

Hur erövra rymden?

Om människor ska sprida sig utanför Jorden kommer det att kräva stora tekniska genombrott. Transportutmaningarna blir enorma. Begränsningarna hos kemisk framdrivning kräver en annan teknik som nukleära eller soldrivna elektriska motorer. Väl framme måste resurser brytas eller skapas på plats och förvandlas till bränsle, dricksvatten och andra förnödenheter. Att koppla framtida bosättare till varandra och Jorden kommer också att kräva kommunikation med hög kapacitet som inte finns idag.

5 Necessities for Thriving In Space

Explosive growth in electric propulsion | Aerospace America

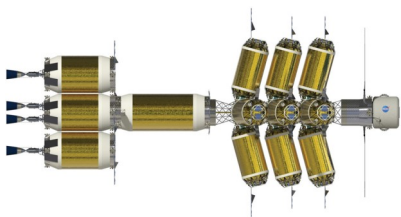
Kärnkrafts- och framtida flygdrivning: Framsteg i kärnkraftsdrivning för mänskliga uppdrag till Mars

Atom- och jonmotorer

För att nå ner till praktiska restider till Mars skulle det behövas två till tre gånger så hög starthastighet från Jorden som den som kan uppnås med dagens kemiska raketer. Kärnreaktorer som accelererar väte skulle kunna åstadkomma detta. I snart sjuttio år har vi försökt utveckla fusionsreaktorer, men utan större framgång. Fissionsreaktorer har emellertid demonstrerats och visat sig fungera.

Under US Space Nuclear Thermal Propulsion-programmet (ursprungligen Timberwind) från 1980- och 90-talet pumpades flytande väte genom en reaktor fylld med zirkoniumkarbidbelagda bränslepartiklar av sandstorlek och uppnådde en temperatur på 3000 K innan det expanderade genom ett raketmunstycke för att skapa drivkraft. Det innebar att reaktorn kunde ha gett dubbla den specifika impulsen (dragkraft per förbrukat drivmedel) hos en kemisk raketmotor och också mer dragkraft. Programmet överfördes emellertid från Strategic Defense Initiative Organization till flygvapnet och avslutades innan en hel motor byggdes. Om motorn hade körts, hade den gått i två minuter,

En marsfarkost baserad på en sådan motor skulle kunna se ut som bilden



visar. Vätebränsle som lagras i två droptankar till höger skulle upphetas vid passage genom de tre reaktorerna till vänster och driva farkosten mot Mars. Genom att använda droptankar förbättras prestandan hos farkosten avsevärt. Tomma drivmedeltankar skulle alltså slängas efterhand när vätdrivmedlet använts. Om det skulle bli en större trafik får man förmoda att miljövänliga rymdinnevännare skulle börja kräva insamling.

Astronauter behöver snabbare transittider, för en tur- och retur till Mars kommer att ta mer än tre år med den bästa kemiska framdrivningen. Med förmågan att generera hög drivkraft med dubbel effektivitet jämfört med kemisk framdrivning skulle en kärnvärmeraket Nuclear Thermal Rocket (NTR) kunna minska den tiden avsevärt. NASA hoppas testa en liten NTR på en månflygning inom tio år.

För människor är snabbhet utan tvivel viktig för att inte komma fram som ett tyngdlöst vrak. För transport av last kan man kanske ta det lugnare. Då skulle solpaneler med hög effekt, som driver elektriska raketer vara ett alternativ. De är mycket svagare än kemiska, men upp till tio gånger effektivare. Och de finns redan. I mitten av 2020 manövrerade 900 operativa rymdfarkoster med elektrisk framdrivning. Ett exempel är ESAs luftandande jonmotor, som samlar sitt drivmedel direkt från atmosfären 200 km upp. Motorn kan användas för att justera läget på lågflygande satelliter under längre perioder utan att sänka deras bränslereserv.

Det finns tre huvudtyper av elektrisk framdrivning. Den första kategorin, känd som **elektrostatisk** kännetecknas av joniserat drivmedel, som accelereras genom ett elektriskt fält som ett resultat av Coulomb-kraften.

Den andra huvudkategorin av elektriska framdrivningsanordningar - **elektromagnetisk** - arbetar på liknande principer som den elektrostatiska. Skillnaden mellan de två är att det elektriska fältet inte är i dragkraftens riktning. Plasmata accelereras vanligen i en vinkel genom ett elektriskt fält korsat med ett magnetfält på grund av Lorentz-kraften.

Slutligen upphetas i en **elektrotermisk** framdrivning ett oladdat drivmedel i gasform med ett elektromagnetiskt fält och expanderas genom ett konvergerande divergerande munstycke för att alstra drivkraft.

Alla jonmotorer har den centrala principen att genererar drivkraft genom att jonisera en gas och accelerera den ut ur

motorns baksida. Att titta på en speciell motor hjälper till att förstå hur detta går till. NSTAR-motorn, som flyger ombord på Deep Space 1 och Dawn, är ett exempel på en elektrostatisk motor. Det första steget i NSTAR är att jonisera gasen (i detta fall xenon). För att producera joner injiceras atomer av xenon i joniseringskammaren tillsammans med elektroner från en katod. När elektronerna bombarderar xenonatomerna avlägsnas en elektron från var och en och skapar xenonjoner med positiv laddning.

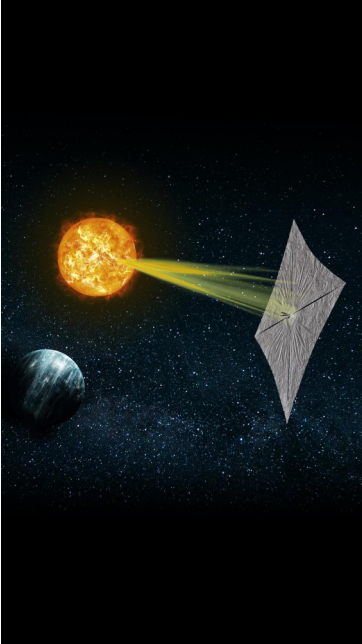
På baksidan av motorn är ett accelerationsgaller bestående av en positivt och en negativt laddad platta, var och en med tusentals små hål. Detta rutnät har en negativ potential som drar xenonjonerna mot sig och accelererar dem i en jonstråle ut ur motorn. En andra katod på baksidan av motorn sprutar elektroner in i strålen för att neutralisera de positivt laddade xenonjonerna. Detta är nödvändigt för att förhindra att joner dras tillbaka till rymdfarkosten.

Förutom de ganska vardagliga uppgifterna att upprätthålla och ändra eller justera satellitbanor har jonmotorer drivit rymdfarkoster till andra himlakroppar. Exempel är NASAs Deep Space 1 och Dawn på resor till asteroider, kometter och dvärgplaneter, Japans Hayabusa för att returnera ett prov från en asteroid och den europeiska rymdorganisationen ESAs SMART-1-satellit till en bana runt månen och BepiColombo till Merkurius.

Soldrivna elektriska jonmotorer skulle långsamt men effektivt kunna transportera stora nyttolaster med dramatiskt mindre mängd drivmedel och därmed lägre startvikt. Den 10 april 2019 fullbordade ESAs rymdsond BepiColombo en runda runt jorden och fortsatte mot Merkurius. Den drivs av engelska QinetiQs jonmotor. BepiColombo lanserades 2018 och är på en sjuårig resa till Merkurius dit den kommer 2025. På vägen kommer den att runda Venus två gånger och sedan Merkurius sex gånger. Innovativ forskning driver gränserna för jonmotorer framåt. Tekniken behöver dock skalas upp för att producera mer drivkraft för att driva större rymdfarkoster.

Hur erövra rymden?

Solsegel



Lasrar som kan leverera energi över stora avstånd skulle kunna ersätta solen för att driva jonmotorer, men det har också föreslagits att man skulle använda riktad ljusenergi på en reflekterande folie, ett ljussegel. Det skulle förverkliga snabba transiteringsuppdrag inom solsystemet och interstellära uppdrag till andra solsystem. Den reflekterade strålen skulle kunna accelerera rymdfarkosten till hastigheter i storleksordningen en fjärdedel av ljusets hastighet.

För att uppnå sådana stora hastigheter i lasrens närhet krävs stora accelerationer och då appliceras stora dynamiska belastningar på ljusseglet. I fallet med ett idealiskt slätt segel skulle det infallande ljuset genomgå normal spegelreflektion och därigenom säkerställa seglets form och riktningstabilitet, men inget material är någonsin helt plant. På grund av den oundvikliga förekomsten av ojämn belastning som genereras av ytans oregelbundenhet är det fortfarande osäkert om ett ljussegel skulle behålla sin form och inte kollapsa eller skrynklas när det utsätts för de stora fotontryck, som skulle vara involverade i laserdriven interstellär flygning.

Lokala resurser

När vi väl har återanvändbara farkoster och kan utvinna drivmedel lokalt kan resor i rymden börja bli så överkomliga

att stora vetenskapliga utposter och hotell kommer att ge ekonomisk mening. Därefter kommer vi att kunna bygga städer i rymden.

Mänskligheten må vara på väg att ha återanvändbara raket, som kan föra ett stort antal människor till rymden på ett överkomligt sätt, men det kommer aldrig att vara överkomligt att ta med oss allt raketdrivmedel, luft och vatten som vi behöver för att människor ska kunna leva och arbeta i rymden på ett hållbart sätt. Den största utmaningen för att bygga en framtid utanför Jorden med hundratals, tusentals och sedan miljoner människor, som lever och arbetar där kommer att vara att utvinna och använda utomjordiska resurser. Det behövs också kraftsystem för att tillhandahålla lågkostnads kraft för att stödja detta.

För det måste vi lära oss att använda månens och asteroidernas resurser. Många jordnära asteroider är rika på ingredienserna i raketdrivmedel som kol, metan och vatten. Månkraternarna är fulla av vatten och andra värdefulla material. Mars är också känt för att ha vatten, och atmosfären på Mars består främst av koldioxid. Med vatten och koldioxid kan man göra kolvätebränslen eller rent väte och syre.



Asteroider ses som det mest lovande framtida målet för gruvdrift och för tillverkning och livsmiljöbyggande utanför Jorden, men även för försäljning till jorden. Gruvdrift för asteroider inkluderar utvinning, bearbetning, tillverkning och transport. När det gäller utmaningar är det svårast att bedöma grävbarhet. Vi kan inte få det från meteoritprover eftersom de enda proverna vi har är de som överlevde passagen genom Jordens atmosfär. Vi vet inte hur stenarna är i rymden och vi

har ingen lokal verifiering för att bekräfta mineralogin. Men varje gång vi rör vid en annan planet eller komet eller asteroid lär vi oss något om deras ytor.

För sex år sedan, när den europeiska rymdorganisationen skickade sin Philae-landare för att landa på kometen 67P, visste ingen med säkerhet vilken typ av yta den skulle stöta på. Ytan kunde ha varit klabbig eller av fast sten eller så fluffig att landaren skulle försvinna. Vad som hände var att landaren studsade och sedan krossades ytan och en krater öppnade sig under. Det var en yta typ creme brulee.

Vi måste lära oss asteroidernas specifika egenskaper för att veta vilka som är lätta att exploatera. Vi vet det för gruvdrift på jorden, men även då måste vi köra pilotprogram för att säkerställa att utvinningsprocesser fungerar korrekt. Det måste vi också göra i rymden.

Metall- och elektronik tillverkning är en viktig teknik för långsiktiga prospektivuppdrag. Utmaningen är att ha rätt råvaror för att göra den mest varierande uppsättningen elektroniska komponenter. Här behövs 3D-skrivare för plast, metall, keramik och elektronik. Innan vi ger oss ut i rymden behöver vi utveckla det här ombord på

rymdstationer nära Jorden.

Den största utmaningen för att bygga en ekonomi utanför Jorden är efterfrågan. Ingen köper för närvarande vatten och andra rymdresurser, delvis för att ingen säljer dem. Ett sätt att börja utveckla en rymdmarknad kan vara "bensinstationer" i rymden för att tanka satelliter och förlänga deras liv i omloppsbana. I början kan vi ta drivmedlen från Jorden, men på sikt kan vi kanske få dem billigare från en asteroid eller Månen.

Hur erövra rymden?

Maten

Att ha tillräckligt med mat kommer att vara ett av de största hindren för att upprätthålla människor utanför Jorden under långa perioder. Frekventa leveranser är inte möjliga när besättningarna är en årslång resa borta. Att kunna odla färska produkter på plats eller ombord ger mikronäringsämnen som många uttorkade livsmedel förlorar över tiden när de lagras. Många astronauter säger också att det finns psykologiska fördelar med att få något grönt.

Astronauter ombord på den internationella rymdstationen har odlat olika livsmedel, inklusive röd romansallad och kål. Även om detta var experiment kommer långa rymdresor så småningom att kräva att besättningarna odlar sin egen mat. När vi åker till Mars kommer vi att behöva teknologier som krävs för självförsörjande bosättningar.

Det är en balans att ge rätt mängd och blandning av vatten och näringslösning till rötterna för att verkligen få varje växt att trivas. Vegetable Production System, eller Veggie, är ett enkelt sätt att uppnå detta. Varje enhet består av en rektangulär bricka i en plastbälg, som skapar ett mikroklimat som håller rötterna och skotten vid en jämn temperatur. En Veggie kan rymma cirka sex växter i små tygkuddar fulla av lera. Till skillnad från en lös jord fungerar leran som en stel svamp, vilket gör att växtrötterna kan extrahera vatten genom små öppningar utan att man ger så mycket vatten att de drunknar. Växterna hämtar också energi från en kombination av röda, gröna och blå LED-lampor. De röda och blå delarna av spektrumet är vad växterna absorberar.

Det finns för närvarande två Veggie-enheter på rymdstationen ISS, som odlar små mängder. Nästa steg är storskalig livsmedelsproduktion, för vilken man behöver optimera antalet växter som odlas i tillgängligt utrymme. På sikt kan man odla växtbaserade proteiner som simulerar kött. Om man når massiva produktionsskalor kan några av dessa växter så småningom fungera som ett livsstödssystem genom att tillhandahålla extra syre.

Medicin

En spännande möjligheterna är biotillverkning i rymden. Redan finns biotryckta mänskliga hjärtceller och en menisk i 3D BioFabrication Facility eller BFF, ombord på ISS. Ett kortsiktigt mål är att tillverka vävnader och biofarmaka för människor. Man behö-



ver hitta utrymme för fler bioskrivare och annan utrustning för mikrogravitationsforskning på ISS.

På lång sikt kan denna teknik hjälpa läkare att reparera vävnad som skadats i rymden av strålning. Oavsett om det är en astronaut på utforskningsuppdrag eller en medborgare i en avlägsen civilisation utanför Jorden, så riskerar de att drabbas av allvarliga strålnings-skador. Ett mål är att utveckla teknik för att skriva ut ersättning av skadade celler. Man kan samla in en rymdresenärns celler före lanseringen (eller kanske vid födseln för någon som är född i rymden) och lagra dem i strålningsresistenta höljen för senare kopiering. En Cell Factory skulle multiplicera cellerna och producera "bläck" för 3D-bioprinting i en BFF.

Kommunikation

En civilisation i rymden behöver kunna kommunicera mellan de olika bosättningarna. Vi har aldrig byggt telekommunikationsinfrastruktur för att stödja anslutning utanför jorden, förutom TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System) och EDRSS (European

Data Relay Satellite System).

TDRSS är svåråtkomligt och kostsamt för kommersiella användare. EDRSS har liknande utmaningar. EDRSS laser-kommunikationsterminal är svår att använda vid många uppdrag eftersom den kräver stor effekt. En av de största utmaningarna kommer att vara att tillhandahålla infrastruktur, som är kompatibel med den småskaliga och billiga arkitekturen hos många tidiga användare i rymden.

Historiskt sett har de flesta kommunikationskoncept varit direkt-till-jorden anslutning. Den höga dataförbrukningen som oundvikligen kommer från mer utbredd användning av utrymme kommer att kräva nätverk inom rymden för att stödja det stora utbudet av användarkrav. Den största utmaningen kan komma att bli strålningsmiljön. I rymden behövs strålningshärdning för både hårdvara och programvara.

Framtida efterföljare till ISS, vilka det nu blir, borde inriktas på att förbereda en sådan här mänsklig expansion ut i rymden.

