td></tr> </table>	MONTHLY COMMENTARY	289	RADAR PRODUCTION	290	AMATEUR TRANSMISSION By "Etheris"	296	FUNDAMENTALS OF RADAR—I	299	RANDOM RADIATIONS By "Diallist"	303	EXTRA-TERRESTRIAL RELAYS By Arthur C. Clarke	305	CONTRAST EXPANSION (Concluded) By J. G. White	309	LETTERS TO THE EDITOR	313	UNBIASED. By Free Grid	316	WORLD OF WIRELESS	317	RECENT INVENTIONS	320
MONTHLY COMMENTARY	289																							
RADAR PRODUCTION	290																							
AMATEUR TRANSMISSION By "Etheris"	296																							
FUNDAMENTALS OF RADAR—I	299																							
RANDOM RADIATIONS By "Diallist"	303																							
EXTRA-TERRESTRIAL RELAYS By Arthur C. Clarke	305																							
CONTRAST EXPANSION (Concluded) By J. G. White	309																							
LETTERS TO THE EDITOR	313																							
UNBIASED. By Free Grid	316																							
WORLD OF WIRELESS	317																							
RECENT INVENTIONS	320																							
Δ PUBLISHED MONTHLY Price : 1/6 (Publication date 26th of preceding month) Subscription Rate : 10s. and abroad 12s. per annum.		Δ As many of the circuits and apparatus described in these pages are covered by patents, readers are advised, before making use of them, to satisfy themselves that they would not be infringing patents.																						



©2007 Manda Hoppers

Műholdpályák alapjellemzői

- magasság
 - perigeum (földközelpont)
 - apogeum (földtávolpont)
- excentricitás
- inklináció (pályasík és az Egyenlítő síkja által bezárt szög)
- keringési idő
- Egyenlítő feletti áthaladás ideje („felszálló” ág)
(LTAN – Local Time of Ascending Node)
- ismétlődési ciklus
(az az idő, melynek elteltével a műhold újra ugyanazon pont fölött halad el)



Műholdpályák csoportosítása

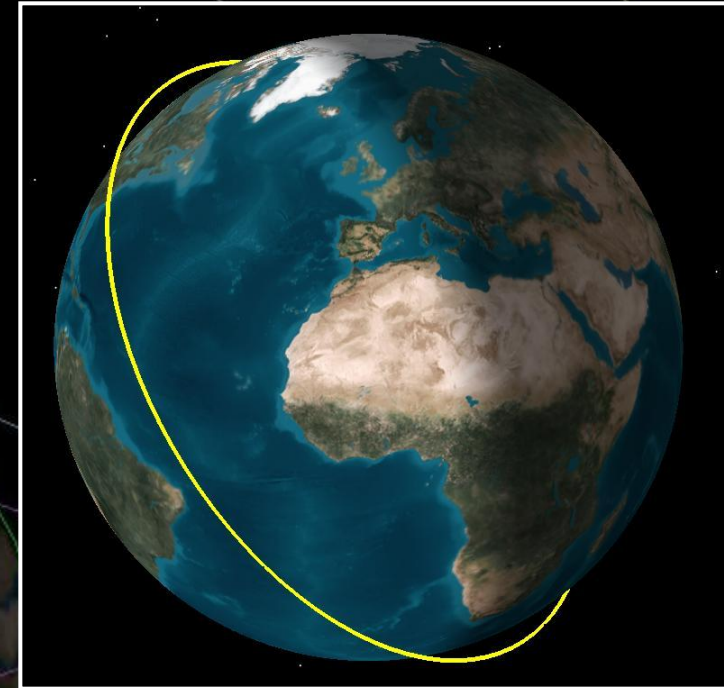
- számos szempont szerint:
 - magasság
 - középpont (általában égitest)
 - szinkronitás (égitesthez viszonyítva)
 - stb
- mi főleg Föld körüli pályákat vizsgálunk, magasság és alkalmazhatóság szerint



LEO (Low Earth Orbit)

Alapjellemzők:

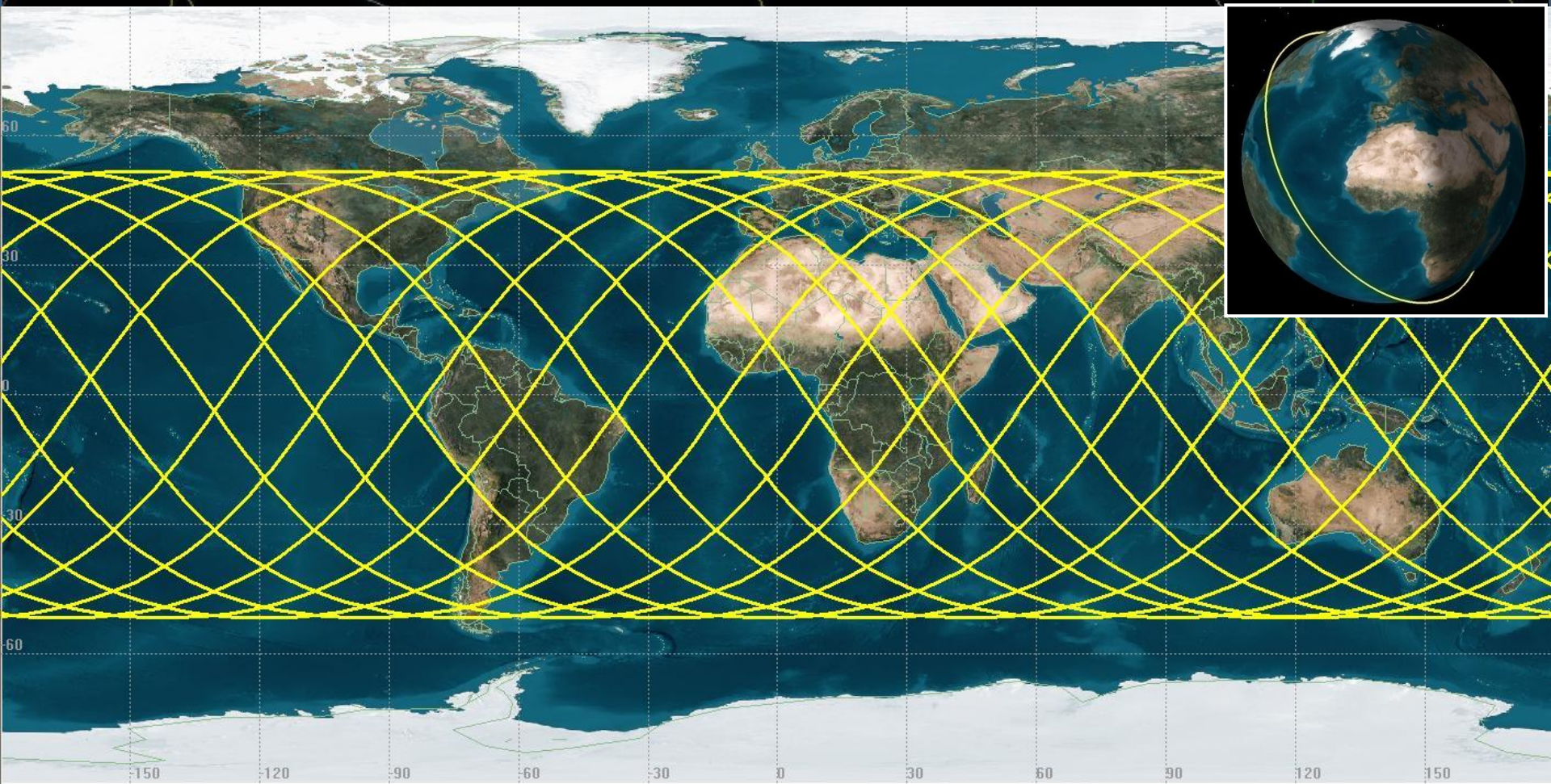
- pálya alakja: kör vagy közel kör
- magasság: 300-1500km
(tágabb értelmezés: 80-2000km)
- inklináció: sokféle lehet
- keringés iránya:
 - NY→K (inklináció $< 90^\circ$)
(legtöbb műhold ilyen pályán)
 - K→NY (inklináció $> 90^\circ$)
(pályára állítás drágább)
- pályasík szöge: hordozótól való szeparáció helyétől
(földrajzi szélesség) függ



Csoportosítás:

1. Nem poláris
2. Poláris, napszinkron
3. Poláris, nem napszinkron

LEO (Low Earth Orbit)

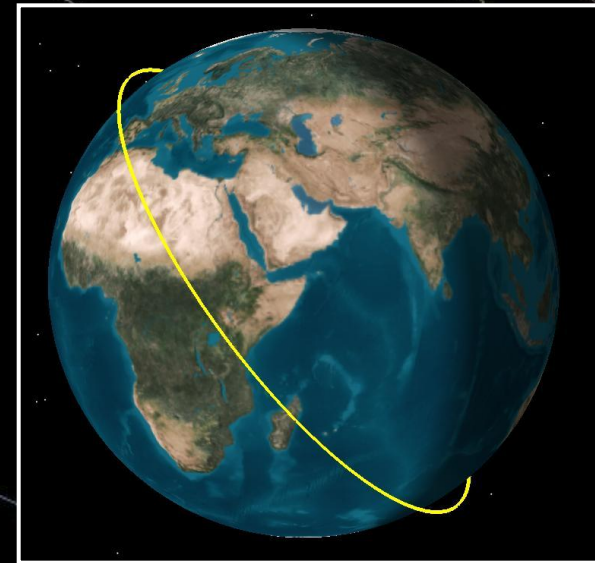


LEO (Low Earth Orbit)

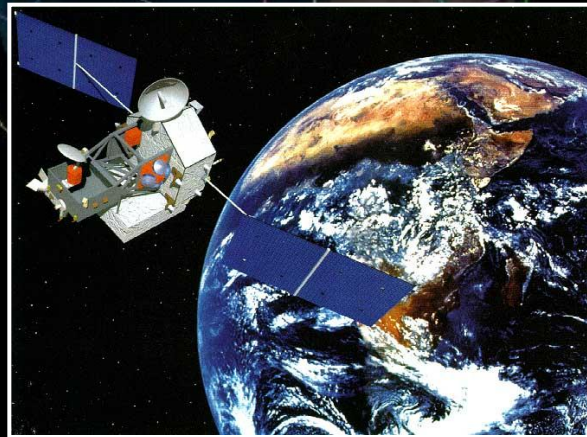
1. Nem poláris LEO

- inklináció $< 70^\circ$

- példák: ISS (International Space Station)
emberes missziók, földmegfigyelés,
tudományos kísérletek
- TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)
trópusi esőzések vizsgálata
- Hubble űrtávcső



ISS (NASA/ESA/RKA/JAXA/
CSA, 1998) 360km, 51.6°



TRMM (NASA/JAXA, 1997)
403km, 35°



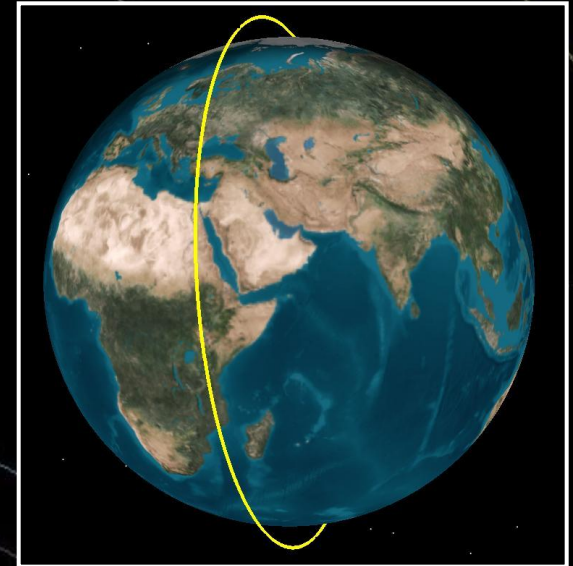
Hubble (NASA, 1990)
559km, 28.5°

LEO (Low Earth Orbit)

2. Poláris, napszinkron (SSO - Sun Synchronous Orbit)

- Poláris:
 - inklináció 90° -hoz közeli
 - Földfelszín jelentős részének lefedettsége
 - alkalmazás: távérzékelés, földmegfigyelés
 - cirkuláris pálya → konstans felbontás
- Napszinkronitás:
 - pályasík és a Nap felé mutató vektor szöge közel állandó
 - egy adott pont fölött a helyi idő szerint mindig ugyanakkor halad el
- beállítás:

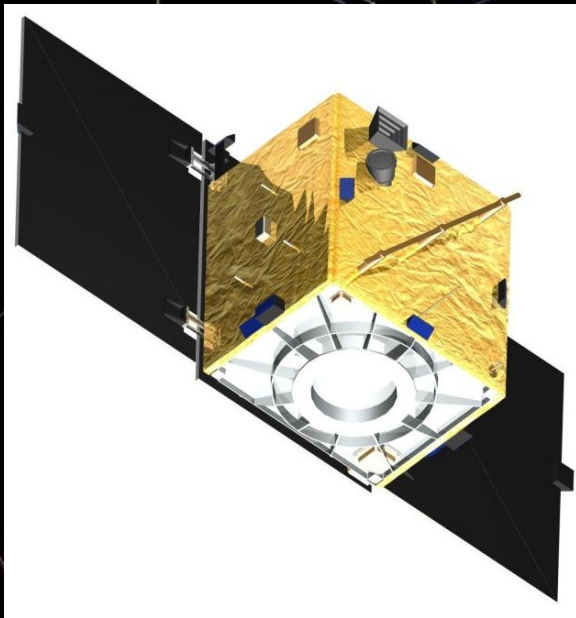
magasság	+	inklináció	megfelelő kombinációjával
(500..1500km)		(97° .. 102°)	
- pályasík precessziója: $\sim 1^\circ$ /nap CW



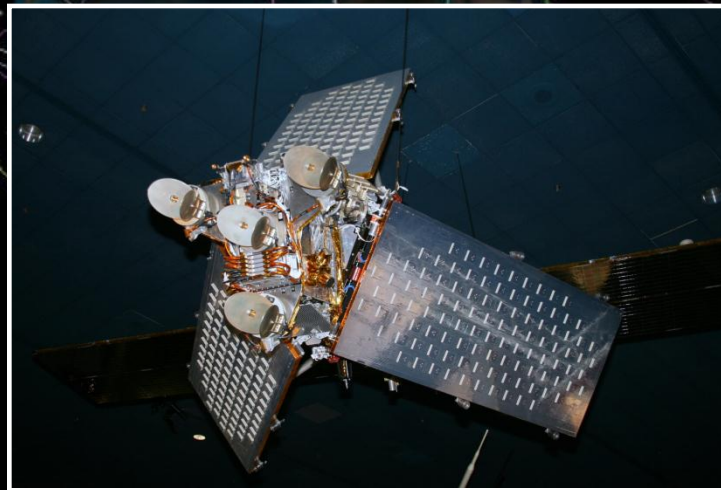
LEO (Low Earth Orbit)

2. Poláris, napszinkron (folyt.)

- példák:
 - Nimbus-7 (1. napszinkron pályájú műhold)
 - sztratoszféra infravörös tart. monitorozása, mikrohull. radiométer, stb
 - ESEO
 - sugárzásmérés, plazma vizsgálata, technológiai tesztek
 - BME-s diákok részvétele BME SRG koordinálásával
 - Iridium
 - kommunikációs műholdrendszer



ESEO (ESA, 2012)
520km; LTAN 10:30



Iridium (Motorola, 1997-)
6 pályasík, 66 műhold,
781km; 86.4°



Nimbus-7 (NASA, 1978)
955km; 99.1°

LEO (Low Earth Orbit)

3. Poláris, nem napszinkron

- adott szélességi fokok feletti áthaladás
nem a napszinkronhoz szinkronizált

- példák:

Meteor-2 (szovjet időjárás-figyelő műholdak)

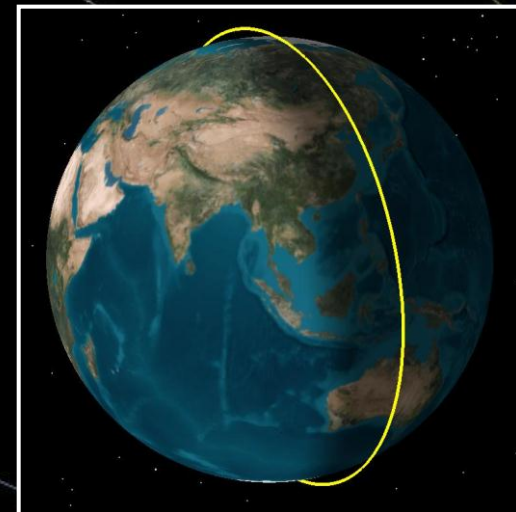
mérések: tengerfelszín hőmérséklet,
páratartalom, sugárzás, jég, stb.

ICESat

jégtakaró, felhők, stb. vizsgálata

GOCE

Föld gravitációs mezejének vizsgálata



ICESat (NASA, 2003)

594/586km; 94°



GOCE (ESA, 2009)

270km; 96.7°



Meteor-2

(RKA, 1975-1993)

900/850km; 81.3°

MEO (Medium Earth Orbit)

Alapjellemezők:

- magasság: 2000-36000km
(LEO és GEO között)
- keringési idő: 2..24h

(Leggyakoribb: ~20.000km; 12h)

- Van-Allen övek itt találhatók
(nagy energiájú protonok!)

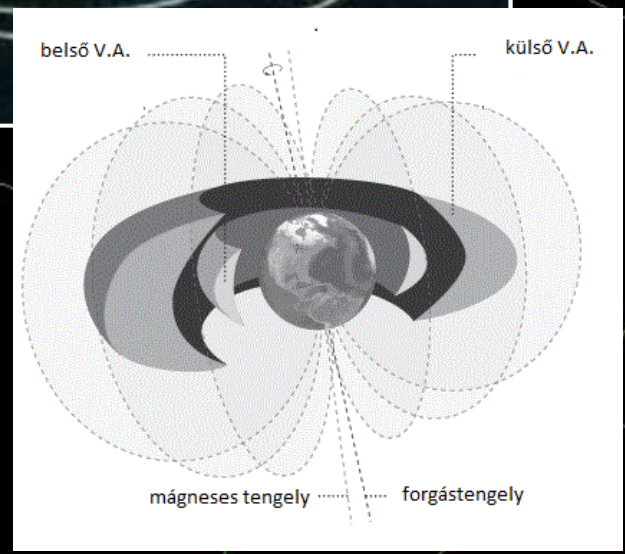
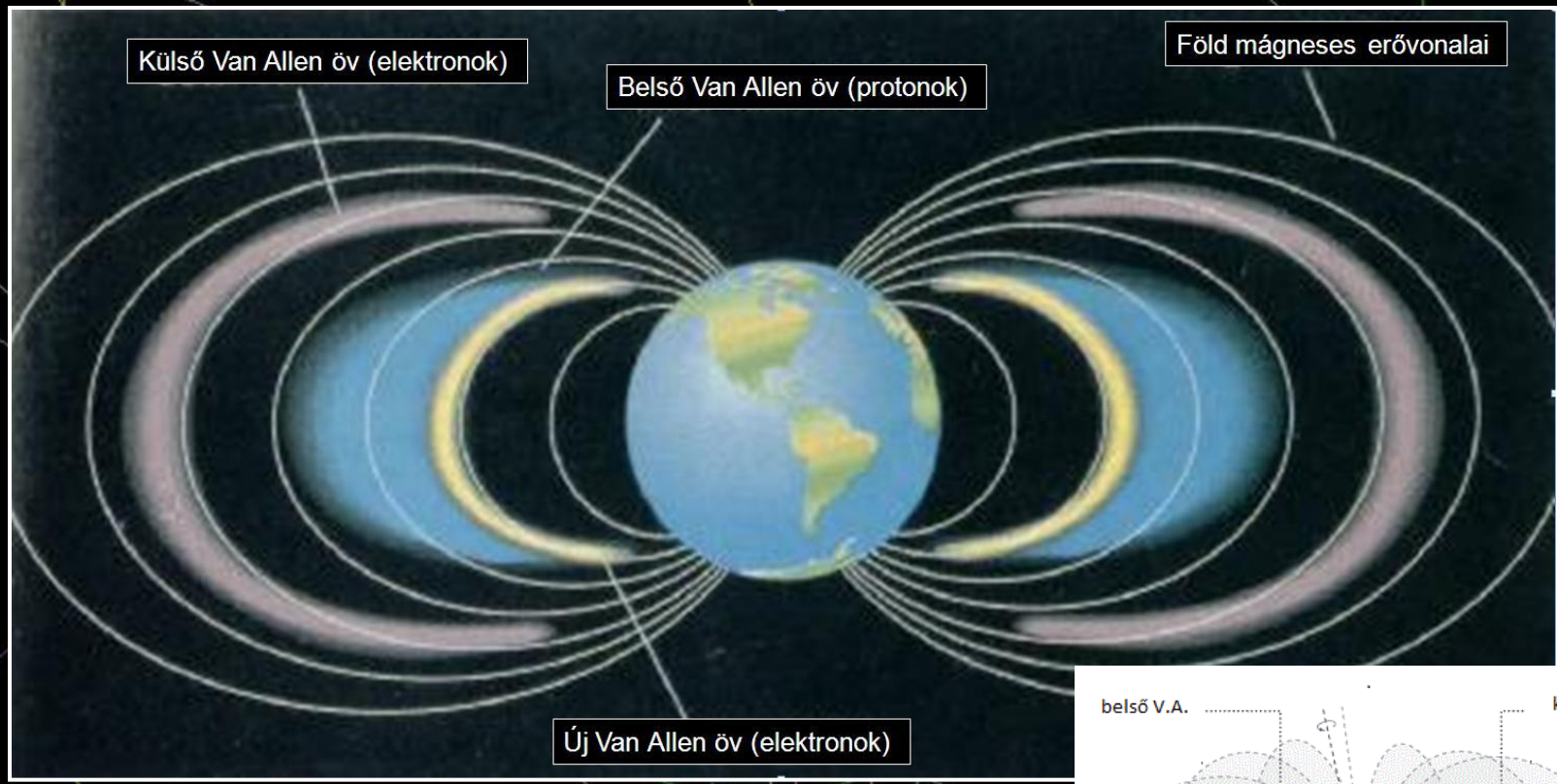
Csoportosítás

Alkalmazás szerint:

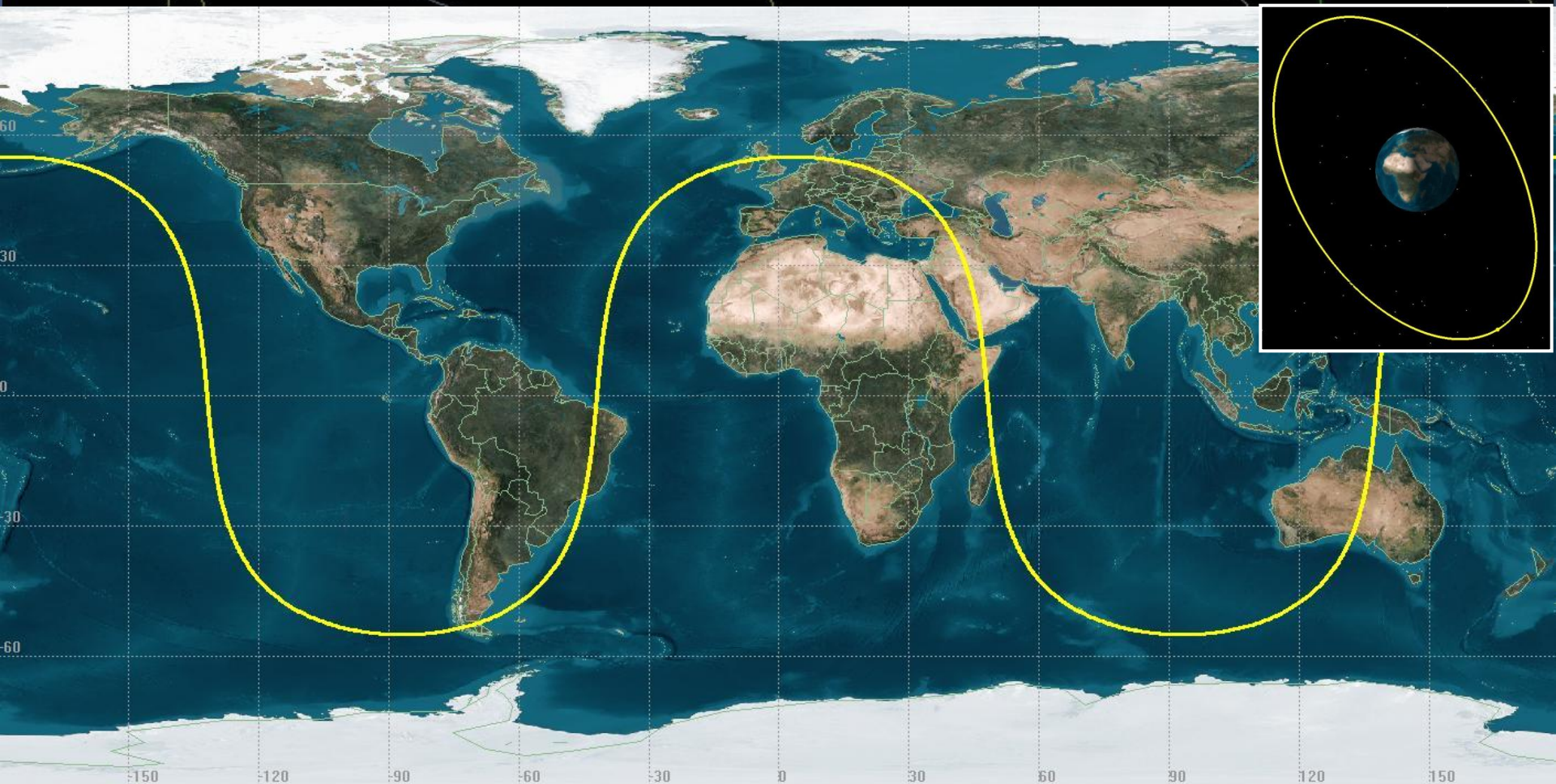
1. Navigációs műholdak
2. Kommunikációs műholdak
3. Geodéziai és űr-környezetet vizsgáló műholdak



Van Allen övek



MEO (Medium Earth Orbit)



MEO (Medium Earth Orbit)

Példák:

1. Navigációs műhold konstellációk (~20000km)



Galileo (ESA, 2005)



GPS /Navstar (NASA, 1978)



Beidou (CNSA, 2000)



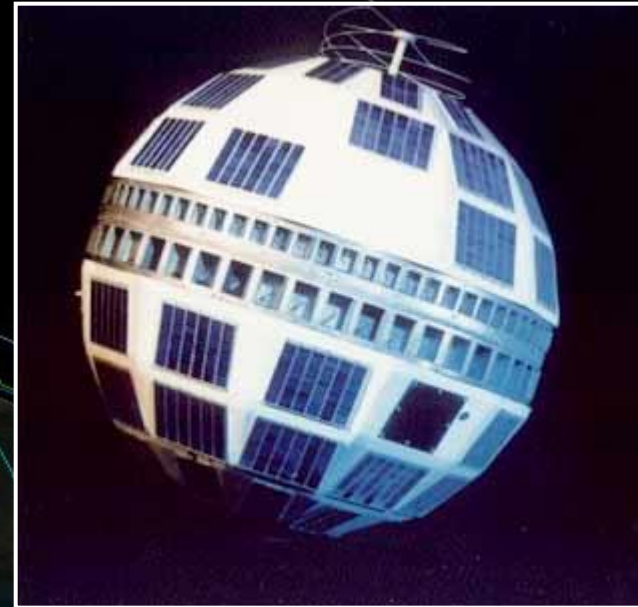
Glonass (RKA, 1982)

MEO (Medium Earth Orbit)

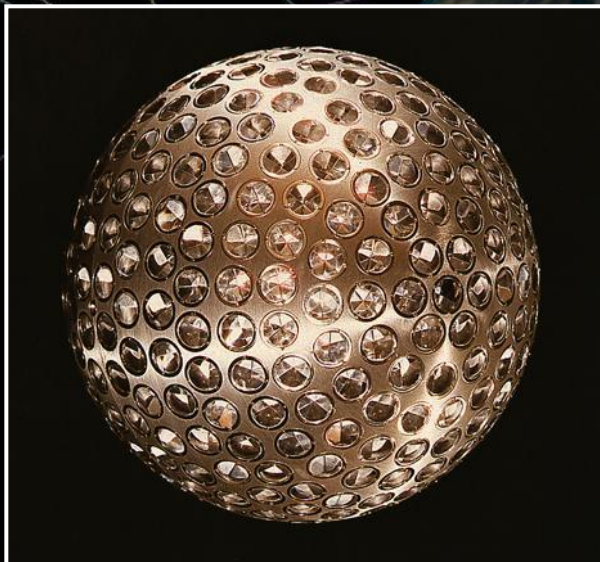
Példák (folyt.):

2. Kommunikációs műholdak

3. Geodéziai és űr-környezetet vizsgáló műholdak



Telstar (AT&T/NASA, 1962)
Telstar-1: első élő transzatlanti TV adás
1000/6000 km



Lageos (NASA, 1962)

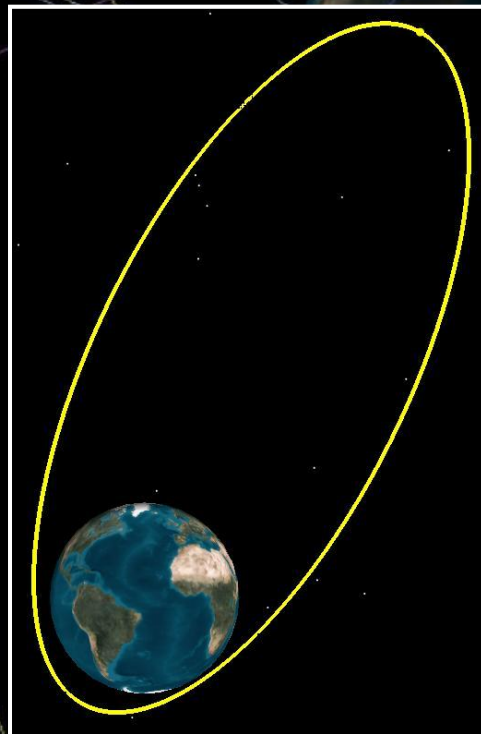
5900km; Laser Geodynamics Satellites

Földi lézeres helymeghatározás; Föld alakjának vizsgálata

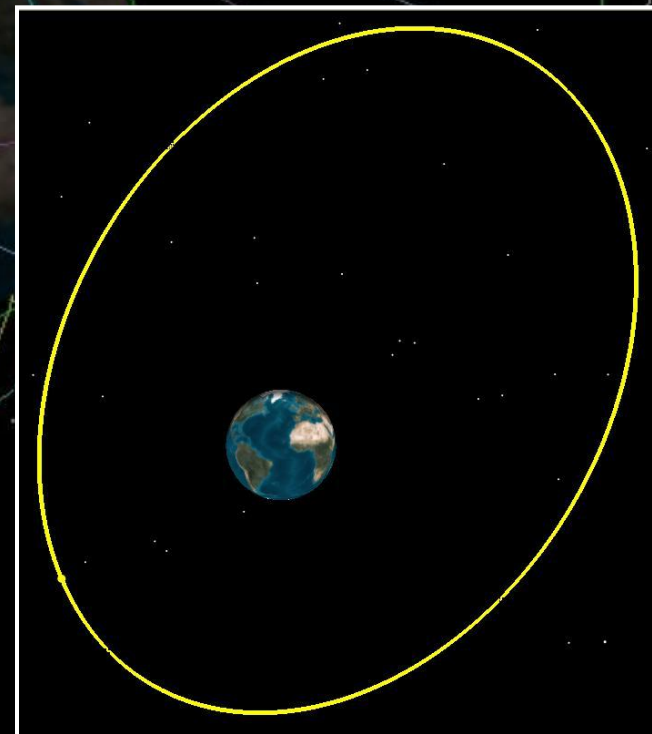
HEO (Highly Elliptical Orbit)

- apogeum GEO fölött (>36000km), perigeum alacsonyan (~1000km)
- inklináció: 50..70°
- fő perturbáló hatások: Föld lapítottsága, Nap és Hold gravitációs vonzása
- alkalmazás: főleg kommunikációs és magnetoszféra kutató műholdak, űr-obszervatóriumok (apogeum közelében sokáig látszik (akár 12 óráig))
- fő típusok:

Molniya

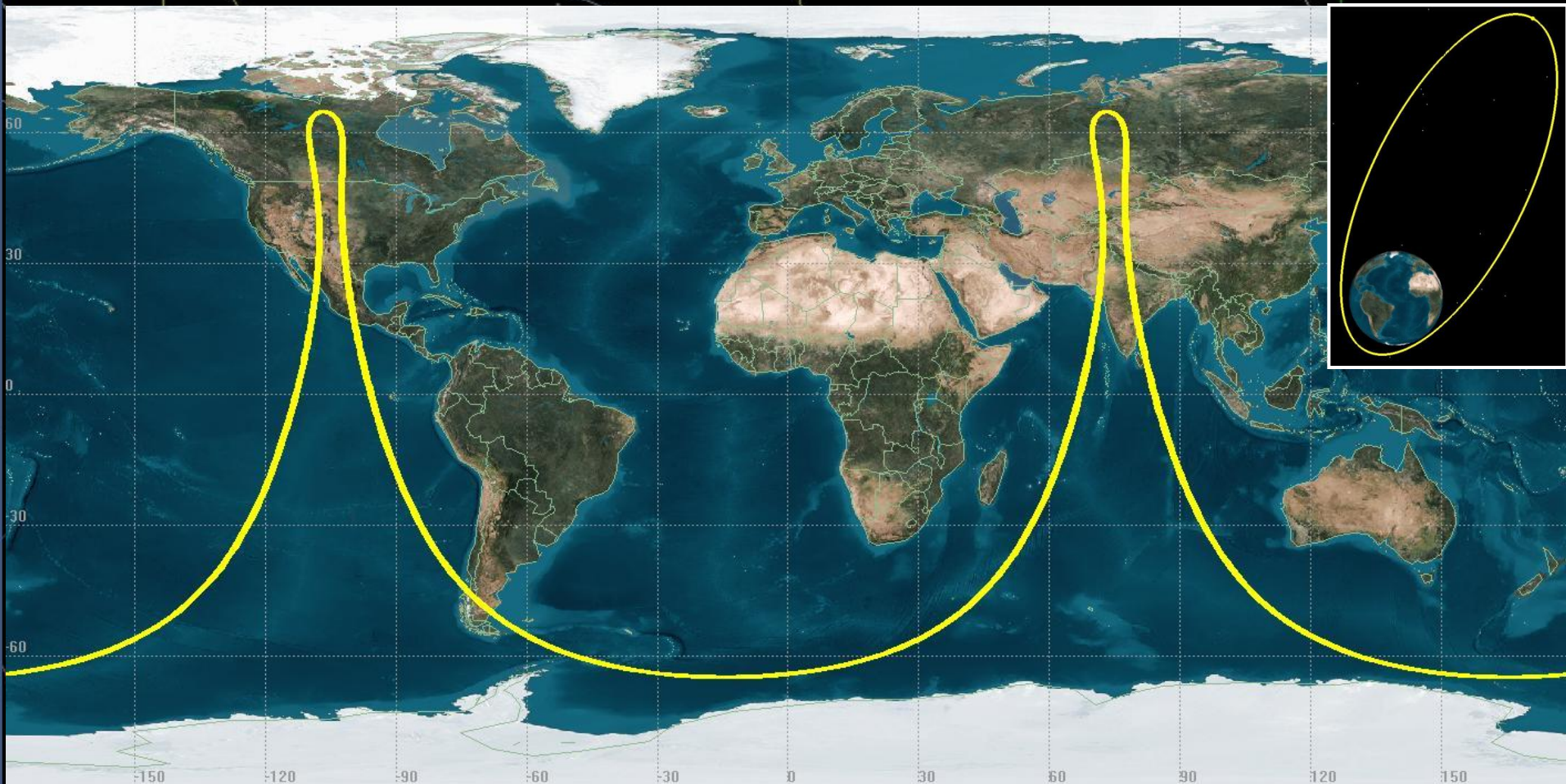


Tundra



HEO (Highly Elliptical Orbit)

1. Molniya pálya

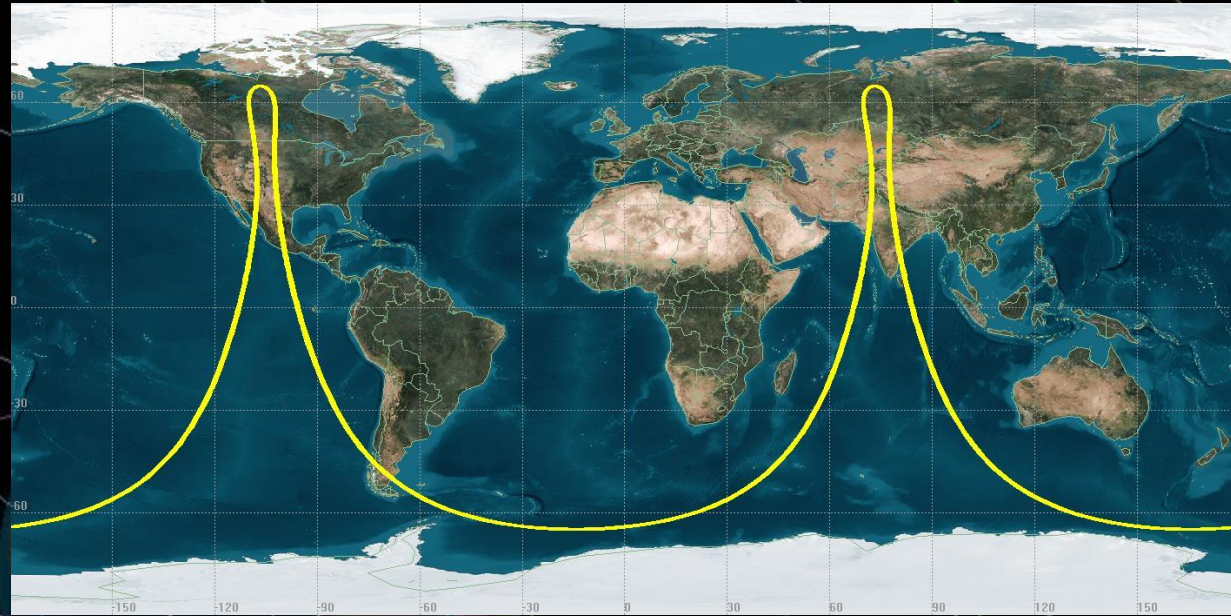


HEO (Highly Elliptical Orbit)

1. Molniya pálya (folyt.)

- jellemzők:

perigeum: $\sim 500\text{km}$
 apogeum: $\sim 40000\text{km}$
 inklináció: 63.4°
 keringési idő: 12 óra



- elnevezés: szovjet Molniya kommunikációs műholdakról (1965 óta)
- inklináció választás oka: perigeumnak a Föld lapítottsága miatti perturbációja
 → nem kell folyamatos korrekció
- apogeum mindig az adott földrajzi koordináták felett
- alkalmazás: poláris régiók feletti láthatóság
 (praktikusabb, mint GEO és SSO)
- 3 műholddal kostans lefedés
 12 órás periódus, a napi 2 pályából 1 jó, ~ 8 órás láthatóság
- szovjet és amerikai kéműholdak is kerültek erre a pályára
- keresztezi a Van-Allen öveget → emberes misszióra nem alkalmas



HEO (Highly Elliptical Orbit)

2. Tundra pályya



HEO (Highly Elliptical Orbit)

2. Tundra pálya (folyt.)

- jellemzők:

perigeum: ~24500km

apogeum: ~47000km

inklináció: 63.4°

keringési idő: 24 óra



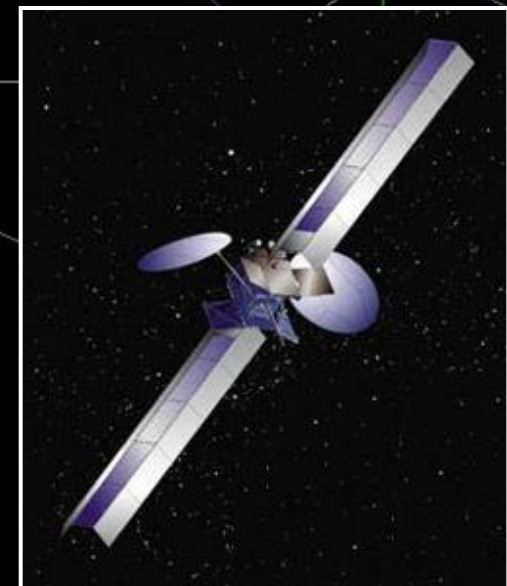
- tulajdonképpen geoszinkron pálya (Molniya: szemi-szinkron)

- alkalmazás: u.az, mint a Molniya pályáknak

- előnyei: - 24 órás lefedettséghez (min.) 2 műhold elegendő

- sugárzási övek elkerülhetők
(pályaelemek megfelelő megválasztásával)

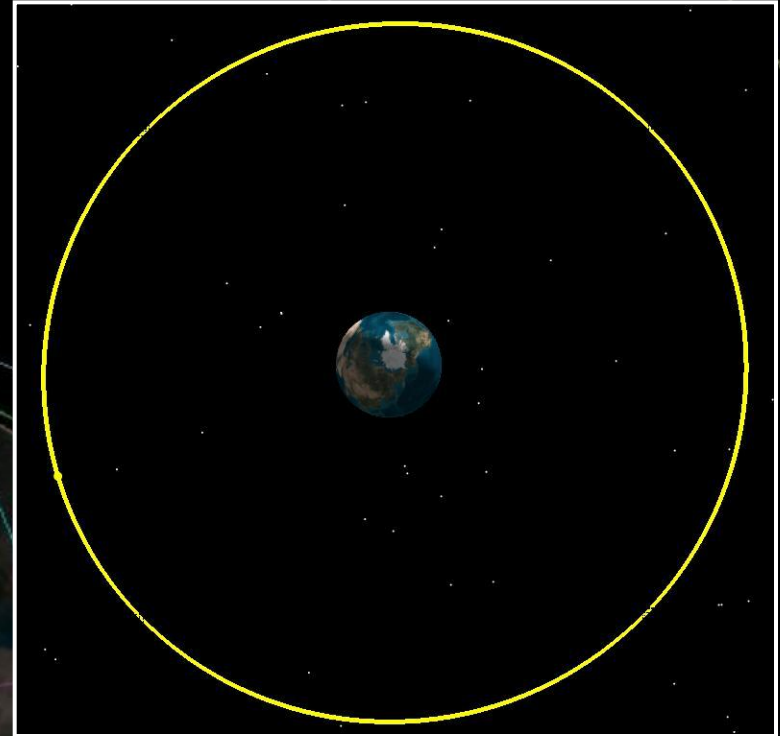
- példa: Sirius Satellite Radio (3 műholdból álló konstelláció)



GEO (Geosynchronous / Clarke Orbit)

Alapjellemezők:

- keringési idő 24h (pontosabban:
az égitest csillagászati
körülfordulási ideje)
- magasság: 35786km (Föld esetén)
- felszín adott pontjáról, adott időpontban
mindig ugyanott látszik a műhold
- pálya felszíni vetülete elnyújtott 8-as
(analemma)
- legtöbb égitest körül létezik GEO pálya
(kivétel: túl lassan forog → túl távol lenne a műhold
túl gyorsan → test belsejében lenne)



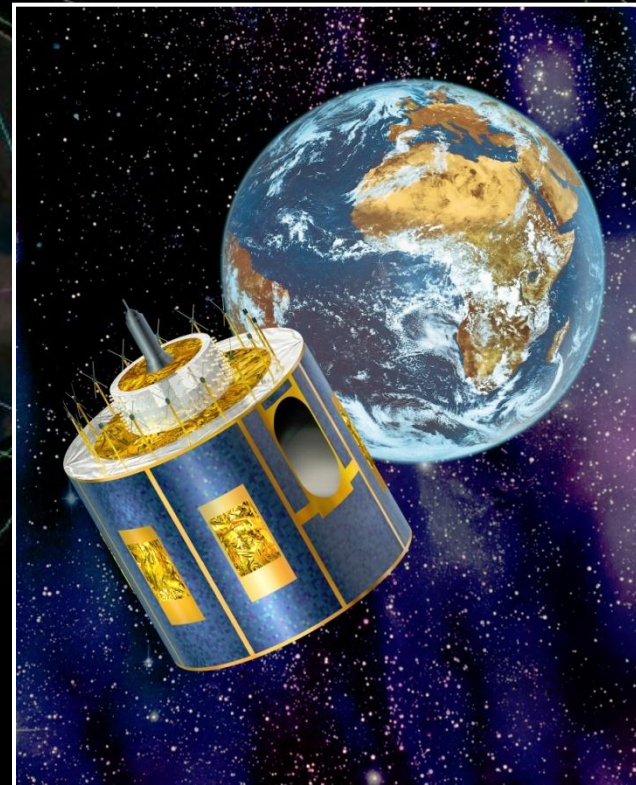
Csoportosítás:

1. Geostacionárius
2. Elliptikus geoszinkron
3. Speciális geoszinkron

GEO (Geosynchronous / Clarke Orbit)

1. Geostacionárius pálya

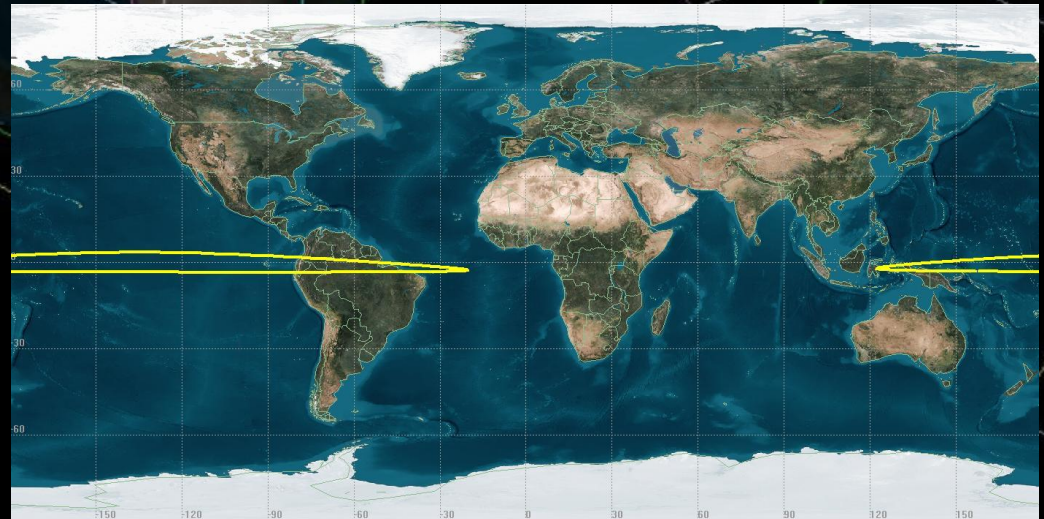
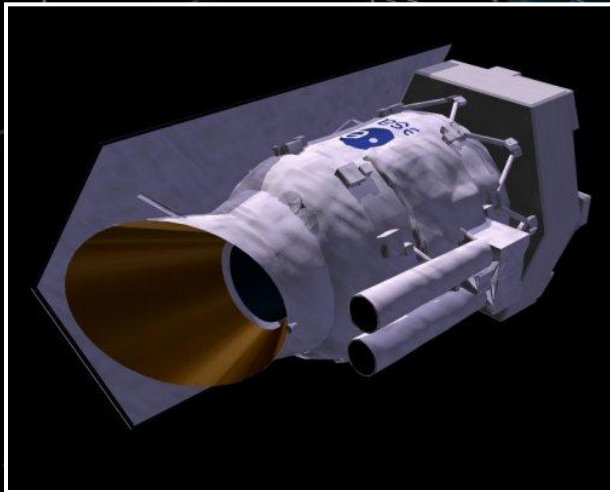
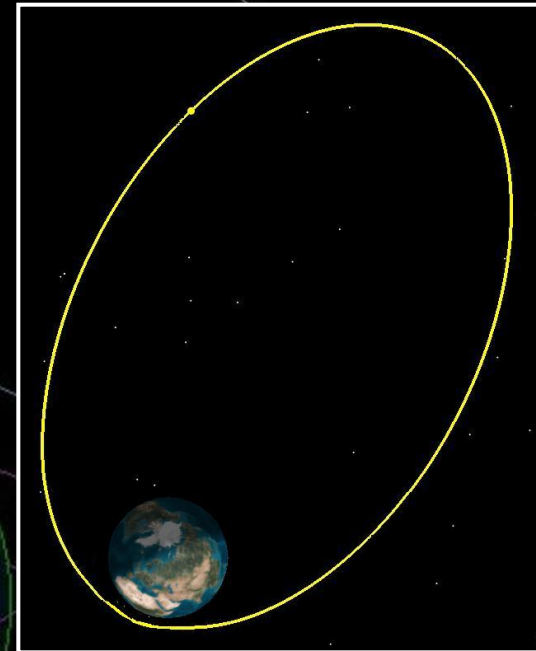
- geoszinkron pályák speciális esete
 - inklináció 0°
 - excentricitás közel 0 (kör pálya)
 - pálya felszíni vetülete egy pont
- alkalmazás: meteorológia, műsorszórás
- Példa: METEOSAT (ld. időjárás jelentés: EUMETSAT)



GEO (Geosynchronous / Clarke Orbit)

2. Elliptikus geoszinkron pálya

- földi állomásról nézve "oszcillál" (analemmaként látszik)
 - antennával követni kell, de folyamatosan látszik
- alkalmazás: kommunikációs műholdak
- példa: Infrared Space Observatory
 - apogeum: 70600km; perigeum: 1000km
 - követése két földi állomással



GEO (Geosynchronous / Clarke Orbit)

3. Speciális geoszinkron pályák

3.1. Lagrange-pontok

- Feltételek:

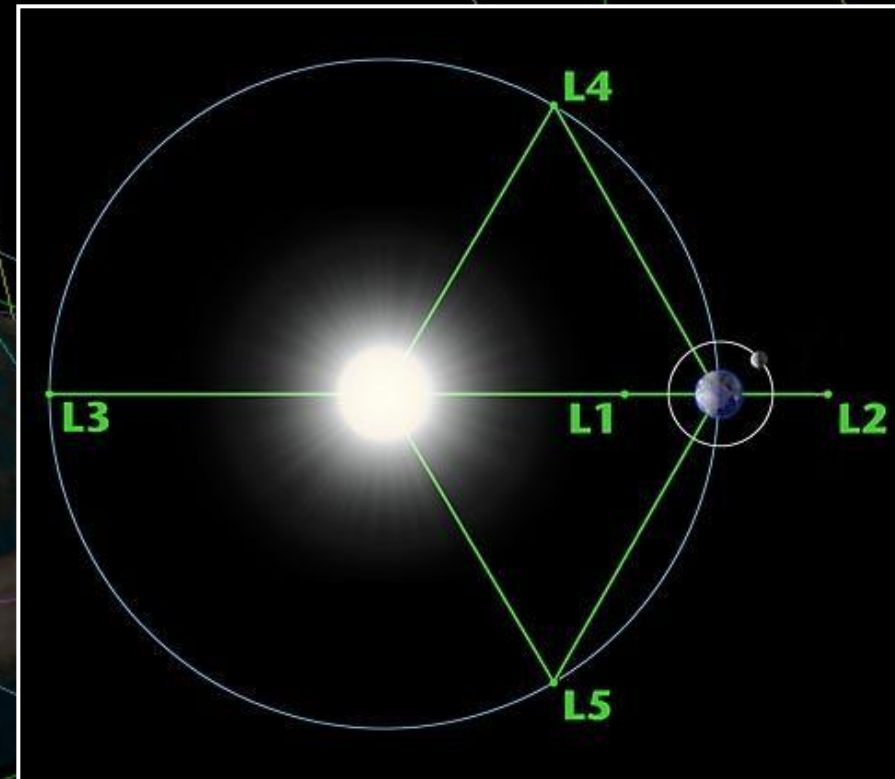
- bolygó és holdja szinkron forognak
- 3. test tömege elhanyagolható a bolygó és holdjának tömegéhez képest
- Lagrange-pontok: az eredő gravitációs mező által kijelölt pontok, melyekben a 3. test (műhold) helyzete állandó a két égitesthez viszonyítva

- stabil L-pontok: L4, L5 (nem kell meghajtás!)
- instabil L-pontok: L1, L2, L3

3.2. "Halo" és Lissajous pályák

(Halo: periodikus; Lissajous: kvázi periodikus)

- Instabil Lagrange-pont körüli keringés → stabil pálya



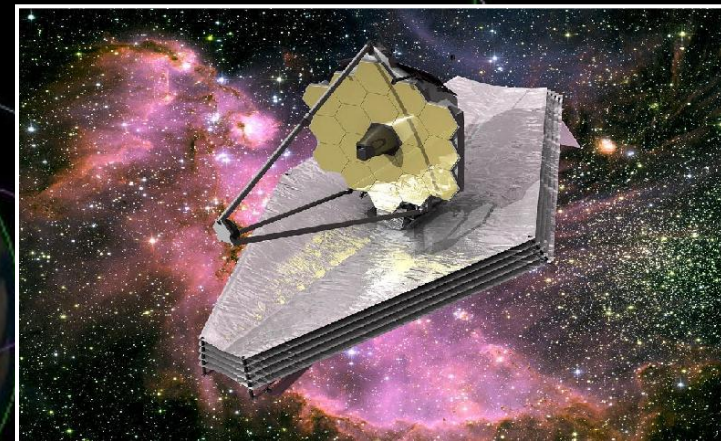
GEO (Geosynchronous / Clarke Orbit)

3. Speciális geoszinkron pályák (folyt.)

Példák:



SOHO (ESA/NASA, 1995)
(Solar and Heliospheric Observatory) L1 pont körül



James Webb Space Telescope
(NASA/ESA/CSA, 2014)
L2 pont körül
Hubble utódja (távolabbi
Objektumok vizsgálata, de
csak infravörös tartomány)

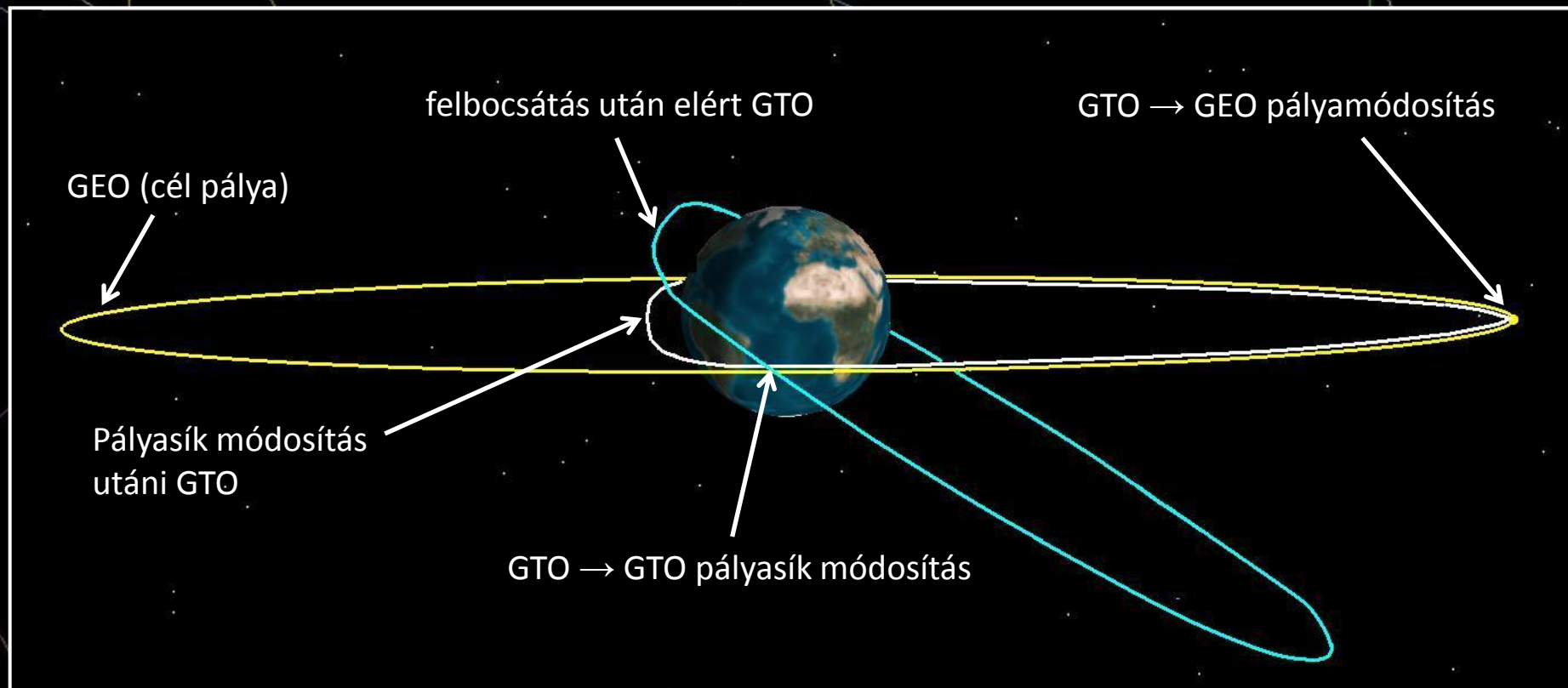


Herschel (ESA/NASA, 2009)
L2 pont körül (1.5M km-re a Földtől)
Galaxisok és csillagok keletkezésének
vizsgálata, égitestek kémiai
összetételének meghatározása

Egyéb pályák

1. Transzfer pályák

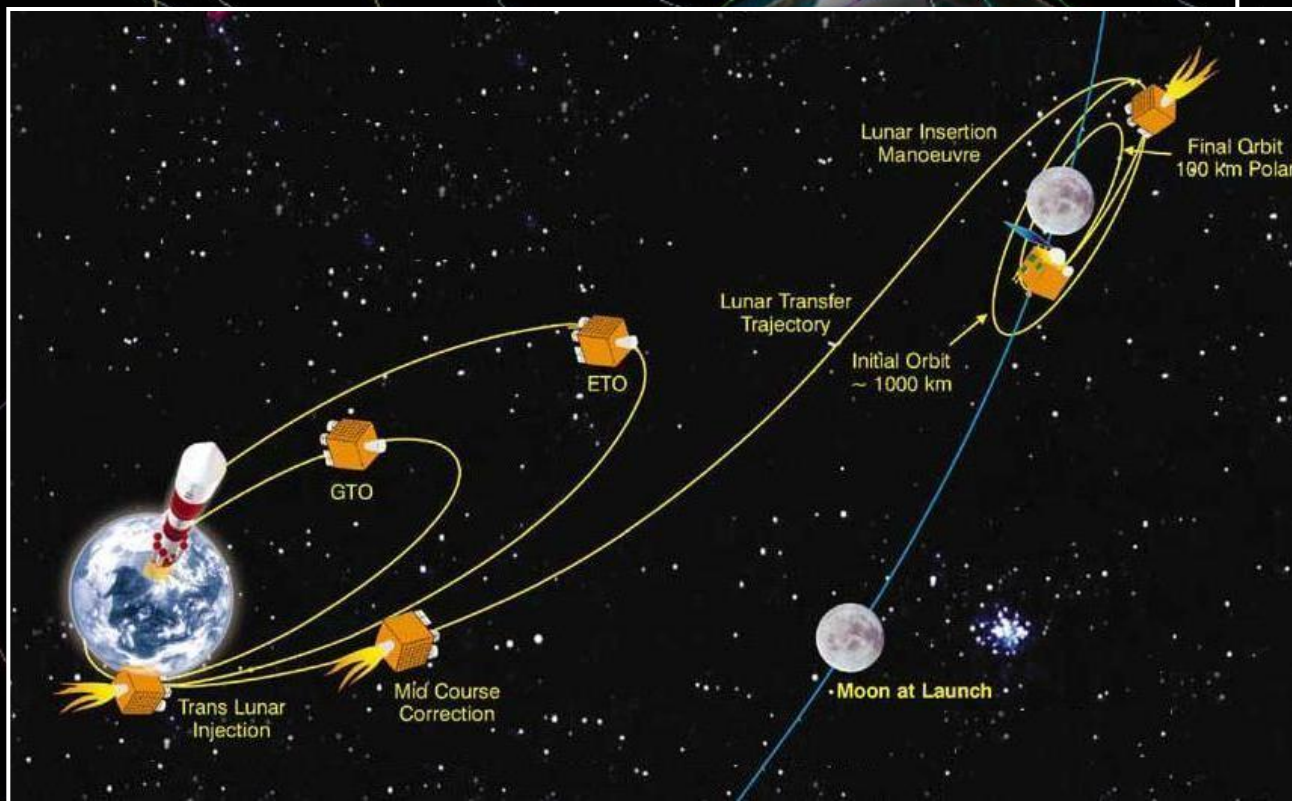
- pl. GTO (Geostationary Transfer Orbit)



Egyéb pályák

2. Pseudó pályák

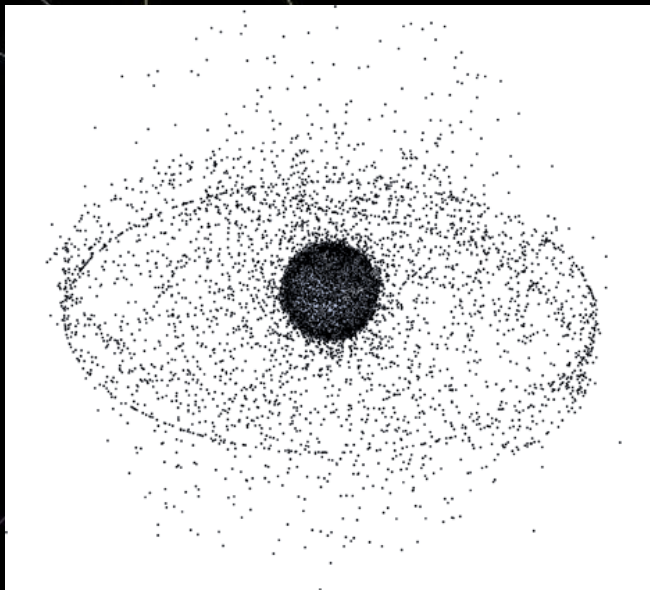
- nem egy égitest körül, hanem egyik pontból a másikba való eljutáshoz
- pl. LTO (Lunar Transfer Orbit)
 - példa: Chandrayaan-1 (ISRO, 2008)
 - 100*100km poláris pálya a Hold körül



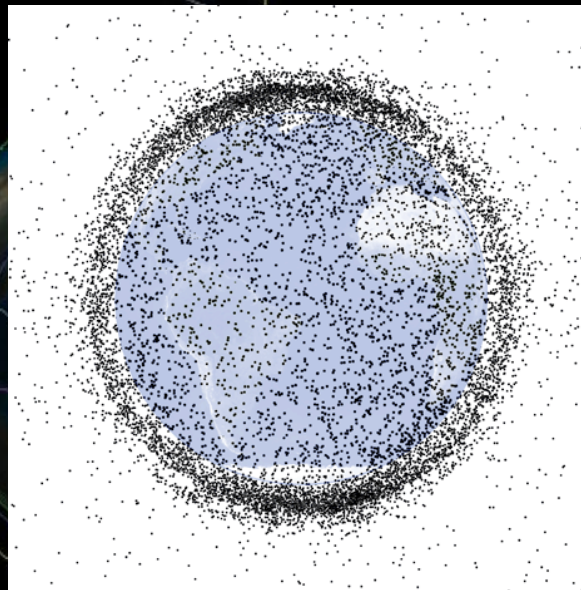
Egyéb pályák

3. Temető pályák

- „Ilyen meg minek??”



GEO űrszemét



LEO űrszemét

Föld körüli pályán:

> 10 cm:	~ 19.000 db
1..10 cm:	~ 500.000 db
< 1cm:	~ n*10.000.000 db

- szuperszinkron pálya (GEO-nál magasabban)
- gond: mikrometeoritok becsapódása → műholdról leváló darabok visszajönnek alacsonyabb pályára
- űrszemét csökkentése: egyelőre csak tervezésre vonatkozó szabályozások

A témához kapcsolódó internet oldalak

Műholdak pályájának előrejelzése, követése, animáció

- <http://www.gearthblog.com/satellites.html>
- <http://www.stoff.pl>
- <http://www.n2yo.com>
- <http://www.heavens-above.com>
- <http://science.nasa.gov/realtime/jtrack>
- <http://orbits.eoportal.org>
- <http://www.csgnetwork.com/satorbdatacalc.html>

Műholdak, égitestek pályája és egyéb infók:

- <http://www.heavens-above.com>
- <http://www.radio-electronics.com/info/satellite/satellite-orbits/satellites-orbit-definitions.php>
- <http://www.satsig.net/sslist.htm>

Műhold képek:

- <http://pajk.arh.noaa.gov/sat.php>

Műholdak pályájának meghatározása:

- <http://ilrs.gsfc.nasa.gov>
- <http://www.aero.org/publications/crosslink/summer2002/04.html>

NASA tudományos kutatási területek:

- <http://science.nasa.gov>
- <http://www.nasa.gov/topics/nasalife/features/worldbook.html>

Űrtörténelem számokban:

- http://www.technologyreview.com/files/68762/graphiti_charts.pdf

Ellenőrző kérdések

- Mik az SSO pálya legfontosabb tulajdonságai? Milyen előnye van a nem poláris LEO-val szemben?
- Mik azok a Van-Allen övek?
- Milyen pályatípusoknál kell figyelembe venni a Van-Allen övek hatását?
- Milyen szempontokat kell figyelembe venni a Van-Allen öveken áthaladó műholdak tervezésénél?
- Mi a műhold orientációjának szerepe energetikai és kommunikációs szempontból?
- Mik a Lagrange-pontok? Milyen missziókra használhatók az instabil Lagrange pontok? Hogy lehet minimális energiafelhasználással üresközt működtetni ezeken a helyeken?
- Mi a geostacionárius pályájú műholdak felbocsátásának módszere?
- Miért van szükség rendszeres pályakorrekcióra a legtöbb műhold esetében?
- Milyen magasságban található a globális navigációs műholdrendszerek? Mi a pályaválasztás oka?
- Hasonlítsa össze a HEO pályák két legfontosabb típusát!
- Melyek a fontosabb műholdpályák?
- Mi az előnye a poláris LEO pályának?
- Mi az előnye a geostacionárius pályának?
- Soroljon fel néhány alkalmazást (műholdrendszert) amely Geostacionárius pályát használ!
- Mi az előnye a Molnyija pályának?
- Mit nevezünk transzfer pályának?