

A rakéta, amely alig emelkedett fel

Robert Goddard és az űrkorszak születése



— Háttérgyár —

A borító mesterséges intelligencia felhasználásával készült.

A RAKÉTA, AMELY ALIG EMELKEDETT FEL

Robert Goddard és az űrkorszak születése

© Háttérgyár, 2026

Minden jog fenntartva.

Kiadó: Háttérgyár

Kiadás éve: 2026

hattergyar.hu

Ez a mű szerzői jogi védelem alatt áll. Részleteinek bármilyen formában való sokszorosítása, terjesztése vagy nyilvánosan elérhetővé tétele a kiadó előzetes írásbeli engedélye nélkül tilos.

A borító mesterséges intelligencia felhasználásával készült.

Tartalom

Előszó	4
1. fejezet - A fa tetején kezdődő élet	7
2. fejezet - A rakéta előtti rakéták	11
3. fejezet - A fizikus műhelye	15
4. fejezet - A nevetség tárgya	19
5. fejezet - A havas káposztaföld	23
6. fejezet - Amikor a rakéta felrobbant a közvéleményben	27
7. fejezet - Roswell laboratóriuma a sivatagban	31
8. fejezet - A titok ára	36
9. fejezet - Oberth és a német rakétaálmom	40
10. fejezet - Háború és kihagyott lehetőség	44
11. fejezet - 1945: a rakéták örökségéért folyó verseny	48
12. fejezet - Esther Goddard és a feltaláló második élete	52
13. fejezet - Rakéta és atombomba	55
14. fejezet - Az űrverseny felgyorsul	58
15. fejezet - Mitől működik egy rakéta?	62
16. fejezet - A rakéta mint rendszer	66
17. fejezet - Az egyszer használható óriások kora	69
18. fejezet - Visszatérés a lángcsóván	72

19. fejezet - Goddard helye a három úttörő között	75
20. fejezet - A magányos zseni mítosza	78
21. fejezet - Száz év távolságból	81
22. fejezet - A szabadalom mint pajzs és börtön	84
23. fejezet - A rakéta mint tudományos műszer	87
24. fejezet - Háború, tudomány és felelősség	90
25. fejezet - Mit látna Goddard ma?	93
26. fejezet - A sajtó, amely túl korán ítelt	96
27. fejezet - Roswell hétköznapijai	99
28. fejezet - Miért nem jutott Goddard magasabbra?	102
29. fejezet - A százéves kísérlet mérlege	105
30. fejezet - A rakéta eltűnik a háttérben	109
31. fejezet - A jövő, amelyből múlt lett	113
Epilógus - A negyvenegy láb öröksége	116
Kronológia	119
Főbb szereplők	125
Felhasznált és ajánlott irodalom	128

Előszó

2026. március 16-án száz éve volt annak, hogy egy Massachusetts állambeli havas földdarabon néhány ember körülállt egy furcsa, karcsú szerkezetet. A gép nem hasonlított a későbbi rakétákra. A hajtómű felül volt, az üzemanyag és az oxidálószer tartályai alatta lógtak, a csövek pedig úgy kötötték össze az egészet, mintha egy laboratóriumi állványt próbáltak volna repülésre bírni. A konstrukciót Robert Hutchings Goddard készítette. Benzint és folyékony oxigént használt, és hosszú másodpercekig úgy tűnt, hogy semmi sem fog történni. Aztán a szerkezet felemelkedett, 2,5 másodperc alatt körülbelül 12,5 méteres magasságot ért el, és mintegy 56 méterrel odébb zuhant a földre. A repülés alig tartott tovább egy pislogásnál, mégis új fejezetet nyitott a technika történetében.

A történetet később gyakran úgy mesélték el, mintha azon a napon megszületett volna az űrkorszak teljes technikai programja, és minden későbbi rakéta közvetlenül Goddard munkájából nőtt volna ki. Ez túl egyszerű kép. A német V-2 fejlesztői, a szovjet rakétamérnökök és az amerikai nagy hordozórakéták tervezői több, egymástól részben független

hagyományból dolgoztak. Konsztantyin Ciolkovszkij már a századfordulón matematikai alapokra helyezte a rakétaűrhajózás elméletét, Hermann Oberth az 1920-as években egész generációt győzött meg arról, hogy a bolygóközi utazás mérnöki kérdéssé válhat, a német hadsereg pedig olyan ipari és katonai méretű programot épített fel, amelyet Goddard soha nem tudott volna finanszírozni. Goddard jelentősége mégis alapvető: a folyékony hajtóanyagú rakétát nem pusztán elképzelte, hanem működő géppé alakította, közben pedig a vezérlés, az égés, a tartályok, a szivattyúk és a szerkezeti megoldások egész sorával kísérletezett.

Ez a könyv ezért nem a „magányos zseni feltalálta az űrhajózást” típusú történetet követi. Goddard valóban rendkívüli mérnöki intuícióval rendelkezett, de gyakran makacs, titkolózó és együttműködésre nehezen hajló ember volt. Félté a szabadságát elvesztését, tartott attól, hogy mások megelőzik, és hosszú éveken át olyan kevés információt osztott meg a munkájáról, hogy eredményei jó része csak korlátozottan hatott kortársaira. Ugyanakkor az ő életében látható talán a legtisztábban az a fordulat, amely a 19. század végi tudományos fantasztikumot a 20. század közepének ipari űrtechnikájává változtatta. Fiatalon Jules Verne és H. G.

Wells világa izgatta, idősen pedig már olyan fegyver- és repülőgép-rásegítő rakétákon dolgozott, amelyek közvetlenül kapcsolódtak a második világháború technikájához.

A történet főhőse tehát Goddard, de a könyv tágabb kérdést követ. Hogyan lett a rakétából, amely évezredekken át főként tűzijáték, jelzőeszköz vagy fegyver volt, olyan gép, amely el tudja hagyni a Föld légkörét? Miért kellett hozzá egyszerre matematika, új üzemanyag, precíziós gépészet, nagyipari háttér, katonai pénz és politikai akarat? Miért volt könnyebb rakétát építeni háborúra, mint tudományos kutatásra? És hogyan lehetséges, hogy egy száz éve még nevetségesnek tartott elképzelésből olyan infrastruktúra született, amely ma műholdakat, űrszondákat, embereket és kereskedelmi rakományokat juttat pályára?

1. fejezet - A fa tetején kezdődő élet

Robert Hutchings Goddard 1882. október 5-én született Worcesterben, Massachusettsben. Gyerekkora nem illett a későbbi „rakétaember” hősi képéhez. Gyakran betegeskedett, sok időt töltött otthon, és az iskolai években nem a társasági élet, hanem a könyvek, kísérletek és mechanikus szerkezetek érdekelték. A 19. század végi Amerika különös időszak volt egy technika iránt fogékony fiú számára. Az elektromosság mindennapi alkalmazása rohamosan terjedt, a telefon és a villamos új ritmust adott a városoknak, a sajtó pedig szinte hetente számolt be új találmányokról. A természet törvényei egyre kevésbé tűntek elvont ismeretnek; az emberek azt látták, hogy a tudomány látványosan átalakítja a körülöttük lévő világot.

Goddard fantáziáját különösen a tudományos fantasztikum ragadta meg. Jules Verne Hold-utazásai és H. G. Wells történetei abban az időben még nem műszaki tervrajzok, hanem merész irodalmi spekulációk voltak. A repülőgép sem létezett működő közlekedési eszközként, az űrutazásról pedig a legtöbb képzett ember is legfeljebb játékos gondolatként beszélt. Goddard

száma számára azonban a fikció és a mérnöki kérdés között nem húzódott éles határ. Már fiatalon elektromos és mechanikai kísérleteket végzett, tanulmányozta a léggömböket és a repülés problémáját, s közben egyre erősebben foglalkoztatta az a kérdés, hogyan lehetne a földi légkör fölé emelkedni.

Életének legismertebb jelenete 1899. október 19-éhez kötődik. A tizenhét éves Goddard a családi ház közelében álló cseresznyefára mászott fel, hogy ágakat vágjon. Későbbi visszaemlékezése szerint a magasból az ég felé nézve elképzelte, milyen csodálatos lenne olyan eszközt készíteni, amelynek legalább esélye van a Mars felé emelkedni. A pillanatot egész életében „évfordulónapként” tartotta számon. A történet a későbbi emlékezetben szinte eredetmítosszá vált, és Esther Goddard is sokat tett azért, hogy a fa és a dátum férje pályájának jelképe legyen. Még ha a jelenetet az utókor meg is szépítette, naplói azt mutatják, hogy Goddard valóban ekkoriban kezdte életcélként kezelni az űr felé vezető technika kutatását.

Az álom mögött hamar megjelent a fegyelem. Goddard nem csak azt kérdezte, milyen lenne eljutni más bolygókhoz, hanem azt is, milyen fizikai törvények korlátozzák a repülést. A 19. századi ballonok egyre

nagyobb magasságba jutottak, de a ballon sorsa a légkörhöz kötődött: ahogy ritkult a levegő, a felhajtóerő is eltűnt. A lövedéket ágyúból ki lehetett lőni, de az ember vagy a műszer nem viselhette el tetszőlegesen a gyorsulást, ráadásul a légellenállás és a szükséges kezdősebesség óriási akadályt jelentett. A repülőgép szárnyának szintén levegő kellett. A rakéta ezzel szemben elvben magával vihetett mindazt, amire a hajtásához szüksége volt.

A gondolat első látásra egyszerű: a rakéta gázt lövell hátrafelé, ezért a szerkezet előre felé gyorsul. Csakhogy egy olyan rakéta, amelynek saját tömegét, üzemanyagát, tartályait, hajtóművét és hasznos terhét is fel kell emelnie, súlyos matematikai kompromisszumok rabja. Minél több üzemanyagot visz, annál nagyobb tömeget kell az út elején megmozdítani; minél erősebb szerkezetet építenek, annál több holt tömeget cipel. Ezt a problémát Goddard még nem ismerte teljes mai formájában, amikor először álmodozott a Marsról, de egész életében ennek gyakorlati következményeivel küzdött.

Tanulmányait betegségei megszakították, ezért csak viszonylag későn fejezte be a középiskolát. 1904-ben, huszonegy évesen végzett a worcesteri South High

Schoolban, ahol búcsúbeszédében már azt a gondolatot fogalmazta meg, hogy nehéz megmondani, mi lehetetlen, mert a tegnapi álma a ma reménye és a holnap valósága lehet. Később ezt a mondatot gyakran idézték rakétakísérletei igazolásaként. Akkor azonban még semmilyen bizonyíték nem volt arra, hogy Goddard képes lesz valóban működő űrtechnikai eszközt létrehozni. Az álmodozó fiúból előbb fizikussá kellett válnia.

A Worcester Polytechnic Institute hallgatójaként már komolyabban foglalkozott a mechanikával és az energiával. Nem tartozott azok közé, akik könnyen illeszkednek nagy kutatócsoportokba; sokkal jobban érezte magát saját problémáival és saját feljegyzéseivel. Ez a függetlenség később egyszerre lett erőssége és gyengesége. Segített neki abban, hogy olyan kérdésekkel foglalkozzon, amelyeket mások túl fantasztikusnak tartottak, ugyanakkor megnehezítette, hogy eredményeit közös tudássá, széles mérnöki iskola alapjává tegye.

2. fejezet - A rakéta előtti rakéták

Goddard története nem egy üres térben kezdődött. A rakétához hasonló eszközök évszázadokkal korábban megjelentek Kínában, majd a hadviselés és a tűzijáték révén Ázsiából Európába is eljutottak. A korai rakéta egyszerű szerkezet volt: zárt csőben égő puskapor gázai egy nyíláson távoztak, és a reakció előrelökte a csövet. A pontosság gyenge, a hatótávolság korlátozott volt, de a fegyver pszichológiai hatása jelentős lehetett. A lángoló, sivító lövedék a hagyományos nyílvesszőhöz vagy ágyúgolyóhoz képest kiszámíthatatlanabb, ugyanakkor félelmetesebb látványt nyújtott.

A 18-19. század fordulóján az indiai Maiszúr állam rakétái különösen nagy hatást gyakoroltak a brit katonákra. A brit William Congreve ezek tanulságait felhasználva fejlesztette ki saját katonai rakétáit, amelyeket a napóleoni háborúban és az 1812-es amerikai-brit háborúban is alkalmaztak. Az amerikai himnusz „rakéták vörös fénye” kifejezése ezeknek a fegyvereknek az emlékét őrzi. A Congreve-rakéták azonban még nem az űrkorszak előfutárai abban az értelemben, hogy nehéz műszaki problémákat oldottak

volna meg. Szilárd hajtóanyaggal működtek, irányításuk primitív volt, és a csatatéri használhatóságuk is korlátozott maradt.

A 19. század második felére az ágyúk fejlődése háttérbe szorította a katonai rakétákat. A huzagolt csövű tüzérség pontosabb, kiszámíthatóbb és nagyobb rombolóerejű fegyvereket kínált. A rakéta ekkor furcsa mellékszálak tűnhetett a haditechnikában. Az űrutazás szempontjából azonban éppen ebben az időben jelentek meg azok az elméleti felismerések, amelyek később új értelmet adtak neki. A döntő különbség az volt, hogy a rakétát többé nem egyszerűen különös lövedékként, hanem önálló hajtóművel rendelkező járműként kezdték vizsgálni.

Konsztantyin Eduardovics Ciolkovszkij orosz tanár a 19. század végén és a 20. század elején olyan kérdéseket tett fel, amelyek messze túlmutattak a kor technikai lehetőségein. 1903-ban közölt tanulmányában matematikai összefüggéssel írta le a rakéta sebességváltozását, a kiáramló gáz sebességét és a jármű tömegarányát. A később róla elnevezett rakétaegyenlet könyörtelenül megmutatta, hogy az űr elérésének legfőbb akadálya nem pusztán az erős motor hiánya. A rakéta tömegének nagy részét hajtóanyagnak kell

kitennie, és a kiáramló gázt nagyon nagy sebességre kell gyorsítani. Ciolkovszkij ezért folyékony hajtóanyagokat és többfokozatú rakétákat is elképzelt.

Ciolkovszkij munkája elméleti volt, és hosszú ideig kevéssé ismerték Oroszországon kívül. Mégis megfogalmazta azt a fizikai keretet, amelyben minden későbbi rakétamérnök dolgozott. Az ő gondolataihoz hasonló következtetésekre más országokban egymástól független kutatók is eljutottak. A 20. század elején még nem létezett egységes „rakétatudomány”; voltak matematikusok, fizikusok, feltalálók és fantaszták, akik különböző nyelveken, gyakran egymás munkáját alig ismerve próbálták megoldani ugyanazt a problémát.

A korabeli közvélemény szemében mindez nehezen volt elválasztható a fantasztikus irodalomtól. Verne Hold-ágyúja vagy Wells világűrbe vezető történetei sokkal szélesebb közönséget értek el, mint bármely rakétaegyenlet. A tudományos és a populáris képzelet azonban kölcsönösen táplálta egymást. A fiatal műszaki érdeklődésű olvasók közül többen éppen regényekből kapták az első ösztönzést ahhoz, hogy később fizikát és mérnöki tudományokat tanuljanak. Hermann Oberth és Wernher von Braun esetében ez jól dokumentálható, és Goddard pályája is ugyanebbe a kulturális közegbe

illeszkedett.

A rakétatechnika történetének egyik visszatérő félreértése, hogy a fejlődést egyetlen feltaláló egymásra épülő találmányainak soraként ábrázolják. Valójában a döntő ötletek több helyen születtek meg. A többfokozatú rakéta gondolatát, a folyékony hajtóanyag előnyeit, a reakció vákuumban való működését vagy a rakétaegyenlet következményeit egymástól részben függetlenül is felismerték. A kérdés ezért nem az, ki „találta fel” az űrrakétát egyetlen pillanatban, hanem az, ki tudott az elméletből működő, mérhető és továbbfejleszthető technikát készíteni. Ebben a versenyben Goddard helye különleges.

3. fejezet – A fizikus műhelye

Goddard 1908-ban szerzett diplomát a Worcester Polytechnic Institute-ban, majd a Clark Universityn folytatta tanulmányait. 1910-ben mesterfokozatot, 1911-ben doktori címet kapott fizikából. Rövid ideig Princetonban is dolgozott, ám egészségi problémái ismét közbeszóltak. A korszak egyetemi fizikája gyorsan változott: az elektromosság, az atomfizika és a sugárzás kutatása új kérdéseket nyitott, de Goddard figyelme egyre következetesebben a nagy magasságú kutatás és a rakétahajtás felé fordult.

Az egyik legfontosabb korai kérdés az volt, működik-e egyáltalán a rakéta vákuumban. A laikus elképzelés szerint a rakéta talán úgy halad előre, hogy a gázsugár „nekifeszül” a levegőnek. Ha ez igaz volna, az űrben nem működhetne. Newton harmadik törvénye alapján azonban a rakétának nincs szüksége külső közegre: a hajtómű nagy sebességgel tömeget lök hátrafelé, a rakéta pedig ennek ellenhatásaként előrefelé gyorsul. Goddard ezt nemcsak matematikailag értette, hanem kísérletileg is igyekezett bizonyítani. Vákuumkamrás vizsgálatai azt mutatták, hogy a rakétahajtás légüres térben is létrehozza a szükséges reakcióerőt.

1914-ben két alapvető amerikai szabadalmat kapott. Az egyik a többfokozatú rakéta elvét, a másik folyékony hajtóanyagok alkalmazását érintette. A szabadalom Goddard számára nem pusztán jogi eszköz volt. Egész életében különösen nagy jelentőséget tulajdonított annak, hogy ötleteit dokumentálja és jogilag levédje. Ez részben érthető egy olyan feltalálónál, aki korlátozott pénzügyi háttérrel dolgozott, és attól tartott, hogy nagyobb intézmények kisajátíthatják eredményeit. Ugyanez a gondolkodás ugyanakkor később erősítette elszigetelődését.

A kísérletezés egyre drágább lett. Goddardnak műszerekre, gépmunkára, anyagokra és megfelelő teszthelyre volt szüksége, miközben egy egyetemi fizikus költségvetése messze elmaradt attól, amit akár egy szerény rakéta-program is felemészthetett. 1916-ban ezért támogatásért fordult a Smithsonian Institutionhoz. Charles Greeley Abbot, az intézmény vezető tudósa felismerte, hogy a rakéta nagy magasságú meteorológiai és légkörkutató eszközként komoly lehetőségeket kínálhat. A Smithsonian 1917-ben ötezer dolláros támogatást ítelt meg Goddardnak, ami az akkori kutatói viszonyok között jelentős összegnek számított.

Az első világháború közben a katonai alkalmazás is megjelent. Goddard szilárd hajtóanyagú, csőből indítható rakétákkal kísérletezett, és 1918-ban az Aberdeen Proving Groundon bemutatott egy vállról vagy könnyű állványról alkalmazható rakétaelvet. A későbbi bazooka nem egyszerűen Goddard kész fegyverének sorozatgyártott változata volt, de a kísérletek fontos technikai előzményt jelentettek. A háború vége azonban elvágta a közvetlen katonai érdeklődést, és Goddard visszatért ahhoz a kérdéshez, amely igazán izgatta: hogyan lehet tudományos műszereket rendkívüli magasságba juttatni.

1919-ben a Smithsonian kiadta A Method of Reaching Extreme Altitudes című munkáját. A kötet ma a rakétatörténet egyik alapidokumentuma. Goddard elméleti számításokat, kísérleti eredményeket és gyakorlati megfontolásokat egyaránt közölt benne. Nem a későbbi értelemben vett kézikönyvet írt, hanem azt akarta megmutatni, hogy megfelelő tömegaránnyal, hatékony hajtóművel és több fokozattal olyan magasságok is elérhetők, amelyeket ballonokkal lehetetlen megközelíteni. A végén még azt a lehetőséget is felvetette, hogy elegendően nagy rakéta kis tömeget juttathat a Holdra, ahol a becsapódást valamilyen látható

jelzőanyag tehetné észlelhetővé.

Ez az utolsó gondolat biztosította számára a hírnevet, amelyre nem vágyott. A sajtót kevésbé érdekelte a meteorológiai műszerek nagy magasságba juttatása, mint a Hold elérése. A címekben és rövid hírekben Goddard tudományos érvelése gyakran „holdrakétává” egyszerűsödött. A nyilvánosság hirtelen nem gondos fizikusként, hanem különöc álmodozóként kezdte kezelni. Ez a tapasztalat döntően befolyásolta későbbi viszonyát a sajtóhoz és a szakmai nyilvánossághoz.

4. fejezet – A nevetség tárgya

1920 januárjában a New York Times szerkesztőségi cikkben gúnyolta Goddard elképzelését. A lap érvelésének lényege az volt, hogy a rakéta a légüres térben nem tudna mire „támaszkodni”, ezért nem működhetne a Hold felé vezető úton. Fizikai szempontból ez alapvető tévedés volt. A reakcióhajtásnak nincs szüksége levegőre, sőt a rakétahajtómű bizonyos szempontból kedvezőbb körülmények között működik vákuumban, mert nincs külső légnyomás, amely csökkentené a gázsugár tágulásának hatását. A híres vita mégsem pusztán egy rosszul sikerült újságcikk története. Megmutatta, milyen nehéz volt az űrrepülést komoly tudományos témaként elfogadtatni.

Goddard érzékenyen reagált a gúnyra. Nem szeretett szerepelni, és a nyilvános félreértések megerősítették abban a meggyőződésében, hogy jobb, ha a részleteket megtartja magának. Ebből a szempontból a sajtó támadása hosszú távon károsabb lehetett, mint elsőre látszott. A korszak többi rakétaúttörője közül Hermann Oberth éppen ellenkező irányt választott: könyvekkel, előadásokkal és társaságokkal próbált mozgalmat teremteni az űrrepülés körül. Goddard inkább egyre

zártabb műhelyt épített.

A szkepszisnek ugyanakkor volt racionális alapja is. 1920-ban egyetlen folyékony hajtóanyagú rakéta sem repült. A folyékony oxigén veszélyes, rendkívül hideg anyag volt, kezelése speciális szigetelést és szelepeket igényelt. A folyékony üzemanyagot és az oxidálószer megfelelő arányban kellett az égéstérbe juttatni, a keveréket stabilan elégetni, a nagy hőterhelést elviselni, a gázokat fúvókán át gyorsítani, majd a teljes szerkezetet úgy könnyíteni, hogy mégse szakadjon szét. A sajtó tévedett a fizikában, de abban nem, hogy Goddard tervei messze meghaladták a kor kipróbált technikáját.

A következő években Goddard fokozatosan átállt a folyékony hajtóanyaggal végzett kísérletekre. A választás logikus volt. A szilárd hajtóanyag egyszerűbb, de égés közben nehezebben szabályozható, és a korabeli keverékek fajlagos teljesítménye korlátozott maradt. Folyékony üzemanyaggal elvben pontosabban lehetett szabályozni az égést, magasabb teljesítmény érhető el, és a hajtómű működése megszakítható vagy módosítható. Goddard benzint választott üzemanyagnak és folyékony oxigént oxidálószernek. Ma ez a páros szokatlannak tűnhet a kerozin-oxigén vagy hidrogén-oxigén rendszerek mellett, de kísérleti körülmények között

megfelelő kiindulópont volt.

1921-től egyre több folyékony hajtóanyagú statikus próbát végzett. A problémák egymást követték. A gyújtás bizonytalan volt, a csövek megfagyhattak vagy felmelegedhettek, a tömítések eresztettek, a hajtómű falai károsodtak, az égés instabillá válhatott. A rakétafejlesztésből hiányzott mindaz az ipari háttér, amely később természetesnek számított: nem létezett kész beszállítói lánc rakétaszelepekre, turbószivattyúkra vagy könnyű, nagy szilárdságú tartályokra. Sok alkatrészt magának kellett megterveznie vagy helyi műhelyekkel elkészíttetnie.

1923-ban sikerült működő folyékony hajtóanyagú motort létrehoznia és statikus állványon tesztelnie. Ez még nem jelentett repülő rakétát, de döntő lépcsőfok volt. A hajtóműnek nemcsak tolóerőt kellett termelnie, hanem nagyobb tolóerőt, mint a teljes jármű súlya. Ez az egyszerűnek tűnő követelmény sok korai próbát megghiúsított. Egy motor lehetett laboratóriumban látványosan működőképes, mégsem volt elég könnyű vagy elég erős ahhoz, hogy saját tartályaival és szerkezetével együtt felemelkedjen.

Közben Goddard magánélete is megváltozott. Esther Christine Kisk a Clark College környezetében ismerte meg a fizikust, és 1924-ben összeházasodtak. Esther jóval több lett házastársnál. Szervezte férje mindennapjait, fotózta és filmezte a kísérleteket, segített a dokumentációban, később pedig a szabadalmak és Goddard történelmi örökségének legfontosabb őrzőjévé vált. A fennmaradt fényképek jelentős részét ő készítette. Nélküle a rakétakísérletek vizuális emléke és Robert Goddard utóélete is sokkal szegényebb lenne.

A házasság idején a nagy cél már közvetlen közelbe került. Goddard tudta, hogy motorja képes a folyékony hajtóanyag energiáját tolóerővé alakítani. A következő feladat az volt, hogy a laboratóriumi hajtóműből repülő jármű legyen. Az áttöréshez nem új fizikai törvény kellett, hanem sok apró, fáradságos mérnöki döntés. A modern technikatörténet gyakran ezekben a kevésbé látványos szakaszokban dől el.

5. fejezet - A havas káposztaföld

1926 márciusára Goddard elérkezett ahhoz a ponthoz, amikor a laboratóriumban működő hajtóművet teljes rakétává kellett alakítania. A kísérlet helyszíne egy Auburn melletti farm volt, amelyet családi kapcsolat révén használhatott. A táj semmiben sem hasonlított a későbbi rakétabázisokra. Nem volt beton indítóállás, irányítóközpont, radar, biztonsági zóna és több száz fős személyzet. Hó borította a földet, a környéken gazdasági épületek álltak, a rakétát pedig néhány ember készítette elő. A későbbi amerikai űrprogram ipari méretei felől visszatekintve szinte hihetetlen, milyen kis infrastruktúrából indult az első folyékony hajtóanyagú repülés.

A rakéta felépítése a mai szemnek meghökkentő volt. Goddard a hajtóművet a szerkezet tetejére helyezte, a benzint és a folyékony oxigént tartalmazó tartályokat pedig alulra. Úgy gondolta, hogy a felül elhelyezett tolóerő stabilizálhatja a járművet, hasonlóan ahhoz, ahogyan egy felfüggesztett tömeg függőlegesen beáll. A fizikai intuíció ebben a formában nem bizonyult helyesnek; a tolóerő hatásvonala önmagában nem

biztosította a kívánt stabilitást. A későbbi próbák során Goddard visszatért a ma megszokott elrendezéshez, amelyben a hajtómű a tartályok alatt helyezkedik el.

Március 8-án megpróbálta elindítani a szerkezetet, de a kísérlet nem sikerült. Nyolc nappal később újra próbálkoztak. A később „Nell” néven emlegetett rakétában a hajtómű először hosszú ideig égett anélkül, hogy a gép felemelkedett volna. A tolóerő kezdetben nem haladta meg eléggé a jármű súlyát; ahogy fogyott a hajtóanyag, a szerkezet könnyebbé vált. Közben a fúvóka egy része károsodott, Esther Goddard filmfelvevőjében pedig éppen a döntő pillanat előtt elfogyott a film. Így az első repülésről nem készült mozgókép, noha az előkészületeket és a rakétát fényképek őrizték meg.

Amikor a gép végül emelkedett, az esemény 2,5 másodperc alatt véget ért. A rakéta körülbelül 41 láb, vagyis 12,5 méter magasságot ért el, és 184 lábnyira, mintegy 56 méterre csapódott be. A számok önmagukban nevetségesen kicsik a későbbi eredményekhez képest. A Saturn V néhány másodperc alatt messz túljutott volna ezen a magasságon, a modern hordozórakéták pedig percek alatt több száz kilométerre kerülnek a Föld felszínétől. A jelentőség azonban nem a megtett távolságban rejlett. Először emelkedett fel saját erejéből

olyan rakéta, amely folyékony üzemanyagot és folyékony oxidálószerrel használt.

Goddard másnap naplójában szinte csodálkozó hangon írt a felszállásról. A rakéta úgy emelkedett, mintha egyszerűen úgy döntött volna, hogy ideje távoznia. A megfigyelés jól mutatja, milyen különös lehetett a jelenet még annak is, aki éveken át dolgozott érte. A folyékony hajtóanyagú motor addig csövek, szelepek, lángok és számítások együttese volt; a repüléssel egyszerre járművé vált.

A kísérlet azonban nem került azonnal a világsajtó címlapjára. Goddard éppen ellenkezőleg viselkedett, mint a Wright fivérekhez kapcsolódó későbbi legendák szereplői. Nem hívott tömeget, nem tartott látványos bejelentést, és technikai részleteit sem akarta széles körben közölni. A siker hosszú ideig szűk körben maradt ismert. A rakétafejlesztő attól tartott, hogy mások felhasználják eredményeit, ezért a titoktartást a kutatási stratégia részének tekintette.

Ez a döntés később paradox helyzetet teremtett. Goddard valóban elsőként reptetett folyékony hajtóanyagú rakétát, de a technikatörténeti elsőség nem azonos a technikai hatással. Ha egy találmányt nem

ismernek, más mérnökök nem tudnak rá közvetlenül építeni. A német rakétafejlesztők az 1930-as években sok hasonló problémát önállóan oldottak meg. A történelmi jelentőség ezért két szinten értelmezhető: Goddard bizonyította, hogy a rendszer működik, ugyanakkor saját elzárkózása miatt nem vált olyan iskola alapítójává, mint amilyenné más körülmények között válhatott volna.

A március 16-i kísérlet mégis fordulópont. A rakéta többé nem csak számítás, szabadalom vagy statikus motor volt. A gép valóban elhagyta az indítóállást. Ebben a pillanatban a korábban fantasztikusnak tartott technika átlépett abba a tartományba, ahol már nem azt kellett bizonyítani, hogy lehetséges-e, hanem azt, milyen messz fejleszthető.

6. fejezet - Amikor a rakéta felrobbant a közvéleményben

A következő években Goddard folytatta a próbákat Massachusettsben. A rakéták nagyobbak lettek, a mérési igények pedig növekedtek. 1929. július 17-én egy olyan kísérletet hajtott végre, amely a technikai szempontból előrelépést jelentett, társadalmi szempontból azonban majdnem katasztrófává vált számára. A rakéta barométert és kamerát vitt magával, vagyis a repülés már nem csupán a hajtás kipróbálásáról szólt. Goddard azt az eredeti célját közelítette meg, amelyet a Smithsonian támogatásának megszerzésekor megfogalmazott: a rakéta tudományos műszert emelhet nagy magasságba.

A hangos robaj és a szokatlan esemény azonban felkeltette a környék figyelmét. Rendőrök és újságírók érkeztek, a sajtóban pedig ismét megjelent a „holdember” képe. A helyi hatóságok számára a rakétakísérlet már nem egy egyetemi labor csendes tevékenysége volt, hanem potenciális veszélyforrás. Egy egyre nagyobb, gyúlékony folyadékokat és folyékony oxigént használó szerkezetet lakott terület közelében indítani valóban komoly biztonsági kockázatot jelentett.

Goddard számára a nyilvánosság újabb bizonyíték lett arra, hogy a munkát távolabb kell vinni. Ekkor kapcsolódott be döntően Charles Lindbergh. Az Atlanti-óceánt 1927-ben egyedül átrepülő pilóta a korszak egyik legismertebb embere volt, és érdeklődött az új technológiák iránt. Amikor megismerte Goddard munkáját, felismerte, hogy a kutatás lehetőségei jóval meghaladják a professzor anyagi eszközeit. Lindbergh kapcsolatba hozta őt a Guggenheim családdal, amely az amerikai repülés fejlesztését már más programokon keresztül is támogatta.

Daniel és Florence Guggenheim alapítványi támogatása nagyságrendi változást hozott. Goddard végre nem néhány ezer dolláros alkalmi forrásból próbált évről évre továbbhaladni. A finanszírozás lehetővé tette, hogy megfelelő személyzetet tartson, gépeket vásároljon, távoli tesztterületet használjon és hosszabb fejlesztési programban gondolkodjon. A választás Roswell környékére esett Új-Mexikóban, ahol a száraz éghajlat, a sík terep és az alacsony népsűrűség kedvező feltételeket kínált.

A költözés egyben kulturális váltás volt. Massachusettsben Goddard egyetemi professzor és helyi különc feltaláló maradt, akinek rakétái időnként

megzavarták a környezet nyugalmát. Roswellben viszont saját kísérleti telepet építhetett. A táj hatalmas volt, a horizont messze húzódott, a rakéták pedig úgy nőhettek, hogy egy elhibázott repülés kisebb eséllyel veszélyeztetett házakat vagy járókelőket. A későbbi rakétabázisok logikájának egyik alapelve – nagy, ritkán lakott biztonsági zóna – itt már világosan megjelent.

Lindbergh és a Guggenheimek azonban nem csupán pénzt adtak. Elvárták az eredményeket, és idővel egyre jobban zavarta őket Goddard titkolózása és az, hogy kevés külső szakembert vont be. A finanszírozó szemszögéből érthető volt az igény: ha egy program éveken át jelentős összegeket kap, tudni akarják, mit ér el, és szeretnék csökkenteni annak kockázatát, hogy minden tudás egyetlen ember fejében összpontosul. Goddard viszont attól tartott, hogy a nagyobb csapat növeli az információ kiszivárgásának és a szabadalmi vitáknak az esélyét.

Ez a konfliktus végigkísérte a roswelli éveket. A professzor technikailag sokat fejlődött, szervezetileg azonban nem alakított ki olyan intézményt, amely önállóan is továbbvihette volna a munkáját. A német rakéta-program éppen az ellenkező modellt követte: mérnökök, fizikusok, katonák és ipari szereplők százai,

majd ezrei dolgoztak egyre nagyobb szervezetben. Az egyik rendszer egy ember gondolatainak tisztaságát és kontrollját őrizte, a másik a nagy léptékű együttműködés erejét használta. Az űrkorszak végül az utóbbi szervezeti modellből született meg.

7. fejezet – Roswell laboratóriuma a sivatagban

Goddard 1930-tól hosszabb megszakításokkal több mint egy évtizedet töltött Roswellben és környékén. A közvéleményben a név évtizedekkel később a repülő csészealjak legendájával kapcsolódott össze, de Goddard idejében a helyszín egészen más okból volt ideális. Széles, sík vidék, kis népsűrűség és sok napsütés jellemezte. A rakétakutató számára ez egy hatalmas szabadtéri laboratóriumot jelentett.

A korai roswelli rakéták már egyre kevésbé hasonlítottak az 1926-os „Nell” furcsa állványára. Goddard a motort a jármű alsó részére helyezte, javította a tartályokat, erősebb vázakat épített és új vezérlési megoldásokat keresett. Az egyik legnehezebb feladat az iránystabilitás volt. Egy rakéta nem attól repül függőlegesen, hogy annak tervezték. A legkisebb aszimmetria a tolóerőben, a szél, a szerkezeti rezgés vagy a tömegközéppont eltolódása olyan forgást indíthat el, amely másodpercek alatt eltéríti a járművet.

A stabilizálás egyik kézenfekvő módja a farokrészen elhelyezett vezérsíkok használata, amelyek a levegőben aerodinamikai erőt fejtenek ki. Ez azonban csak addig

hatékony, amíg a rakéta sűrű légkörben repül. Goddard ennél általánosabb megoldásokat is keresett. Kísérletezett a hajtómű gázsugarába helyezett mozgatható lapátokkal, amelyek a kiáramlás irányának módosításával kormányozták a járművet. Giroszkópokat használt a rakéta helyzetének érzékelésére, és olyan szabályozási rendszereket fejlesztett, amelyek automatikusan korrigálhatták az eltéréseket.

A giroszkópos vezérlés később a ballisztikus rakéták és a hordozórakéták alaptermékéjévé vált. A módszer lényege, hogy egy gyorsan forgó rotor térbeli iránya tehetetlensége miatt viszonylag állandó marad. A rakéta elfordulása így mérhető, majd a vezérlőrendszer a kormányfelületek vagy a hajtómű segítségével visszatérítheti a járművet a kívánt pályára. Goddard idejében mindezt mechanikus és elektromechanikus eszközökkel kellett megoldani. Nem álltak rendelkezésre mikroprocesszorok, digitális érzékelők vagy könnyű inerciális mérőegységek.

A hajtóanyag továbbítása szintén állandó problémát okozott. Kis rakétában elegendő lehet a tartályokat gázzal nyomás alá helyezni, így a folyadék a csöveken át az égéstérbe áramlik. Nagyobb teljesítménynél azonban a szükséges tartálynymomás túl nagy tömegű falakat

követelhet. A modern nagy folyékony hajtóanyagú rakéták ezért többnyire turbószivattyúkkal juttatják a hajtóanyagot a kamrába. Goddard felismerte ennek jelentőségét és hajtóanyag-szivattyúkkal is kísérletezett, bár programja soha nem jutott el a későbbi V-2 vagy Saturn méretű, rendkívül nagy teljesítményű turbógépekhez.

A hőterhelés újabb nehézséget jelentett. A rakétahajtómű égésterében olyan hőmérséklet alakul ki, amely a legtöbb szerkezeti fémet rövid idő alatt károsítaná. A megoldás nem lehet pusztán vastagabb fal, mert minden kilogramm szerkezeti tömeg rontja a rakéta teljesítményét. Goddard különböző hűtési módszerekkel kísérletezett. A későbbi regeneratív hűtés lényege, hogy a hideg hajtóanyagot a kamra és a fúvóka falában vezetett járatokon áramoltatják át, mielőtt az égéstérbe jut. Így a hajtóanyag felveszi a hőt, miközben a motor falát megóvjá az olvadáástól. Goddard munkája ezen a területen is megelőlegezte a későbbi standard megoldásokat.

A roswelli programban a rakéta fokozatosan rendszer lett. Már nem elég egy jó motor. Szükség van tartályra, vezetékekre, szelepekre, gyújtásra, műszerekre, irányításra, megfelelő szerkezetre, indítóberendezésre és

mérési rendszerre. Ha ezek közül bármelyik hibás, a repülés kudarcot vallhat. Ez a rendszerszemlélet különbözteti meg az űrrakétát az egyszerű pirotechnikai eszköztől. Goddard rengeteg időt töltött apró részletekkel, amelyekből egyik sem tűnt olyan látványosnak, mint maga a felszállás, de együtt tették lehetővé a megbízhatóbb működést.

1935-ben egyik rakétája elérte a hangsebességet meghaladó tartományt, és a roswelli próbák során a járművek több kilométeres magasságokat is elértek. A NASA összefoglalói szerint Goddard legjobb repülései nagyjából 2,4 kilométeres magasságig jutottak. Ez még mindig nagyon messze volt a világűrtől, amelynek gyakorlati határát ma rendszerint 100 kilométer körül húzzák meg. Az eltérés jól mutatja, hogy a technikai úttörés és a működő űrhordozó között milyen óriási szakadék húzódott.

Goddard mégis egyre több olyan elemet használt, amely később természetessé vált: giroszkópos irányítást, mozgatható kormánylapátokat, folyékony hajtóanyagot, nagy nyomású rendszereket, ejtőernyős visszatéréssel kapcsolatos elképzeléseket és gondos telemetria előtti mérési eljárásokat. Ha csak a műszaki részletek listáját nézzük, könnyű azt mondani, hogy „mindent előre látott”.

A történeti kép ennél árnyaltabb. Sok megoldás másutt is logikusan következett ugyanazokból a problémákból, és a nagyszabású rakétatechnika nem egyetlen feltaláló szabadalmain keresztül fejlődött. Goddard különlegessége az volt, hogy egy kis csoporttal rendkívül sok problémát saját kezűleg végigpróbált.

8. fejezet - A titok ára

A roswelli évek során Goddard egyre erősebben ragaszkodott ahhoz, hogy kísérletei részletei ne kerüljenek illetéktelen kezekbe. A hozzáállás mögött személyes tapasztalat, szabadalmi gondolkodás és bizonyos fokú bizalmatlanság állt. A korai sajtógúny megerősítette benne azt a képet, hogy a külvilág vagy félreérti, vagy el akarja venni az ötleteit. A német rakétatársaságok 1920-as és 1930-as évekbeli fellendülése pedig azt az érzést kelthette benne, hogy valódi verseny folyik.

A titoktartás azonban a tudományban különös csapda. Az eredmény akkor válik hatásossá, ha mások megismerhetik, ellenőrizhetik, továbbfejleszthetik és új környezetben alkalmazhatják. Goddard 1919-es tanulmánya széles körben hozzáférhető volt, de későbbi gyakorlati eredményeinek nagy részét csak sokkal korlátozottabban osztotta meg. 1936-ban a Smithsonian kiadta Liquid-Propellant Rocket Development című beszámolóját, amely fontos információkat közölt, de ekkorra Németországban már saját, gyorsan növekvő rakéta-program működött.

A későbbi amerikai emlékezet sokáig azt sugallta, hogy a németek egyszerűen „ellopták” Goddard ötleteit, és a V-2 tulajdonképpen az ő munkájának felnagyított változata volt. A hasonlóságok valósak: folyékony hajtóanyag, giroszkópos vezérlés, a gázsugárban működő kormánylapátok és több más elem mindkét fejlesztési vonalon megjelent. A modern történeti kutatás azonban arra jutott, hogy a közvetlen technológiai átvétel jóval kisebb volt annál, mint amit a hidegháborús amerikai legendárium feltételezett. A német mérnökök jelentős részben saját kísérleteikből és Hermann Oberth elméleti örökségéből haladtak tovább.

Ez nem csökkenti Goddard érdemét, inkább pontosabban helyezi el. Egy találmány történelmi értéke nem csak azon mérhető, hány későbbi mérnök másolta. Az 1926-os repülés bebizonyította, hogy a folyékony hajtóanyagú rakéta nem laboratóriumi fantázia. A szabadalmak és a kísérletek számos technikai kérdést korán azonosítottak. Ugyanakkor az a tény, hogy Goddard szinte mindent saját ellenőrzése alatt akart tartani, megakadályozta egy széles amerikai rakétamérnöki közösség kialakulását körülötte.

A szervezeti kérdés különösen fontos. A modern nagy technikai rendszerek ritkán egyetlen ember találmányai.

A repülőgép, a radar, az atomreaktor, a számítógép vagy az űrhajó olyan komplexitású eszköz, amelyhez külön szakterületek együttműködése kell. A rakétánál a hajtóműves mérnök, a szerkezettervező, az irányítástechnikus, az anyagtudós, a meteorológus és a gyártástechnológus munkája ugyanúgy létfontosságú. Goddard sokszor egy személyben próbált több szerepet ellátni, és kis csapatát is szoros felügyelet alatt tartotta.

A finanszírozók számára ez egyre nyilvánvalóbb gond lett. Lindbergh és Harry Guggenheim szerette volna, ha Goddard nagyobb szakmai nyitottságot mutat és gyorsabban halad. A professzor viszont nem akarta elveszíteni szellemi tulajdona fölötti ellenőrzését. A vitában egyik fél sem volt teljesen irracionális. A finanszírozók eredményeket és intézményi biztonságot akartak, Goddard pedig joggal tudta, hogy a korszak ipari világában a szabadalmak komoly értéket jelentenek. A választott kompromisszum azonban nem tette lehetővé a program ugrásszerű növekedését.

Ennek következménye az lett, hogy az 1930-as évek végén az Egyesült Államokban élt a világ egyik legtapasztaltabb folyékony rakéta-kísérletezője, miközben az ország nem rendelkezett a némethez hasonló nagy állami rakétaprogrammal. A tudás és a

nemzeti technológiai képesség nem ugyanaz. Ahhoz, hogy a Goddard-féle eredmények stratégiai jelentőségű rendszerré váljanak, intézmény, pénz, ipar és megrendelő kellett volna. Ezek a feltételek Amerikában csak a háború és az azt követő geopolitikai verseny idején álltak össze.

9. fejezet - Oberth és a német rakétaálmom

Miközben Goddard a sivatagban viszonylag kis csapattal dolgozott, Európában másfajta rakétakultúra alakult ki. Hermann Oberth 1923-ban megjelent könyve, a *Die Rakete zu den Planetenräumen* tudományos érvekkel mutatta be, hogy a folyékony hajtóanyagú rakéta alkalmas lehet az űrrepülésre. A munka nagy hatást gyakorolt a német nyelvterület fiatal műszaki érdeklődésű közönségére. Oberth nem csupán számolt, hanem a nyilvánosság elé vitte a témát, és a rakétát a jövő közlekedési eszközeként mutatta be.

Az 1920-as évek végén Németországban rakétatársaságok szerveződtek. A Verein für Raumschiffahrt, az Űrutazási Egyesület tagjai között mérnökök, diákok, lelkes amatőrök és későbbi katonai szakemberek is megjelentek. Berlin közelében kísérleti rakétateret működtettek, és folyékony hajtóanyagú motorokkal próbálkoztak. Ezek a csoportok jóval nyitottabb közösséget alkottak, mint Goddard műhelye. A kudarcok és sikerek megosztása gyorsabb kollektív tanulást tett lehetővé.

A fiatal Wernher von Braun ebben a közegben találta meg életpályáját. Oberth könyve arra ösztönözte, hogy komolyan tanuljon matematikát és fizikát, mert meg akarta érteni a rakéta működését. 1932-ben a német hadsereg rakétaprogramjához csatlakozott. A katonai vezetés számára a rakéta nem a Mars elérésének eszköze volt, hanem olyan nagy hatótávolságú fegyver, amelyet a versailles-i békeszerződés korlátozásai nem nevesítettek olyan világosan, mint más fegyvernemeket.

A hadsereg belépése mindent megváltoztatott. A rakétakutatás többé nem néhány lelkes mérnök hobbi jellegű vállalkozása volt. Állami pénz, katonai prioritás, saját lőterek és ipari háttér állt mögé. Az első kísérleti típusok, az A-1 és A-2 után nagyobb rendszerek következtek. A sikertelen A-3 fontos tanulságokat adott a vezérlésről, az A-5 pedig kísérleti platformként segítette a későbbi nagy rakéta technológiájának kialakítását.

A fejlődés logikája több ponton hasonlított Goddard útjára. A német mérnököknek ugyanúgy meg kellett oldaniuk a folyékony hajtóanyag adagolását, az égéstér hűtését, a giroszkópos irányítást és a stabil repülést. A különbség a lépték volt. Míg Goddard egyes alkatrészeket kis műhelyekben készíttetett, a német program külön kutatóintézeteket, próbapadokat és végül

tömeggyártó üzemeket hozott létre. A technológia mérete és komplexitása olyan szintre jutott, amely már messze meghaladta egy kis kutatócsoport lehetőségeit.

1937-től Peenemünde lett a német rakétaprogram központja. Itt született meg az A-4, amelyet propaganda célból később V-2, vagyis Vergeltungswaffe 2 néven ismert meg a világ. A rakéta körülbelül tizennégy méter hosszú volt, folyékony oxigént és alkohol-víz keveréket használt, turbószivattyúi hatalmas mennyiségű hajtóanyagot továbbítottak az égéstérbe, giroszkópos rendszere pedig automatikusan vezérelte. 1942. október 3-án az A-4 egyik példánya sikeres teljes repülést hajtott végre, nagyjából 80-90 kilométeres magassági tartományt érintve. Ezzel a rakétatechnika nagyságrendileg új szintre lépett.

A teljesítményt azonban nem lehet leválasztani a politikai rendszerről, amely létrehozta. A V-2 a náci Németország fegyvere volt. Tömeggyártása a Mittelwerk föld alatti üzemeiben koncentrációs tábori rabok kényszermunkájára épült. A Mittelbau-Dora rendszerében fogvatartottak ezrei haltak meg éhezésben, betegségekben, bántalmazásban és embertelen munkakörülmények között. A rakéta később London, Antwerpen és más városok ellen csapódott be, és

civileket ölt meg. A technikai „siker” ezért morális katasztrófával fonódott össze.

A V-2 története azt is megmutatja, milyen erősen gyorsíthatja a háború a technológiai fejlődést. A katonai állam olyan erőforrásokat összpontosított a rakétára, amelyekről Goddard soha nem álmodhatott. Ettől a német program nem lett tudományosan tisztább vagy történelmileg dicsőségesebb; ellenkezőleg, a kényszermunka és a terror miatt a rakétatörténet egyik legsötétebb fejezete lett. Az űrrepülés technikai alapjainak egy része olyan rendszerben tökéletesedett, amely emberéleteket rendelt a fegyvergyártás alá.

10. fejezet - Háború és kihagyott lehetőség

A második világháború közeledtével Goddard egyre erősebben érezte, hogy munkájának katonai jelentősége lehet. Az Egyesült Államokban azonban a rakéta még nem kapott olyan stratégiai figyelmet, mint Németországban. Az amerikai hadsereg és haditengerészet természetesen foglalkozott rakétafegyverekkel, de a nagy hatótávolságú ballisztikus rakéta nem állt a fejlesztési prioritások középpontjában. Az amerikai ipar ekkor elsősorban repülőgépekben, hajókban, tüzérségben és később radarban gondolkodott. A rakéta számára még nem jött el az a pillanat, amikor a katonai vezetők készséggel adtak volna hozzá ipari méretű költségvetést.

Goddard többször próbálta felhívni a kormányzat figyelmét eredményeire. A nehézséget részben ő maga teremtette meg. Évtizedek óta a titoktartást választotta, nem épített széles mérnöki hálózatot, és kutatási programja személyéhez kötődött. Egy katonai szervezet számára azonban nem elegendő annak bizonyossága, hogy egy tudós kivételesen tehetséges. Olyan technológiát keres, amely dokumentálható, gyártható,

karbantartható, emberek sokaságának átadható és határidőre rendszerbe állítható. Goddard műhelye ebből a szempontból nem volt kész fegyverprogram.

A háború alatt végül az amerikai haditengerészet alkalmazta. Annapolisban repülőgépek felszállását segítő rakétákon, úgynevezett jet-assisted takeoff rendszereken és szabályozható tolóerejű folyékony hajtóanyagú motorokon dolgozott. A feladat technikailag fontos volt, de távol állt attól a nagy ívű programtól, amelyet Goddard évtizedeken át elképzelt. A világ első folyékony hajtóanyagú rakétájának megalkotója élete végén nem az amerikai ballisztikus rakéták vezető tervezőjeként dolgozott, hanem egy speciális haditengerészeti fejlesztés résztvevőjeként.

Eközben Európából egyre több hír érkezett a német rakétákról. Amikor a V-2 1944 szeptemberében először csapódott be nyugat-európai célpontokba, nyilvánvalóvá vált, hogy a rakéta többé nem kísérleti eszköz. A fegyver a világűr peremét érintő ballisztikus pályán repült, és olyan sebességgel zuhant a célra, hogy korabeli légvédelemmel gyakorlatilag nem lehetett elfogni. A több mint egy évtizedes roswelli munka után Goddard szembesülhetett azzal, hogy mások nagyobb léptékben valósították meg azt a technikai irányt, amelyért ő egész

életében küzdött.

A későbbi visszaemlékezésekben gyakran szerepel, hogy Goddard egy elfogott vagy bemutatott német rakéta alkatrészeit látva saját ötleteinek megvalósulását ismerte fel. A részleteket az utókor olykor kiszínezte, de a műszaki párhuzam kétségtelen volt. A V-2-ben giroszkópos vezérlés, folyékony hajtóanyag, turbószivattyús adagolás, gázsugárba helyezett grafit kormánylapátok és fejlett égéstér működött. Több olyan kérdés, amelyet Goddard kis léptékben vizsgált, itt ipari rendszerre állt össze.

A hasonlóság nem bizonyít közvetlen másolást. A rakétamérnöki problémák sokszor ugyanazokat a megoldásokat kényszerítik ki. Ha nagy folyékony hajtóanyagú motort akarunk, a tartályok túlnyomásos táplálása hamar tömeghatárba ütközik, ezért szivattyú kell. Ha a rakéta pályáját automatikusan akarjuk tartani, szükség van inerciális referenciaeszközre. Ha a járművet ritka levegőben is kormányozni kell, nem támaszkodhatunk kizárólag aerodinamikai felületekre. A technika történetében a hasonló megoldás gyakran a hasonló probléma következménye.

A háború mégis keserű igazságot tett láthatóvá: Goddardnak igaza volt abban, hogy a rakéta működőképes lehet, de tévedett abban, hogy egy szűk, magányos kutatói modell elegendő lesz a technológia teljes kibontakoztatásához. A V-2 nem azért múlta felül rakétáit, mert a német mérnökök feltétlenül jobb fizikusok voltak, hanem mert több száz szakember, nagy gyárak, katonai intézmények és hatalmas állami források álltak mögöttük. Az űrkorszak felé vezető út ettől kezdve elválaszthatatlan lett a nagy szervezetektől.

11. fejezet - 1945: a rakéták örökségéért folyó verseny

1945 tavaszán, amikor a Harmadik Birodalom összeomlott, az Egyesült Államok és a Szovjetunió számára a német rakétatechnika megszerzése sürgős stratégiai feladattá vált. A V-2 nem nyerte meg Németországnak a háborút, de megmutatta, hogy a több száz kilométeres hatótávolságú irányított ballisztikus rakéta technikailag lehetséges. Az atomfegyver megjelenése pedig hamarosan teljesen új értelmet adott ennek a képességnek. Ha nagy robbanófejet lehet rakétával távoli célpontra juttatni, a fegyver nem csupán tüzérségi különlegesség, hanem a stratégiai erőviszonyok egyik alapja.

Az amerikai csapatok a háború végén V-2 alkatrészek, dokumentumok és szakemberek megszerzésére törekedtek. A Mittelwerk környékéről jelentős mennyiségű rakétaalkatrészt szállítottak az Egyesült Államokba. Wernher von Braun és több tucat kulcsfontosságú mérnök amerikai fogságba került, majd az Operation Paperclip keretében az Egyesült Államokba vitték őket. Az akció története morálisan terhelt: a hidegháborús stratégiai érdek felülírta azt az igényt,

hogy minden érintett náci múltját azonos szigorral vizsgálják meg.

A Szovjetunió sem maradt le. A szovjet szakemberek német gyárat, dokumentumokat és mérnököket gyűjtöttek össze, majd Németország szovjet megszállási övezetében újrászervezték a rakétatechnikai munkát. 1946 őszén német szakemberek százait és családtagjaikat kényszerrel a Szovjetunióba telepítették. A szovjet mérnököknek már a háború előtt is volt saját folyékony rakétás tapasztalatuk, de a V-2 mérete, turbószivattyúja és gyártási rendszeressége olyan tudást jelentett, amelyet gyorsan be akartak építeni.

A háború utáni első években mindkét nagyhatalom V-2-eseket indított kutatási céllal. Az amerikai White Sands területén a zsákmányolt rakéták felső légköri méréseket végeztek, kamerákat és tudományos műszereket vittek. Ironikus módon a fegyver, amelyet városok terrorizálására készítettek, rövid időn belül a nagy magasságú tudomány egyik legfontosabb eszközévé vált. Goddard eredeti elképzelése – rakétával műszert vinni a légkör felső rétegeibe – egy német katonai rakétán keresztül teljesedett ki nagy léptékben.

Goddard ezt már alig élhette meg. Egészsége a háború alatt romlott, gégerák, illetve a források megfogalmazásától függően nyelőcső- és toroktájéki daganatos betegség támadta meg. 1945 nyarán egyre gyengébb lett. Felesége, Esther a végső hetekben a naplót is folytatta helyette, rögzítve betegsége súlyosbodását. Robert Goddard 1945. augusztus 10-én halt meg Baltimore-ban, néhány nappal Japán kapitulációja és a világháború vége előtt.

Halálának időzítése szimbolikus. Goddard a rakéta hőskorának küszöbén távozott. Nem látta a hidegháborús interkontinentális rakétákat, a Szputnyikot, Gagarint, a Mercury-programot, az Apollo-11-et vagy a műholdas világot. Amikor meghalt, az első folyékony hajtóanyagú repülése még húszéves sem volt. Huszonnégy évvel később emberek jártak a Holdon. A technikatörténet ritkán gyorsul fel ilyen drámai mértékben.

A halál után Goddard hírneve nem magától vált biztos örökséggé. Esther Goddard évtizedes munkába kezdett, hogy férje naplóit, levelezését, szabadalmait és fényképeit rendszerezze, illetve a közvélemény előtt is rögzítse Robert helyét a rakétatörténetben. A későbbi „modern rakétatechnika atyja” kép részben valódi műszaki teljesítményből, részben pedig ebből a tudatos

emlékezetépítésből született.

HÁTTÉRGYÁR

12. fejezet - Esther Goddard és a feltaláló második élete

A nagy feltalálók történetében gyakran úgy jelenik meg az utókor, mintha az automatikusan felismerné a valódi jelentőséget. A valóságban a hírnévért a halál után is dolgozni kell. Dokumentumokat kell megőrizni, szabadalmakat rendezni, múzeumokkal tárgyalni, életrajzokat készíteni és a nyilvános történetet újra meg újra elmondani. Robert Goddard esetében ezt a munkát mindenkinél következetesebben Esther végezte.

A házasság idején már fotózta férje kísérleteit és segítette a mindennapi szervezésben. A halál után azonban szerepe gyökeresen megváltozott. Nem egy élő kutató munkáját támogatta, hanem egy történelmi hagyatékot épített fel. Harry Guggenheim segítségével végigvitte azokat a szabadalmi eljárásokat, amelyek Robert életében nem fejeződtek be. Ennek eredményeként 131 további szabadalom került Goddard nevére, így a teljes szám 214-re emelkedett. A szabadalmi örökség később pénzügyi jelentőséget is kapott, amikor az amerikai kormány a rakétatechnikai találmányok felhasználásával kapcsolatos igényeket rendezte.

Esther ugyanakkor nem semleges levéltárosként dolgozott. Válogatott. Eldöntötte, melyik dokumentum szolgálja azt a képet, amelyet Robert Goddardról meg akart őrizni. A későbbi életrajzi projektekben is jelentős kontrollt gyakorolt. Ez a történész számára egyszerre áldás és probléma. Nélküle rengeteg anyag talán elveszett volna, de az általa kialakított forráskorpuszt éppen azért kell kritikusan olvasni, mert tudatos szerkesztés eredménye.

A Clark University 2026-os centenáriumi feldolgozásai újra ráirányították a figyelmet Esther szerepére. A fennmaradt anyagokból jól látszik, hogy nem csak „a feltaláló felesége” volt. Fotós, dokumentátor, szervező, szabadalmi ügyek intézője és emlékezetpolitikai szereplő lett. A Goddard-fotók nagy részét ő készítette, és sok olyan jelenetet rögzített, amely nélkül ma jóval kevésbé tudnánk elképzelni a worcesteri laborokat vagy a roswelli kísérleti telepet.

A hidegháború idején az Egyesült Államoknak szüksége is lett egy saját rakétahősre. A szovjet sikerek és a német szakemberek amerikai szerepe miatt kényelmetlen lett volna azt a történetet mesélni, hogy az amerikai űrprogram lényegében a V-2 örökségére épült. Goddard kiváló nemzeti előképet kínált. Amerikai volt,

jóval a náciizmus előtt kísérletezett, és 1926-os elsősége vitathatatlan. Így alakult ki az a közismert kép, amelyben ő az amerikai űrkorszak közvetlen atyja.

1959-ben az újonnan létrehozott NASA egyik legfontosabb kutatóközpontját róla nevezték el. A marylandi Goddard Space Flight Center a műholdas megfigyelés, az űrtudomány és a Föld-kutatás meghatározó intézményévé vált. 1961. március 16-án, az első folyékony hajtóanyagú repülés harmincötödik évfordulóján hivatalosan is felavatták a központot, Esther jelenlétében. A névadás a feltalálót végleg beemelte az amerikai űrprogram intézményi emlékezetébe.

Goddard örökségét tehát kétféleképpen kell látni. A technikai teljesítmény valós: a folyékony hajtóanyagú rakéta repülése, a vezérlés, a hűtés, a szivattyús rendszerek és számos más megoldás terén úttörő volt. A köré épült legenda viszont tudatosan formált történeti konstrukció. Ez nem teszi hamissá az örökséget. Inkább megmutatja, hogy a technikatörténet hősei ugyanúgy emlékezetpolitikai folyamatokban születnek, mint a politikai vagy katonai hősök.

13. fejezet - Rakéta és atombomba

A második világháború végén két technológia találkozott, amelyek külön-külön is megváltoztatták volna a geopolitikát. Az egyik a nagy hatótávolságú rakéta volt, a másik az atomfegyver. A V-2 hagyományos robbanófeje katonailag korlátozott hatékonyságú fegyvernek bizonyult. Drága volt, pontatlan és egyetlen rakéta rombolóereje nem múlta felül látványosan a hagyományos bombázást. Nukleáris robbanófejjel viszont ugyanaz a pontatlanság már kevésbé számított. A stratégiai rakéta értelme alapvetően megváltozott.

Az Egyesült Államok és a Szovjetunió az 1950-es évekre közepes, majd interkontinentális hatótávolságú ballisztikus rakéták fejlesztésébe kezdett. A technikai cél egyszerűen megfogalmazható, de rettenetesen nehéz volt: több tonnás terhet kellett több ezer kilométerre juttatni, miközben a rakéta percek alatt elérte a világűrt, majd a robbanófej hiperszonikus sebességgel tért vissza a légkörbe. A hajtóművek teljesítménye, a szerkezeti tömegarány, a vezérlés pontossága és a hővédelem egyszerre vált kritikus tényezővé.

Az amerikai oldalon von Braun csapata előbb az Army Ballistic Missile Agency és elődei keretében dolgozott. A Redstone, majd a Jupiter rakéták részben a V-2 technikai hagyományából fejlődtek, de egyre kevésbé hasonlítottak közvetlen elődjükre. A szovjet oldalon Szergej Koroljov vezetésével az R-1 a V-2 másolataként indult, ám az R-5 és különösen az R-7 már önálló konstrukciós világot képviselt. Az R-7 lett az első valóban interkontinentális ballisztikus rakéta, és ugyanez a rakétacsalád indította el 1957-ben a Szputnyik-1-et.

Itt vált végleg nyilvánvalóvá a katonai és az űrtechnika közös alapja. Ahhoz, hogy egy robbanófejet interkontinentális pályára gyorsítsanak, lényegében ugyanazokra a hajtóművekre és szerkezeti elvekre van szükség, mint egy műhold pályára állításához. A különbség főként a végsebességben, a pálya geometriájában és a hasznos teherben rejlik. Az ICBM nem állít pályára műholdat, de technológiai rokonsága közvetlen.

1957. október 4-én a Szovjetunió fellőtte a Szputnyik-1-et. A kis rádióadó tudományos szempontból egyszerű szerkezet volt, geopolitikai hatása azonban óriási. A világ első mesterséges holdja azt bizonyította, hogy a szovjetek olyan rakétával rendelkeznek, amely

képes nagy sebességre gyorsítani hasznos terhet. Az amerikai közvélemény számára ez nemcsak tudományos vereséget, hanem stratégiai fenyegetést is jelentett. Ha a rakéta műholdat juttat Föld körüli pályára, elvben atomfegyvert is eljuttathat az Egyesült Államokhoz.

Goddard 1920-ban még azért vált gúny tárgyává, mert felvetette a Hold elérésének lehetőségét. Harminchét évvel később a rakéta a nagyhatalmi biztonság központi technológiája lett. Az átmenet sebessége mutatja, mennyire félrevezető egy új technikát csak az első, gyenge prototípus alapján megítélni. Az 1926-os gép 12,5 méterre emelkedett; az R-7 több száz kilométeres magasságban állított pályára műholdat. A két esemény között alig több mint három évtized telt el.

A hidegháborús rakétaverseny ugyanakkor újra felvetette azt a morális problémát, amely a V-2-nél már megjelent. Az űrkutatás látványos tudományos sikerei szorosan összefonódtak a tömegpusztító fegyverek fejlesztésével. Az ember azért tanult meg nagy rakétákat építeni, mert egyszerre akart eljutni a világűrbe és képes akart lenni ellenséges városok megsemmisítésére. A technika ugyanaz lehetett, a cél teljesen eltérő.

14. fejezet - Az űrverseny felgyorsul

A Szputnyik-sokk után az Egyesült Államok intézményi választ adott. 1958-ban létrejött a National Aeronautics and Space Administration, a NASA. Az új szervezet nem a semmiből épült: magába olvasztotta a repüléskutatással foglalkozó NACA infrastruktúráját, laboratóriumokat és később katonai rakétás csoportokat is. Az amerikai űrprogram ettől kezdve olyan állami méretű vállalkozás lett, amelyről Goddard a roswelli években legfeljebb álmodhatott.

Az első amerikai műhold, az Explorer-1 1958 januárjában indult el a Jupiter-C hordozórakétával. A rakéta von Braun csoportjának munkájából származott, és világosan megmutatta a V-2 utáni amerikai rakétafejlődés folytonosságát. A műhold James Van Allen kísérletével felfedezte a Föld körüli sugárzási öveket. A rakéta így ismét azt a szerepet töltötte be, amelyet Goddard már évtizedekkel korábban elképzelt: új tudományos tartományba emelt műszert.

A következő lépés az emberes űrrepülés volt. A Mercury-programban az Egyesült Államok előbb szuborbitális, majd orbitális repüléseket hajtott végre.

Alan Shepard 1961. május 5-i repülését Redstone rakéta indította, amelynek technikai családfája a német rakétaörökségig vezetett vissza. John Glenn 1962-ben Atlas rakétával került meg a Földet. A rakéta ebben a korszakban már nem kísérleti gép volt, hanem olyan rendszer, amelynek meghibásodása közvetlenül emberéletet veszélyeztetett.

John F. Kennedy 1961 májusában azt a célt tűzte ki, hogy az Egyesült Államok az évtized vége előtt embert juttat a Holdra és biztonságban vissza is hozza. A bejelentés technikailag szinte abszurdnak tűnhetett. Ekkor az amerikaiak összesített emberes űrrepülési tapasztalata percekben volt mérhető, és még egyetlen amerikai sem került meg a Földet. A cél eléréséhez olyan hordozórakéta kellett, amely teljesítményében nagyságrendileg meghaladta az addigi rendszereket.

A feladat a Saturn rakétacsaládhoz vezetett. Wernher von Braun és a Marshall Space Flight Center mérnökei a Saturn I és Saturn IB lépcsőin keresztül jutottak el a Saturn V-höz. A rendszer három fokozatból állt, több mint 110 méter magas volt, induló tömege megközelítette a 3000 tonnát. Első fokozatának öt F-1 hajtóműve együttesen olyan tolóerőt termelt, amely mellett Goddard teljes kísérleti programja miniatúrnek

hatott volna.

A Saturn V mégsem egyetlen ember „nagyra növesztett rakétája” volt. Százezrek munkája, vállalatok, egyetemek, kutatóközpontok és állami szervek együttműködése kellett hozzá. Az F-1 hajtómű égési instabilitási problémáin mérnökök hosszú sorozatokban dolgoztak; a J-2 folyékony hidrogént használt, amely kriogén kezelése új műszaki kultúrát igényelt; az irányítórendszer digitális számítógépet alkalmazott; a fokozatok és az űrhajó integrációja pedig addig példátlan rendszermérnöki feladat volt.

1969. július 16-án az Apollo-11 Saturn V rakétája felemelkedett a Kennedy Űrközpont 39A indítóállásáról. Másnap egy amerikai napilap rövid helyreigazítást közölt az 1920-as, Goddardot gúnyoló szerkesztőségi álláspontról, elismerve, hogy Newton törvényei valóban működnek, és a rakéta vákuumban is képes haladni. A gesztus jelképes volt. Negyvenkilenc év telt el a nevetségessé tevő cikk és a Hold felé tartó emberes űrhajó között.

Amikor Neil Armstrong és Buzz Aldrin július 20-án leszállt a Holdon, Goddard fiatalkori álma részben valóra vált. Nem ő tervezte a Saturn V-öt, és technikai útja nem

vezetett egyenes vonalban az Apollo-programig. Mégis ő volt azok egyike, akik akkor vették komolyan az űrutazás mérnöki lehetőségét, amikor a legtöbb ember számára az még az irodalmi fantázia része volt. Az Apollo sikere ezért nem Goddard egyéni győzelme, hanem annak a gondolatnak a történelmi igazolása, amelyhez ő egész életében ragaszkodott.

15. fejezet - Mitől működik egy rakéta?

A rakéta technikatörténete könnyen elveszik a nevek, dátumok és típusjelzések között, pedig a lényeg néhány könnyörtelen fizikai összefüggésből következik. A rakéta nem azért különleges, mert rendkívül erős motorja van, hanem mert saját hajtóanyagát és oxidálószerét is magával viszi. Egy sugárhajtású repülőgép a környező levegőt használja fel az égéshez, ezért légkör nélkül nem működhet. A rakétának nincs szüksége erre: az üzemanyag mellett azt az anyagot is viszi, amely az égéshez szükséges oxigént vagy más oxidálószeret biztosítja. Ez teszi lehetővé a működést a világűr vákuumában.

A hajtómű égésterében nagy nyomású, forró gáz keletkezik. A gáz a szűkülő, majd táguló fúvókán áthaladva felgyorsul és nagy sebességgel távozik. A rakéta ennek ellenhatásaként az ellenkező irányba gyorsul. A folyamat Newton harmadik törvényének közvetlen következménye, de a rakéta teljesítményét nem egyszerűen a tolóerő nagysága határozza meg. Legalább ennyire fontos, milyen hatékonyan alakítja a hajtóanyag kémiai energiáját nagy sebességű

gázsugárrá.

A rakétamérnökök egyik alapfogalma a fajlagos impulzus. Egyszerűsítve azt mutatja meg, mennyi tolóerőt lehet adott hajtóanyag-mennyiségből előállítani. Minél magasabb ez az érték, annál hatékonyabb a hajtómű. A folyékony hidrogén és folyékony oxigén párosa rendkívül jó fajlagos impulzust ad, de a hidrogén kezelése nehéz: nagyon alacsony hőmérsékleten kell tárolni, kis sűrűsége miatt nagy tartályt igényel, és könnyen szivárog. A kerozin sűrűbb és kezelhetőbb, ezért első fokozatokban sokáig vonzó választás maradt. Goddard benzin–folyékony oxigén rendszere ugyanennek a mérnöki kompromisszumnak egy korai változata volt.

A másik alapvető összefüggés a Ciolkovszkij-egyenlet. Ez azt mutatja meg, hogy a rakéta elérhető sebességváltozása a hajtómű kiáramlási sebességétől és a kezdeti, illetve végső tömeg arányától függ. Az egyenlet egyik kegyetlen következménye, hogy nagy sebességhez a rakéta induló tömegének óriási részét hajtóanyagoknak kell kitennie. A hasznos teherhez képest szinte minden más csak arra szolgál, hogy a szükséges energiát előállítsa és túlélje az út első perceit.

Ezért fontos a több fokozat. Ha az üres tartályokat és elhasznált hajtóműveket a repülés közben leválasztják, a következő fokozatnak már nem kell ezt a felesleges tömeget gyorsítania. Goddard és Ciolkovszkij egyaránt korán felismerte a többfokozatú rendszer jelentőségét. A gyakorlat azonban sokáig nehéz volt. A fokozat szétválasztása megbízható mechanizmust, gyújtási sorrendet és stabil repülést kíván. Egy hiba a néhány másodperces átmenetben az egész küldetést megsemmisítheti.

A rakéta ezért nem egyetlen motor, hanem tömeggazdálkodási rendszer. A mérnök minden kilogrammot mérlegel. Ha vastagabbra építi a tartályt, biztonságosabb lesz, de csökken a hasznos teher. Ha több üzemanyagot tölt bele, nagyobb teljesítményhez jut, de nehezebb járművet kell a kezdeti pillanatban felemelnie. Ha erősebb hajtóművet tervez, több hőt és rezgést kell kezelnie. A rakétaépítésben szinte nincs ingyenes nyereség.

Goddard nagysága részben abban állt, hogy ezt a rendszerszintű problémát korán megértette. Nem elégedett meg azzal, hogy a rakéta elvileg működik. Arra kereste a választ, hogyan lehet az energiaveszteségeket csökkenteni, a szerkezet tömegét mérsékelni, a

hajtóanyagot megbízhatóan adagolni és a járművet irányban tartani. A 20. század későbbi rakétamérnökei sokkal jobb anyagokkal, számítógépekkel és gyártási technológiával dolgoztak, de alapvetően ugyanazokkal a kompromisszumokkal küzdöttek.

16. fejezet - A rakéta mint rendszer

Az űrrepülés egyik legnagyobb tanulsága, hogy a működő rakéta nem attól születik meg, hogy minden alkatrésze külön-külön kiváló. Az elemeknek rendszerként kell együtt működniük. A hajtómű rezgése hat a tartályokra, a tartálynymomás a hajtóanyag-ellátásra, a tömeg eloszlása a vezérlésre, a vezérlés a szerkezeti terhelésre. Egy olyan döntés, amely egy részrendszert javít, máshol új hibát idézhet elő.

A Saturn V fejlesztésénél például az F-1 hajtómű égési instabilitása életveszélyes probléma volt. Az égéstérben kialakuló nyomáslengések töredékmásodpercek alatt olyan erőssé válhattak, hogy a motor megsemmisült. A megoldást nem egyetlen elméleti számítás adta. Kísérletek, módosított befecskendezők és szándékosan előidézett zavarok hosszú sora kellett ahhoz, hogy a mérnökök bebizonyítsák: az égés vissza tud állni stabil állapotba. Ez a módszer lényegében ugyanazt a gondolkodást képviselte, amelyet Goddard kis próbapadjain látunk, csak sokkal nagyobb szervezetben és mérési pontossággal.

Az irányítás ugyanígy rendszerszintű feladat. Egy hordozórakéta nem egyszerűen „felfelé” repül. Az orbitális pályához jelentős vízszintes sebességet kell szereznie, ezért a repülés első szakasza után fokozatosan megdől, és hosszú íven gyorsít a horizont irányába. Ha túl meredeken emelkedik, túl sok energiát fordít magasságra; ha túl laposan, túl sok időt tölt a sűrű légkörben, ahol a légellenállás és az aerodinamikai terhelés nő. Az optimális pálya folyamatos kompromisszum.

A modern rakéta számítógépe másodpercenként sokszor értékeli az érzékelők adatait és módosítja a hajtóművek irányát. Goddard ezt mechanikus giroszkópokkal, reléekkel és egyszerű szabályozókkal kezdte megoldani. A két rendszer között technológiai szakadék van, a logika mégis közös: meg kell határozni a jármű tényleges helyzetét, össze kell hasonlítani a kívánt állapottal, majd korrekciós parancsot kell adni.

A megbízhatóság különösen nehéz kérdés. Egy autóban a motorhiba kellemetlen, de sok esetben meg lehet állni az út szélén. Egy rakétánál a hajtómű leállása az első percekben gyakran a küldetés végét jelenti. A szerkezetet olyan extrém rezgés, gyorsulás, akusztikus terhelés és hőhatás éri, amelyet kevés más gép tapasztal.

A hibák ráadásul egymást erősíthetik. Egy kis szivárgás tüzet okozhat, a tűz vezetéket égethet át, az irányítórendszer elveszhet, majd az egész rakéta megsemmisülhet.

Ezért a rakétatechnika fejlődését nem csak a sikeres indítások száma jelzi. A kudarcok elemzése legalább ilyen fontos. A V-2 kísérleti sorozatai, az amerikai Vanguard látványos 1957-es robbanása, a szovjet Nedelin-katasztrófa, az Apollo-1 földi tüze, a Challenger és a Columbia tragédiája mind azt mutatták, hogy a komplex rendszerekben a technikai hiba és a szervezeti döntés összekapcsolódik. A biztonság nem kizárólag mérnöki, hanem intézményi kultúra kérdése is.

Goddard kis csapatában a döntések gyorsan és személyesen születtek. Ez lehetővé tette a rugalmas kísérletezést, de korlátozta a független ellenőrzést. A NASA később ellenkező irányba ment: formális felülvizsgálatok, dokumentációs követelmények és többszörös tesztelés épült be a rendszerbe. A bürokrácia sokszor lassította a munkát, ugyanakkor egy ember tévedésének hatását csökkentette. A modern úripari vállalatok ma is e két véglet között keresik az egyensúlyt: hogyan lehet gyorsan fejleszteni úgy, hogy a kockázat ne váljon ellenőrizhetetlenné.

17. fejezet – Az egyszer használható óriások kora

Az Apollo-korszakban a rakéta lényegében egyszer használatos gép volt. A Saturn V első fokozata néhány perc működés után az Atlanti-óceánba zuhant, a második és harmadik fokozat szintén elhasználódott vagy más pályán végezte. Műszaki szempontból ez pazarlónak tűnt, de a kor prioritásai között nem a gazdaságosság állt az első helyen. A cél az volt, hogy a Hold-program határidőre sikerüljön, és az Egyesült Államok megnyerje az űrverseny látványos szakaszát.

A rakétahajtómű olyan nagy teljesítményű és összetett eszköz, hogy logikusnak tűnik az újrafelhasználás. A repülésben senki nem épít utasszállító gépet egyetlen útra. A rakéta azonban más környezetben működik. A fokozatok hatalmas sebességet érnek el, majd visszatéréskor hőt, aerodinamikai terhelést és bonyolult manővereket kell túlélniük. Ha az újrafelhasználás érdekében szárnyat, futóművet, hővédő pajzsot vagy leszálló hajtóanyagot visznek, ez mind csökkenti a pályára juttatható hasznos terhet.

Az amerikai Space Shuttle éppen ezt a problémát próbálta új megközelítéssel megoldani. A rendszer

1981-ben állt szolgálatba. Az űrrepülőgép-orbiter és nagy értékű főhajtóművei visszatértek, a két szilárd gyorsítórakétát az óceánból kiemelték és felújították, csak a külső üzemanyagtartály semmisült meg minden repüléskor. A Shuttle látványosan bizonyította, hogy nagy űreszköz visszahozható és újra használható.

Gazdasági áttörést azonban nem hozott. Az orbiter hővédő csempéinek ellenőrzése, a főhajtóművek karbantartása, a gyorsítórakéták felújítása és a teljes földi infrastruktúra rendkívül munkaigényes volt. A program egyetlen indítása nem vált olyan olcsóvá és rutinszerűvé, mint a kezdeti várakozások sugallták. A Challenger 1986-os és a Columbia 2003-as katasztrófája pedig tragikusan megmutatta, hogy az összetett rendszer biztonsági kockázatai sem tűntek el.

A Shuttle mégsem zsákutca volt. Harminc éven át embereket, műholdakat, laboratóriumi modulokat és a Nemzetközi Űrállomás elemeit szállította. Segítségével javították a Hubble űrtávcsövet, és olyan nagyméretű rakományokat vittek pályára, amelyeket más rendszerrel nehéz lett volna kezelni. Az újrafelhasználhatóság gyakorlati tapasztalata pedig később más vállalkozások gondolkodását is befolyásolta.

A 20. század végére egyre világosabb lett, hogy az űrrepülés költségének döntő része nem feltétlenül a hajtóanyag. A kerozin, oxigén vagy hidrogén ára eltörpülhet a rakéta, a személyzet, a gyártóüzem, az indítókomplexum és a hosszú előkészítés költsége mellett. Ha egy drága első fokozatot sokszor lehet használni minimális felújítással, elvben jelentősen csökkenthető egy indítás ára. A kérdés az volt, lehet-e ezt úgy megoldani, hogy az újrafelhasználás maga ne váljon drágábbá a gyártásnál.

18. fejezet – Visszatérés a lángcsóván

A 21. század első évtizedeiben az amerikai űripar szerkezete is megváltozott. A NASA egyre több feladatot szerződött ki magánvállalatoknak, nem csupán alkatrészek gyártására, hanem komplett szállítási szolgáltatásokra. A kereskedelmi teher- és személyszállítási programok új ösztönzőket hoztak. A vállalatok nem kizárólag állami tulajdonú rakétákat építettek kormányzati terv alapján, hanem saját hordozórendszert fejlesztettek, amelyhez a NASA szolgáltatást vásárolt.

A SpaceX Falcon 9 rakétája ennek a korszaknak az egyik legfontosabb szereplője lett. Kétfokozatú rendszer, első fokozatán kilenc Merlin hajtóművel. A műszaki fordulat azonban nem önmagában a motorokban vagy a hajtóanyagban állt, hanem abban, hogy az első fokozatot irányítottan visszafordították, belépéskor fékeztek, majd hajtóműves leszállással függőlegesen visszahozták. Az első sikeres szárazföldi Falcon 9 elsőfokozat-leszállás 2015 decemberében történt.

A megoldás első látásra pazarló: a rakétának tartalék hajtóanyagot kell vinnie a visszatéréshez, leszállólábakat

és aerodinamikai vezérlőelemeket cipel, miközben ezek a pályára juttatható hasznos teherből vesznek el. A gazdasági logika azonban más. Ha a fokozat szerkezetét és kilenc hajtóművét újra lehet indítani jelentős átépítés nélkül, a gyártási költség több repülés között oszlik meg. A rendszer akkor nyer, ha az elvesztett teherkapacitás értéke kisebb, mint a megmentett hardveré és a felújítás költsége.

A Falcon 9 azért vált mérföldkővé, mert az újrafelhasználást nem egyszeri bemutatóként, hanem rendszeres üzemmént valósította meg. A NASA saját ismertetője a típust az első olyan orbitális osztályú rakétaként írja le, amely újra repülésre képes. A rakéta 2012-től teherűrhajókat vitt a Nemzetközi Űrállomásra, 2020-ban pedig Crew Dragon űrhajóval amerikai földről ismét embereket indított Föld körüli pályára.

Goddard és a Falcon 9 között száz év és technológiai szakadék húzódik, mégis érdekes párhuzamok láthatók. Mindkettő folyékony oxigént használ oxidálószerként, mindkettőnél a hajtómű irányítása és a stabil repülés alapvető probléma, és mindkettő fejlesztésében nagy jelentősége volt a gyors kísérleti visszacsatolásnak. A különbség a lépték mellett a szervezeti környezet. Goddard kis műhelyében egy sikertelen repülés hetek

vagy hónapok munkáját jelenthette. Egy modern vállalat sokkal nagyobb gyártási kapacitással, szenzoradatokkal, szimulációval és automatizált rendszerekkel dolgozik.

Az újrafelhasználás ugyanakkor nem cáfolja a rakétaegyenletet. A fizika ugyanaz marad. A leszálláshoz félretett hajtóanyag tömeg, a lábak tömeget jelentenek, a hővédelem szintén. A technikai fejlődés abból született, hogy a mérnökök elég könnyű szerkezetet, elég hatékony motort és elég pontos irányítást tudtak létrehozni ahhoz, hogy a gazdasági mérleg mégis kedvező legyen. Az űripar itt ugyanazt teszi, amit Goddard idején: a fizika által engedett szűk tartományban keres olyan műszaki kompromisszumot, amely működő rendszerré áll össze.

19. fejezet - Goddard helye a három úttörő között

A rakétatörténet klasszikus hármasa Konsztantyin Ciolkovszkij, Robert Goddard és Hermann Oberth. Mindhármukat időnként a modern rakétatechnika vagy az űrhajózás atyjaként emlegetik, ami jól mutatja, mennyire értelmetlen egyetlen névhez kötni egy ilyen összetett technológia születését. A három ember más feladatot oldott meg, más kulturális közegben élt, és más módon hatott az utókorra.

Ciolkovszkij elsősorban elméleti keretet adott. Az ő munkája világossá tette, hogyan függ össze a rakéta tömegaránya, a kiáramlási sebesség és az elérhető sebességváltozás. Elképzelései között folyékony hajtóanyag, több fokozat, űrállomások és távoli űrutazás is szerepelt. Sok ötlete messze megelőzte a technika lehetőségeit, de éppen ezért inspirációs ereje hatalmas lett a későbbi szovjet űrkultúrában.

Oberth elmélet és mozgalom között állt. Matematikailag és fizikailag komolyan érvelt az űrrepülés mellett, ugyanakkor könyvei a szélesebb német közönséget is elérték. Tanítványok, lelkes amatőrök és fiatal mérnökök egész nemzedékét ösztönözte. Nélküle a

német rakétatársaságok, és közvetve von Braun pályája is másként alakulhatott volna. Oberth hatása ezért részben intézményi és kulturális.

Goddard a kísérletező volt. Nem csak megmutatta papíron, hogy a rakéta működhet, hanem maga építette meg a motort, szelepet, tartályt, vezérlést és indítóállványt. A folyékony hajtóanyagú rakétát fizikai tárggyá alakította. Ebben a szerepben különösen erős a történelmi helye. Az 1926-os repülés objektív mérföldkő, amelyet nem kell túlzó legendával megerősíteni.

A három úttörő közötti különbség azt is megmutatja, hogy az innovációnak több formája van. Egy elméleti egyenlet, egy közösséget mozgósító könyv és egy működő prototípus egyaránt döntő lehet. Ha bármelyik hiányzik, a technológia lassabban vagy más úton fejlődik. A modern tudománytörténet ezért egyre kevésbé keresi a „feltalálás pillanatát”, és inkább hálózatokat, párhuzamos fejlesztéseket és intézményi környezetet vizsgál.

Goddardot ugyanakkor a saját legendájától is meg kell védeni. Ha minden későbbi rakétatechnikai elem előfutárát benne akarjuk megtalálni, éppen valódi teljesítménye mosódik el. Nem ő építette a V-2-t, nem ő

dolgozta ki a szovjet R-7-et, és nem ő tervezte a Saturn V-öt. Sok ötlete másoknál is megjelent. A jelentősége abban áll, hogy rendkívül korán, rendkívül kevés erőforrással működő rendszert hozott létre, és ezzel a rakétaúrhajózást a spekulációból a mérnöki gyakorlat területére vitte.

20. fejezet - A magányos zseni mítosza

Goddard története kiváló példája annak, hogyan születik a „magányos zseni” mítosza. A fényképeken gyakran egyedül áll a rakéta mellett: magas, vékony alak, kezében eszköz vagy jegyzet, körülötte a sivatag. A kép erős és könnyen megjegyezhető. A valóságban azonban még az ő kifejezetten kis programja sem volt egyszemélyes vállalkozás. Asszisztensek, gépészek, egyetemi kollégák, családtagok, támogatók és finanszírozók nélkül nem jutott volna el a repülő rakétáig.

A Smithsonian pénze nélkül a korai kísérletek sokkal lassabban haladtak volna. Charles Abbot szakmai támogatása legitimációt adott a kutatásnak. Lindbergh hírneve megnyitotta az utat a Guggenheim-finanszírozás felé. Esther a dokumentációtól a mindennapi szervezésig rengeteg terhet vett át. A roswelli műhelyben dolgozó technikusok pedig valós alkatrészekké alakították Goddard rajzait és elképzeléseit. A technikai alkotás mindig társadalmi folyamat is.

A magányos zseni mítosza azért vonzó, mert egyszerű történetet kínál. Van egy ember, akinek ötlete támad, a

világ kineveti, ő kitart, végül igaza lesz. Goddard életében valóban megtalálhatók ennek elemei, de a kép elrejtí a tévedéseit. A felül elhelyezett hajtómű stabilizáló hatásában például rosszul bízott, sok konstrukciója nem működött, egyes fejlesztési irányai zsákutcába vezettek. Az úttörő munka természetéhez hozzátartozott a kudarc.

A mítosz azt is elfedi, hogy a technológiát végül nem magányos zsenik, hanem intézmények vitték el a világúrig. A V-2, az R-7, a Saturn V és a Falcon 9 egyaránt nagy szervezetek terméke. A vezető tervező fontos, de a rendszer sikerét több ezer részfeladat megoldása adja. A rakétához hegesztő, anyagvizsgáló, programozó, minőségbiztosító, meteorológus és logisztikus ugyanúgy kell, mint hajtóműtervező.

Goddard saját magányossága részben tudatos választás volt. Nem csupán azért dolgozott kis körben, mert senki nem értette meg. Sokszor nem is engedte, hogy mások teljesen megismerjék a munkáját. Ezzel megvédte szellemi tulajdonát, de elvesztette annak lehetőségét, hogy életében széles mérnöki iskolát építsen. A története ezért nem csak kitartásról, hanem az együttműködés korlátairól is szól.

A tudománytörténet szempontjából éppen ettől érdekes. Goddard nem hibátlan hős, hanem hús-vér kutató, aki erősségeit és gyengeségeit egyszerre vitte bele a programjába. Makacssága nélkül talán feladta volna, amikor kinevették. Ugyanez a makacsság később akadályozta a nyitottságot. A két tulajdonság nem választható el egymástól.

21. fejezet - Száz év távolságból

2026. március 16-án a folyékony hajtóanyagú rakéta első repülésének századik évfordulóját már egy olyan világ ünnepelte, amelyben a rakéta hétköznapi infrastruktúra lett. Navigációs, időjárási, távközlési és földmegfigyelő műholdak ezrei szolgálják a mindennapi életet. Az internetes adatkapcsolatok, banki időszinkronizálás, térképes alkalmazások és globális meteorológia jelentős része űreszközöktől függ. A rakéta többé nem önmagában szenzáció; akkor kerül címlapra, ha különösen nagy, különösen új vagy sikertelen.

Ez talán a legjobb mércéje Goddard korai álma megvalósulásának. Az űrrepülés már nem fantasztikum, hanem iparág. Állami űrügynökségek mellett magánvállalatok indítanak műholdakat, űrhajókat és kísérleti járműveket. A hordozórakéták első fokozatai egyes rendszereknél visszatérnek és újra repülnek. A kis műholdak tömeggyártása olyan indítási piacot teremtett, amelyet a hidegháború első évtizedeiben nehéz lett volna elképzelni.

A technika azonban nem vált egyszerűvé. A rakéták ma is felrobbanhatnak, a fejlesztési programok

csúszhatnak, a költségek elszállhatnak. A kriogén hajtóanyag ugyanúgy kényes anyag, mint Goddard idején, csak a kezelési technika lett kifinomultabb. A hajtóművek ugyanazokkal az alapvető problémákkal – hővel, nyomással, rezgéssel és instabil égéssel – küzdenek, csak sokkal nagyobb teljesítményszinten.

A századik évforduló különösen alkalmas arra, hogy a rakétatörténetet kiszabadítsuk a nemzeti hőstörténetekből. Az amerikai Goddard, az orosz Ciolkovszkij, a német-erdélyi szász Oberth, a szovjet Koroljov és a német von Braun mind más politikai és kulturális közegben dolgozott. Az űrtechnika története egyszerre nemzetközi és geopolitikai. Az ötletek határokon keltek át, miközben az államok katonai titokként kezelték őket.

A Goddard-centenárium azt is megmutatja, mennyire megváltozott az úttörő fogalma. 1926-ban egy egyetemi professzor néhány segítővel valóban alapvető technikai áttörést tudott végrehajtani egy farmon. Ma egy orbitális hordozórakéta fejlesztéséhez hatalmas számítógépes infrastruktúra, beszállítói hálózat, szabályozási környezet és tőke kell. A garázsban születő űrvállalat romantikus képe mögött is komoly ipari háttér áll.

Mégis van valami közös a havas auburni föld és a modern indítóállások között. A rakéta minden felszállásnál ugyanazt a kérdést válaszolja meg: lehet-e egy mesterséges tárgyat pusztán saját hajtóanyagának kilövellésével elég gyorsra gyorsítani ahhoz, hogy elszakadjon a Föld felszínétől, és eljusson oda, ahol már nem repülésről, hanem űrpályáról beszélünk. Goddard válasza 1926-ban mindössze 2,5 másodpercig tartott, de elegendő volt ahhoz, hogy a kérdés többé ne maradjon elméleti.

22. fejezet - A szabadalom mint pajzs és börtön

Goddard pályájának megértéséhez külön is érdemes foglalkozni a szabadalmakkal. A 20. század eleji amerikai feltalálói kultúrában a szabadalom nem mellékes jogi forma volt, hanem az egyéni találmány gazdasági értékének legfontosabb biztosítója. Edison, Bell és számos más ismert feltaláló története azt mutatta, hogy az első ötlet önmagában kevés: aki nem védi le jogilag, könnyen elveszítheti az ellenőrzést a hasznosítás fölött. Goddard ebből a világból indult, és rendkívüli gondossággal jegyezte fel ötleteit, rajzait és kísérleteit.

Az 1914-ben megadott két szabadalma már olyan alapvető elveket érintett, amelyek később a rakétatechnika természetes részeivé váltak. Az egyik többfokozatú rendszerekkel, a másik folyékony hajtóanyagok alkalmazásával foglalkozott. E dokumentumok jelentősége nem abban áll, hogy minden későbbi rakéta jogilag vagy technikailag ezekből következett volna. Inkább azt bizonyítják, hogy Goddard nagyon korán egyetlen összefüggő mérnöki rendszer részeként gondolt a nagy magasságú rakétára.

A szabadalmi gondolkodás azonban befolyásolta személyiségét és munkamódszerét is. Ahelyett, hogy egyre szélesebb kutatói közösséget épített volna maga köré, gyakran attól tartott, hogy az együttműködés ötletvesztéssel jár. Ez a félelem nem volt teljesen alaptalan. A gyorsan fejlődő repülőgépiparban és elektrotechnikai iparban éles szabadalmi viták zajlottak, és egy egyetemi professzor pénzügyileg gyenge pozícióban volt a nagyvállalatokhoz képest. Goddard mégis olyan mértékben kötötte össze az alkotói autonómiát a titoktartással, hogy ez a saját programja növekedését is akadályozta.

A helyzet különös iróniája, hogy a legnagyobb pénzügyi elismerés halála után érkezett. Esther Goddard és Harry Guggenheim hosszú éveken át dolgozott a még be nem nyújtott találmányok szabadalmi rendezésén, és összesen 214 szabadalom kapcsolódott végül Goddard nevéhez. A későbbi rakéták fejlesztésekor az amerikai kormány számos olyan megoldást alkalmazott, amelyek valamely formában érintették ezeket a szabadalmi igényeket. Az örökösök és a kormány közötti jogvita végül jelentős pénzügyi rendezéssel zárult.

A történet itt túlmutat a személyes örökségen. A modern nagy technológiákban a szabadalmi rendszer

nehezen illeszkedik ahhoz a valósághoz, hogy egy bonyolult eszköz több ezer részmegoldásból áll. Ki a „feltalálója” egy rakétának? Aki először szabadalmaztatja a több fokozat elvét, aki működőképes turbószivattyút készít, aki megoldja az égési instabilitást, vagy aki az egészet gyártható rendszerre szervezi? A jog kénytelen egyedi igényekben gondolkodni, a technikatörténet viszont folyamatokat lát.

Goddard szabadalmai emiatt egyszerre mutatják a feltaláló előrelátását és a feltalálói modell korlátait. Egy kis műhelyben dolgozó ember számára a szabadalom valódi pajzs lehetett. Az úrkorszak méretében azonban a technológia már kollektív vállalkozássá vált. A Saturn V vagy egy modern kereskedelmi hordozórakéta fejlesztését nem lehet egyetlen jogi dokumentumban megragadni. A rakéta iparággá válásával a tudás tulajdonjoga is összetettebb lett.

23. fejezet - A rakéta mint tudományos műszer

A rakéták történetét gyakran a fegyverek és az emberes űrrepülés uralja, pedig Goddard eredeti indítéka közelebb állt a tudományos műszerezéshez. A 20. század elején a felső légkör jelentős része gyakorlatilag hozzáférhetetlen volt. A ballonok magassági rekordokat értek el, de egy ponton túl a légkör ritkulása miatt nem tudtak tovább emelkedni. A repülőgépeknek szintén levegőre volt szükségük. A csillagászok és meteorológusok közvetett módszerekkel következtettek arra, mi történik magasabban.

Goddard számára a rakéta eleinte nem emberes űrhajó, hanem függőleges laboratóriumi lift volt. Ha néhány kilogrammnyi műszert fel lehet juttatni több tíz kilométerre, közvetlenül mérhetővé válik a hőmérséklet, a nyomás, a sugárzás és a légkör összetétele. Ez a gondolat kifejezetten tudományos programba illeszkedett, és a Smithsonian támogatása is részben ezért volt lehetséges. A Hold és a bolygóközi repülés látványosabb sajtótémát adott, de Goddard gyakorlati érvei között a meteorológia kezdettől fontos helyen állt.

Az 1929-es rakétarepülés, amely barométert és kamerát vitt, ennek a programnak korai megvalósulása volt. A hasznos teher fogalma itt kapott valós tartalmat. A rakéta többé nem csak önmagát próbálta felemelni; valamit vitt, ami a repülésből tudományos információt termelhetett. E különbség döntő, mert az űrhordozó értéke végső soron nem a saját repülésében, hanem a hasznos teher rendeltetésében van.

A második világháború után a zsákmányolt V-2 rakéták amerikai indításai gyorsan új szintre emelték a felső légköri kutatást. Kamerák olyan magasságból fényképezték a Földet, ahonnan már láthatóvá vált a horizont görbülete. Detektorok a kozmikus sugárzást és a Nap ultraibolya tartományát vizsgálták. A fegyverből tudományos rakéta lett, és kialakult a sounding rocket, magyarul magaslégköri vagy kutatórakéta műfaja.

Ezek a rakéták nem állnak Föld körüli pályára. Rövid időre nagy magasságba emelkednek, majd visszahullanak. Éppen ezért olcsóbbak és egyszerűbbek lehetnek az orbitális küldetéseknél. Sok kísérlethez néhány perc súlytalanság vagy rövid, légkör fölötti mérési idő elegendő. A sounding rocket máig fontos kutatási eszköz, különösen olyan műszerek tesztelésére, amelyeket később műholdon vagy űrszondán használnak.

E fejlődési vonal különösen közvetlen kapcsolatot mutat Goddard eredeti elképzeléseivel. Az emberes Hold-utazás történetében túlzás lenne azt mondani, hogy Apollo közvetlenül az ő rakétájából fejlődött. A felső légköri rakétás műszerkutatóknál viszont a cél azonossága feltűnő. Goddard azt akarta, hogy a rakéta oda vigye a műszert, ahová ballon nem jut el. A háború után ez a gondolat mindennapos tudományos gyakorlattá vált.

Az űrtudomány későbbi fejlődése tovább tágította ezt a logikát. Műholdas meteorológia, röntgencsillagászat, gamma-csillagászat, Föld-megfigyelés, bolygókutató szondák és űrtávcsövek mind ugyanazt a lépést ismétlik meg magasabb szinten: a műszert kiemelik a földi környezet korlátozó feltételei közül. A rakéta önmagában nem ad választ tudományos kérdésekre, de eljuttatja a detektort oda, ahol új jelenségek mérhetők. Goddard talán ebben az értelemben láthatta volna a leginkább saját álma folytatását a későbbi űrkorszakban.

24. fejezet - Háború, tudomány és felelősség

A rakétatörténetben nehéz éles határt húzni békés kutatás és katonai fejlesztés közé. Ugyanaz a hajtóművi elv vihet meteorológiai műszert és robbanófejet. Ugyanaz az inerciális navigáció tarthat pályán űrszondát és ballisztikus rakétát. Ugyanaz a nagy tolóerejű első fokozat lehet egy műholdas hordozórendszer vagy stratégiai fegyver technológiai rokona. Ezt a kettős felhasználást nem utólag ragasztották a rakétára; kezdetől része volt a történetének.

Goddard maga is dolgozott katonai feladatokon. Az első világháborúban rakétafegyvert demonstrált, a másodikban haditengerészeti rásegítő rendszereket fejlesztett. Nem volt tehát kizárólag pacifista tudós, akinek találmányát mások később eltorzították. Ugyanakkor életének fő célja nem a tömegpusztító fegyver megalkotása volt. A nagy magasságú kutatás és végső soron az űrutazás érdekelte. A két irány azonban a technika szintjén folyamatosan összekapcsolódott.

A V-2 teszi ezt a dilemmát a legélesebbé. A rakéta technikai teljesítményét nem lehet letagadni: az első nagy, irányított, folyékony hajtóanyagú ballisztikus

rendszer volt, amely elérte az űr peremét. Ugyanakkor gyártása rabok tömeges kizsákmányolására és halálára épült, alkalmazásának célja pedig városok támadása volt. A mérnöki teljesítmény ünneplése önmagában erkölcsileg vak lenne, ha nem beszélnénk arról, milyen rendszer és milyen emberi ár tette lehetővé.

Wernher von Braun amerikai pályája tovább bonyolította ezt az örökséget. Az Egyesült Államok számára a hidegháború elején a német szakértelem stratégiai értéket jelentett. Von Braun később a Hold-program egyik arca lett, televízióban népszerűsítette az űrutazást, és a Saturn V fejlesztésének vezető alakjaként az emberiség egyik legnagyobb technikai teljesítményéhez kapcsolódott. Ugyanaz az életút azonban Peenemündén és a náci fegyverprogramon keresztül vezetett Huntsville-be.

A tudománytörténet feladata nem az, hogy egyszerű erkölcsi címkéket osszon, hanem hogy a teljes összefüggést megmutassa. A technikai tudás önmagában nem erkölcsös vagy erkölcstelen, de létrehozása és felhasználása konkrét intézményekben történik. A mérnök döntései nem választhatók el attól, milyen célra dolgozik, milyen munkakörülményeket fogad el és milyen politikai rendszerrel működik együtt.

Goddard története ebből a szempontból kevésbé tragikus, de tanulságos. Ő is kereste a katonai támogatást, mert tudta, hogy a rakétakutatás drága. Ha az amerikai hadsereg az 1930-as években olyan programot ajánl neki, mint amelyet von Braun Németországban kapott, valószínűleg elfogadta volna a lehetőséget. A történelmi különbség részben abból fakadt, hogy az Egyesült Államok katonai vezetése akkor még nem tartotta elég fontosnak a nagy rakétát.

A modern űriparban ugyanez a kettősség tovább él. A műholdak polgári kommunikációt szolgálnak, de katonai felderítést is végeznek. A kereskedelmi hordozórakéták állami és védelmi megrendeléseket egyaránt teljesítenek. A rakétatechnika története ezért nem tisztán a tudomány diadalmenete. A kíváncsiság, a gazdasági érdek, a nemzeti presztízs és a katonai hatalom kezdettől együtt hajtotta előre.

25. fejezet - Mit látna Goddard ma?

Ha Robert Goddard végigsétálhatna egy mai rakéta-integrációs csarnokon, elsőként alighanem a méret lepné meg. Az 1926-os szerkezet mellett néhány ember állt, kézzel kezelt szelepekkel és egyszerű állványokkal. Egy mai hordozórakéta több tíz méter magas, gyártása és indítása pedig több országon átívelő beszállítói hálózatot mozgathat meg. A rakétatechnika a magányos műhelyből iparággá vált.

A második meglepetés talán a számítógép lenne. Goddard mechanikus és elektromechanikus vezérlőrendszerekkel dolgozott, mérési adatait papíron és analóg műszereken rögzítette. Ma a tervezés nagy része számítógépes szimulációban kezdődik. Áramlástani modellek becsülik az égéstér viselkedését, végeselemes számítások vizsgálják a szerkezeti terhelést, repülési szoftverek ezerszer lefuttatják ugyanazt a küldetést különböző hibafeltételekkel. A fizikai teszt továbbra is elengedhetetlen, de már sokkal több kérdést lehet előre szűrni.

A hajtóműveket azonban felismerné. Az alapelrendezés – tartály, csővezeték, szelep, égéstér,

fúvóka – nem tűnt el. A regeneratív hűtés, a turbószivattyú és a hajtómű irányításának problémája ismerős lenne számára. Megértené, miért küzdenek a mérnökök a tömeggel és a rezgéssel, és valószínűleg lenyűgözné a gyártás pontossága. A modern anyagok olyan nyomást és hőmérsékletet viselnek el, amelyek az ő műhelyében elérhetetlenek voltak.

A legfurcsább talán az lenne számára, hogy a rakéták egy része visszatér. Goddard maga is gondolkodott a rakéták vagy műszerek visszanyerésén, ejtőernyős megoldásokat vizsgált, de az orbitális első fokozatok hajtóműves függőleges leszállása más lépték. Egy leszálló Falcon első fokozat látványa mégis valószínűleg ismerős logikát hordozna: ugyanazt a hajtóművet nem csupán gyorsításra, hanem pontosan szabályozott fékezésre használják.

Meglephetné az is, hogy a rakétaindítás egyre kevésbé kizárólag állami esemény. A 20. század közepén az űrprogramok nemzeti presztízsvállalkozások voltak, amelyeket szuperhatalmak finanszíroztak. A 21. században magáncégek saját tőkével, kereskedelmi megrendelésekkel és állami szerződésekkel működtetnek hordozórendszereket. A verseny gazdasági természetű is lett: indítási ár, fordulóidő, gyártási sebesség és

újrafelhasználási ciklus számít.

Ugyanakkor valószínűleg felismerné a kísérletezés kultúráját. A modern rakétafejlesztés látványos kudarcai gyakran ugyanazt a logikát követik, amelyet ő is ismert: építeni, mérni, meghibásodni, elemezni, majd javítani. A különbség a mérési adatok mennyisége és a ciklus sebessége. Goddard naplója és néhány műszere helyett ma érzékelők százai vagy ezrei küldenek adatot, a repülés minden rezdülése digitalizálható.

Talán a legnagyobb elégtételt mégsem egy rakéta adná neki. Elég lenne megmutatni a műholdképekkel készülő időjárás-előrejelzést, a távoli galaxisokat vizsgáló űrtávcsöveket vagy a Mars felszínén működő rovereket. Fiatalon azért akart nagy magasságba jutni, mert tudni akarta, mi van ott. A rakéta eszköz volt ehhez a kíváncsisághoz. Száz évvel az auburni repülés után a rakéta legfontosabb öröksége talán nem maga a gép, hanem az a tudományos hozzáférés, amelyet megnyitott.

26. fejezet – A sajtó, amely túl korán ítélt

Goddard és a sajtó konfliktusát könnyű egyetlen híres epizódra egyszerűsíteni: a tudósnak igaza volt, az újság pedig tévedett. A történet ennél érdekesebb, mert megmutatja, hogyan reagál a nyilvánosság egy olyan technikai állításra, amely messze megelőzi a mindennapi tapasztalatot. 1920-ban a rakéta szó az emberek többségének tűzijátékot vagy katonai pirotechnikai eszközt jelentett. A repülőgép alig tizenhét éve bizonyította működőképességét, a Holdra jutás pedig még a legmerészebb mérnöki vállalkozások között sem szerepelt valós programként.

Goddard ráadásul maga is hozzájárult a félreértéshez azzal, hogy részletes szakmai magyarázatait nem kísérte olyan nyilvános kommunikáció, amely a laikus közönség számára érthetővé tette volna a rakéta működését. A tudományos közleményben szereplő Hold-kísérlet – amelyben egy becsapódó jelzőanyag láthatóvá tehetné volna a találatot – a sajtóban könnyen úgy hatott, mintha a professzor már konkrét holdutazást tervezne. A technikai árnyalatok eltűntek, a látványos állítás maradt.

A közvélemény gyakran két hibát követ el új technológiákkal kapcsolatban. Az egyik, hogy a jelenlegi teljesítményt végleges határnak tekinti. Ha egy rakéta csak néhány méterre jut, akkor hajlamosak vagyunk azt gondolni, hogy az elv alkalmatlan nagy távolságokra. A másik az ellenkezője: egy korai sikerből azonnal exponenciális fejlődést jósolunk, és alábecsüljük azokat a mérnöki akadályokat, amelyek a prototípus és a megbízható rendszer között állnak. Goddard korában inkább az első tévedés dominált.

Az 1920-as vita azért vált ennyire tartóssá, mert a későbbi történelem látványosan Goddard oldalára állt. A rakéták valóban működnek vákuumban, a Holdat valóban elérték, és az űrutazás iparággá vált. Az utókor így könnyen erkölcsi mesét faragott az esetből: a jövőbe látó tudóst kinevették, majd fél évszázaddal később bocsánatot kértek tőle. A valóságban a történet fontosabb tanulsága az, hogy a tudományos újságírásban milyen veszélyes az intuitív hétköznapi tapasztalat alapján cáfolni olyan jelenséget, amelynek működését pontos fizikai elmélet írja le.

Goddard reakciója azonban szintén tanulságos. A gúny nem arra ösztönözte, hogy jobban magyarázza el munkáját, hanem arra, hogy még jobban bezárkózzon. Ez

emberileg érthető, stratégiailag viszont káros volt. A tudományos kommunikáció hiánya növelte a félreértések esélyét, és a későbbi évtizedekben is megnehezítette, hogy a szakmai közösség pontosan felmérje eredményeit.

A modern tudósok és technológiai vállalkozók más kommunikációs környezetben dolgoznak, de a probléma nem tűnt el. A mesterséges intelligencia, a génszerkesztés, a kvantumszámítógép vagy az új üreszközök körül ugyanúgy megjelenik a túlzó lelkesedés és a reflexszerű elutasítás. Goddard története arra figyelmeztet, hogy a jövő technológiáját sem érdemes pusztán azért kinevetni, mert a jelenlegi prototípus gyenge, de azért sem szabad kész tényként kezelni, mert az alapelv működik. A kettő között hosszú, költséges és bizonytalan mérnöki út húzódik.

27. fejezet – Roswell hétköznapijai

A nagy áttörések történetében gyakran eltűnnek a hétköznapiak. A rakétáról készült fénykép egyetlen pillanatot mutat: a szerkezet az állványon áll, a csapat mellette pózol, vagy lángcsóva jelzi a felszállást. A valós munka azonban a legtöbb napon nem ilyen látványos. Goddard roswelli évei tele voltak szereléssel, méréssel, javítással, várakozással, időjárási problémákkal és adminisztrációval.

A sivatagi telephely logisztikája önmagában komoly feladat volt. A folyékony oxigént megfelelő körülmények között kellett beszerezni és szállítani. Az alkatrészeket meg kellett rendelni vagy helyben legyártatni, miközben Roswell nem volt repülőgép- és rakétaipari központ. Egy meghibásodott szelep vagy rosszul megmunkált csatlakozó napokkal, akár hetekkel késleltethette a következő próbát. A mai mérnök egy globális katalógusból rendelhet szenzort vagy precíziós alkatrészt; Goddardnak gyakran magának kellett megterveznie azt is, amit ma szabványos terméként vásárolnának meg.

A tesztek jelentős része nem repülés volt, hanem statikus hajtóműpróba. A motor ilyenkor rögzített állványon működött, miközben a csapat tolóerőt, nyomást, égési időt és más paramétereket mért. Ezek a próbák tették lehetővé, hogy egy-egy problémát a teljes rakéta elvesztése nélkül vizsgáljanak. A módszer ma is alapvető. A modern hajtóműveket is hosszú földi tesztprogramoknak vetik alá, mielőtt repülésre engednék őket.

A sivatag időjárása sem volt mindig ideális. A szél különösen veszélyes lehetett egy korai, gyengén irányítható rakétánál. A hőmérséklet befolyásolta a hajtóanyagok viselkedését, a por pedig minden mechanikus rendszert megterhelt. A kísérleti telep ezért nem pusztán üres földdarab volt, hanem olyan környezet, amelyhez a technikát hozzá kellett igazítani.

Esther fotói ebből a hétköznapi világból őriznek meg sok részletet. Nem csak a sikeres indításokat látjuk, hanem a szerelőket, állványokat, csöveket, járműveket és félkész rakétákat. Ezek a képek azért értékesek, mert helyreállítják a technikai munka emberi léptékét. Az űrkorszak nem steril laboratóriumban született, hanem olajos műhelyekben, poros teszttereken és hideg reggeleken.

A roswelli program belső ritmusa ráadásul megmutatja, mennyi türelem kellett az úttörő munkához. Egy sikeres repülés mögött sok sikertelen vagy részleges próba állt. Goddard naplói pontosan ezért fontos források: nem csak a csúcspontokat rögzítik, hanem a hosszú köztes időszakokat is. A technikai áttörés ritkán egyetlen zseniális pillanat eredménye. Gyakrabban sok száz apró korrekcióból áll össze.

28. fejezet - Miért nem jutott Goddard magasabbra?

A kérdés kézenfekvő: ha Goddard ennyi fontos technikai elvet felismert, miért maradt legjobb rakétáinak magassága néhány kilométer? Miért nem épített olyan rendszert, amely elérte volna a felső légkört vagy akár a világűrt? A válasz nem egyetlen hibában keresendő. A korlátok egyszerre voltak pénzügyiek, szervezeti, anyagtudományi és gyártástechnológiai jellegűek.

Először is a rakéta teljesítménye nagyon gyorsan nő a mérettel, de a problémák is. Nagyobb hajtóműhöz több hajtóanyag kell, nagyobb tartály, erősebb szerkezet és nagyobb tömegű vezérlés. A hajtóanyag tömegáramának növeléséhez egyre komolyabb szivattyúk szükségesek, az égéstér hőterhelése pedig drámaian nő. A kis kísérleti rakétából nem lehet egyszerűen minden alkatrészt arányosan felnagyítva űrhordozót készíteni.

Másodszor Goddard anyagi forrásai még a Guggenheim-támogatással is eltörpültek a későbbi állami programok mellett. Évi néhány tízezer dollár akkor jelentős kutatási összeg volt, de nem finanszírozhatott nagy gyárat, több száz mérnököt és teljes beszállítói

rendszert. A V-2 program ezzel szemben egy háborús állam prioritása lett. A Saturn V mögött pedig az Egyesült Államok gazdasági és ipari ereje állt, politikai felhatalmazással és gyakorlatilag korábban elképzelhetetlen költségvetéssel.

Harmadszor a korszak technológiai ökoszisztémája is hiányzott. Az 1930-as években a nagy teljesítményű turbószivattyúk, könnyű ötvözetek, precíziós giroszkópok és nagy megbízhatóságú automatika még fejlődés alatt álltak. Goddard sokszor olyan komponenseket próbált létrehozni, amelyekhez ma külön iparágak szolgáltatják a tudást. Ez óhatatlanul lassította a fejlődést.

Negyedszer a szervezeti modell korlátozta a párhuzamos munkát. Ha ugyanaz a kis csapat foglalkozik hajtóművel, tartállyal, irányítással és indítással, egyetlen probléma az egész programot megállíthatja. Nagy szervezetben több részleg egyszerre fejleszthet különböző komponenseket, és specializált szakemberek mélyebben merülhetnek el egy-egy kérdésben. Goddard ennek előnyeit csak korlátozottan használta ki.

Végül maga a cél is változó volt. Goddard a felső légkör eléréséről álmodott, de programja sokszor a következő technikai akadály leküzdésére koncentrált. A

kísérleti munka természetéből adódóan a hosszú távú cél könnyen feloldódik a napi problémákban. Egy új szelep, egy stabilabb vezérlés vagy egy megbízhatóbb gyújtás hónapokat vihet el. Így lehet, hogy egy program elméletileg messzre tart, a gyakorlatban mégis csak lépésenként halad.

A kérdésre tehát nem az a válasz, hogy Goddard „nem volt elég jó”. Éppen ellenkezőleg: eredményei azt mutatják, milyen messzre jutott rendkívül korlátozott körülmények között. De azt is megmutatják, hogy az űr eléréséhez már nem volt elég egy kivételes feltaláló. Az űrkorszakhoz ipari civilizáció kellett.

29. fejezet - A százéves kísérlet mérlege

A 2026-os centenárium jó alkalom arra, hogy Goddard munkáját ne csak ünnepeljük, hanem mérlegeljük is. A száz év alatt a rakéta olyan technológiává vált, amely egyszerre szolgál tudományt, gazdaságot, katonai elrettentést és politikai presztízst. Az első folyékony hajtóanyagú repülés kicsiny kísérlete így egy egész civilizációs infrastruktúra előtörténetévé vált.

A pozitív örökség látványos. Rakéták tették lehetővé a meteorológiai műholdakat, amelyek hurrikánokat követnek és napokkal előre segítik az időjárás-előrejelzést. Rakéták vitték pályára a navigációs rendszereket, amelyek nélkül a modern közlekedés és pénzügyi időszinkronizálás nehezen működne. Űrtávcsövek segítségével olyan korszakokat látunk a világegyetem történetében, amelyek földi légkörön keresztül nem vizsgálhatók ugyanilyen módon. Bolygóközi szondák jártak a Naprendszer minden nagybolygójánál.

Az emberes űrrepülés szimbolikus hatása szintén hatalmas. A Holdon hagyott lábnyomok, az űrállomásokon végzett hosszú távú kísérletek és a Föld

kívülről készített fényképei megváltoztatták, hogyan gondolkodunk bolygónkról. Goddard számára, aki tizenhét évesen a Mars felé képzelt egy szerkezetet, ezek valószínűleg a legközvetlenebb bizonyítékai lennének annak, hogy a fantasztikus kérdésből mérnöki valóság lett.

A negatív örökséget azonban nem lehet elválasztani ettől. A rakéta a nukleáris elrettentés egyik legfontosabb hordozója lett. Interkontinentális ballisztikus rakéták percek alatt képesek kontinensek között atomfegyvert szállítani. A világűr békés használata és a stratégiai fegyverkezés ugyanabból a technológiai gyökérből nőtt ki. A rakéta tehát nem csupán az emberi kíváncsiság, hanem az emberi pusztító képesség jelképe is.

A környezeti kérdések szintén egyre fontosabbak. A rakétaindítások száma növekszik, és ezzel együtt nő az érdeklődés a légköri kibocsátások, az indítóhelyek környezeti terhelése és a világűrben felhalmozódó törmelék iránt. Az űripar méretének növekedése új szabályozási problémákat teremt. Goddard idején a kérdés az volt, fel tud-e emelkedni egy rakéta; ma az is, hogyan lehet fenntarthatóan működtetni egy egész globális indítási ökoszisztémát.

A technológiai verseny sem ért véget. Az Egyesült Államok mellett Kína, Európa, India, Japán és más államok fejlesztenek hordozórendszereket, miközben magánvállalatok is egyre nagyobb szerepet játszanak. A rakéta ismét egyszerre nemzeti és nemzetközi technológia. A tudományos küldetések együttműködést igényelnek, a katonai alkalmazások viszont versenyt és titkolózást erősítenek.

Goddard személyes története ebben a százéves távlatban talán azért marad érdekes, mert emberi léptékű belépési pontot ad egy óriási rendszerhez. A modern űripar költségvetései, gyártósorai és indítási statisztikái könnyen elvonttá válnak. A havas farmon álló néhány ember képe viszont érthetővé teszi, hogy minden nagy technológiai rendszernek volt olyan pillanata, amikor még csak kísérlet volt. A későbbi nagyság nem volt beleírva biztosan az első repülésbe.

A százéves mérleg ezért nem az, hogy Goddard mindenben előre látta a jövőt. Sok részletben tévedett, sok célt nem ért el, és sok későbbi fejlesztés tőle függetlenül született meg. Az igazi teljesítménye ennél szerényebben fogalmazható, mégis hatalmas: elég komolyan vette a lehetetlent ahhoz, hogy megépítse az első működő gépet, amely megmutatta, merre vezethet

az út.

HÁTTÉRGYÁR

30. fejezet - A rakéta eltűnik a háttérben

A technológia valódi győzelmének különös jele, amikor többé nem önmagáról szól. A 20. század közepén egy rakétaindítás még önmagában világesemény volt. A közönség a hordozó típusát, magasságát és teljesítményét figyelte, mert minden repülés új határt jelentett. A 21. században egyre gyakrabban az számít, mit visz a rakéta, nem pedig az, hogy maga a hordozó milyen különleges. A rakéta fokozatosan infrastruktúrává válik, hasonlóan a vasúthoz, az elektromos hálózathoz vagy az internet gerinchálózatához.

Ez a változás Goddard eredeti céljaihoz meglepően közel áll. Ő nem a rakétát akarta mindenáron önálló látványossággá tenni. Az eszköz azért érdekelte, mert hozzáférést adhatott olyan magasságokhoz, amelyeket más módszerrel nem lehetett elérni. A tudományos műszer, a kamera vagy a barométer volt az igazi hasznos teher. A mai műholdas világ ugyanezt a logikát követi, csak sokkal nagyobb léptékben.

Egy időjárás-műhold esetében a hordozórakéta feladata néhány perc alatt véget ér, a műhold viszont éveken át adatot szolgáltat. Egy űrtávcső indítása

csak a kezdet; a tudományos eredmények évtizedekig meghatározhatják a csillagászatot. Egy bolygóközi szonda rakétája már rég megsemmisült vagy elhagyott pályán kering, amikor maga a szonda még mindig új világokról küld képeket. A rakéta tehát a hozzáférés technológiája.

A gazdasági jelentőség is ebből következik. A műholdas navigáció, a kommunikáció, a Föld-megfigyelés és az időjárás-előrejelzés olyan szolgáltatások, amelyek értéke messze meghaladja egy-egy indítás költségét. Amikor a rakéta megbízhatóbbá és olcsóbbá válik, új felhasználók jelennek meg. Olyan egyetemek, kisebb országok és vállalatok is műholdat indíthatnak, amelyek a hidegháború idején semmilyen módon nem fértek volna hozzá az űrhöz.

Az olcsóbb hozzáférés ugyanakkor új problémákat hoz. A Föld körüli pályák zsúfoltabbak lesznek, az űrszemét mennyisége nő, és egyre fontosabb a forgalomkoordináció. A műholdak katonai és hírszerzési szerepe geopolitikai feszültséget teremt, miközben a kereskedelmi konstellációk a távközlési piacot alakítják át. A rakéta sikere tehát nem oldja meg a hozzáférés kérdését, hanem új kormányzási és felelősségi kérdéseket nyit.

Goddard idejében még az volt a fő kérdés, hogyan lehet a rakétát egyáltalán működésre bírni. Ma egyre inkább az, mire használjuk azt a hozzáférést, amelyet biztosít. A technikai probléma társadalmi problémává változik. Ki rendelkezik az űrpályákhoz való hozzáféréssel? Ki felel a törmelékért? Milyen szabályok vonatkozzanak a kereskedelmi, katonai és tudományos használatra? Ezekre a kérdésekre semmilyen hajtóműterv nem ad választ.

Ez a változás mégis annak bizonyítéka, hogy az 1926-os kísérlet alapvető problémája megoldódott. A folyékony hajtóanyagú rakéta többé nem különös laboratóriumi szerkezet. Olyan megbízhatóvá vált, hogy sokszor háttérbe szorul a küldetés mögött. Amikor egy technológia eljut erre a pontra, már nem az a kérdés, hogy lehetséges-e. A társadalom elkezd úgy viselkedni, mintha mindig is rendelkezésére állt volna.

Goddard örökségét ezért nem csak múzeumi rakétákban vagy róla elnevezett intézményekben kell keresni. Ott van minden alkalommal, amikor valaki telefonján műholdas térképet használ, amikor meteorológusok hurrikánt követnek az óceán fölött, amikor csillagászok légkörön kívüli távcső adatait elemzik, vagy amikor űrszonda egy másik bolygó

felszínéről küld mérést. Ezekben az esetekben a rakéta már nem főszereplő. Éppen ez mutatja, milyen mélyen beépült a modern világ működésébe.

HÁTTÉRGYÁR

31. fejezet – A jövő, amelyből múlt lett

A Goddardról szóló történetek egyik legérdekesebb vonása, hogy életének nagy részében a jövőről beszélt, halála után pedig maga vált múlttá. A 20. század első évtizedeiben az űrutazás még olyan távoli lehetőségnek tűnt, amelynek megvalósulását legfeljebb néhány megszállott remélte. Az 1960-as évekre ugyanaz a kérdés már állami költségvetésekben, mérnöki ütemtervekben és televíziós közvetítésekben jelent meg. A jövő olyan gyorsan érkezett meg, hogy Goddard személyes élete szinte egyetlen generáción belül vált legendává.

Ez a gyorsulás könnyen félrevezet. A technológiai fejlődés utólag mindig egyenesebbnek látszik, mint amilyen valójában volt. Ha ismerjük az Apollo-11 végét, hajlamosak vagyunk úgy nézni az 1926-os rakétára, mintha már eleve benne lett volna a Hold-program ígérete. Goddard számára azonban semmi sem volt biztos. Nem tudhatta, hogy lesz-e elegendő támogatás, hogy a folyékony hajtóanyag skálázható-e, hogy a rakéták irányíthatók lesznek-e nagy sebességnél, vagy hogy az államok valaha hajlandók lesznek-e óriási összegeket költeni űrrepülésre.

A bizonytalanság teszi értékké a történetét. Nem azért volt úttörő, mert pontosan látta a 21. századot, hanem mert olyan kérdéssel dolgozott következetesen, amelynek sikerére nem volt garancia. Ez különbözteti meg az utólagos bölcsességet a valódi innovációtól. A későbbi mérnökök már tudták, hogy folyékony hajtóanyagú rakéta képes repülni. Goddardnak ezt még bizonyítania kellett.

A százéves távlat másik tanulsága, hogy a technikai áttörés értéke sokszor csak hosszú idő után válik nyilvánvalóvá. Az első repülés napján nem omlott össze egyetlen iparág sem, nem változott meg a világgazdaság, és a közvélemény nagy része sem tudott róla. A történelmi jelentőség utólag nőtt köré, ahogy egyre több technológia mutatta meg, hogy ugyanabba az irányba tart.

Goddard számára talán meglepő lenne, hogy neve ma nem csak rakétákhoz, hanem egy nagy NASA-központ, könyvtár, díjakhoz és oktatási programokhoz kötődik. Még meglepőbb lehetne, hogy munkáját ma már nem kizárólag hőstörténetként értékelik. A kutatók ugyanúgy vizsgálják titkolózását, szervezeti korlátait és Esther örökségépítő szerepét, mint műszaki eredményeit. Ez nem kisebbíti alakját,

hanem valóságosabbá teszi.

A jövő, amelyről a cseresznyefán álmodott, ma részben hétköznapi. Az ember még nem jutott el a Marsra, és az űrutazás továbbra is drága és veszélyes, de bolygóközi szondák járják a Naprendszert, automata járművek dolgoznak a Mars felszínén, emberek hónapokat töltenek Föld körüli pályán, és rakéták rendszeresen térnek vissza leszállni. A teljes álom nem valósult meg, de már nem a fantázia kizárólagos területe.

A történet ezért nyitott marad. Goddard munkája nem egy lezárt korszak emléke, hanem olyan technikai hagyomány kezdete, amely ma is változik. A hajtóanyagok, az újrafelhasználás, az automatizálás és az űrgazdaság fejlődése új kérdéseket vet fel, de az alaphelyzet ugyanaz: valaki elképzel valamit, ami még nem működik, majd megpróbálja géppé alakítani. A 20. század elején ezt a szerepet a rakéta töltötte be. A következő száz év majd megmutatja, melyik mai lehetetlenség válik ugyanilyen hétköznapi valósággá.

Epilógus - A negyvenegy láb öröksége

Ha a technikai eredményeket pusztán méret alapján ítélnénk meg, Goddard első rakétája jelentéktelen lenne. Egy modern daru magasabbra emel terhet, egy gyerekjáték drón tovább marad a levegőben, egy autó néhány másodperc alatt nagyobb távolságot tesz meg. A negyvenegy láb azonban nem távolságként fontos. Bizonyítás volt.

A technikatörténet tele van ilyen aránytalanságokkal. A Wright fivérek első motoros repülése néhány tucat másodpercig tartott, mégis új közlekedési korszakot nyitott. Az első tranzisztor laboratóriumi tárgy volt, nem modern számítógép. Az első elektronikus számítógépek ma nevetséges teljesítményűek lennének, mégis belőlük nőtt ki a digitális világ. Egy úttörő eszköz jelentősége nem abban áll, hogy felülmúlja a későbbi gépeket, hanem abban, hogy átlépi a lehetetlen és a megvalósított közötti határt.

Goddard történetét ezért érdemes megtisztítani két szélsőségtől. Az egyik a hősmítosz, amely minden modern rakétát közvetlenül az ő találmányából vezet le. A másik a túlzott korrekció, amely titkolózása és korlátozott

közvetlen hatása miatt kisebbítené teljesítményét. A kettő között pontosabb kép rajzolódik ki. Goddard nem egyedül teremtette meg az űrkorszakot, de olyan kísérleti bizonyítékot adott és olyan technikai problémákat oldott meg, amelyek nélkül a 20. század rakétatörténete másként alakult volna.

Élete egyben figyelmeztetés is az innováció természetéről. A merész gondolat szükséges, de önmagában kevés. Pénz kell hozzá, mérnöki fegyelem, tesztelés, dokumentáció és együttműködés. Az ötletet működő tárggyá kell alakítani, a működő tárgyat pedig megbízható rendszerré. Goddard az első két lépés mestere volt. A harmadikhoz már nagy intézményekre és olyan mérnöki kultúrára volt szükség, amely az ő életében csak kialakulóban volt.

A száz évvel későbbi rakéták sok szempontból idegenek lennének számára. Digitális számítógépek vezetik őket, GPS és földi radar követi pályájukat, kompozit anyagok, additív gyártás és automatizált tesztrendszer vesznek részt a készítésükben. Más szempontból azonban azonnal felismerné a problémákat. Folyékony oxigén áramlik a csövekben, az égéstér falát hűteni kell, a hajtóanyagot nagy nyomáson kell adagolni, a jármű tömegével kegyetlenül takarékoskodni kell, a

rakétát pedig folyamatosan irányban kell tartani.

Talán ez Goddard legmaradandóbb öröksége. Nem az, hogy minden későbbi megoldást ő talált fel, hanem az, hogy a rakétát valódi mérnöki problémává tette. A Mars felé néző tizenhét éves fiú fantáziáját számításokra, szabadalmakra, megégett fúvókákra, szivárgó csövekre, sikertelen indításokra és végül egy rövid repülésre fordította le. A világűr meghódítása nem egyetlen látványos pillanatban kezdődött. Sokkal prózaibban: egy havas földön, egy furcsa szerkezettel, amely alig emelkedett fel.

Kronológia

1882. október 5.

Robert Hutchings Goddard megszületik Worcesterben, Massachusetts államban.

1899. október 19.

A később „Anniversary Day” néven emlegetett napon a tizenhét éves Goddard egy cseresznyefa tetején a Mars felé tartó eszköz gondolatával foglalkozik. A dátumot élete végéig személyes évfordulóként tartja számon.

1904

Befejezi középiskolai tanulmányait a Worcester South High Schoolban.

1908

Diplomát szerez a Worcester Polytechnic Institute-ban.

1910

Mesterfokozatot szerez a Clark Universityn.

1911

Fizikából doktori címet kap a Clark Universityn.

1914

Amerikai szabadalmakat kap a többfokozatú és a folyékony hajtóanyagú rakétával kapcsolatos alapvető elképzeléseire.

1916

Támogatásért fordul a Smithsonian Institutionhoz.

1917

A Smithsonian ötezer dolláros támogatást ítél meg rakétakísérleteire.

1918

Katonai célú szilárd hajtóanyagú rakétákat mutat be az Aberdeen Proving Groundon.

1919

A Smithsonian kiadja A Method of Reaching Extreme Altitudes című munkáját.

1920

A Hold elérésével kapcsolatos elképzelései széles sajtóvisszhangot és gúnyt váltanak ki.

1921-1923

Folyékony hajtóanyagú motorokkal végez laboratóriumi kísérleteket; 1923-ra működő statikus hajtóművet tesztl.

1924

Feleségül veszi Esther Christine Kisket.

1926. március 16.

Auburnben sikeresen elindítja a világ első folyékony hajtóanyagú rakétáját. A szerkezet 2,5 másodpercig repül, körülbelül 12,5 méter magasra emelkedik és mintegy 56 méterre ér földet.

1929. július 17.

Tudományos műszereket, köztük barométert és kamerát szállító rakétát tesztel. A kísérlet jelentős sajtófigyelmet kelt.

1930

Charles Lindbergh közvetítésével Guggenheim-támogatáshoz jut; megkezdődik a roswelli kísérleti korszak.

1930-1941

Roswell térségében egyre nagyobb folyékony hajtóanyagú rakétákat tesztel, fejleszti a giroszkópos irányítást, a kormányzást, a hajtóanyag-ellátást és más rendszereket.

1936

A Smithsonian kiadja Liquid-Propellant Rocket Development című beszámolóját.

1942. október 3.

Németországban sikeres teljes repülést hajtott végre az A-4 rakéta, a későbbi V-2.

1944

A V-2-t harci bevetésen alkalmazzák Nyugat-Európa ellen.

1945. augusztus 10.

Robert Goddard meghal Baltimore-ban.

1945-1947

Az Egyesült Államok és a Szovjetunió német rakétákat, dokumentumokat és szakembereket szerez meg; megkezdődik a V-2 technológiájának háború utáni feldolgozása.

1957. október 4.

A Szovjetunió R-7 hordozórakétával pályára állítja a Szputnyik-1-et.

1958

Létrejön a NASA; az Explorer-1 az első sikeres amerikai mesterséges hold.

1959. május 1.

A NASA új marylandi központja Robert Goddard nevét kapja.

1961. március 16.

Hivatalosan felavatják a Goddard Space Flight Centert, pontosan harmincöt évvel az első folyékony hajtóanyagú repülés után.

1961. május 25.

John F. Kennedy meghirdeti az emberes holdraszállás célját az évtized vége előtt.

1969. július 16.

Elindul az Apollo-11 Saturn V rakétája.

1969. július 20.

Neil Armstrong és Buzz Aldrin a Hold felszínére lép.

1981. április 12.

Elindul az első Space Shuttle-küldetés, az STS-1.

2015. december

A Falcon 9 első fokozata orbitális küldetés után először hajt végre sikeres függőleges szárazföldi leszállást.

2020. május

A Falcon 9 és a Crew Dragon a NASA Commercial Crew programjában amerikai űrhajósokat indít a Nemzetközi Űrállomásra.

2026. március 16.

A világ első folyékony hajtóanyagú rakétarepülésének századik évfordulója.

HÁTTÉRGYÁR

Főbb szereplők

Robert H. Goddard (1882-1945)

Amerikai fizikus és feltaláló, a folyékony hajtóanyagú rakétatechnika egyik legfontosabb úttörője. 1926-ban ő indította el az első sikeres folyékony hajtóanyagú rakétát.

Esther C. Goddard (1901-1982)

Goddard felesége, kísérleteinek dokumentátora és férje halála után örökségének legfontosabb gondozója. Több mint száz posztumusz szabadalom ügyét vitte végig, és kulcsszerepet játszott a Goddard-hagyaték rendezésében.

Charles Greeley Abbot (1872-1973)

A Smithsonian Institution asztrofizikusa és későbbi vezetője, aki felismerte Goddard nagy magasságú rakétakutatásának jelentőségét és segített megszerezni a korai támogatást.

Charles Lindbergh (1902-1974)

Amerikai pilóta, aki 1927-es transzatlanti repülésével világhírű lett. Goddard munkájának támogatójaként kapcsolatot teremtett a Guggenheim családdal.

Harry Guggenheim (1890-1971)

Üzletember, diplomata és filantróp, a repülési kutatások jelentős támogatója. A Guggenheim-finanszírozás tette lehetővé Goddard roswelli programjának hosszú távú működését.

Konsztantyin Ciolkovszkij (1857-1935)

Orosz tanár és teoretikus, az űrhajózás matematikai alapjainak egyik megteremtője. A róla elnevezett rakétaegyenlet a modern rakétatechnika alapösszefüggése.

Hermann Oberth (1894-1989)

Erdélyi szász származású német rakétateoretikus, akinek 1923-as könyve nagy hatást gyakorolt a német rakétamozgalomra és Wernher von Braun nemzedékére.

Wernher von Braun (1912-1977)

Német, majd amerikai rakétamérnök. A náci Németország V-2 programjának vezető technikai alakja, később az amerikai Saturn V fejlesztésének meghatározó vezetője.

Walter Dornberger (1895-1980)

Német tüzértiszt és mérnök, a hadsereg rakéta programjának katonai irányítója, a V-2 fejlesztésének egyik kulcsszereplője.

Szergej Koroljov (1907-1966)

A szovjet rakéta- és űrprogram vezető konstruktőre. Irányításával született meg az R-7, amely az első műholdat és később Jurij Gagarint is az űrbe juttatta.

HÁTTÉRGYÁR

Felhasznált és ajánlott irodalom

Robert H. Goddard: A Method of Reaching Extreme Altitudes. Smithsonian Miscellaneous Collections, 1919. A Smithsonian digitális példánya nyilvánosan hozzáférhető, közkinccsé vált alapforrás.

Robert H. Goddard: Liquid-Propellant Rocket Development. Smithsonian Institution, 1936.

Esther C. Goddard – G. Edward Pendray (szerk.): The Papers of Robert H. Goddard. Három kötet, McGraw-Hill, 1970. A Clark University Digital Commons több részét digitálisan hozzáférhetővé tette.

Milton Lehman: This High Man: The Life of Robert H. Goddard. Farrar, Straus, 1963. Korai életrajz, amelyet Esther Goddard erősen befolyásolt; ezért forráskritikával olvasandó.

David A. Clary: Rocket Man: Robert H. Goddard and the Birth of the Space Age. Hyperion, 2003. Modern életrajzi feldolgozás.

Michael J. Neufeld: The Rocket and the Reich. Harvard University Press, 1995. A német rakéta-program

és a V-2 történetének alapvető modern feldolgozása.

Michael J. Neufeld: Von Braun: Dreamer of Space, Engineer of War. Alfred A. Knopf, 2007. Wernher von Braun pályájának tudománytörténeti és morális összefüggéseit tárgyaló életrajz.

NASA History Office és NASA Goddard Space Flight Center: Robert H. Goddard életrajzi és történeti anyagai, valamint a 1926-os első folyékony hajtóanyagú repülés centenáriumi feldolgozásai.

Smithsonian National Air and Space Museum: Robert Goddardról, a korai rakétatársaságokról, Hermann Oberthről, a V-2-ről és a rakétatechnika történetéről szóló gyűjteményi és történeti anyagok.

Smithsonian Libraries and Archives: A Method of Reaching Extreme Altitudes digitális kiadása és Goddardhoz kapcsolódó elsődleges dokumentumok.

Clark University, Robert and Esther Goddard Collection: naplók, levelezések, fényképek, a The Papers of Robert H. Goddard digitalizált részei, valamint a 2026-os centenáriumi digitális kiállítás és tanulmányok.

NASA: Basics of Space Flight – a rakétaegyenlet, a lendületmegmaradás és az orbitális repülés alapjainak

korszerű összefoglalása.

NASA és Smithsonian: Wernher von Braun, Saturn V, Space Shuttle és a kereskedelmi űrrepülés történeti összefoglalói.

NASA Commercial Crew Program: a Falcon 9 és a Crew Dragon rendszerének hivatalos ismertetői.

HÁTTÉRGYÁR



1926. március 16-án egy különös szerkezet néhány másodperc alatt mindössze bő tizenkét méter magasra emelkedett egy massachusettsi farmon. A világ mégis ekkor lépett be az űrkorszakba. Robert Goddard folyékony hajtóanyagú rakétája első pillantásra szerény kísérlet volt, valójában azonban új technikai korszakot nyitott.

Ez a könyv Goddard életének és munkájának történetén keresztül mutatja be, miként született meg a modern rakétatechnika. A magányos kutató laboratóriumától a V-2 árnyékán és a hidegháborús versenyen át a Saturn V-ig és a mai újrafelhasználható hordozórakétákig követi azokat az eszméket, vitákat és mérnöki áttöréseket, amelyek nélkül az ember nem jutott volna el a világűrbe.

Tudománytörténet

Háttérgyár

