

X. Évfolyam 2. szám - 2015. június

**SZABÓ József**

[szabo.jozsef95@chello.hu](mailto:szabo.jozsef95@chello.hu)

## A DINAMIKA FEJLŐDÉSÉNEK TÖRTÉNETE AZ ÓKORTÓL AZ ŰRREPÜLÉS ELMÉLETÉIG ŰRDINAMIKA SOROZAT I. RÉSZ

### *Absztrakt*

*1957. október 4-én megkezdődött az űrkorszak. E napon indult útnak az első, ember által készített űrobjektum, a Szputnyik-1. Ezt követően felgyorsultak az események. Űrszondák indultak a Hold, majd a Mars és a Vénusz felé. Megjelentek a Föld körül az első meteorológiai, felderítő, hírközlési és más űreszközök. Cikksorozatunkban bemutatjuk azt az utat, amely az emberiség fejlődése során a világtűrbe vezetett. Az első részben ismerkedjünk meg az űrbéli mozgások törvényszerűségeivel.*

*October 4, 1957 began the space age. This day started off the first man-made space object, Sputnik-1. Subsequently the events accelerated. Spacecraft headed for the Moon, Mars and Venus. They appeared the first meteorological, intelligence and other satellites around the Earth. In this series of article we are going to present the way which is leading to the space during the development of humanity. In the first part, familiarize yourself with the laws of motion in space.*

**Kulcsszavak:** *a dinamika fejlődéstörténete, peripatetikus vagy arisztotelészi dinamika, a newtoni dinamika törvényei*

## BEVEZETÉS

1957. október 4. Ezen a nevezetes napon vette kezdetét az űrrepülés korszaka. Évezredek álma vált valósággá, amikor Föld körüli pályára állt az első, ember alkotta űreszköz, a Szputnyik-1. Alig telt el négy év — és e néhány év alatt már űrszondák indultak a Hold, a Mars és a Vénusz felé —, majd követte azokat az első ember, amikor is a volt Szovjetunió állampolgára, Jurij A. Gagarin 108 perc alatt megkerülve bolygónkat, visszatért a Földre. Ezt követően alig több mint hét év múltán az első ember, Neil Armstrong, és Edwin Aldrin asztronauták, az Amerikai Egyesült Államok állampolgárai, a Hold felszínére léptek. Úgy gondolom, eddig ezek a legfontosabb mérföldkövek az űrrepülés történetében, amelyek jelzik a haladást, miközben napjainkig több ezer apró lépést tett meg az emberiség a világűr meghódítása felé vezető hosszú úton. Tudatában van azonban annak is, hogy még sok probléma vár megoldásra a világűr meghódításának hosszú és göröngyös útján.

Meg kell mondani, azokban az 1960-as években, minden képzeletet felülmúlóan gyors volt a fejlődés. A sikerek bizonyára túl gyorsan követték egymást, ami talán, egy kicsit még a szakembereket is elbizakodottá tette. Az űrkorszak nyitányától a Holdra lépésig alig 12 év telt el. Nem véletlen, hogy ebben az időszakban olyan elképzelések láttak napvilágot, amelyek azt jósolták, hogy az ezredfordulóra az ember eljut a Marsra. Idézet az egyik irodalmi forrásból: *„Ha ma még nem is indulnak emberes expedíciók a Marsra, két-három évtized múlva talán ennek is megérnek a technikai és egyéb feltételei.”* [8]

Ez azonban amint később kiderült, nem olyan egyszerű feladat. Még a mai tervek szerint is, erre — valószínűleg — csak a 2030-as években kerülhet sor. A mai lehetőségeinket figyelembe véve ugyanis, ez a küldetés mintegy 32 hónap alatt teljesíthető, vagyis az indulást követően kb. a 970. napon térhetnek vissza a Mars-utazók a Földre. Később ezen állítást számításokkal is alátámasztom. Ez az időtartam pedig, még mindig több mint a kétszerese annak, amelyet eddig egy űrhajós egy repülés alatt teljesített (437 nap). [9]

Nincs tehát elegendő tapasztalat arra, hogy az utazás milyen problémákat vethet fel a repülés során a leggyengébb láncszemet jelentő ember szempontjából. És akkor még nem említettük azokat a tényezőket, amelyek rendkívül bonyolulttá teszik e vállalkozás elindítását a hozzánk legközelebbi és egyetlen olyan bolygóra, amelyre gyakorlatilag lehetséges a leszállás. Ha a számos probléma mellett, a Napból érkező részecskék elleni védelem is megoldódik — amelyhez talán a magyar fejlesztésű Pille korszerűsített, és e feladat megoldására alkalmassá tett változata is hozzájárulhat — és a még felmerülő problémákra is találnak megoldást, az ember, talán tizenöt–húsz év múlva ténylegesen elindulhat a Marsra.

Napjainkban még az a főfeladat, hogy fokozatosan megvesse lábát az ember a Föld körüli térségben, majd a Holdon esetleg megfelelő bázist létesítsen, és ezt követően, megfelelő tapasztalat birtokában induljon el a bolygóközi térbe, s érkezzon meg a Marsra. Ehhez bonyolult feladatok sokaságát kell megoldania. Egyik, talán legbonyolultabb feladat, hogy az ember pszichikai vonatkozásban legyen képes elviselni azt a megterhelést, amely a hosszantartó űrutazás elkerülhetetlen velejárója. Nem kevésbé fontos tudni, mit jelent az ember számára a hosszantartó súlytalanság elviselése egészségügyi szempontból. Meg kell ezen kívül oldani a Marson tartózkodás 16 hónapjának a problémáit is.

Az Marson töltendő időszakra az életfeltételek biztosítása is egy igen bonyolult és sokrétű feladat megoldásának szükségességét jelenti. Hogy csak egy példát mondjak: a Marsra és vissza való utazás mintegy 970 napot vesz igénybe. Eddig 31 űrhajós töltött a világűrben több mint 365 napot. Közülük 27 orosz (szovjet), és 4 az Amerikai Egyesült Államok állampolgára. Öten vannak, akik a világűrben töltött 600 napnál több idővel rendelkeznek, közülük Alekszandr Kaleri négy alkalommal — 609, Anatolij Szolovjov öt alkalommal — 651, Valerij Poljakov két alkalommal — 678 (241 és 437 nap, ez utóbbi világrekord), Szergej Avgyejev három

alkalommal — 747, Szergej Krikkaljov 6 alkalommal összesen 803 napot töltöttek a világűrben, a súlytalanság, illetve a mikrogravitáció viszonyai között.

Az emberiség tehát megvetette a lábát a világűrben. Felvetődik viszont a kérdés: hogyan alakult ki ez a helyzet, hogyan jutott az emberiség olyan elméleti ismerethalmaz birtokába, hogyan ért el olyan technológiai színvonalat, amellyel az űrrepülés álma végre valósággá válhatott? Igaz, az ember, pl. az ötezer éves Akkád-eposzban Etana császár a képzelet szárnyán már járt a csillagok világában, s ugyancsak egy évezredes Csaba királyfi száguldásának legendája a Tejúton, s a népek mondavilága számos ilyen utazásról ad hírt.

Ezek, és a képzelet szülte sok száz utazás azonban csak a fantázia világában létezett, semmi közülük nem volt közülük a valósághoz. Most azonban az ember saját maga készítette űreszközökkel ostromolja a világűr, igaz, még csak a Föld közvetlen környezetét és a Naprendszer belső világát, de amint tudjuk, bármilyen messzire indulunk is, először az első lépéseket kell megtenni. Hogyan is jutott el az emberiség addig, ahol most tart? E kérdésre próbálok jelen írással válaszolni, megmutatni, hogyan nyitotta ki az emberiség a világűr addig zárt kapuját, amely mögött számos új felfedezést tett már eddig is, és bizonyára még sok-sok új ismeretet szerez a jövőben is. Lássuk hát, mi is játszódott le eddig a világűr megismerése felé vezető, több évezredes úton.

## DINAMIKA AZ ÓKORBAN

Az űrrepülés alapját, az űrben való mozgás elméletét az űrdinamika, a mozgástan, összefoglaló néven, az űrtan tárgyalja. Ennek fejlődéstörténete néhány évezredes múltra tekint vissza, s igazán a mozgástannak mintegy 2300 évvel ezelőtti, ún. arisztotelészi világréndszerbe foglalásával indult el a fejlődés útján. A mozgás lényegét először az ókorban Arisztotelész és tanítványai próbálták meghatározni. Sajátos rendszert építettek fel, amelyet az általuk alkotott világrépbe illesztettek bele. A számos területen kiváló eredményt elért tudós és követői azonban a mozgás lényegének meghatározásánál, akkor még csak a szemükre hagyatkozhattak. Köztudott azonban, hogy a mozgás lényegének feltárásához nem elegendő annak közvetlen környezetünkben való megfigyelése. Ezért az arisztotelészi, vagy ahogyan másként nevezik, a peripatetikus dinamika megállapításai sem voltak helytállóak, sőt, ha azokat az űrrepülés problémáinak megoldásához szükséges alapok szemszögéből vizsgáljuk, messze elmaradtak a követelményektől. [1]

A mai tudás birtokában egyértelműen kimondhatjuk, hogy a peripatetikus dinamikára alapozva, az űrrepülés elmélete és gyakorlata soha nem születhetett volna meg, s az ember, az első rendszerbe foglalt világrép törvényszerűségei alapján, soha sem indulhatott volna el a világűrbe, s annak felderítésében nem tartana ott, ahol ma tart. S ez még mindig csak a kezdet, hiszen a világűr meghódítása még nem befejezett tény. Az emberiség, a világűr titkainak feltárásában, ma még csak a kezdeteknél tart.

Vizsgáljuk meg röviden, milyen jellemzőkkel rendelkezett az ókori, arisztotelészi, vagyis az ún. peripatetikus dinamika. Ehhez, s a továbbiakban tárgyalt kérdésekhez a már említett Simonyi Károly könyvében leírtakat vehetjük alapul. Először is: világrépük, röviden összefoglalva a következő volt: a világ zárt, hierarchikus. A világot két részre osztották, mondván: van a földi, és van az égi világ. Az első, a földi világ, amely az örök változások világa, míg a másodikban — mivel ott az anyag tökéletes (kvintesszencia) — minden örök és változatlan. [1]

A mozgásra vonatkozó megfigyeléseik alapján levonták a következtetést: van mozgás a Holdon túli világban, és a Holdon inneni, vagyis a földi világban is, e mozgások azonban lényegesen különböznek egymástól. Szerintük a Holdon túli világban isteni lények mozgásáról van szó, s hozzájuk — természetesen — csak a tökéletes körmozgás méltó. Szerintük

egyértelmű volt tehát, hogy az égitestek a Föld körül — mert a geocentrikus világképben a Föld volt a világ közepe — ilyen, tökéletes körmozgást végeznek.

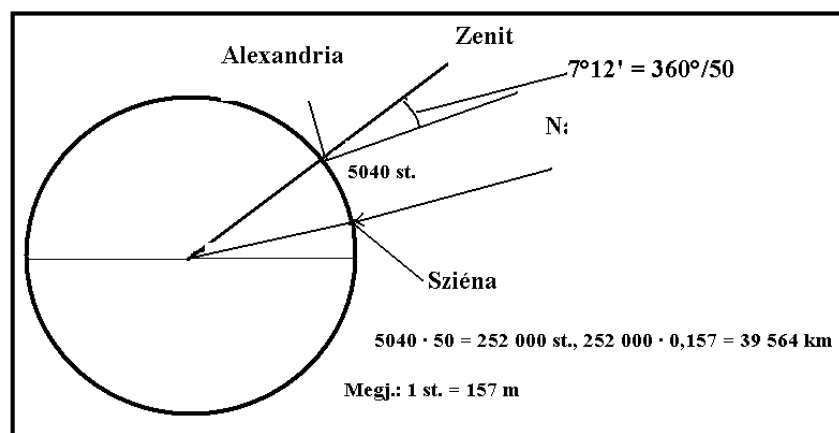
A földi mozgások esetében viszont bonyolultabbnak ítélték meg a helyzetet. Azokat felosztották:

1. Az élőlények mozgására, amelyben nem figyelhető meg semmilyen törvényszerűség, tehát kaotikus;
2. A természetes mozgásra, amely szerint a nehéznek lenni, a könnyűnek fenn van a helye (a kő, ha elengedjük, leesik a földre, a füst felszáll a magasba);
3. Végül a kényszerített mozgásra, amelynek létrehozásához mozgatóerőre van szükség. Ha ilyen erő nincs, akkor a sebesség nulla. Ez utóbbi alapján vonták le a következtetést: a mozgás — folyamat. Szerintük a Föld mozdulatlan volt, nem tudták, vagy nem fogadták el, hogy a világban minden mozgásban van, s a Föld kering a Nap körül, és forog a saját tengelye körül. [1]

Az arisztotelészi világképben nem volt helye a vákuumnak, és az anyaggal kapcsolatban olyan véleményen voltak, hogy az nem atomos, hanem folytonos. Csak érdekességként jegyezzük meg: ha az anyag folytonos lenne és nem atomos, ebben az esetben a Nap átmérője kb. 70 km, a Földé pedig mindössze 1,27 km, de lehet, hogy kevesebb lenne, mivel az atom mérete az atommagénál 10 000-szer nagyobb. [10]

E nézetek alkották tehát az arisztotelészi világkép mozgástani alapjait.

Az arisztotelészi tanoknak voltak korabeli ellenzői, tagadói, és csodálatos eredmények is születtek, azonban azoknak, akik az arisztotelészi nézetekkel ellentétes nézeteket vallottak, nem hittek. Pedig az alexandriai könyvtáros, Eratoszthenész például megmérte a Föld kerületét, és lássunk csodát: a 2300 évvel ezelőtti mérés eredménye minimális eltérést mutat a ma elfogadott méretektől.



**1. ábra.** Eratoszthenész mérési módszere [1]

Voltak tehát, akik az arisztotelészi világkép megállapításait cáfolták, ám nekik kortársaik nem hittek. Arkhimédészt nem is értették meg, és írásainak nagy részét is csak mintegy másfél ezer év múlva fordították le görögre, addig nem tudtak velük mit kezdeni. A Szamosz szigetén élő Arisztarkhosz például azt a nézetet vallotta, hogy a Nap a világ közepe, a Föld is a Nap körül kering, miközben tengelye körül is forog. Neki sem hittek, sőt, istenkáromlásért bíróság elé akarták állítani. [1]

A fizika fejlődéstörténetének útja hosszú volt, amíg a sok téves megállapítástól eljutott az emberiség a mai világképig, benne az ún. Galilei–Newton-féle klasszikus mechanikáig és a valóságot tükröző mechanikai, benne a dinamikai törvényekig. Arisztotelész után, mintegy másfél évezreden át a peripatetikus dinamika volt többek között a mozgástan területén is a végső szó, s csak a 13–14. századtól indult meg e világkép fokozatos lebontása. Csak néhány nevet említünk, akik sokat tettek az új törvények megszületése érdekében:

*Jean Buridan* (1295–1358), megalkotta az *impetus* fogalmát, amely az impulzustörvény ösének tekinthető. Buridan szerint az eldobott kő nem azért repül, mert indulásakor szétvágja a levegőt, mögötte légüres tér keletkezik, ahová a levegő nagy sebességgel áramlik be és hajtja előre a követ. Buridan szerint az eldobott kő egy darabig az őt eldobó kézzel együtt mozog, s attól kap egy bizonyos impetust, amelyet azért veszít el, mert útján folyamatosan ellenállást kell legyőznie. [1]

*Nicole, d' Oresme* (1320–1385), cáfolta Arisztotelésznek a Föld forgása ellen felhozott érveit, s lényegében azt vallotta, amit később Galilei, vagyis a Föld is foroghat. [1]

*Giovanni Benedetti* (1530–1590), bizonyította a vákuum létezését, továbbá azt, hogy a vákuumban a testek sebességét kizárólag a gravitáció határozza meg. [1]

A 15. század végétől felgyorsultak az események. Ehhez hozzájárultak a továbbiakban megszületett, a fejlődés szempontjából jelentősnek mondható eredmények:

*Nikolausz Kopernikusz* (1473–1543), munkássága, s annak eredményeként, hogy találkozott az ókori Arisztarkhosz írásával, a világ közepe a Földről a Napra került [1]

*Tycho de Brahe* (1546–1601), megfigyelte a bolygók mozgását és a kapott eredményeket írásban rögzítette. 1572-ben feltűnt egy nóva, megállapította, hogy — a korábbi hiedelmekkel ellentétben — az égi világ is változik. [1]

*Johannes Kepler* (1571–1630), Brahe feljegyzéseiben, a Mars pályájára vonatkozó adatokban talált eltérések okát kutatva alkotta meg három törvényét, amelyekkel alapvető változásokat indított el az égi mechanika területén. Törvényei:

1. A bolygók a Nap körül ellipszis pályán keringenek, amelynek egyik gyújtópontjában a Nap áll;
2. A Napot a bolygókkal összekötő vezérsugár egyenlő idők alatt egyenlő területeket sűrol;
3. A bolygók keringési időinek ( $T$ ) négyzetei a Naptól számított középtávolságuk ( $D$ ) köbeivel egyenesen arányosak. Ebből következik:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{D_1^3}{D_2^3}; \quad \text{vagyis:} \quad \frac{T^2}{D^3} = \text{const.}$$

Ez utóbbi törvényben találta meg Kepler az általa makacsul keresett világharmóniát (*Harmonices Mundi*). Ha e képletet alapján meghatározzuk pl., hogy a Föld–Vénusz viszonylatában milyen értékeket kapunk, akkor ez a keringési idők négyzetei vonatkozásában 2,64-et eredményez, s ugyanezt az értéket kapjuk a távolságok köbeinek viszonyára is. A  $T^2/D^3$  számításai pedig minden bolygóra 0,0398 értéket eredményeznek.

A Földre és a Vénuszra:

$$T_F^2/T_V^2 = 365,22 / 224,72 = 133385 / 50499,1 = 2,64$$

$$D_F^3/D_V^3 = 149,6^3 / 108,2^3 = 3348071,936/1266723,368 = 2,64$$

Minden bolygóra:

$$\text{Merkúr: } T^2/D^3 = 87,97^2/57,91^3 = 7738,7/194\,205,13 = 0,0398;$$

$$\text{Vénusz: } 224,701^2/108,21^3 = 50490,54/1267074,62 = 0,0398;$$

$$\text{Föld: } 365,24^2/149,6^3 = 133400,257/3348071,936 = 0,0398$$

$$\text{Mars: } 686,73^2/227,94^3 = 471598,1/11842997,34 = 0,0398$$

A törvény, amelyben Kepler, megtalálta a világharmóniát, megközelítően pontos, a fenti számok igazolják, hogy törvényei — bár később Newton azokat némileg pontosította —, jó közelítéssel, a valóságot mutatják. Egyértelmű, hogy Kepler törvényei alapvetően megváltoztatták az égi mechanikáról addig alkotott nézeteket. [1]

Kepler után *Galileo Galilei* (1564–1642), az eget már távcsővel kutatta, felfedezte a Hold hegyeit és a Jupiter holdjait, sőt, megmérte a Hold hegyeinek magasságát. Felfedezte, hogy a Tejút csillagok sokaságából áll, s hogy a bolygók fényüket a Naptól kapják, a csillagoknak pedig saját fényük van. Galilei a mechanikában is jelentős eredményeket ért el. [1]

*René Descartes* (1595–1650), a mozgástan terén jelentős eredményeket ért el, bár voltak peripatetikus nézetei is: azt vallotta, hogy a bolygókat örvények mozgatják, s a vákuum létezését is tagadta. Ennek ellenére, munkásságával jelentős mértékben hozzájárult a fizika fejlődéséhez [1];

*Christian Huygens* (1629–1695), aki 24 évesen a  $\pi$  értékét a legnagyobb pontossággal meghatározta, felfedezte az Orion-ködöt, a Szaturnusz gyűrűjét és megalkotta a körmozgás egyenletét. Munkássága során elért eredmények számos olyan probléma megoldását jelentették, amelyek a továbbiakban a mozgástan elméletének kiteljesedéséhez vezettek. [1];

Amikor *Isaac Newton* (1642–1727) színre lépett, már szinte minden készen állt ahhoz, hogy az arisztotelészi világgépet végleg lerombolja. Ehhez azonban a külön futó tudományos eredményeket össze kellett fogni, s bennük meg kellett találni mindazt, ami a négy törvény, valamint az egyetemes tömegvonzás törvényében kapott értelmet. Ezt a munkát végezte el Newton. Elődei munkájának elismerése volt, amikor Newton, saját munkásságát és elért eredményeit előkészítő elődeiről és az elért saját eredményeiről így vélekedett: „*Én messzebbre láthattam, de csak azért, mert óriások vállán álltam.*”

Newton négy, tömeggel rendelkező mozgó testek viselkedésével kapcsolatos törvénye alkotja a klasszikus mechanika alapját. E törvények az egyetemes tömegvonzás törvényével összekapcsolva, lehetővé teszik a bolygók mozgására vonatkozó Kepler-törvények igazolását. Newton törvényei: 1. a tehetetlenség törvénye; 2. a dinamika törvénye; 3. a hatás-ellenhatás törvénye; 4. az erőhatások függetlenségének törvénye.

E törvények helyességét az évszázadok során, számos kísérlet és megfigyelés igazolta. A zseniális tudós által alkotott fizikai világgép — amint azt Simonyi Károly, a már említett könyvének harmadik részében leírja — két fontos megállapításon alapszik: az egyik: *az erő = tömeg  $\times$  gyorsulással*, vagyis  $F = m \times a$ . A másik pedig az egyetemes tömegvonzás törvénye, amely szerint: *Két test egymást tömegük szorzatával egyenes, távolságuk négyzetével pedig fordított arányban vonzza*. Ennek tudható be, hogy a Föld felszínén ( $R_0$ ) a nehézségi gyorsulás értéke  $9,81 \text{ m/s}^2$ , a Föld felszínétől egy földugárnyi, vagyis  $2R$  távolságon azonban már csak  $2,4525 \text{ m/s}^2$ , vagyis az előző értéknek csupán egynegyede.

Az egyetemes tömegvonzás képlete tehát:

$$F = G \frac{Mm}{r^2};$$

Newton még  $G$ -vel jelölte az általa megsejtett gravitációs állandót, azonban azt csak halála után mintegy 70 évvel később Cavendish angol tudós határozott meg, s amelyet ma általában  $\gamma$ -val jelölünk. A newtoni dinamika lényege tehát röviden: az arisztotelészi nézetekkel szemben, *nem a mozgáshoz, hanem a mozgásállapot megváltoztatásához van szükség erőre*. A mozgás tehát: *nem folyamat, hanem állapot*, hiszen a világmindenségben minden mozgásban van, semmi, soha meg nem állhat. Ezen ismeret hiánya az ókorban lehetetlenné tette a helyes mozgástörvények kialakulását.

A Newton által alkotott törvények alapján, az arisztotelészi világgép helyét fokozatosan elfoglalta a newtoni világgép, amely tömören megfogalmazva: „*A világ erőcentrumokból, és hatásukra létrejövő mechanikus mozgásokból áll.*” Ennek megfelelően, a Föld egy erőcentrum, amely a hatásszférájában alapvetően meghatározza a testek, vagyis a Hold és minden mesterséges hold mozgását.

Ugyanakkor a Föld is mozog egy másik erőcentrum, a Nap körül, mint minden bolygó és más test a Nap hatásszféráján belül. A Nap is kering a Tejútrendszer középpontja körül, s természetesen a Tejútrendszer is állandó mozgásban van, hiszen, egyértelmű, hogy a világmindenségben semmi nem állhat egyhelyben. Persze, mi e mozgásokat közvetlenül nem érzékeljük, mert környezetünk is velünk együtt mozog, márpedig csak a relatív mozgás érzékelhető.

Az új törvények alapvetően mások, mint a mozgással kapcsolatos korábban elfogadott peripatetikus nézetek. A dinamika, illetve az egész mechanika szempontjából alapvető megállapítások ezek, amelyek már alkalmasak voltak arra, hogy rájuk épülve kialakítsák az űrmechanikát, illetve az űrdinamikát, vagyis az űrrepülés átfogó és a gyakorlatban is alkalmazható elméletét. Newton világgépében megfogalmazott törvényekre támaszkodva, az 1880-as évektől, az ember alkotta első űrobjektum pályára állításáig eltelt hat-hét évtized alatt először létrejött az űrrepülés elmélete, amelyet rövidesen, mintegy három évtized múltán, a korszerű technológia megteremtésével követett az a tény, hogy az ember legyőzte a Föld vonzóerejét és először kijuttatta űreszközait a világűrbe, majd maga is „*betekintett a világűr addig zárt kapuja mögé*”, vagyis kijutott a világűrbe. [12]

## A TÖMEG, VALAMINT A SÚLYERŐ ÉRTELMEZÉSE

Itt egy pillanatra álljunk meg, mert vannak fogalmak, amelyek némi magyarázatra szorulnak. Ilyen pl. a tömeg és a súlyerő kérdése. Ha ráállunk a fürdőszobai mérlegre és leolvassuk, mit mutat, mit mondunk? Én pl. azt, hogy testsúlyom 70 kg. Kicsit furcsa, vagy inkább szokatlan lenne, ha azt mondanám, hogy tömegem 72 kg, pedig az is igaz. Viszont ha pl. azt akarjuk kifejezni, hogy a Hold tömege 80-szor kisebb, mint a Földé, akkor az lenne a furcsa, ha azt mondanánk, hogy a Hold súlya. A súly ugyanis — erő, amely nem más, mint a *tömeg szorozva gyorsulással*. A Hold, mivel ellipszispályán kering a Föld körül, így súlyereje folyamatosan változik. Miről is van itt szó? Mi hát a helyes kifejezés, a tömeg, vagy a súly? Mi a kettő közötti különbség lényege?

Az igazság az, hogy minden anyagi test, tehát az ember teste is, valamint a Föld, vonzzák egymást. Amilyen erővel engem vonz a Föld, ugyanolyan erővel vonzom én is a Földet. A különbség a két tömeg egymáshoz való viszonyában van. Engem a földhöz szorít az a vonzóerő, amellyel rám hat a Föld, s amely, ha nincs a talpam alatt támaszték,  $9,81 \text{ m/s}^2$  gyorsulással mozgat az erőcentrum középpontja felé. Ugyanezzel az erővel vonzom én is a Földet, de a két test tömegének aránya nem hasonlítható össze. Így az én testem tömege a Föld mozgását befolyásolni nem tudja, olyan parányi ez az erő a Föld tömege által kifejtett vonzóerőhöz viszonyítva. Ha nem a Föld, hanem pl. a Hold vonzaná az én testem, akkor, ha a Földön kapaszkodok egy rugós mérlegbe, vagy ráállok egy mérlegre, az 70 kg-ot mutat. Ha a Holdon teszem ugyanezt, a mérlegek kb. 11,6 kg-ot mutatnának. De ha a Napra költöznék, ahol a nehézségi gyorsulás értéke 28-szorosa a földinek, ott bizony a súlyerőm 1960 erőkilogramm, vagy *Newtonban* mintegy  $19\,228 \text{ N}$  értéket mutatna.

Newton második törvénye szerint tehát, az erő egyenlő: tömeg szorozva gyorsulással. Igen ám, de van egy kis bökkenő: az én tömegem, itt és most, erőkilogrammban kifejezve egyenlő 70 kg-mal, vagy:  $70 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 686,7 \text{ N}$  erővel. De, ha elmegyek az É-i sarkra, ott a nehézségi gyorsulás értéke egy kicsinyke értékkel nagyobb, vagyis  $9,814 \text{ m/s}^2$ , az én súlyerőm

pedig 686,98 N. Az Egyenlítőn a nehézségi gyorsulás mintegy  $9,806 \text{ m/s}^2$ , az én súlyerőm ott 686,42 N. Minimális a változás értéke, de azért felvetődik a kérdés: mi változott, a tömegem, vagy a súlyerő? Egyértelmű, a tömegem maradt ugyanaz, de a súlyerő — annak következtében, hogy nagyon kicsivel, de más nehézségi gyorsulási viszonyok közzé kerültem — nagyon kis értékkel megváltozott, vagyis, ahol közelebb kerültem a tömegközépponthoz, ott nagyobb, ahol kissé eltávolodtam, ott kisebb lett. De menjünk tovább: ha a Holdra mennék, ott a súlyerő, amelyet a testem kifejtene a Hold felszínére, mivel tömegem nem változott: a földtől, vagyis a 686,7 N értéktől eltérően,  $70 \text{ kg} \cdot 1,62 \text{ m/s}^2 = 113,4 \text{ N}$  lenne.

Viszont ha a Napra lépnék, akkor kb. 28-szor nagyobb nehézségi gyorsulás viszonyai között, a testem által kifejtett súlyerőm 19 228 N erőre nőne, amely megfelelne 1,960 tonnának. Ennek köszönhetően, az ember a Holdon — amint azt láthattuk — könnyedén ugrándozik, de a Nap felszínén meg sem bírna mozdulni. Még jó, hogy ez utóbbi nem történhet meg, hiszen a Nap felszínén uralkodó több ezer fokos hőmérséklet ezt nem teszi lehetővé.

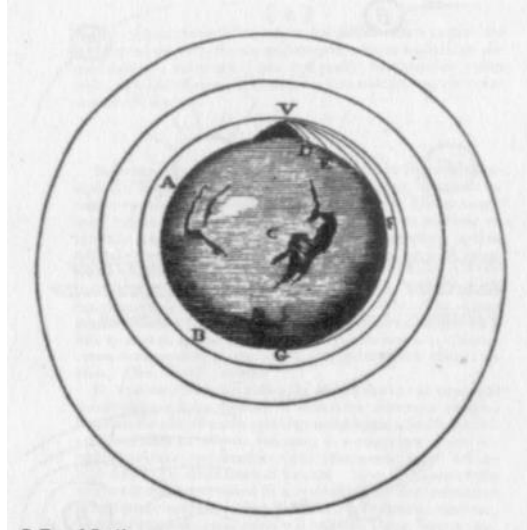
A súly fogalmát már értjük, de mi a tömeg fogalmának a lényege? Ha a világon bárhol, ráülök egy olyan kocsi, amelynek nincs súrlódása, és az én 70 kg súlyerőt képviselő testemre mondjuk 70 kg tolóerő hat egy másodpercig, akkor a mozgási sebességem a másodperc végén, megközelítően 10 m/s lesz. Hogy miért? Mert 1 N olyan erő, amely a Föld felszínén 1 kg tömeget  $1 \text{ m/s}^2$  gyorsulással mozgat. 1 kg súlyerő 9,81 N, kis kerekítéssel 10 N értékkel egyenlő, tehát azt mondhatjuk, hogy ha 1 kg tömegre 1 kg (vagyis 9,81 N) erő hat 1 s-ig, akkor az, megközelítően  $10 \text{ m/s}^2$  gyorsulást kap. Ebből következik, hogy ugyanez játszódik le, ha a 70 kg tömegű testemre 70 kg erő hat. Ha ezt megismétlem a Holdon is, meg a Nap felszínén is, mindenhol ugyanez lesz az eredmény, mert a testem súlyereje és a rá ható erő is ugyanolyan mértékben változott. Vagyis a testem tömege mindenhol ugyanakkora ellenállást fejt ki a mozgóerővel szemben, min a Földön. Ezért mondhatjuk, hogy a testek tömege a világmindenségben mindenhol – *állandó*. Ezt a jelenséget, vagyis a testeknek a mozgásuk megváltoztatásával szemben tanúsított ellenállását tehetetlenségnek nevezzük. Így tehát a testnek a mozgóerővel szemben tanúsított ellenállása, vagyis a test tehetetlensége, helyezhetjük a testet bárhová, mindenütt ugyanakkora lesz.

Ennyit röviden a súly és a tömeg kérdéséről. [4]

## NEWTON, ÉS AZ ŪRREPŪLÉS GONDOLATA

Newton munkásságával kapcsolatban még meg kell említeni, hogy a fizika történetében először utalt rá, hogyan válhat egy test égitestté. A Principia harmadik része az általános tömegvonzás alapján tárgyalja a bolygók mozgását. Newton nemcsak kijelenti, hogy a földi tárgyakra és az égitestekre azonos törvényszerűség érvényes, hanem pontosan megmutatja azokat a körülményeket, amelyek mellett egy földi tárgy égitestté válhat: „*A melléklet ábra alapján egy magas hegy csúcsáról egyre nagyobb sebességgel lövünk ki egy lövedéket. Az természetesen egyre távolabb ér földet. Ha a kilövés sebességét kellően megnöveljük, elérhetjük azt, hogy a lövedék, megkerülve a Földet visszaérkezik a kilövés helyére, és ha feltételezzük, hogy a kilövés légüres térben történik, akkor a lövedék a kilövés sebességével azonos sebességgel érkezik vissza, és ennek megfelelően újabb és újabb kört ír le a Föld körül, mint annak a mesterséges holdja.*” [1]





2. ábra. Newton által elképzelt, a Föld körüli repülés lehetőségének magyarázatához [1]

Newtonnak ez a meglátása lényegében azt jelenti, hogy a Föld körüli repüléshez meghatározott sebesség szükséges. És ez az igazság. Persze arról sem szabad megfeledkezni, hogy a Földnek légköre van, amely csak meghatározott magasság (160–170 km) fölött teszi lehetővé, hogy a körpálya-sebesség elérését követően az ilyen sebességre felgyorsított test legalább egyszer megkerülje a Földet. A megfelelő magasság egyébként alapvető követelmény, mert az első kozmikus sebesség csak a megfelelő magasságon hozható létre.

Meg kell itt jegyezni, hogy ez a magasság is — mint a világtérben való mozgás során minden — változhat. Ha pl. intenzív napkitörés után, amikor a részecskék nagy tömege érkezik a Föld körzetébe, a Föld megkerülése csak magasabb pályán lehetséges. A légkör sűrűsége ugyanis, ilyen esetekben a duplájára, sőt háromszorosára is növekedhet, ami duplázza vagy háromszorozza az ellenállást.

Egy fontos dolgot még meg kell még említeni, hogy Newtonnak, az egyetemes tömegvonzásra vonatkozó képletében ott találjuk az ún. gravitációs állandót ( $G$ , napjainkban  $\gamma$ ), amelynek szükségességét Newton megsejtette, azonban értékét nem tudta meghatározni. Annak értékét Newton halála után több mint fél évszázaddal, *Henry Cavendish* angol tudós határozta meg. Kísérleti úton olyan megállapításra jutott, hogy két 1 kg tömegű test 1 m távolságból egymást  $6,67428 \cdot 10^{-11}$  N erővel vonzza. Ennek megfelelően a gravitációs állandót:  $\gamma = 6,67428 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}^2$  értékben határozták meg. Ha ezen értékkel besorozzuk bármely égitest tömegét, megkapjuk annak gravitációs mutatóját ( $K$ ). A Föld gravitációs mutatójának közepes értéke  $K_F = 398\,600 \text{ km}^3/\text{s}^2$ , a Napé  $K_N = 1,32718 \times 10^{11} \text{ km}^3/\text{s}^2$ , a Holdé  $K_H = 4903 \text{ km}^3/\text{s}^2$ , a Marsé pedig  $K_M = 42\,910 \text{ km}^3/\text{s}^2$ . [3]

Amint látni fogjuk, e mutatók segítségével könnyen meghatározhatjuk a Földre, Napra, Marsra, illetve a Holdra, de a tömeg ismeretében bármely égitestre, annak a  $K$  értékét, és ennek, valamint az égitest sugarának ismeretében az adott égitest felszínére vagy bármilyen magasságra érvényes első és második kozmikus sebesség értékét is:

$$\frac{mv^2}{r} = \gamma \frac{Mm}{r^2}; \quad \gamma \cdot M_F = K_F \text{ km}^3/\text{s}^2$$

$$\begin{aligned} K_F = 398\,600 \text{ km}^3/\text{s}^2; \quad v_{F1} &= \sqrt{\frac{K_F}{r}} = \sqrt{\frac{398\,600 \text{ km}^3/\text{s}^2}{6371 \text{ km}}} = \\ &= \sqrt{62,496 \text{ km}^2/\text{s}^2} = 7,909 \text{ km/s}. \end{aligned}$$

E kérdéskörrel a későbbiek során — amikor a kozmikus sebességek fizikai hátterét vizsgáljuk — részletesen szót ejtünk. Annyit azonban meg kell itt jegyezni, hogy az első kozmikus sebességet nem Newton határozta meg, hiszen az ő életében még a gravitációs állandó értékét sem, de a Föld tényleges méreteit sem ismerték pontosan. Az első kozmikus sebesség — szerintem — később született meg, mint a második. Ez utóbbit ugyanis *Ciolkovszkij* még az 1890-es években meghatározta, míg az elsővel *Esnault-Pelterié és Ary Sternfeld* műveiben csak az 1920-as évek végén, a 1930-as évek elején találkozunk.

Ennyit röviden a dinamika fejlődéstörténetéről. A továbbiakban tekintsük át azok tevékenységét, akik sokat tettek annak érdekében, hogy az űrrepülés elmélete megszülethessen, majd annak eredményeire támaszkodva, maga az űrrepülés is megvalósulhasson.

## AZ ŰRREPÜLÉS ELMÉLETÉNEK MEGSZÜLETÉSE

Az új világnézet megalkotását követően, vagyis a klasszikus fizika, benne a mozgástan elméletének megszületése nyomán, az emberek tudatában nem változott meg azonnal a világról alkotott kép. Természetesen a newtoni világnézet is lassan, mondhatni mintegy másfél-két évszázad múlva jutott el odáig, hogy megállapításai általánosan elfogadottakká váltak. Jelentős szerepet játszott az új világnézet igazolásában, a *Hell Miksa és Sajnovics János* tudospáros 1769-ben végzett megfigyelése a Vénusznak a Nap előtti átvonulásáról, amelyet a norvégiai Vardö szigetén épített megfigyelőhelyükről végeztek. Megfigyeléseik igazolták, hogy a bolygók nem a Föld, hanem a Nap körül keringenek, vagyis az akkor ismert világ közepe nem a Föld, hanem csillagunk, a Nap. [8] Az új ismeretek hatására olyan helyzet alakult ki, amilyenben a tudósok — sok más elmélet megalkotása mellett — megkezdhatték az űrrepülés bonyolult elméletének kidolgozását. E tevékenység a 19. sz. utolsó évtizedeiben kezdődött.

Ezen az úton indulók, s az első eredményeket elérők közül elsőként *Konsztantyin E. Ciolkovszkij* nevét kell említeni, aki az 1880-as években jegyezte le először az űrrepüléssel kapcsolatos gondolatait. A neves tudós, kitartó kutatás eredményeként megalkotta a rakétaelmélet alapjait, és öt fontos probléma megoldásával indította el és helyezte megfelelő alapokra a rakétaelmélet fejlődését. Ezért tevékenységével részletesebben foglalkozunk. E gondolatokat abban összegezzük, hogy kimondta: az űrrepülés korszaka előbb utóbb eljön, de az űrben való utazás csak *rakétával*, sőt *rakétavonattal* valósítható meg. Ennek a gondolatnak megfelelően először a neves tudós megalkotta a *rakéta-tömegviszonyát* meghatározó képletet, amely a rakétakomplexumok egyik fontos mutatója, és ma is nélkülözhetetlen a rakétaelméleti számításokban. Az ún.  $z_c$  vagyis a tömegviszonyszám (Ciolkovszkij-szám) nem más, mint a rakétakomplexum teljes tömegének ( $M_0$ ) és a hajtóanyag kiégése utáni (égésvégi pontban megmaradt) üres tömegének ( $M_{ü.}$ ) a hányadosa, vagyis:

$$z_c = \frac{M_0}{M_{ü.}}$$

E viszonzszám, valamint az első egyenlete segítségével bizonyítható az is, hogy egylépcsős rakétával — ha a szilárdsági követelményeknek is eleget teszünk — nem lehet olyan sebességet elérni, amellyel a komplexum a Földet véglegesen elhagyhatná. Ez a sebességérték ugyanis a második, vagyis a parabolasebesség. Az egylépcsős rakétával elérhető maximális sebesség azonban, ennél minden esetben jelentős mértékben kevesebb. Ennek megállapításához Ciolkovszkij az alábbi képlet megalkotásával jutott el:

$$v_{évp} = w \cdot \ln \frac{M_0}{M_{ii}} = 3500 \text{ m/s} \cdot \ln \frac{300t}{38t} =$$

$$= 3500 \text{ m/s} \cdot \ln 7,81 = 3500 \text{ m/s} \cdot 2,066 = 7232 \text{ m/s}.$$

A számítások eredménye, ha pl. a gázok kiáramlási sebessége  $w = 3500 \text{ m/s}$ , az  $M_0 = 250 \text{ t}$ , az  $M_{ii} = 32 \text{ t}$ , akkor az elérhető maximális sebesség  $v_{évp} = 7192,5 \text{ m/s}$ . Mivel a pályára álláshoz  $7910 \text{ m/s}$ , továbbá a meghatározott magasságra feljuttatáshoz még legalább  $150 \text{ m/s}$ , valamint a tapasztalati úton szerzett ismeret szerint a nehézségi gyorsulás és a légköri ellenállás legyőzéséhez még további  $1,5\text{--}2 \text{ km/s}$  sebesség elérésére van szükség, így, ahhoz tehát, hogy az űrobjektumot a kijelölt pályamagasságra feljuttassuk, kb.  $9,560 \text{ km/s}$  sebességet biztosító hajtóanyag-mennyiség szükséges. Ha figyelembe vesszük a Földnek a forgási sebességét, amely az űrrepülőtérről földrajzi helyétől függ, akkor is az Egyenlítőn ahol a Földnek a forgási sebessége  $465 \text{ m/s}$  legalább annyi hajtóanyagot kell elhelyezni a rakétában, amennyi képes az űrobjektumot legalább  $9100 \text{ m/s}$  sebességértékre felgyorsítani. Abban az esetben, ha az űrrepülőtérről nem az Egyenlítőn van, akkor a helyszögének szinuszával szorozva kapjuk meg a Föld forgásából adódó sebességtöbblet értékét, amelyből a pályára állítás síkjának a  $\cos$  értékével szorozva kapott eredményt a  $9,560 \text{ km/s}$  értékből levonhatjuk. Így. pl. Bajkonurból az indítás esetén, ha azt a  $47^\circ$  szélességi fokra tesszük,  $\sin 47^\circ = 0,731$ , s ha ezzel szorozzuk a  $465 \text{ m/s}$  értéket, akkor  $340 \text{ m/s}$  értéket kapunk, vagyis  $125 \text{ m/s}$  értékkel kevesebbet, mint az Egyenlítőn. Ha a Föld körüli pályára állás  $60^\circ$ -on történik, akkor a  $\cos 60^\circ = 0,5$ , tehát a  $340 \text{ m/s}$  fele értékével lesz kevesebb az a sebesség, amelyet a pályára állításhoz hajtóanyaggal biztosítani kell.

Amint közismert, a századfordulón Ciolkovszkij még nem a Föld körüli sebességgel számolt, hanem a Föld végleges elhagyásához szükséges sebességet kereste, így a kapott eredmények alapján számára egyértelmű volt, hogy egylépcsős rakétával a Földet nem lehet elhagyni, de amint később kiderült, egylépcsős rakétával még a Föld körüli pályára sem lehet kijutni.

Ciolkovszkij, megfelelő energetikai számításokat végzett, és már a századforduló idején megadta a második kozmikus sebesség meghatározására szolgáló képletét is. Az 1897-ben, 1903-ban, majd 1914-ben immár harmadszor kiadott „*A világűr kutatása reaktív berendezésekkel*” című könyvecskéjében, még ó-orosz írással olvashatjuk, hogy melyek is a Föld végleges elhagyásának fizikai feltételei. E jegyzetnek a 8. oldalán, az első tételnél ugyanis a következőket olvashatjuk: „*Tételezzük fel, hogy a magasság növekedésével a nehézségi gyorsulás értéke változatlan marad ( $g_0$ ). Tételezzük fel továbbá, hogy ilyen viszonyok között egy bizonyos tömeget a Föld sugarának megfelelő magasságra emelünk ( $R_0$ ). Ebben az esetben annyi munkát végeztünk ( $mv^2/2$ ), amennyi szükséges ahhoz, hogy a Föld vonzerejét véglegesen legyőzzük.*” [2]<sup>1</sup>

A Ciolkovszkij által végzett számítási módszert kutatva jelent meg az interneten Beneda Károly adjunktus számítása. Ebben a szerző végigkövette Ciolkovszkij valószínű számítási módszerét, amelyet a neves tudós is, a 19. sz. végén, a számításai során alkalmazhatott. [13]

Ha Ciolkovszkij fenti meghatározását képlet formájában írjuk le, akkor eredményként, a napjainkban alkalmazott kategorizálás szerint megkapjuk a második, vagyis a parabolasebességnek a képletét:

<sup>1</sup> A zárójelben lévő jelzéseket, a fogalmak jobb érthetősége céljából, a szerző írta be.

$$\frac{1}{2}mv^2 = m \cdot g_0 \cdot R_0,$$

Az egyenletet  $v - re$  megoldva:

$$v = \sqrt{2g_0R_0}$$

Ciolkovszkij számításokat végzett az egylépcsős rakéta szükséges értékének ( $z_{sz.}$ ) meghatározására is. Ez azt jelenti, kiszámolta, mennyi hajtóanyagot kellene elhelyezni az egylépcsős rakétában, ha bizonyos célállomást kívánnánk vele elérni. Egyértelmű tehát, hogy Ciolkovszkij a Föld végleges elhagyásával számolt. A  $z_{sz.}$  képletének megalkotásával nyilvánvalóvá válik, hogy egylépcsős rakéta alkalmazása esetén mennyi kell, legyen a hajtóanyag-mennyiség, továbbá mennyi lehet a hasznos teher és a szerkezeti elemek össz tömege. Az alábbi képletekkel meghatározta, hogy egylépcsős rakéta esetén milyen tömegviszony esetén lehet elérni a Föld végleges elhagyásához szükséges kozmikus sebességet, illetve, az ehhez alkalmazott egylépcsős rakétánál mennyi lehet a hasznos teher és a szerkezeti elemek össz tömege. Kiindulva tehát az egylépcsős rakéta végsebességét meghatározó képletből, a  $z_{sz.}$  képlet az alábbi formában jeleníthető meg:

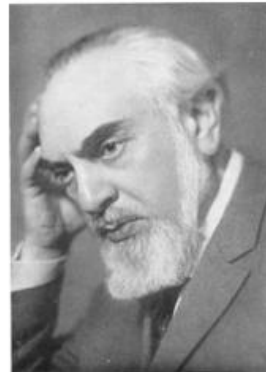
$$v = w \cdot \ln \frac{M_0}{M_{ii}}, \quad z_{szük.s.} = e^{\frac{v}{w}} = 2,71828^{\frac{13}{3,5}} = 41,017$$

$$= \frac{2800 t}{41,017} = 68,264 t;$$

Az így meghatározott  $z_{sz.}$  képlet eredményével, a Saturn V rakéta adataival összehasonlítva, vagyis a starttömeget osztva a kapott  $z_{sz.}$  értékével, megkapjuk, hogy ha a holdrakéta egylépcsős változatban épült volna meg, akkor a rakéta hasznos terhére és a szerkezeti elemekre mindössze 68,264 t tömeget lehetett volna felhasználni. Ha ebből levonjuk a hasznos teher tömegét, vagyis a kb. 48 t Apollo tömegét, akkor a szerkezeti elemekre, mindössze 21,2 t tömeg jutott volna. A háromlépcsős Saturn V szerkezeti elemeinek össz tömege, mintegy 206 tonna volt. Vagyis egylépcsős rakétával, ha a szilárdságtani követelményeket kielégítjük, még csak pályára sem lehetett volna állítani a mesterséges égitestet. [2] Ezen értékek konkrét számítására később, a rakétaelmélet vizsgálatánál visszatérünk. A továbbiakban az érintett személyek bemutatásához az Űrhajózási Lexikon adatait vettük alapul. [6]



**1. ábra.** Az űrrepülés halhatatlan tudósai [6]:  
Konsztantyin E. Ciolkovszkij, Robert H. Goddard, Hermann Oberth



**2. ábra.** Az űrrepülés halhatatlan tudósai [6]:  
Walter Hohman, Robert Esnault-Pelterié, Wernher von Braun  
Szergej P. Koroljov, Ary J. Sternfeld



**3. ábra.** A von Braun tervezte Saturn V rakétakomplexum kiállítási példánya  
(Dr. Remes Péter felvétele)



**4. ábra.** A Koroljov által tervezett Szojuz űrkomplexum, útban a starthelyre  
(Foto: MSZ-archív)

### *Robert H. Goddard*

A rakétakutatás és építés kiemelkedő tudósa volt az amerikai *Robert H. Goddard*, aki 1908-tól végzett kísérleteket és jutott hasonló gondolatra, mint Ciolkovszkij, vagyis hogy a világűrbe csak rakétával lehet kijutni. Elsőként fejlesztette ki a folyékony hajtóanyagú rakétát, szerzett szabadalmi jogot a szilárd hajtóanyagú rakétára, és elsőként épített olyan rakétát, amely túllépte a hangsebességet. A 2. világháborúban katonai rakéták fejlesztésével foglalkozott, s e munkája során találkozott az USA AF megbízásából ugyanilyen feladatokat megoldó Kármán Tóddal is. Rakétakutatási munkái során Goddardnak 214 szabadalmát jegyezték be. Ma a Hold túlsó felén kráter, az USA-ban pedig rakétakutató-intézet viseli nevét. [6]

### *Wernher von Braun, német, majd amerikai rakétakutató*

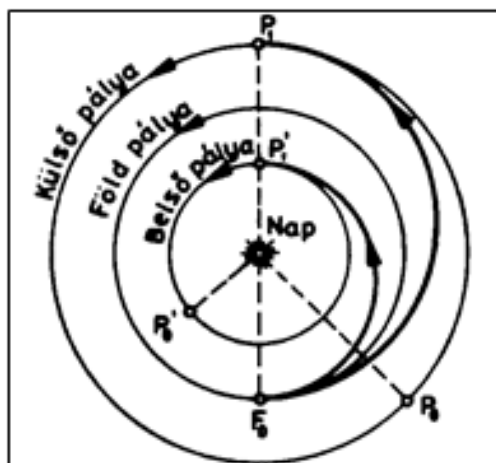
*Wernher von Braun*, a kiváló német rakétatudós is beírta nevét a rakétakutatók aranykönyvébe. Ő vezette a 2. világháború előtt és alatt a V-2 ballisztikus rakéta fejlesztésének és megépítésének munkálatait végző csoport kutatásait és kísérleteit, majd a háború után az amerikai rakétafejlesztési programban dolgozott, s az Apolló-program vezetője lett. Ő irányította a Saturn V óriásrakéta fejlesztését, amelynek segítségével az amerikaiak — az 1960-as évek végén, az 1970-es évek elején, hat alkalommal asztronautákat juttattak a Hold felszínére. A Saturn V rakétával a későbbiek során részletesen foglalkozunk. [6]

### *Hermann Oberth*

*Hermann Oberth* erdélyi születésű német rakétakutató volt, aki az 1910-es évek közepén levezette a rakéta mozgásegyenletét. Később, az 1930-as évektől von Braun munkatársa volt, a háború után három évet Olaszországban tevékenykedett, majd az USA-ban, többek között a Saturn V fejlesztésén, ismét von Braunnal dolgozott. [6]

### *Walter Hohmann*

A rakétakutatók mellett mások is a világűr felé fordultak. *Walter Hohmann* számításokat végzett az űrben való repülések pályáira vonatkozóan, s az ő nevét viseli a legkisebb energiaigényű pálya, az ún. Hohmann-ellipszispálya, amely pontosan a célbolygó magasságára emeli az űrobjektumot. [6]



5. ábra. A külső és belső bolygó felé vezető Hohmann-ellipszispályái

### Robert Esnault-Pelterié

Robert Esnault-Pelterie francia tudós, a repülés hajnalán repülőgép-fejlesztéssel és repülőgép-építéssel foglalkozott (1907-ben szabadalmaztatta a botkormányt és a csillagmotort), majd az űrrepülés és rakétakísérletek foglalkoztatták. 1928-ban adta ki könyvét, amely „Az igen magas légköri kutatások és a bolygóközi repülés lehetősége” címet viselte. 1930-ban adták ki második, mondhatni fő művét „Asztronautika” címmel. E könyv anyagát, a Ciolkovszkijjal váltott levelek hatására később átdolgozta, majd 1935-ben javított és bővített kiadásban ismét megjelentette. [6]

### Ary J. Sternfeld

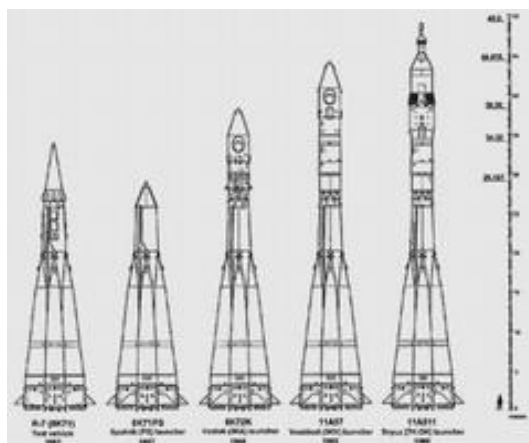
Ary J. Sternfeld lengyel származású tudós, fontos szerepet játszott az űrrepülés elméletének kidolgozásában. 1934-ben Párizsban mutatta be dolgozatát, amely „Bevezetés az űrhajózásba” címet viseli, s amelyet később orosz nyelven jelentettek meg Moszkvában s a címe „Vvegyenyije v kosmonavtiku” volt. Ebben minden elméleti kérdést kidolgozott, amely ma is érvényes és használják az űrrepülésekkel kapcsolatos számításokban. Lengyelországban született, Párizsban tanult, majd Moszkvában dolgozott. „A Föld mesterséges holdjai” („Iszkussztvennie szputnyiki Zemlyi”) c. munkáját az első Szputnyik pályára állítása előtt másfél évvel adták ki, Moszkvában.



6. ábra. Ary Sternfeld Párizsban 1934-ben bemutatott dolgozatának és a Moszkvában, 1974-ben kiadott könyvének címlapja [11]

### Szergej P. Koroljov

Szergej P. Koroljov neve tikosítva volt, sokáig csak, mint Főkonstruktor szerepelt. Később az első Szputnyik, majd Jurij Gagarin űrrepülése kapcsán vált ismertté. A kiváló rakétatudós — korai haláláig — számos rakétakonstrukció tervezéséből és építéséből vezetőként vette ki részét. Az általa tervezett Szozuz rakétakomplexum az 1960-as évektől napjainkig — természetesen folyamatos fejlesztéssel — az űrrepülések szolgálatában áll. Ez a rakéta került eddig legtöbbször (több mint kétezerszer) felhasználásra az űrobjektumok Föld körüli pályára állítása során. [6]



7. ábra. A Szergej Koroljov tervezte rakétacsalád tagjai (Balról jobbra: az R-7, a Szeptnyik-1, a Voszok, a Voszhod és a Szojuz rakétakomplexum) [6]

A fentiek — és természetesen sok-sok más neves tudós — tevékenysége eredményeként született meg az űrrepülés átfogó elmélete, és valósult meg gyakorlata, amely magában foglalja az űrrepüléshez nélkülözhetetlen, hatalmas teljesítményű rakéták elméletének és gyakorlatának kérdéseit, a kozmikus sebességek fogalmát, a manőverek végrehajtásának módjait a világűrben, a repülést egy-egy égitest vonzaskörzetében, valamint a bolygóközi térben.

Ma már egyértelművé vált, hogy a kémiai folyamatra épülő rakéatechnika csak a Naprendszeren belül, ott is csak a bolygók világában alkalmas a kutatási célok elérésére. A Naprendszer távoli térségeiben, valamint a csillagközi térben olyan repülőeszközökre lesz szükség, amelyek a mainál jelentősen nagyobb sebességek elérésére képesek. A csillagközi repüléseket, csak a távoli jövőben, a fénysebességet megközelítő sebességértékkel (0,9–0,94c) haladó űreszközökkel lehet majd megoldani. Arra a kérdésre, hogy e feladat — a Tejútrendszer 130 000 fényéves átmérőjére tekintettel — hogyan oldható meg. A válasz ma még nem ismeretes. Önmagában az a tény, hogy a mai rakéták alkalmazásával, már a Naprendszer elhagyása is évezredeket igényelne, nyilvánvalóvá teszi, hogy a mai lehetőségeket, elsősorban a jelenleg elérhető sebességet messze meghaladó értékeket kell biztosítani, hogy a csillagközi térbe viszonylag rövid időtartam alatt az ember kijusson, majd visszajusson a Földre.

Ha ugyanis a mai lehetőségeket figyelembe véve indítunk egy űreszközt a Nap hatásszférájának a határára, akkor ahhoz, hogy képet alkothassunk e roppant nagy távolság leküzdésének nehézségeiről, vehetjük a Voyager 1 és 2 példáját. A fentebb említett két űreszköz ugyanis 1977-ben indult távoli útjára, mégpedig úgy, hogy két nagybolygó lendítőerejét kihasználva gyorsították fel őket olyan sebességre, amely biztosítja, hogy még a Nap hatásszférájának a határán is legyen elegendő távolodási sebességük.

E két űrszonda, a kétszeri gyorsítás eredményeként jelentős sebességre tehetett szert. Könnyű kiszámolni, mikor fog ez a két szonda kiérni a hatásszféra határára, ha meghatározzuk, milyen sebességgel indult a Szaturnusz pályamagasságáról, és mennyi lehet majd a távolodási sebessége a hatásszféra határán. A hírekben olvasható sebességadatokkal számolva, a Voyager-1, amely nagyobb sebességgel indult (~17,548 km/s, és a kétszeri gyorsítás eredményeként az indulási sebesség a Szaturnusz pályájáról 44,630 km/s volt, mintegy 6523 év múlva ér a Nap hatásszférájának a határára. Ugyanehhez a Voyager-2-nek, mivel 16,08 km/s volt az indulási, és a Szaturnusz pályamagasságáról 32,040 km/s volt a távolodási sebessége, kb. 9335 évre lesz szüksége.

Az oda kijuttatott űreszközök — hasonlóan, mint a Föld esetében a második vagy annál nagyobb sebességgel indított űreszközök — már nem térnek vissza a Naprendszerbe, hanem valahol a csillagközi térben, nagyjából együttmozogva a Nappal, keringeni fognak a Tejútrendszer középpontja körül.



Később e két űrszonda útvonaláról részletes számításokat mutatunk be. Úgy gondolom, hogy az óriási távolságok leküzdéséhez szükséges eszközök problémáira — még ha az nem is olyan egyszerű, ha nem is egy-két évtized távlatában — unokáink, vagy az ő unokáik megtalálják a megoldást, és egyszer majd a csillagok világának a megismeréséhez elengedhetetlen csillagközi utazások időszaka is beköszönt. Sajátossága lesz ezen utazásoknak, hogy azok már nem a newtoni törvények, hanem — nagy valószínűséggel — az einsteini relativitáselmélet törvényei szerinti repüléssel fognak közlekedni a csillagközi térben. A későbbi előadásokban mind a csillagközi repülés, mind a relativitáselmélet kérdéseivel, még találkozunk.

Csak érdekességként jegyzem meg, ha egy űrobjektumot a fénysebesség 94%-ával indítunk egy kb. 80 000 fényévnnyi távolságban lévő objektumra, az utazás nem a mai űrrepüléshez lesz hasonló, vagyis nem kör, parabola vagy hiperbolapályán fog haladni az oda indított űrobjektum, hanem kvázi egyenes lesz a pályája. Ugyancsak figyelemreméltó az a tény, hogy a 80 000 évig, vagy tovább tartó utazás alatt, a célállomás alig fél fokot tesz meg a 360°-ból. Ugyancsak figyelembe kell venni, hogy a nagy tömegű égitestek tömegvonzása a fényt, és ennek megfelelően a fényéhez közeli sebességgel haladó űrobjektumok pályáit is meggörbítik. Erről, a vonatkozó témakör tárgyalásánál részletesen szólunk.

### Felhasznált irodalom

- [1] Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete*, Gondolat Kiadó, Budapest, 1978;
- [2] K. Ciolkovszkij: *Issledovanyie prostranstv reaktyivnimi priborami*. Izdatyelsztvo Nauka, Kaluga, 1914; Az amerikai–szovjet közös űrrepülés alkalmából, a világűrbe felvitt anyag másolata, a Szerző birtokában.
- [3] V. I. Levantovszkij: *Mehanyika koszmiceszkogo poljota v elementarnom izlozsenyii*. Izdatyelsztvo Nauka, Glavnaja Redakcija Fiziko-matyematyiceszknoj Literaturi, Moszkva, 1974;
- [4] Szerzői kollektíva: *Természettudományi Kislexikon*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1971
- [5] Horváth András–Szabó Attila: *Űrkorszak*, Ekben Kft., Budapest, 2008;
- [6] Almár Iván főszerkesztő: *Űrhajózási Lexikon*, Akadémiai Kiadó–Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1981;
- [7] Horváth Árpád–Nagy István György: *A csillagok felé*. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1972;
- [8] *A Vénusz – átvonulás magyar megfigyelése (1769)*, a szovjet–magyar közös űrrepülés alkalmával a világűrbe felvitt anyag, amely a MTA Csillagvizsgáló Intézetének könyvtárában készült másolat (a Szerző birtokában).
- [9] Suminszki Nándor–Szabó József: *Űrverseny* Kiadásra tervezett könyv kézírata.
- [10] Robert Jestrow: *Vörös óriások és fehér törpék*. Gondolat Kiadó, Budapest, 1976
- [11] Ary Sternfeld: *Vvegyenyije v koszmonavtiku*. Izdatyelsztvo „Nauka”, Moszkva, 1974
- [12] Oriana Fallaci: *Ha meghal a Nap*. Európa Könyvkiadó, Budapest, 1984
- [13] <http://emberesavilagur.uw.hu/index.html>