HADMÉRNÖK

X. Évfolyam 3. szám - 2015. szeptember

SZABÓ József
szabo.jozsef95@chello.hu

A VILÁGŰR ÉS FIZIKAI ALAPJAI ŰRDINAMIKA SOROZAT 2. RÉSZ

Absztrakt

Cikksorozatunk 2. részében az olvasó találkozik a világűr tulajdonságaival, a csillagászatban használatos mértékegységekkel, a csillagászati egységgel, a fényévvel és a parszek fogalmával. Megismerkedünk a továbbiakban a súlytalanság fizikai hátterével, amelyet egyre gyakrabban ma már mikrogravitációs állapotnak neveznek. Összefoglaljuk a koz-mikus sebességek fizikai hátterét és a leggyakoribb kozmikus jellemző sebességér-tékek fizikai hátterét.

In the 2nd part of our article series the reader can face with nature of space, with units, used in astronomy: Astronomical Unit, light year and parsec. In the next we can meet with physical background of weightlessness, what's named microgravity increasingly. We are summarizing physical background of cosmic velocity and the most frequent used cosmic specific velocity.

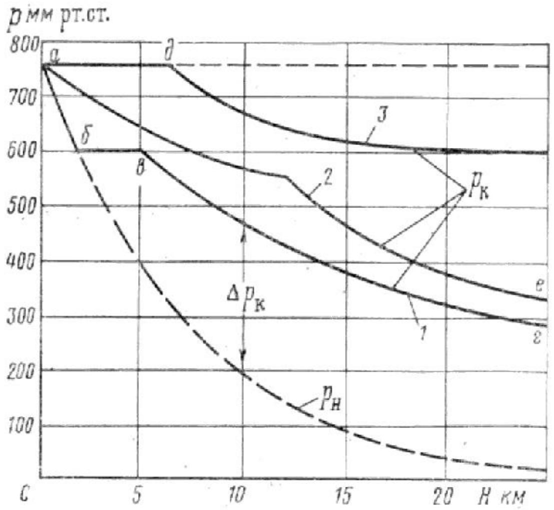
Kulcsszavak: *világűr, Föld körüli, bolygóközi és csillagközi térség, csillagászati egység (CSE), fényév*

RÖVIDEN A VILÁGŰRRŐL

Földünk a Nap körül, mintegy 150 millió *km* közepes távolságon keringő bolygó. Ez a távolság az ún. életszférában van, így a Földön nem túl szélsőségesek, mondhatni az élet számára elviselhetőek a körülmények. A Földet vastag légkör veszi körül, amely 160–170 *km* magasságig még az űrrepülést sem teszi lehetővé, viszont kb. olyan védelmet nyújt a világűrből, és főleg a Napból jövő, veszélyes sugárzások ellen, mint egy 10 *m* vastag vízréteg. Ennek köszönhető pl. a földi élet megjelenése és fejlődése is. A légkör alsó rétege a troposzféra, amely felső határa a sarkokon 10-12 *km*, a forró égövön 16–18 *km* magasságban van. A légkör sűrűsége a magasság növekedésével csökken, összetétele azonban, lényegében változatlan. A légkörnek mintegy 21%-a oxigén, amelynek parciális nyomása, a magasság növekedésével csökken. Ez azt jelenti, hogy bizonyos magasságon, pl. 16 *km* magasságon, már nem elegendő ahhoz, hogy az életet táplálja, így ettől a magasságtól, megfelelő védőeszközök nélkül már jóval kisebb magasságokon is, az élő szervezet — így az emberi szervezet is — rövid idő alatt megfullad. [9]

Mielőtt meghatároznánk magát a fogalmat, mi is az a világűr ahová ki akartunk jutni, és az hol kezdődik, célszerű megjegyezni, hogy ilyen fogalom, hogy „űr", egyetlen nyelvben sincs, csak a magyarban. Ezt a fogalmat Madách Imre *„Az ember tragédiája"* c. művében alkotta meg. Más nyelveken a Föld körüli, bolygóközi térség, csillagközi vagy éppen a galaxisok közti térség fogalmakat használják. Anyag ugyanis mindenhol van, igaz nagyon kis mennyiségben, de van. A Föld anyagának minden köbcentiméterében billiónyi atom helyezkedik el. Az atom átlagosan ugyanis a *cm* százmilliomod része. Így, ott egy cm^3 akár 100 000 000^3 atomot is tartalmazhat. Nos, a Föld körüli térségben, a bolygóközi térben és a csillagközi térben is van anyag, de ott egy cm^3-ben 0,1–20 atom található. Ez a legtökéletesebb vákuum, amely elképzelhető. [8]

A válasz a kérdés második felére sem egyszerű. A világűr kezdetének a Föld felszínétől mért magassága ugyanis attól függ, milyen szempontból kívánjuk azt meghatározni. Az élő szervezet szempontjából a világűr 16 *km* magasságban kezdődik, mert ott pl. az élő szervezet — tehát, többek között az ember szervezete — már nem képes oxigént felvenni, mivel ezen a magasságon már felforr a folyadék, így a vér is. Ezért pl. a szuperszonikus repülőgépek pilótái hermetikus fülkében, speciális magassági ruhában tartózkodhatnak, és az oxigént, pl. egy véletlen dehermetizáció (a hermetikusság megszűnése) esetén, meghatározott nyomásértékkel juttatják be a tüdejükbe. A tüdőben túlnyomást hoznak létre, s a vérbe, a nagyobb nyomás következtében az oxigén felszívódik. Ilyen esetekben, a szervezet épségének megóvása érdekében a védőruhán elhelyezett gumicsövek felfúvódnak, s a ruhát — amelyet egyébként is pontosan a testre szabnak —, szorosan ráfeszítik a repülőgép-vezető testére, s így óvják meg attól, hogy a nagy nyomással a tüdőbe kerülő levegő belső sérülést okozzon. (1. kép) Egyébként az emberi szervezet számára a hermetikus környezetet a magassági fülke biztosítja. Az 1. ábrán a Pk – értékek a különféle repülőgépek kabinnyomását, a szaggatott vonal pedig a külső nyomásértéket mutatja. Az *1* a vadászgépek, a *2* a bombázók és *3* az utasszállító repülőgépek kabinmagasságát jelöli. Az ilyen fülkében a repülőgép-vezető még 20000 m-en is olyan körülmények közt dolgozhat, mintha 7000–8000 m magasságban lenne.



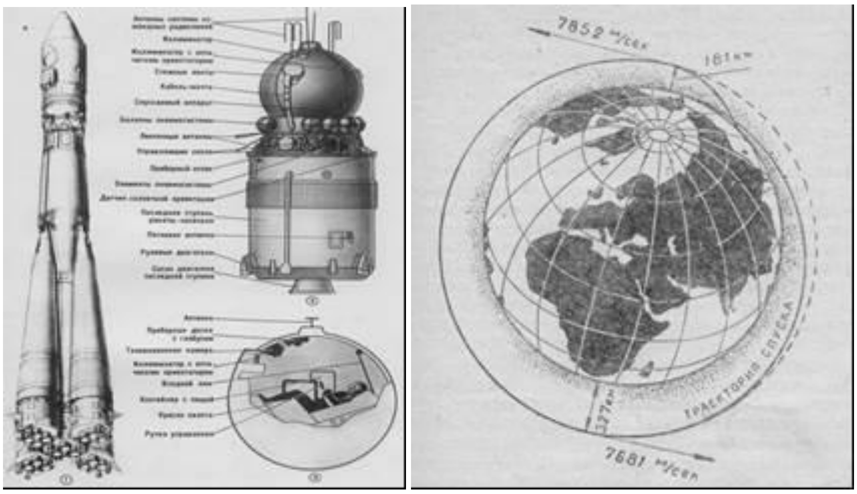
1. ábra: A levegőnyomás alakulása a hermetikus kabin belsejében a magasság függvényében [5]

1. kép: A szuperszonikus repülőgép-vezetők védelmére szolgáló magassági védőruha (MSZ archív)

Más szempontból vizsgálva, egy másik magassági határt határozhatunk meg, s az eddig a magasságig tartó tartomány, ameddig az aerodinamikai elvek alapján haladó repülőszerkezetek fel tudnak emelkedni, s ott vízszintes repülést tudnak végezni. Ez is különféle magasságértéket jelenthet, és általában 30–40 *km* lehet, vagy ennél több is, tehát nincs éles határ. Ma általában arra mondják, hogy járt a világűrben, aki valamilyen eszköz segítségével űrugrást végez, s annak a felszíntől legtávolabbi pontja 100 *km* fölött van. Ilyen repülést hajtott végre pl. az X-15 rakétahajtású repülőszerkezettel Joe Walker, amikor 107,9 *km* magasságig emelkedett. A 100 *km* jelöli az ún. *Kármán-vonalat*, ahol már az aerodinamikai kormányzáshoz elégtelen a levegő sűrűsége, s e magasságtól már a repülőeszközöket a világűrben alkalmazott módszerekkel célszerű kormányozni. Nos, ilyen formán a két amerikai űrugrást végzett, későbbi asztronauta, Sheppard és Grissom, közel 190 *km* magasságban jártak az űrugrásuk során, mintegy 5 percet tartózkodtak a súlytalanság állapotában, de nem lettek űrhajósok. E cím elnyerésének alapvető követelménye ugyanis, hogy az lehet űrhajós (asztronauta vagy kozmonauta), aki legalább egyszer megkerülte a Földet. Így ők, ekkor — néhány hónappal Gagarin űrrepülését követően, illetve German Tyitov egynapos űrrepülésekor — még csak a „jártak a világűrben" kategóriába kerültek be.

Mi viszont — érthető okból — a világűrt nem a fenti kritériumok, hanem az űrdinamika, vagyis az űrben végzett mozgások törvényeinek a követelményei alapján vizsgáljuk, és annak kezdeti magasságát is ebből kiindulva határozzuk meg. Az űrrepülés szempontjából tehát a világűr azon a magasságon kezdődik, amelyre ha az űrobjektumot feljuttatjuk, és ott a helyi függőlegeshez viszonyítva 90°-os szög alatt az első kozmikus sebességre felgyorsítjuk, az legalább egyszer megkerüli a Földet. Meg kell jegyezni, hogy itt sincs pontos határvonal. Ez a magasság 160–170 *km*, illetve — mivel a légköri körülmények jelentősen változhatnak, és gyakran változnak is — általában e magasság fölött van. Az elmúlt évtizedek űrrepülései során eddig, a Föld körüli pályára állítást általában minden esetben 180–250 *km* közötti magasságtartományban végezték, mert ott legalább egy, de 200 *km*-en és fölötte akár több kört is biztonságosan megtehet az űrobjektum anélkül, hogy a repülése, a légköri ellenállás miatt veszélybe kerülne, és idő előtt visszatérne a sűrű légrétegbe. Hangsúlyozni kell, hogy a 180 *km* körüli magasságon az indításra általában akkor került sor, amikor a Föld körüli pályára állási sebesség, az ehhez a magassághoz szükséges első kozmikus sebességértéknél nagyobb volt, ez pedig nagyobb apogeum-magasság elérését jelenti, és ott az űrobjektum 230–240 *km* magasságot is elérhetett. Az első emberes űrobjektumokat 180 *km* körüli magasságon állították pályára, amelyek ezt követően ellipszis pályára álltak, amelyek apogeum-mahassága minden esetben nagyobb volt, mint a perigeum-magasság.

Ilyen volt Gagarin űrrepülése is, amikor a Vosztok űrhajó 181 *km*-en állt pályára, de az ottani körpályasebességhez viszonyítva 45–50 *m/s* sebességtöbblettel rendelkezett. Ennek eredményeként, az apogeumban a magassága 327 *km*-re nőtt. (2. ábra) Az óvatosság szükséges volt, hiszen a Vosztok-1 útja volt az első, amely során embert juttattak a világűrbe, s ebben az esetben a repülés még — ha nem is teljes mértékben — ugrás volt az ismeretlenbe, tehát minden lehetséges problémát meg akartak előzni, ami végül is sikerrel járt. [10]



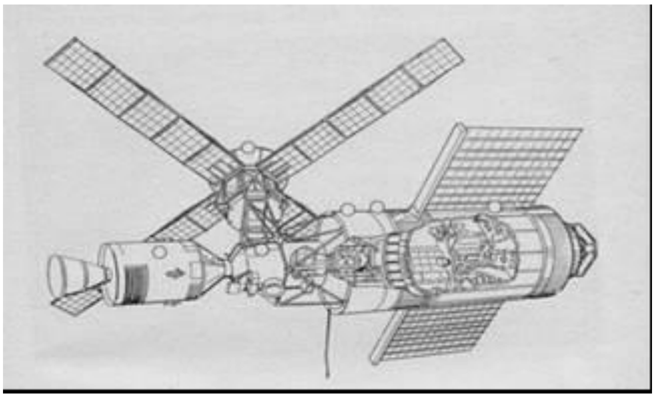
2. ábra: A Vosztok–1 komplexum részegységei és a Föld körüli pályája, amelyen, a történelemben először, Gagarin, mintegy 108 perc alatt megkerülte a Földet (*MSZ –archív*)

A továbbiakban még öt Vosztok űrhajót indítottak, s azok mindegyikét 180 *km* körüli magasságon állították pályára, s az apogeumban magasságuk 230-245 *km* között volt. Amint ismeretes, a Vosztok–2-vel G. Tyitov 15-ször, a Vosztok–3-mal A. Nyikolájev 61-szer, a Vosztok–4-gyel P. Popovics 48-szor, a Vosztok–5-tel V. Bikovszkij 80-szor, a Vosztok–6-tal V. Tyereskova 48-szor kerülte meg a Földet. Ilyen hosszantartó űrrepülést nem végezhettek volna a Vosztok sorozat űrhajósai, ha az apogeumban nem mennek fel 230 *km* fölé. Gagarin repülése során kialakult pályamagasságból is arra következtethetünk, hogy ő is hosszabb időt tölthetett volna Föld körüli pályán, de az első repülésnél a Föld egy alkalommal való körberepülése volt a cél, ezért az apogeum elhagyása után bekapcsolták a fékezőrakétát, s megkezdődött a sűrű légrétegbe való süllyedési manőver. [10]

200 *km* fölötti pályamagasság esetén, néhány kör megtétele után lehetőség van további manőver végrehajtásával magasabb pályára emelkedni, találkozást létrehozni pl. az űrállomással, ahogyan azt a Kubászov–Farkas páros is tette, vagy pedig meghatározott gyorsítással a Hold vagy valamelyik bolygó irányába elindítani az űrhajót. A Kubászov–Farkas páros pl. a Szojuz–36 űrhajóval 240 *km* magasságon állt Föld körüli pályára. Az űrállomás ebben az időszakban kb. 350 *km* magasságban tartózkodott. s mivel kisebb magasságon az űrhajónak nagyobb volt a sebessége, közeledtek az űrállomáshoz. Három kör után kétimpulzusos manőver alkalmazásával magasabb pályára vezérelték a Szojuz–36-ot, majd a következő nap ismételten kétimpulzusos manőverrel kerültek az űrállomás mögé, hogy elvégezzék a megközelítést és az összekapcsolást. A kétimpulzusos manőver végrehajtásának fizikai hátterével később foglalkozunk.

A pályára állásnál tehát a biztonságra törekszenek. A légkör 160–170 *km* fölötti része ugyanis, az anyagsűrűség és így az ellenállás szempontjából — ahogy már említettem — változhat. Ezen kívül mind a sebességben, mind pedig az űrhajó hossztengelyének beállításában lehet minimális eltérés (4-5 *m/s* és 4-5*'* fokperc), ami ugyancsak 180°, illetve az esetleges szögeltérésnél már 90° megtétele esetén is magasságváltozást eredményez. A Föld körüli pályára állás magasságtartományában 1 *m/s*, valamint 1' fokperc változás a szemközti oldalon, vagyis a Föld körüli pályára állás helyétől 180°-ra 2,8–3 *km* magasságváltozást jelenthet, így a jelzett magasságon az eltérések nem okoznak veszélyes magasságcsökkenést. Nagyobb szögeltérés esetén azonban, ±1° 40’, vagyis 100 fokperc eltérés esetén, a 400 *km* magasságon pályára állított űrobjektum már 200–250 *km*-t is veszíthet a magasságából. Ha tehát ugyanezzel a hibával 200 *km*-en állítanánk pályára egy űrobjektumot, abban az esetben ilyen hibával pályára állított űrobjektum, mínusz (–) értéke esetén 90° előtt, plusz (+) érték esetén pedig 270° előtt becsapódna a földbe. Ilyen esetekben ugyanis, az így kialakuló ellipszisek e két pontban metszenék a Föld felszínét, ami a Föld körüli pályára állás során nem lenne kívánatos.

A fenti adatokból egyértelműen következik, hogy a szögeltérések is befolyásolják a Föld körüli pályára állás biztonságát. A szögbeállítás esetén azonban — ahogyan már utaltunk rá — már 90°-nál jelentkezik az eltérés. Szélsőséges esetben ez oda vezethet, hogy akár 10–15 *km* magasságváltozás is bekövetkezhet. Ha ez a határmagasság közelében játszódok le, könnyen előfordulhat, hogy az űrhajó egy kör megtétele előtt visszatér a sűrű légrétegbe. Ezért állítják pályára az űrhajókat 200 *km* fölötti magasságon, mert ebben az esetben, még ha kedvezőtlenek is a Föld körüli pályára állítás sebesség- és beállítási szögadatok, a minimálisan 4-5 kör megtétele a Föld körül akkor is biztosított. Meg kell azonban jegyezni, hogy az automatizálás pontosságának növelése, ma már biztonságossá teszi a pályára állítást mind a sebesség, mind a szögbeállítás vonatkozásában, így a pályára állítás ma már biztonságosan megoldható.

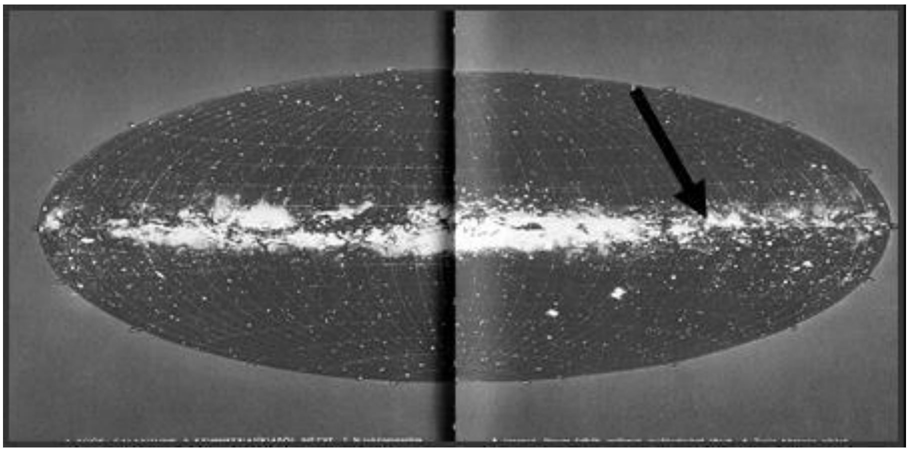


3. ábra: A Skylab amerikai űrállomás az Apollo űrhajóval (*MSZ-archiv)*

Érdemes itt megemlíteni, hogy pl. annak idején a Skylab amerikai űrállomás (3. ábra) fedélzetén három alkalommal három-három asztronauta dolgozott huzamosabb ideig. Ezt követően hosszú időn át az űrállomást nem látogatták asztronauták, de a tervek szerint ismét folytatni akarták a hosszantartó űrrepüléseket, s ehhez a Space Shuttle rendszerbe állítására vártak. A tervek már készültek asztronauták küldésére, de az első űrrepülőgép építése mintegy két évet késett. Közben azt vették észre, hogy az űrállomás a számítottnál sokkal gyorsabban veszíti a magasságát. Az igen költséges űrállomás megmentésére gyors tervet készítettek (úgy tudjuk, az űrállomás elkészítése milliárdos nagyságrendű pénzfelhasználást jelentett), állítólag egy hajtóanyaggal töltött űrhajót kívántak felküldeni, amely összekapcsolódott volna az űrállomással, s azt felgyorsítva, magasabb pályára vitte volna fel. E terv azonban már elkésett, a Skylab egyre alacsonyabb pályára került, s a megmentésére tervezett űrhajó elkészülése előtt lezuhant Ausztrália nyugati partvidékén, illetve részei a Csendes-óceánban végezték pályafutásukat. Ez annak volt a következménye, hogy az elég nagy felületű űrállomás, a légköri viszonyok intenzív változása miatt, főleg az intenzív napkitöréseknek köszönhetően, a nagyobb ellenállás hatására gyorsabban veszítette el a sebességét, és ennek következtében intenzívebben vesztette el magasságát, mint azt korábban feltételezték.

Napjainkban — amint az köztudott — kizárólag kémiai rakétahajtóművekkel működő rakétaeszközöket alkalmaznak, amelyek a Naprendszer közelebbi térségeinek kutatását teszik lehetővé. Amint tudjuk, a mai kozmikus sebességek nagyságrendekkel nagyobbak, mint a földi közlekedésben megszokottak. Ha az utazás az első kozmikus sebességgel, vagyis a körpályasebességgel történhetne a Földön, akkor Szolnokra kb. 12 *s*, Szegedre mintegy 20–22 *s* alatt érkeznénk meg. Mint tudjuk, a tér és az idő kitágult körülöttünk, s már a Nap hatásszférájának a határára (a Naptól mintegy 60 000 CSE-re) való kijutás, ahová a Nap fénye is 11,6 hónap alatt jut el, valamint a közeli csillagok körzetébe való utazás, a ma használatos kémiai hajtóművekkel, több tízezer évet is igénybe vehet. Ez érthető, hiszen a Nap hatásszférájának a határáig is — jelenlegi lehetőségeinkkel számolva — a legkedvezőbb feltételek mellett is, mintegy 6500–9300 év alatt lehetne kijutni. Nyilvánvaló, hogy a csillagközi térben való utazáshoz a jelenlegi lehetőségeinknél nagyobb sebességet biztosító meghajtó-rendszerekre lesz szükség. A fejlesztési kísérletek folynak, de átütő sikerről, egyelőre nem számolhatunk be. A Naprendszeren belül is hatalmasak a távolságok, pedig a Naprendszer a Tejútrendszernek csak parányi részét képezi. A sebesség jelentős mértékű növelésére viszont a konkrét megoldást jelenleg senki nem ismeri, hiszen ahhoz a kiáramlási sebességet kellene a ma 4 *km/s* sebességértéknek a sokszorosára növelni, ami — úgy tűnik — jelenleg még megoldhatatlan feladat.

A tény viszont tény marad, mert ezeket a roppant nagy, évezredekig tartó utazásokat igénylő távolságokat áthidaló utazási időket csak a sebesség növelésével lehet leküzdeni. De ha a Naprendszer elhagyása évezredeket vesz igénybe, akkor az annál is ötször, tízszer nagyobb távolságok megtételéhez ötször, tízszer nagyobb időre lenne szükség. Ez nyilván nem lehet a megoldás, ezért, visszatértünk a korábbi évszázadokba, s az emberiség, a csillagközi tér nagy utazásairól ismét csak a gondolatok szárnyán elmélkedhet. De hát, egyszer már ezt a problémát megoldotta az emberiség. Az évezredeken át csak gondolatban végzett űrutazások napjainkban a megvalósulás útjára léptek. Miért ne gondolhatnánk, hogy ezt a problémát is, utódaink, egyszer majd meg fogják oldani? Úgy gondolom, jelenleg a legfontosabb feladat, hogy az ifjúság megismerje a tényeket, tudja, mire kell felkészülnie, és minden bizonnyal, egyszer majd a megoldásnak is elérkezik az ideje. Jelenleg egyedül a fény sebességét megközelítő sebességgel való repülés lehet a megoldás, ennek azonban olyan problémákat kellene megoldani, amelyek megoldása ma még a fantázia birodalmába tartoznak. Ilyen probléma pl. az anyag és az antianyag ütköztetésével az óriási mennyiségű fény létrehozása, s annak parabolatükörrel való összegyűjtése és egy irányba vezérlése. Mindez óriási hő keletkezésével járna, amelyet semmilyen ma ismert anyag nem lenne képes elviselni.



4. ábra: A Tejútrendszer elképzelt formája és benne a Naprendszer feltételezett helye [8]

A Naprendszer (4. ábra) méreteinek elképzelése sem egyszerű dolog, de talán valamit segíthet az 5. ábra, amely azt mutatja, hogy ha a tényleges méreteket tízmilliárdod részére csökkentenénk, mekkora lenne annak a Plútóig, illetve a Naprendszerünk hatásszférája határáig terjedő része. A távolságok még ilyen arányú csökkentés esetén is jelentősek, amint azt az ábrákon is láthatjuk. Azt viszont már elképzelni is nehéz, hogy mekkora a távolság, ha pl. az 5. ábrán feltüntetetteket a tízmilliárdszorosára növeljük. A Föld esetében még csak el tudjuk képzelni, mert az mindössze 15 *m* helyett 150 millió *km*-t jelent, de már pl. a hatásszféra határa, a valóságban már valahol, elképzelhetetlen nagy távolságon, tízmilliárdszor 900 *km*-en, vagyis mintegy 9 billió *km*-re van.

5. ábra: A Naprendszernek a Plútóig, illetve a hatásszféra határáig terjedő része Budapest, ill. Európa térképén elhelyezve (méretarány a ténylegesnek 10 milliárdod része) (*A Szerző saját számításai alapján készült ábrák*)

E méretarány esetén a Nap 14 *cm* átmérőjű izzó gömb lenne, amelyet képzeletben a Margit híd margitszigeti bejárójához helyezzük. Ekkor a Föld a parányi Napocskától 15 *m*-re, kb. 1,3 *mm*-es homokszem, a cseresznye nagyságú Jupiter 70 *m*-re, a Neptunusz közepes pályatávolsága pedig 400 *m*-re, valahol a Nyugati-pályaudvar felé, a Pannónia utcánál lenne. A Naprendszer belső, többé-kevésbé ismert része, valamint a Kuiper-öv és az Oort-felhő közeli térségét is beleszámítva, a mi parányi Naprendszerünkben a Hegedűs Géza utcától a Nyugati pályaudvar és a Podmaniczky utca utáni térségben helyezkedne el.

Ha a fenti távolsági adatokat a Naprendszer hatásszférája által határolt távolságával akarom összehasonlítani, akkor az Európa térképén jelölt kör távolságát kell figyelembe venni. Így már könnyebben elképzelhetjük a Naprendszer tényleges méretét, amely az ábrán feltüntetettnek a tízmilliárdszorosa. Persze, még így is csak azt tudjuk elképzelni, hogy ez elképzelhetetlenül nagy távolság.

Még azt is megemlíthetem, hogy a fény, amely — ha körbe lehetne futtatni, egyetlen másodperc alatt 7,5-szer futná körül a Földet —, a Plútóhoz (kb. 6 milliárd *km*) már csak 5,5 *h*, a Nap hatásszférájának határáig pedig (kb. 9 billió *km*) 11,6 hónap alatt jut el. A Nap hatásszférájának a határa már közel egy fényévnyi távolságra van a Naptól. A Voyager szondák, amelyek immár mintegy 37 éve vannak úton, a mini naprendszerünkben még valahol, az Andrási út előtt járhatnak, s még hosszú évtizedekig vagy akár évszázadig nem hagyják el Budapestet. S akkor még az út nagyobb része előttük lesz, hiszen a megtett 10 *km*-rel szemben, még legalább 890 *km*-t kell megtenniük, amíg eljutnak a Nap hatásszférájának a határára.

A legközelebbi csillag, az Alfa Centauri tőlünk 4,2 fényévre van, s ez 4,6-szor nagyobb távolságra van, mint a Naprendszer határa. Annak bizonyítására, hogy milyen hatalmas távolságról van szó a legközelebbi csillagig, talán elég meggyőző az alábbi példa.

Ha a földi fejlesztések csúcsán lévő rakétával, mind a nyolc bolygó lendítőerejét kihasználva (ami persze csak a képzeletben lehetséges), az elméletileg elérhető legnagyobb sebességgel számolunk, vagyis a Föld pályája mentén 184 *km/s* elméleti sebességre gyorsítanánk fel egy űrobjektumot, akkor annak a Naprendszer határától a távolodási sebessége $v_{táv}$ = 180 *km/s* lehetne. Ilyen sebességgel a Föld pályájáról a Nap hatásszférájának a határát az adott űrhajó, mintegy 1600 év múlva érné el, és a legközelebbi csillagig az utazás kb. 7000 évig tartana.[4]

A bolygók távolság és sebességkülönbségeik miatt, ilyen helyzet szinte elképzelhetetlen, tehát az ilyen jelentős sebességnövelést megoldani, ma még nem lehet. A későbbiek során, a csillagközi utazás témakörénél felvázolunk a legközelebbi csillagig egy képzeletbeli utazást, amely a fénysebesség 90%-ával történik, s amely ilyen sebesség mellett is mintegy 13 évig tartana, mialatt az űrhajósok csak 9,5 évet öregednének. Pedig ez az utazás kb. v = 270 000 *km/s*, illetve 1 015 200 *km/h* sebességgel történne, amelyhez a mai tolóerő-lehetőségeinkhez viszonyítva, közel 61157-szeresére lenne szükség.[4] Nyilvánvaló, hogy ma ez még megoldhatatlan feladat.

A csillagok egymástól — a Tejútrendszerben, ahol viszonylag nagy a sűrűségük — átlagosan mintegy 4-5 fényévre vannak. Ez tehát azt jelenti, hogy az utazás egyik csillagtól a másikig a mai rakétaeszközökkel, az elméletileg lehetséges legnagyobb sebesség esetén is, mintegy 8000 évig tartana. Nyilvánvaló, hogy a csillagközi utazást, még a mai napig elért rakétateljesítmények szintjén, nem lehetne megvalósítani.

Ugyanakkor az itt felsorolt tények alapján, de főleg a mai korszerű, világűrben keringő űrtávcsövek segítségével szerzett információk alapján, némi elképzelésünk lehet a világmindenség végtelen nagyságáról, s annak ürességéről, valamint arról, hogy ma még az ember az űrutazás korszakának tényleg csak az első lépéseinél tart. S akkor még nem is említettük, hogy a galaxisok száma is sokmilliárd, s a köztük lévő millió fényévnyi távolságon jóval kevesebb égitest található, mint a galaxisokban. A tér és az idő végtelenségének gondolatához hozzá kell szoknunk, ha el akarjuk e roppant méreteket képzelni. A Világmindenség ürességét csodálatos verssorokkal fejezi ki Tóth Árpád, *„Lélektől lélekig”* c. versében, amelyben, a vers utolsó sorában párhuzamot von a földi élet, az emberek egymáshoz való viszonya és a világűr üressége között: *„Küldözzük a szem csüggedt sugarát, s köztünk a roppant, jeges űr lakik”*.

Ennyit röviden a világmindenség méreteiről, illetve mérhetetlen ürességéről, amelyből mégis érzékelhető, hogy a mi földi világunk — a világmindenség méreteihez viszonyítva — még csak porszemnek sem vagy legfeljebb annak nevezhető. Erről egy ifjúkoromban népszerű dal szövege jut eszembe: *„Az ember, egy porszem, nem látja meg senki! És mégis, csak e porszem tud embernek lenni.”*

RÖVIDEN A MÉRTÉKEGYSÉGEKRŐL

A fentiekben tárgyalt roppant nagy távolságok meghatározására, természetesen, már nem célszerű a földi mértékegységeket használni, hiszen milliárd meg billió kilométerekről van szó. Ez már nem az a távolság, mint ami volt a keresztes háború idején elterjedt mondás: *„Messze van, mint Makó honvéd Jeruzsálemtől.”* Földi méretekhez szoktunk, s bizony elképzelni is nehéz, hogy pl. a legközelebbi csillag is legalább 40 billió *km*-re van tőlünk. Ez már az ember számára elképzelhetetlenül nagy távolság. Ezért a csillagászok más mértékegységeket használnak.

A Naprendszeren belül alkalmazható a csillagászati egység (*CSE*, vagy asztronómiai egység *AE, AU*), s e mértékegységben meghatározva, pl. a Nap hatásszférájának a határa mintegy 60000 *CSE*-re van a Nap középpontjától. A csillagászati egység egyébként a Nap–Föld közötti közepes távolság, vagyis 149,6 millió *km*.[2] A Nap hatásszférájának a határa, amelyen belül a Nap határozza meg a mozgó testek pályáit, a Naptól mintegy 9 billió *km*-re van. Elképzelni is nehéz, mekkora ez a távolság. Márpedig mindez parányi része csak a Tejútrendszernek, amelynek mérete kb. hetvenkétezerszerese a Naprendszer átmérőjének. Mindez arra kényszerítette az embert, hogy e távolságok jelölésére más, még praktikusabb mértékegységeket válasszon.

Így a következő mértékegység a fényév.[2] Ez a mértékegység az első hallásra időegységnek tűnik, de csak részben az. A fényév ugyanis az a távolság, amelyet a fény, 300000 *km/s* sebességgel, egy naptári év alatt megtesz. Ez a távolság egyenlő $9{,}463 \times 10^{12}$ *km*, vagyis kimondva: kilencbillió-négyszázhatvanhárom milliárd *km*. Elképzelhetetlenül nagy távolság. A Naprendszer átmérője kb. 1,8 fényév, a Tejútrendszeré viszont már mintegy 130 ezer fényév, tehát sokszorosa a Naprendszer méretének. Jelenlegi lehetőségeink birtokában, még a csillagközi utazásra gondolni sem érdemes, illetve, mivel ez nem tilos, csak gondolatban lehet vele foglalkozni.

A harmadik mértékegység a *parszek* (parsec – pc.), amelyet a parallaxis és a szekundum szavakból képeztek. Jelentése: a *parszek* az a távolság, amelyről a Nap–Föld közepes távolságát, vagyis a *CSE* távolságát, egy szögmásodperc alatt látjuk. Ez megfelel 3,2633 fényévnek, vagy 206265 *CSE*-nek, illetve 3.1 x 10^{13} *km*-nek, a mi kimondva 31 billió k*m*. [2] Használatos még a *kiloparszek, kpc*., amely 10^3 pc. és a *megaparszek Mpc*., amely 10^6 *pc*.-nek fele meg. Mivel a parszek használata során, a távolságok növekedésével elég nagy a mérési hiba, ritkábban használják. Napjainkban a legelterjedtebb mértékegység – a fényév. Ma már ott tartunk, hogy fényévben is hatalmas számokat kell kimondani, hiszen a ma ismert legtávolabbi galaxisok, tőlünk mintegy 12-13 milliárd fényévre vannak. Mindez az embernek a tér és az idő végtelenségét szimbolizálja.

NÉHÁNY FOGALOM MEGHATÁROZÁSA

Az űrdinamikában használatos fogalmak, némi tisztázásra szorulnak. A súlytalanság, illetve a mikrogravitáció fogalmának magyarázata, úgy gondoljuk, fontos feladat. Korábban a súly és a tömeg fogalmát már tisztáztuk, de a súlytalansággal kapcsolatban is vannak félreértések. Mi is az a súlytalanság, vagy, ahogy napjainkban egyre gyakrabban halljuk, a mikrogravitációs állapot?

Először is tisztázzuk, hogy a Föld körüli repülés alatt milyen fizikai jelenség játszódik le? Vegyük például a körpályán való repülés kérdését, bár itt megjegyezzük, hogy az űreszközök szinte soha sem repülnek körpályán, hanem kisebb-nagyobb excentricitású ellipszisen. Ez annak a következménye, hogy mind a rakétahajtómű leállásában, mind a Föld körüli pályára állás során a szögbeállításban kisebb eltérések lehetségesek, s ezek már önmagukban is, kis excentricitású ellipszispályát eredményeznek. Köztudott, hogy az űrobjektum, valamint a benne utazók mozgását, az űrrepülés minden pillanatában, két vektorral határozhatjuk meg. Egyik az előrehaladási sebességvektora, a másik pedig a Föld, illetve az adott égitest vonzása következtében létrejövő, az aktuális égitest tömegközéppontja felé, az űrobjektum zuhanását jelölő vektor.

Képzeljük el, hogy a Föld egy olyan sima gömb, amelyet 1 *m* magasságban körbe lehet repülni. Ebben az esetben a sebességvektort 7910 *m/s* érték képviseli, miközben a Föld vonzereje következtében, a zuhanás értéke 0,5 $g(dt)^2$ lesz.[7] Ez azt jelenti, hogy a Föld körül kb. 1 *m*-en keringő mesterséges égitest, egy másodperc alatt, magasságából — a zuhanás miatt — kb. 4,95 *m*-t veszít. Mégsem megy neki a Földnek, mert ezen a távolságon a Föld felszínének a görbülete is 4,95 *m*. Így, ha 1 *m* magasan indultunk, a továbbiakban mindig 1 *m*-rel leszünk a Föld felszíne fölött, miközben folyamatosan haladunk előre és közben állandóan a megadott, vagyis a Föld vonzereje által létrehozott értékkel zuhanunk. Egyértelmű, hogy ez a repülés — a légkör jelenléte miatt —, nem valósítható meg, de ugyanez a helyzet a Föld körüli pályák bármelyikén, csupán a sebességadatok lesznek a magasságnövekedéssel egyre kisebb értékűek, így tehát a zuhanás is egyre kisebb értéket képvisel. A zuhanás, körpályasebesség esetén, még 1000 *km* magasságban is eléri a másodpercenkénti 7,35 *m* felét, vagyis 3,675 *m/s* értékű lesz.

Ebben az esetben tehát, az űrhajó, és a benne lévő emberek és tárgyak lebegnek az űrhajóban, mivel a súlyérzet megszűnik. Az tény, hogy ebben az űrhajóban a nehézségi gyorsulás értéke a magasságnak megfelelő m/s^2, de ezt a sebesség következtében fellépő centrifugális erő kiegyenlíti, így a testek súlyerejét nem lehet megmérni, mivel minden, a mérleg is, együtt és állandóan a zuhanás állapotában van, s így a tárgyak egymásra nem fejtenek ki nyomást. Végső soron kimondhatjuk, hogy az űrobjektum, s a benne lévők is, körbezuhanják a Földet, ezért állandóan a súlytalanság állapotában érzik magukat, mert tényleg abban is vannak.

De akkor mi a mikrogravitáció? Vegyünk egy nagyobb űrállomást, amely kb. 15 *m* hosszú, és azzal most emelkedjünk 250 *km* magasra. Ezen a magasságon a nehézségi gyorsulás értéke, átlagosan mintegy 9,1 m/s^2 lesz, vagyis még elég tekintélyes érték. A fenti példából tudjuk azonban, hogy az állandó zuhanás következtében a súlyérzés megszűnik, mivel azt a sebesség következtében létrejövő centrifugális erő kiegyenlíti. Van azonban jelen valami, amit mikrogravitációnak neveznek, s ez nem más, mint a nehézségi gyorsulás értékének a változása. Ebben a magasságtartományban a nehézségi gyorsulás értéke méterenként kb. 2,77 x 10^{-5} *g* értékkel változik.[4] Ez nagyon kis érték, s a 3 százezred *g* értékét sem éri el, de azért jelen van. Sőt, állítólag az emberi szervezet ezt is megérzi, ezért ma már ennek kutatása is az űrorvostan fontos feladata. Vannak az űrállomásnak olyan helyei, ahol pl. az űrhajós jobban tud aludni, vagy szívesebben tartózkodik, mint más helyeken. Apróságnak tűnik, de a hosszantartó űrrepülések során ez is hatással lehet az űrhajósok fizikai vagy lelki állapotára, ezért nem lehet szó nélkül elmenni mellette, hiszen a rosszul átaludt „éjszakák" negatív hatása törvényszerűen összeadódik, s az ember rövidesen nem lesz képes feladatait a kívánt szinten ellátni. Ez pedig már űrrepülés biztonságával kapcsolatos kérdés, ezért vizsgálata, s megismerésének szükségessége vitathatatlan. A gravitációváltozás természete tehát ma még a vizsgálat tárgya.

„FELLŐTTÉK AZ ŰRHAJÓT"

Egy másik téma, amely olyan fogalmak használatát jelenti, amelyek az adott jelenségeket helytelenül fejezik ki. Ilyen pl. hogy „fellőtték az űrhajósokat," vagy „kilőtték az űrhajót." Ilyen fogalmakat azért használnak, mert sokan a lövés során fellépő fizikai jelenségek lényegét nem ismerik. Mindenekelőtt tisztázzuk hát a fogalmat. Az ágyú, a képzeletbeli holdutazás fogalomtárához tartozik, hiszen, hogy csak Jules Verne (Verne Gyula) nevét említsük, két regényében is, hőseinek a Holdra jutásához ágyút használt. Napjainkban azonban már az ágyúból való lövés elmélete tisztázott, így elképzelésünk lehet arról, mit is jelentene az űrrepülés szempontjából a „kilövés" vagy „fellövés". Amikor az ágyúból a lövedéket útjára indítják, vagyis kilövik, ennek eredményeként a lövedék 0,004 s alatt a 2 *m* hosszú ágyúcsőből, mintegy 2000 *m/s* sebességgel távozik. Ha a gyorsulást (*a*) az itt felsorolt adatok alapján meghatározzuk, akkor:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{2000\ m/s}{0.004\ s} = 500\ 000\ m/s^2 \tag{1}$$

Ha meghatározzuk a földi nehézségi gyorsulás segítségével a terhelési többest, vagyis azt, hogy testünk súlyereje hányszorosára növekszik, akkor:

$$\frac{500\,000\ m/s^2}{9{,}81\ m/s^2} = 50\,968g \tag{2}$$

Tehát az ekkor létrejövő terhelési többes, a mindennapok során elviselt terhelésének közel 51000-szeresét kapjuk. Ez akkora terhelést jelent, amekkorát sem az emberi szervezet, sem semmilyen szerkezet nem lenne képes elviselni, csak a többé-kevésbé tömör ágyúlövedék. Ebben az esetben, pl. az élő szervezet, ennek a terhelési többesnek az ezredrészét sem élné túl. Kb. 700-800 *g* terhelési többes érte Komarov űrhajós visszatérő fülkéjét, amely az ejtőernyő meghibásodása miatt, kb. 180 *m/s* sebességgel csapódhatott a földbe, és kb. 0,025 *s* alatt fékeződött le. Ekkor a gyorsulása elérte a 7200 m/s^2 értéket, a terhelési többes kb. 734 *g* volt, s a visszatérő fülke a 2. képen látható sérülést szenvedte el:

2. kép: Komarov űrhajós visszatérő fülkéje a becsapódás után (*MSZ-archiv*)

Ha a kb. ezerszeres terhelési többesnél kisebb már ilyen eredménnyel járt, elképzelhető, milyen eredménye lenne egy „kilövésnek” 50 ezerszeres terhelési többes mellett. Az ilyen terhelési többest elszenvedő lövedék ugyanakkor, mindössze 12 *km* magasságra emelkedik. Azt hiszem, a fenti érvek mindenkit meggyőztek, mennyire helytelen a „kilövést” használni az indítás és a Föld körüli pályára állítás helyett. Ilyen kifejezések sajnos vannak a repüléssel és az űrrepüléssel kapcsolatos írásokban, sajtóhírekben bőven.

Ma már ilyen sokszor helytelenül használt kifejezés pl. a repülő is, amikor alatta repülőgépet értenek. Tudni kell, hogy a repülő az, aki repül, s az eszköz, amellyel a repülést végzi, repülőszerkezet, repülőeszköz, repülőgép, vitorlázó repülőgép, utasszállító repülőgép, vagy helikopter. Mint ahogy az úszó is az, aki úszik, vagy újságíró az, aki újságot ír stb. Ha pedig a repülő élőlény, márpedig az, akkor nem lehetne „repülős” sem, mint ahogy nem lehet úszós, híradós, vagy újságírós, vagy éppen mentős sem. Lehet viszont vasutas, mert a vasút nem élőlény, s ugyanezért lehet motoros vagy autós is. Nem lehetne viszont mentős — márpedig ezt halljuk a híradásokban naponta többször is, mert a mentő is élőlény, s arra a személyre vonatkozik, aki az emberi élet mentésére hívatott. Űrhajós viszont lehet, mert az űrhajó sem élőlény.

Ennyit a repülés és az űrhajózás terén elburjánzott helytelen kifejezésekről.

AZ ÉGITESTEK GRAVITÁCIÓS SZFÉRÁI

Minden égitestnek, így a Földnek is, vannak gravitációs szférái. A Föld esetében is, mint minden égitest esetében ilyenek a vonzási szféra, a hatásszféra, a Hill-szféra és a befolyásolási szféra.[2] Ezek mindegyike az adott égitest gravitációs erejének a mértékével kapcsolatos képzeletbeli térrész, amelyek folyamatosan követik az adott égitest mozgását. Az égitesteket, amelyek körül holdak vagy mesterséges holdak keringenek, gömbszimmetrikus testekként fogjuk fel, amelyek vonzásukat úgy fejtik ki, mintha teljes tömegük a tömegközéppontban lenne. Ezért a számításoknál az origó ebben a pontban helyezkedik el, s az égitestek egymástól való távolságát is a középponttól a középpontig adják meg. Ezért pl. a Föld–Hold közötti közepes távolság is, amely 384400 *km*, a két égitest középpontjai közötti távolságot jelenti, míg a 149600000 *km* a Nap és a Föld középpontjai közötti távolságra vonatkozik.

A vonzási szféra az a képzeletbeli térség, amelynek határán a Nap és a Föld vonzóereje egyforma értéket képvisel. E határvonalon belül a Föld, azon kívül a Nap vonzereje a nagyobb. E térségnek a sugara, a Föld esetében, égitestünk tömegközéppontjától 260000 *km*-ig tart. Érdekességként megjegyezzük, hogy a Hold e határvonalon kívül kering, ahol a Nap vonzereje nagyobb a Földénél, s ennek ellenére a Hold a Föld kísérője, és nem a Nap körül kering. Ez az egyik űrparadoxon, amelyből van több is, s amelyekre majd még visszatérünk.

A hatásszféra az a képzeletbeli térség, amelyen belül az adott égitest, esetünkben a Föld határozza meg a mozgásokat. A hatásszféra a Föld tömegközéppontjától 930000 *km* távolságig terjed. Abban az esetben, ha egy bármilyen égitest e határon belülre kerül, s a sebessége nem nagyobb, mint a repülési magasságára érvényes második kozmikus sebesség, akkor a Föld vonzóereje meghatározott pályára kényszerítheti, és végleg befoghatja. E távolságon belül a számításokat a kéttest-probléma törvényei, vagyis alapvetően a Kepler törvények szerint végezhetjük, viszonylag egyszerű képletek segítségével határozhatjuk meg a mozgások jellegét. E képleteket a Föld körüli repülés témakörének tárgyalásakor mutatjuk be, s ismerkedhetnek meg az olvasók a kozmikus sebességék fizikai hátterével. A Föld hatásszférája sugarának közepes értékét az alábbi egyszerű képlettel határozhatjuk meg:

$$R = r(M_2 / M_1)^{2/5}, \tag{3}$$

ahol: R — a hatásszféra Naptól való távolságának a keresett értéke;

r — a két égitest közötti távolság (*km*);

M1 — a Nap tömege ($1{,}99 \cdot 10^{30}$ kg);

M2 — a Föld tömege ($5{,}976 \cdot 10^{24}$ kg).[2]

A következő gravitációs mező a Hill-szféra, amely a Föld középpontjától 930000 és 1,5 millió *km* közötti térrészt foglalja magába. A Hill-szféra az a térrész, amelyben a Föld, a központi égitesttel szemben képes az eredetileg is ott kedvező sebességadatokkal keringő égitestet (holdat vagy mesterséges holdat) megtartani. Amikor az útjára elindított égitest elhagyja a hatásszférát, s beérkezik a Hill-szférába, már úgy számolunk vele, hogy az a Nap hatásszférájában mozog, vagyis a heliocentrikus koordinátarendszerben végezzük a mozgásával kapcsolatos további számításokat, mivel a Föld vonzása itt már jóval kisebb, mint a Napé.

Végül a legkülső gravitációs szféra az ún. befolyásolási szféra, amelynek tere a Föld tömegközéppontjától 1,5 millió *km*-en kezdődik és mintegy 2,5 millió *km*-ig tart. E térrészben a Föld már csak kismértékben befolyásolja a mozgást, vagyis az égitestünk hatása már nem meghatározó az adott űrobjektum pályájának alakítása szempontjából. A természetes vagy mesterséges égitestek mozgását meghatározó égitest szerepét itt már teljes egészében a Nap veszi át. Lényegében mondhatjuk, hogy a Föld hatásszférája elhagyása után, a további mozgás már a Nap hatásszférájában, heliocentrikus, vagyis napközpontú koordináta-rendszerben zajlik. Összehasonlításképpen megjegyezzük, hogy a Föld ebben a gravitációs szférában annyira vagy még annyira sem befolyásolhatja az űrobjektum mozgását, mint pl. a Hold befolyásolja a Föld körül keringő mesterséges égitestek pályáit. Ezért számolunk az ott mozgó égitestekkel úgy, mint amelyek heliocentrikus koordináta-rendszerben végzik repülésüket.

A HANGSEBESSÉG ÉS A MACH-SZÁM

Az űrrepülés első, aktív szakaszának jelentős részén, valamint az űrobjektumok visszatérése során, amikor a repülés a légkör viszonyai között zajlik, az űrdinamika és az aerodinamika törvényei találkoznak, s az űreszközök az egyikben érvényes törvények területéről a másikéba lépnek át. Ezért az átmenetig, illetve azt követően, néhány olyan aerodinamikai fogalmat, amely érinti az űreszközök startját és visszatérését a sűrű légrétegbe, szükséges tisztázni. Ilyenek pl. a címben is szereplő fogalmak, vagyis a hangsebesség és a Mach-szám is. Mindkét fogalom gyakori szereplője az aerodinamikai számításokhoz használt képleteknek, amelyek már érvényesek a visszatérő űreszközökre is, tehát a fogalmak lényegét célszerű megismerni.

A hangsebesség, esetünkben a hangnak a levegőben való terjedési sebességét jelenti, amelynek értékét a levegő hőmérséklete befolyásolja. Részletesebben nem megyünk bele a hang terjedése kérdései elméletének taglalásába, ezért megadjuk a hangnak a terjedési sebességét meghatározó képletet, s a továbbiakban ezzel számolunk. A részleteket a kozmikus sebességek c. részben adjuk meg. A képlet, ha a levegő hőmérséklete a Föld felszínén 15 *°C*, akkor a hőmérséklet Kelvin fokban T = 273 + 15 = 288 *K*, a hangsebesség pedig *m/s*-ban, 0 *km* magasságon és a sztratoszférában, vagyis 11 *km* fölött, ahol a levegő hőmérséklete –56 *°C*, ami megfelel 217 *K* hőmérsékleti értéknek. A képlet segítségével meghatározott értékek tehát:

$$\begin{aligned} a_0 &= 20{,}05\sqrt{T(K)} = 20{,}05\ \sqrt{288\ (K)} = 20{,}05 \cdot 16{,}97\ (K) = 340{,}26\ m/s. \\ a_{11} &= 20{,}05\sqrt{273 + (-56\ °C)} = 20{,}05\sqrt{217\ (K)} = 20{,}05 \cdot 14{,}73 = 295{,}35\ m/s. \end{aligned} \tag{4}$$

E példák alapján egyértelmű, hogy a levegő hőmérsékletének a csökkenése a hangsebesség csökkenését vonja maga után. A képlet segítségével a különféle hőmérsékleti viszonyokra megállapíthatjuk a hangsebesség értékét. A megfelelő hangsebesség értékének birtokában — mivel a Mach-szám a repülési sebességnek és a helyi hangsebességnek a hányadosa (*M* = *v/a*) — egyszerűen megkapjuk a Mach-szám értékét, ha ezt az egyszerű matematikai műveletet elvégezzük. Ha pl. az űrobjektum bizonyos magasságon 6000 *m/s* sebességgel halad, ahol a hőmérséklet –45 *°C*, akkor a súrlódási hőmérséklet kiszámításához használt képletben az *M* = 6000/303 = 19,8. A képletekben ennek értékével számolunk, vagyis:

$$\begin{aligned} T = T_0\ (K) \cdot (1 + 0{,}174 \cdot M^2) = 228\ (1 + 0{,}174 \cdot 19{,}8^2) = \\ = 228 \cdot 69{,}2 = 15\ 778\ K \end{aligned} \tag{5}$$

E képlettel, egy érdekes ténnyel kerültünk kapcsolatba. Amint látjuk, a lökéshullámban rendkívül magas hőmérséklet keletkezik. Ha ilyen hőmérséklet érné a repülőeszközök szerkezeti elemeinek bármelyikét, az azonnal elgőzölögne, tehát a visszatérésre nem lenne lehetőség. Felvetődhet a kérdés: akkor hogyan térhetnek vissza a világűrből az űrhajósok és az űrobjektumok? E kérdés megoldásánál lényegében a természet sietett az emberek segítségére. A repülési sebesség növekedésével ugyanis kiderült, hogy a hiperszonikus sebességeken, vagyis az 5 hangsebességen túli sebességértékeknél, a lekerekített orr-részek ellökik maguktól a lökéshullámot, így a roppant magas hőmérséklet sem éri közvetlenül a visszatérő fülke vagy az űrrepülőgép szerkezeti elemeit, s így a maximális hőmérséklet, amely az orrészt és az űrrepülőgép szárnyinak belépő élét a hősugárzás következtében éri, kb. 2000–2500 *K* körüli lesz. Az előre kitolt lökéshullám mögött a hőmérséklet jelentősen csökken, s a szerkezeti elemeket csak a sugárzási hőmérséklet, illetve a minimálisan létrejövő hő éri, ezért az a legfrekventáltabb területeken is, a lökéshullámban képződöttnél jóval alacsonyabb értékű lesz. Az így kialakuló hőmérséklet már a kerámiaborítással vagy kerámiakockákkal kezelhetővé vált. Miután a hőmérséklet-kezelés problémáját így meg tudták oldani, és a biztonságos visszatérés feltételeit sikerült megteremteni — az első ember is elindulhatott a világűrbe, mert a biztonságos visszatérését biztosítani lehetett.

A hiperszonikus sebességnél bekövetkező változás megváltoztatta azt a korábbi elgondolást is, amely szerint a visszatérés a világűrből hosszú, hegyes végződésű eszközök segítségével fog történni. Ennek ellenkezője történt. A hosszú, hegyes végződésű űreszközökre, 20-25 *M*-számnál lényegében ráfekszik a lökéshullám, s mivel így közvetlenül érintkezne a szerkezeti elemmel, vagyis az orrésszel, azt szinte pillanatok alatt elgőzölögtetné, ami lehetetlenné tenné a világűrből a Földre való biztonságos visszatérést. Így, és ezért került sor a lekerekített orrú visszatérő eszközök használatára.

A FÖLD KÖRÜLI REPÜLÉSI PÁLYÁKRÓL

A Föld körüli térségben 1957 óta több ezer űreszközt állítottak pályára. A Föld körüli pályák lehetnek: *egyenlítői, sarki, direkt* és *retrográd* pályák. Az *egyenlítői pályán* általában *geostacionárius* pályamagasságokon helyezik el az űreszközöket, amelyek az egyenlítő egy meghatározott pontja fölött tartózkodnak, mivel ott az űreszközök a Föld forgásával szinkronban mozognak.

A *sarki pályák* a sarkok fölött haladnak át, s mivel a Föld alattuk elfordul, így az ilyen pályákon keringő eszközök a Föld teljes felületét képesek ellenőrizni. Ilyen pályákon haladnak pl. az amerikai Landsat programban felbocsátott felderítő mesterséges holdak, amelyek az egész Földet képesek ellenőrizni.

A *direkt pályák* a kettő közöttiek, indítási és a haladási irányuk a Föld forgási irányával megegyező, pályasíkjuk pedig az egyenlítői és a sarki pályák között helyezkedik el. A mesterséges holdak túlnyomó többsége ilyen pályákon kering.

A *retrográd pálya* az előbbinek ellenkezője, a Föld forgási irányával ellentétes az indulási és a haladási iránya. Ez kedvezőtlen, nem indítanak ilyen pályára űreszközöket, mert azok nem tudnák kihasználni pl. a Földnek a forgási sebességét, s az ilyen indításhoz jóval nagyobb hajtóanyag-mennyiségre lenne szükség. Az ilyen pályákon haladó űreszközöket leginkább ahhoz a gépkocsivezetőhöz lehetne hasonlítani, aki a sztrádán a forgalommal szembe közlekedik.

Az űrrepülőtérnek — amely pl. az Egyenlítőhöz közel található — előnyeit, az Kourou űrrepülőtere esetében az ESA kihasználja, mert mintegy 450 *m/s* sebességértéket ad a Föld körüli pályára állási sebességhez ennek az űrrepülőtérnek a földrajzi fekvése, amit ebben az esetben egyszer pótolni kellene, másodszor pedig, az ellentétes irány miatt még egyszer biztosítani kellene. Ez így már közel 1 *km/s* sebességhez szükséges hajtóanyag-mennyiséget jelent, ami jelentősen növeli az indítási költséget, valamint a starttömeget, miközben a hasznos teher tömeg csökken. Ezért vásároltak Szojuz űrkomplexumokat, mert azok — Bajkonur űrrepülőteréhez viszonyítva — 120–130 *m/s* sebességtöbblettel rendelkeznek, s így akár 1–1,5 *t* tömeggel nagyobb hasznos terhet képesek Föld körüli pályára állítani.

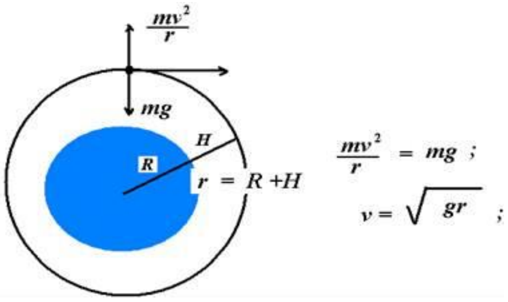
A KOZMIKUS SEBESSÉGEK FIZIKAI HÁTTERE

A kozmikus sebesség fogalmának meghatározását az Űrhajózási Lexikon, vonatkozó szócikkéből idézzük: „kozmikus sebesség: a mesterséges égitestek bizonyos, kitüntetett pályáihoz tartozó kezdősebességeknek inkább csak a népszerűsítő irodalomban használatos, összefoglaló elnevezése." „…Az első ~ (vagy körsebesség)…A második ~ (vagy szökési sebesség)…A harmadik ~ (a Naprendszert parabolapályán elhagyó test indítósebessége a Föld körüli pályáról)… A negyedik ~ a Tejútrendszert parabolapályán való elhagyáshoz szükséges indítósebesség, amelynek ma még semmiféle gyakorlati jelentősége nincs." [2]

A vonatkozó irodalomban Szerző az első kozmikus sebességet a következőképpen határozza meg: „Az első kozmikus sebesség az a sebességérték, amellyel a rakétakomplexum által a világűrbe fölemelt űreszköznek rendelkeznie kell ahhoz, hogy a Föld mesterséges holdjává váljék, és körülötte körpályán haladjon."[7]

Az első kozmikus sebesség magyarázatához vegyünk egy űrobjektumot, amely 200 km magasságú pályán kering a Föld körül. A Földre vonatkozó első kozmikus sebesség, vagyis a 7,910 km/s ugyan a felszínre vonatkozik, de ettől most tekintsünk el, mert a Földnek légköre van, amely a felszíni magasságon nem teszi lehetővé a kozmikus sebességgel való repülést. Ezért az űrobjektumot 200 km magasságra helyezzük, s ott képzeletben megállítjuk. A gyakorlatban ugyan az űrobjektumot nem lehet megállítani, de most a vizsgálat elvégzéséhez, egy pillanatra ezt tesszük. Ebben az esetben a 6. ábrán bemutatott helyzet áll elő, vagyis az űrobjektumra hat a nehézségi gyorsulás, amely vektormennyiség és a Föld tömegközéppontja felé mutat.

Ahhoz, hogy ezt az erőt ellensúlyozzuk, létre kell hozni egy ugyanilyen nagyságú centrifugális erőt, amely az előzővel ellentétes irányba hat. Ehhez az űrobjektumnak bizonyos sebességet kell adni, vagyis a két erő egyenletét v-re meg kell oldani. Ebben az esetben, a számításokat elvégezve, megkapjuk az első kozmikus sebesség értékét, amely az adott magasságon 7788 m/s. Ha ugyanezt a felszínre számítjuk, akkor 7910 m/s értéket kapunk. Ez utóbbi sebességérték tehát a Földre, mint égitestre jellemző és vonatkozó első kozmikus sebesség értéke még akkor is, ha a felszínen ezt a sebességet nem lehet elérni.



6. ábra. Vázlat az első kozmikus sebesség értelmezéséhez

Az *első kozmikus sebesség* fizikai hátterét ezzel bemutattuk, s megállapíthatjuk, hogy ez a fizikai háttér roppant egyszerű. Igaz tehát Einstein alábbi mondása: *„Az igazság mindig a dolgok egyszerűségben rejlik, sohasem a bonyolult vagy összekavart dolgokban. A természet semmit sem tesz hiába. Mindaz, ami sok ok révén történik, bár kevesebbel is megvalósítható lett volna, fölösleges. A természet ugyanis egyszerű, s nem használja a dolgok fölösleges okait."*[3]

Még annyit ehhez a sebességhez célszerű hozzáfűzni, hogy az első kozmikus sebesség meghatározása, születése, valamikor az 1920-as évek végére tehető, és Esnault-Pelterié vagy Ary Sternfeld nevéhez köthető. Az biztos, hogy Ary Sternfeld 1934-ben, a Francia Tudományos Akadémián, *„Bevezetés a kozmonautikába"* címmel megtartott előadásában már mindhárom kozmikus sebességet megemlíti, sőt azokat számszerűen is megadja.

A *második kozmikus-*, vagyis *parabolasebesség* értékét — tudomásom, és a vonatkozó irodalmi adatok szerint Konsztantyin Ciolkovszkij határozta meg, amikor energetikai számítást végezve, annak eredménye alapján, még az 1890-es évek második felében leírta, hogy a Föld végleges elhagyásához, annak felszínéről indulva, 11,786 *km/s* sebességre van szükség. Ciolkovszkij még nem a második kozmikus sebességként említi ezt az értéket, hanem úgy definiálja, hogy a Föld végleges elhagyásához szükséges kozmikus sebesség. A már említett, a [3] sz. forrásmunkában, az 1. tételnél a Szerző a következőket írja: *„Tételezzük fel, hogy a magasság növekedésével a nehézségi gyorsulás értéke változatlan. Tételezzük fel továbbá, hogy ilyen viszonyok között, egy bizonyos tömeget egy földsugárnyi magasságra emelünk. Ekkor annyi munkát végeztünk, amennyi elegendő a Föld végleges elhagyásához."* Ciolkovszkij számításainak valószínű módszerét, s folyamatát elemezte Beneda Károly, egyetemi adjunktus és egy cikkben levezette azt. A cikket az érdeklődő a http://emberesavilagur.uw.hu/index.html honlapon olvashatja.

A *második kozmikus sebesség*, a fenti szöveg alapján felírva, a következő képlettel szolgál:

$$\frac{mv^2}{2} = m \cdot g_0 \cdot R_0; \quad v^2 = 2 \cdot g_0 \cdot R_0; \quad v = \sqrt{2 \cdot g_0 \cdot R_0}. \tag{6}$$

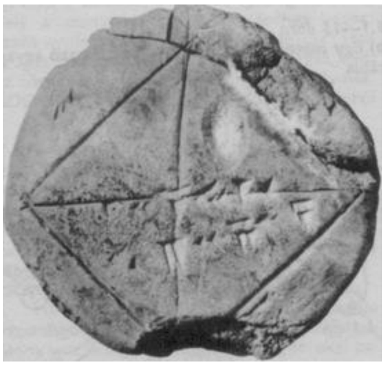
Ez tehát a Föld végleges elhagyásának, vagyis a későbbi megnevezése szerinti a második kozmikus sebességnek a képlete. Ha a Ciolkovszkij féle számításoktól eltekintünk — azok ugyanis, kissé bonyolítják a helyzetet — maga a képlet mögött húzódó fizika nem bonyolult, hiszen mondhatjuk azt is, hogy a második kozmikus sebesség nem más, mint az első kozmikus sebesség négyzetgyök kétszerese, vagyis $v1 \cdot 2^{1/2}$. Ez a szabály minden égitestre — a csillagokra és a bolygókra egyaránt — érvényes.

Van azonban a második kozmikus sebességnek egy másik meghatározási lehetősége is. Ha az $mv^2/2$ értékkel nem az $m \cdot g_0 \cdot R_0$ értéket állítjuk szembe, hanem a Newton által megalkotott egyetemes tömegvonzás törvényének képletét, akkor az alábbi eredményt kapjuk:

$$\frac{mv^2}{2} = \gamma \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}; \quad \gamma \cdot M = K\,(km^3/s^2); \quad Ekkor: \quad v^2 = \frac{2K\,km^3/s^2}{r\,km}; \quad v = \sqrt{\frac{2K\,km^3/s^2}{r\,km}} = \tag{7}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 398\,600\,km^3/s^2}{6371\,km}} = \sqrt{125{,}129\,km^2/s^2} = 11{,}186\,m/s.$$

Ennek kapcsán szóljunk néhány szót magáról a $2^{1/2}$-ről, amely minden esetben megjelenik, amikor az adott égitestre vonatkozó második kozmikus sebességről vagy a vele kapcsolatos számításról van szó. Az 1930-as évek elején találtak a Tigris és az Eufrátesz mentén egy kőtáblát, amelyet i.e. mintegy 1800 évvel készítettek. (3. kép) A kőtábla lényegében a korabeli matematika csúcsteljesítményét tartalmazza. Ugyanis azt a képletet ábrázolja, amely segítségével meghatározták a $2^{1/2}$ értékét. (Simonyi Károly könyvében [1], a 38. oldalon írja: *”Mint a babilóniai matematika csúcsteljesítményét lehet értékelni az 1.1 – 15 ábrán látható alakzatot. Egy négyzetet láthatunk, amelynek átmérőjére jól kivehetően az alábbi, mai átírásunknak megfelelően az 1, 24, 51 és 10 számok olvashatók le. Ezeket egy hatvanas számrendszerben felírt szám jegyeinek fogva fel, és a helyi értékeket megfelelően megválasztva az* $1 \times 60^0 + 24 \times 60^{-1} + 51 \times 60^{-2} + 10 \times 60^{-3} = 1{,}4142$ *számhoz jutunk”* Ez pedig, mint tudjuk, a négyzetgyök kettő négytizedes pontossággal meghatározott értéke. Simonyi professzor a továbbiakban bemutatja azt a megoldási változatot is, amelyet a babiloniak nagy valószínűség szerint alkalmaztak az egyáltalán nem egyszerű feladat megoldása során.



3. kép: A babiloniak kőtáblája az i.e. 18. századból [1]

Érdekessége a dolognak, hogy Pitagorasz (i.e. 570—480) és a pitagoreusok csak mintegy 200–300 évvel később jelentek meg a történelem színpadán, és kezdték meg tevékenységüket. Tehát a ma Pitagorasz-tételnek ismert megoldást nem ők találták ki, mert már több mint 200 évvel korábban kőbe vésték az említett tétel alóli kivételt, tehát már ismerték a derékszögű háromszög ilyen összefüggéseit. Átmentésében és az utókorral való megismertetésében azonban Pitagorasz és tanítványai már egyértelműen jelentős szerepet játszottak. Ami még említést érdemel, az ókori képlet segítségével a 2-nek a négyzetgyökét már 3-4 tizedes pontossággal ismerték. Ez mindenképpen figyelemreméltó eredmény, s mivel az űrdinamikában jelentős szerepet játszik — hiszen minden égitestre vonatkozik, hogy a rá jellemző első kozmikus sebesség $2^{1/2}$-szerese adja az adott égitestre vonatkozó második kozmikus sebesség értékét —, érdemes megjegyezni, s ehhez elolvasni a könyvben mindazt, amit Simonyi Károly e kérdéssel kapcsolatosan leírt.

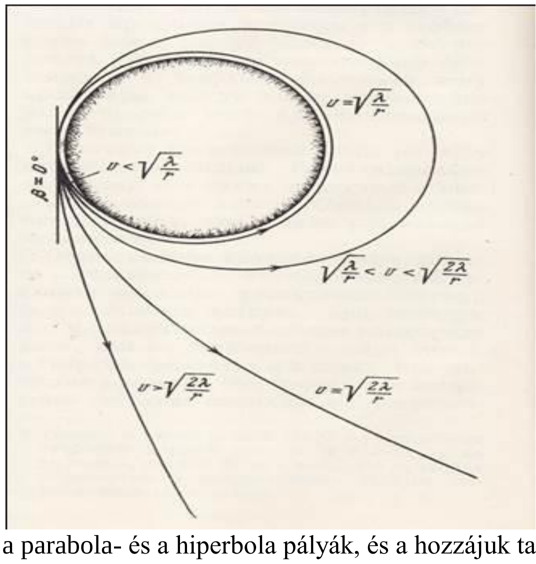
A *harmadik kozmikus sebesség*, az első és a második kozmikus sebesség meghatározásától eltérően, egy kicsit bonyolultabb feladat. Először is tudni kell, hogy a harmadik kozmikus sebesség a Földre vonatkozó sebességérték, s azt a célt szolgálja, hogy a bolygóközi térben létrehozzuk a Napra vonatkozó második kozmikus sebességet, amely a Naprendszer végleges elhagyását teszi lehetővé. Ennek számításait három lépésben végezhetjük el.

Az első lépés során meghatározzuk a heliocentrikus sebességet, amelyet a bolygóközi térben el kell érni ahhoz, hogy a feladat megoldható legyen. Itt most a feladat az, hogy létre kell hozni a Napra vonatkoztatott második kozmikus sebességet. Ehhez különösebb sebességértéket nem kell keresni, mert tudjuk, hogy a Napra vonatkozó második kozmikus sebesség értéke a Föld pályája mentén, az ott érvényes első kozmikus sebesség négyzetgyök kétszerese. Ezt meghatározhatjuk, ha a Föld közepes pályasebességét szorozzuk $2^{1/2}$-vel, s akkor megkapjuk, hogy ez az érték: 29,8 *km/s* x 1,4142 = 42,143 *km/s*. Ez tehát a keresett, vagyis a Napra vonatkoztatott másodiki kozmikus sebesség értéke a Föld pályamagasságán.

Második lépésként meg kell határozni a távolodási sebességet. Mivel a Föld körüli indítási sebesség meghatározásához a Földre vonatkoztatott második kozmikus sebességre, valamint a Föld hatásszférájától való távolodási sebességre van szükség, ennek az értékét ismerni kell. Az első adat már ismert, annak értéke kis kerekítéssel 11,2 *km/s*, a távolodási sebesség pedig a Napra vonatkoztatott második kozmikus sebesség és a Föld közepes pályasebesség közötti különbség, vagyis 42,143 *km/s* – 29,8 *km/s* = 12,343 *km/s*. Miután a távolodási sebesség értéke is ismert, az indulási sebesség értékét az energia-megmaradás törvényéből kiindulva az alábbi, az ebből a képletből kapott, már ismert képlet segítségével, ennek az egyszerű képletnek a segítségével határozhatjuk meg:

$$\frac{1}{2}mv_i^{\,2} = \frac{1}{2}mv_p^{\,2} + \frac{1}{2}mv_t^{\,2};\quad az\ indítási sebesség: v_i = \sqrt{v_{II}^{\,2} + v_t^{\,2}};$$
$$v_i = \sqrt{11{,}2^2\,(km/s)^2 + 12{,}343^2\,(km/s)^2} = \sqrt{276{,}73\,km^2/s^2} = 16{,}635\,km/s. \qquad (8)$$

Ahhoz tehát, hogy a bolygóközi térben létrehozhassuk a Napra vonatkoztatott második kozmikus sebességét, el kell érni, hogy a távolodási sebesség 12,3 *km/s* legyen, s ebben az esetben meghatározhatjuk, hogy milyen sebességgel kell indítani a Föld körüli pályáról az űrobjektumot. E sebességnek az értéke tehát a számításunk eredménye, vagyis *16,635 km/s*, amely jelenleg kb. a kémiai hajtóművekkel elérhető legnagyobb sebességérték. A természet még adott az emberiségnek egy segítséget a Naprendszer elhagyásához, ez pedig a bolygók lendítőereje, amelyet az ún. *hintamanőver* formájában felhasználhat a Naprendszer gyorsabb elhagyása érdekében. Ez a segítség azonban egy, esetleg két bolygó vonatkozásban alkalmazható, ha a bolygó(k) mozgása során olyan helyzetben van(nak), amely(ek) az űrszondának a gyorsítás utáni irányát tekintve, a tervezett további iránynak megfelel(nek). Arra azonban, hogy két vagy esetleg több bolygó olyan helyzetben legyen, hogy a hatásszférájába az űrobjektumot, azok hatásszférájába is be lehessen vezetni — esetenként — sokat kell várni. A bolygók pillanatnyi helyzete ezt a manővert nem, vagy csak ritkán teszi alkalmazhatóvá. Röviden ennyit a harmadik kozmikus sebességről.



7. ábra. A kör-, az ellipszis-, a parabola- és a hiperbola pályák, és a hozzájuk tartozó sebességek képletei Ary Sternfeld munkájában [6]

A kozmikus sebességeket és a hozzájuk tartozó pályákat a 7. ábra mutatja be. Fontos megjegyezni, hogy a nevezetes kozmikus sebességértékek között számos olyan indulási sebesség van, amelyen, ha indítunk egy űrobjektumot, akkor egyre távolabbi célpont elérését biztosíthatjuk. Az első és második kozmikus sebességértékek között pl. a sebesség növelésével egyre elnyújtottabb ellipszispályát kapunk. Ha pl. a Hold irányába indulunk, s az indulás 200 *km* magasságú pályáról 10,6 *km/s* sebességnél kisebb sebességgel történik, akkor az űrobjektum nem éri el a Holdat. Ha viszont az indulás 11,3 *km/s*, akkor a megközelítési sebesség már eléri 4 *km/s* értéket, ami ugyancsak kedvezőtlen, mert túlságosan sok hajtóanyagra lenne szükség ahhoz, hogy az űrobjektumot lefékezzék és Hold körüli pályára állítsák. Ezért Holdra utazás esetén az indulási sebesség általában 10,8 *km/s*, vagy valamivel efölötti lehetett. Ezt a kérdést, majd a Hold-program tárgyalásánál részletesebben tárgyaljuk.

A körpálya a világűrben maradáshoz, az ellipszis a Föld hatásszféráján belüli célok eléréséhez, a parabolapálya a Föld végleges elhagyásához, a hiperbolapálya pedig a Naprendszer végleges elhagyásához szükséges. Ennek megfelelően: a körpályasebesség $v_k = \sqrt{K/r}$, az ellipszishez szükséges képlet $v_e > v_k < v_p$, a parabolasebesség $v_p = \sqrt{2K/r}$ és a hiperbolasebesség értéke a Föld felszínére, ahogy már korábban kiszámoltuk, 16,6 *km/s*. Ez a sebességérték szükséges ahhoz, hogy az űrobjektum elhagyja a Nap hatásszféráját, és többé már ne térjen oda vissza. Az ezzel kapcsolatos számításokra, a Voyager–1 és –2 szondák útvonalszámításainál visszatérünk, s ott választ adunk arra a kérdésre is, hogy a Nap hatásszférájának az elhagyásához — a rendelkezésre álló bolygók lendítőerejével elérhető sebességértékekkel — mennyi idő szükséges.

9A JELLEMZŐ SEBESSÉGEK [7]

Az űrrepülés során általában két jellemző sebességgel találkozhatunk. Az egyiknél azt a sebességet keressük és határozzuk meg, amely szükséges ahhoz, hogy az űrobjektumot bizonyos magasságokon pályára állítsuk. Ebben az esetben, ha a kapott sebességértékből kivonjuk a Föld felszínén pályára állításhoz szükséges 7,910 *km/s* értéket, megkapjuk a szükséges többletsebességet. Ebben az esetben is figyelembe kell venni, hogy a művelet ideális körülmények között történik, ezért a teljes energiaigényt a jellemző sebesség + a már korábban, a nehézségi gyorsulás és a levegő ellenállásának a legyőzéséhez szükséges 1,5–2 *km/s,* a gyakorlatban szerzett tapasztalati érték együttes összege képezi.

$$v_j = v_{F0} \cdot \sqrt{2 - \frac{R_0}{R0 + H}} = 7{,}910\ km/s \cdot \sqrt{2 - \frac{6371\ km}{6371\ km + 200\ km}} =$$
$$= 7{,}810\ km/s \cdot \sqrt{2 - 0{,}969} = 7{,}910 \cdot \sqrt{1{,}031} = 7{,}810\ km/s \cdot 1{,}015 = \qquad (9)$$
$$= 8{,}031 km/s$$

200 *km* magasságon tehát a pályára álláshoz a sebességtöbblet 8.031 *km/s* – 7,910 *km/s* = 0,121 *km/s*. Erre a magasságra a szükséges energiamennyiségnek tehát annyinak kell lennie, amennyi képes létrehozni, 7,910 *km/s* + 0,121 *km/s* + 2 *km/s* = 10,031 *km/s* sebességet.

A másik jellemző sebesség, amelyet esetenként meg kell határozni, a többlépcsős rakétára vonatkozik. Annak idején megállapítottuk, hogy már Ciolkovszkij egyértelműen kimondta, hogy az egylépcsős rakétával nem lehet a Földet véglegesen elhagyni. Ezért ő megalkotta az egylépcsős rakéta lehetséges végsebességének meghatározására szolgáló képletet, s annak felhasználásával kapott értékek alapján mondta ki, hogy a Föld elhagyásához többlépcsős rakétára, vagyis az általa használt fogalom szerint, *„rakétavonatra”* van szükség. Ilyen többlépcsős (konkrétan legalább kétlépcsős) rakéta tervezését a második világháború végén, első alkalommal a von Braun által vezetett tudóscsoport végezte. Ezzel a kétlépcsős rakétával kívánták elérni az Amerikai Egyesült Államok Keleti partvidékét. A terv részleteiről később bővebben is szólunk. Most csupán annyit említünk meg erről a tervről, hogy a kísérleti indításokat jóformán elkezdeni sem tudták, amikor vége lett a háborúnak, így Amerika elleni bevetése, és az amerikai célpontok bombázása csak terv maradt.

A többlépcsős rakétaépítés során a legnagyobb teljesítményű fokozat az első. Ez a fokozat még a teljes starttömeget kell, hogy felemelje és felgyorsítsa a meghatározott sebességre, majd a hajtóanyag kiégése után az üres rakétafokozatot — mivel az már fölösleges teher — leválasztják a komplexumról, majd a második fokozat bekapcsolásával emelkedik és gyorsul tovább. Meg kell itt jegyezni, hogy a többlépcsős rakéta esetében azt kell elképzelni, hogy az első lépcső működése során, a második, a harmadik és a komplexum hasznos terhe együtt jelenti az első fokozat hasznos terhét. Ha a rakéta pl. háromfokozatú, akkor a már leírtak ismétlődnek a második fokozatból való hajtóanyag-kiégés után is, és a harmadik fokozat állítja pályára a hasznos terhet, vagyis az űrobjektumot (űrhajót, űrállomást vagy egyéb rendeltetésű űreszközt), miután a megfelelő magasságot és sebességet elérte. Ez az űrrepülés első, vagyis az aktív szakasza. A második szakasz a Föld körüli pályán való passzív repülés, egy vagy több alkalommal megszakíthat még rövididejű aktív szakasz, majd a harmadik, a visszatérés szakasz. Ennek az utolsó szakasznak is van aktív és passzív szakasza. Aktív szakasz lesz az, amikor a hajtómű bekapcsolásával és a tolóerőnek a haladási iránnyal való szembeállításával hozzák létre a süllyedési szakaszt, amely biztosítja a visszatérő egységnek a meghatározott szög alatti belépését a 100 *km* körüli magasságon kezdődő sűrűbb légrétegbe.

Most vizsgáljuk meg a többlépcsős rakéta működésével kapcsolatos azon kérdést, amely a jellemző sebességet érinti. A többlépcsős rakétánál is figyelembe kell venni a nehézségi gyorsulásnak és levegő ellenállásának a leküzdéséhez szükséges energiamennyiséget, amely mintegy 25 %-a az összes energiaigénynek, ezért a képletbe ezen értékkel való csökkentését a $k = 0{,}75$-ös értékű tényező képviseli. Ha az $n = 3$, a $w = 2900\ m/s$, a $z = 7$. Természetesen a kapott sebességértéket itt is ki kell egészíteni a már ismert 1,5–2 *km/s* értékkel. A képlet, ha a z értéke mindegyik fokozatnál ugyanaz:

$$v_j = k \cdot n \cdot w \cdot \ln(1+z) = 0{,}75 \cdot 3 \cdot 3{,}000\ km/s \cdot \ln(1+z) = 14{,}033\ km/s \qquad (10)$$

Ha hozzáadjuk az így kapott értékhez a 2 *km/s* sebességet, akkor 14,033 *km/s* + 2 *km/s* = 16,033 *km/s* végsebességet kapunk. Ha a fokozatok z értékén javítunk, 16,6 *km/s* körüli sebességértékre növelhetjük a végsebességet. Fontos tehát, hogy a fokozatok z értéke a maximális legyen, és nyílván a legfontosabb, hogy növeljük a kiáramlási sebességet.

A forrásmunkák gyakran negyedik kozmikus sebességnek is nevezik azt a sebességértéket, amellyel, ha a Föld haladási irányával ellentétes irányba indítjuk az űrobjektumot, és létrehozhatjuk azt a helyzetet, amikor az így indított objektumnak a sebessége, a hatásszféra határán 0 lesz, vagyis az űrobjektum belezuhan a Napba. Ennek eléréséhez az indítási sebességet a Föld pályasebességének, valamint a Földre vonatkozó második kozmikus sebessége a négyzeteinek az összegéből határozzuk meg. Ekkor ugyanis a hatásszféra határán, ha az indítást a Föld haladási sebességvektorával ellentétes irányba végezzük, annak sebessége 0-ra csökken, mert a távolodási sebesség pontosan annyi lesz, mint a Föld közepes pályasebessége. Így tehát az indítási sebesség értéke:

$$\begin{aligned} v_i &= \sqrt{(11{,}187\ km/s)^2 + 29{,}785\ (km/s)^2} = \sqrt{125{,}149\ (km/s)^2 + 887.146\ (km/s)^2} = \\ &= \sqrt{1012{,}295\ km^2/s^2} = 31{,}816\ km/s. \end{aligned} \qquad (11)$$

Ha tehát, a Föld körüli pályán a földfelszíni sebességnek megfelelő sebességértékre gyorsítunk, akkor az űrobjektum a hatásszféra határára gyakorlatilag 0 sebességgel érkezik, s mintegy 65 nap múlva belezuhan a Napba. Ha pl. a szükséges sebességet keressük, mondjuk 500 *km* magasságon szeretnénk elérni a szükséges indítási sebességet, akkor az 500 *km*-en a második kozmikus sebesség értéke 10,771 *km/s*. Ha a 11,187 *km/s* helyére a 10,771 *km/s* értéket írjuk, akkor annak négyzete 116,014 lesz, s az indítási sebesség 31,672 *km/s* értékre csökken. Természetesen, ma még ez a sebesség is meghaladja a lehetőségeinket.

Ennyit a kozmikus sebességekről.

Folytatjuk.

Felhasznált irodalom:

[1] Simonyi Károly: „A Fizika kultúrtörténete" Gondolat Kiadó, Budapest 1978;

[2] Főszerkesztő: Almár Iván: *Űrhajózási Lexikon*, Akadémiai Kiadó—Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1981;

[3] Konsztantyin Ciolkovszkij: *„Iszledoványije mirovih prosztransztv reaktyivnimi priborami"* Az amerikai—szovjet közös űrrepüléssel kapcsolatban kiadta: Izdatyelsztvo „Masinosztrojenyije", Moszkva, 1977;

[4] V. Levantovszkij: *„Mehanyika koszmicseszkovo poljota v elementarnom izlozsenyii"*

[5] Izdatyelsztvo „Nauka" Moszkva, 1974;

[6] Sz. Alekszejev—Sz. Umanszkij: *„Viszotnije i koszmicseszkije szkafandri"* Masinosztrojényije, Moszkva 1973;

[7] Ary Sternfeld: *„Vvegyenyije v koszmonavtiku"* Izdatyelsztvo „NAUKA" Moszkva, 1974;

[8] I. Merkulov: *„Koszmicseszkije szkorosztyi"* Izdatyelsztvo DOSZAF, Moszkva 1967;

[9] Robert Jastrow: *„Vörös óriások és fehér törpék"* Gondolat Kiadó, Budapest 1976;

[10] A. Szolodov: *„Inzsenyernij szprávocsnyik po koszmicseszkoj tyehnyike"* Vojennoje Izdatyelsztvo Minyiszterszva Oboroni SzSzSzR, Moszkva 1977.

[11] *On bül pervüm,* Zapiszki, Vojenizdat, Moszkva, 1984.