

Astrodynamics Space Framework (ASF)

Giovanni Nicola D'Aloisio*

Dipartimento di Fisica, Università di Pavia, via Bassi 6, 27100, Pavia, Italia.

Astrodynamics Space Framework è il progetto di una rete interplanetaria avente l'obiettivo di immettere nell'attuale economia di mercato le risorse del Sistema solare, facilitare la transizione ecologica e migliorare la sicurezza e la flessibilità del volo spaziale, oltre a raggiungere la stella più vicina alla Terra, Proxima Centauri, entro la fine di questo secolo.

Contents

I	Introduzione e obiettivi	1
I.A	Deep Space 1, Dawn e propulsione elettrica solare	1
I.B	Scontro tra Giove e Shoemaker-Levy 9	2
I.C	Sicurezza planetaria della Terra	2
I.D	Stato dell'arte e industria interplanetaria	4
I.E	Ricerca scientifica e armamenti nello spazio	6
II	Sistemi di trasporto e architettura del framework	7
II.A	Reattore al laser <i>Spektr</i>	7
II.B	Infrastruttura orbitante <i>Kristall</i>	9
II.C	Propulsore elettromagnetico <i>Laserfan</i>	9
II.D	Navetta spaziale <i>Kvant</i>	11
III	Prospettive di evoluzione umana abilitate da ASF	12
IV	Supportabilità, mantenibilità e partecipazione pubblica	12
V	Conclusione	12

I. Introduzione e obiettivi

Seguendo la luce del sole, abbiamo lasciato il Vecchio Mondo: così Cristoforo Colombo descrive l'inizio di una delle più grandi imprese compiute dall'uomo. Allo stesso modo, alle 19:28:34 del 4 ottobre 1957, lo Sputnik 1 si alzò in volo, dando inizio alla conquista dello spazio. Da allora, molta strada è stata percorsa: il principale movente, la guerra fredda, è venuto meno, e il bisogno di raggiungere destinazioni via via più lontane è scomparso, complice il bisogno di saperne di più riguardo gli effetti del volo spaziale di lunga durata sul corpo umano e i reali vantaggi che questo porterebbe nella vita di tutti i giorni.

Negli ultimi anni il peso delle attività spaziali sull'economia mondiale è sempre più grande e si prevede che crescerà ulteriormente negli anni a venire. L'ultima rivoluzione industriale ha messo in luce l'importanza di conservare il mondo e i suoi ecosistemi per le generazioni a venire, avviando le economie circolari. Nuovi rami delle scienze hanno visto la luce e al contempo si sono affermate nuove dinamiche di mercato, dapprima con la digitalizzazione delle transazioni bancarie e poi l'avvento delle criptovalute, ma l'umanità è decisamente destinata a mantenere le sue attività con tecnologie, energie e materiali più efficienti, efficaci e puliti, provenienti dall'atomo, il cosmo e le miniere spaziali negli asteroidi e nei satelliti naturali del Sistema solare.

A. Deep Space 1, Dawn e propulsione elettrica solare

Dopo i primi flyby delle sonde Galileo e Cassini, nessuna sonda si è più interessata di asteroidi; questo fino al lancio di Deep Space 1 e Dawn. Il successo di Deep Space 1, primo veicolo spaziale interplanetario a utilizzare un propulsore a griglia elettrostatica, ha posto le basi per i futuri voli spaziali equipaggiati con propulsione ionica, in particolare

*Contatto: giovanninicola.daloisio01@universitadipavia.it

per Dawn, che ha raggiunto con successo ogni suo obiettivo, totalizzando oltre 51 mila ore di tempo di accensione del propulsore NSTAR. Il concetto di base è molto semplice: si usano elettrodi ad alta tensione per accelerare un gas ionizzato mediante forze elettrostatiche, producendo la spinta.

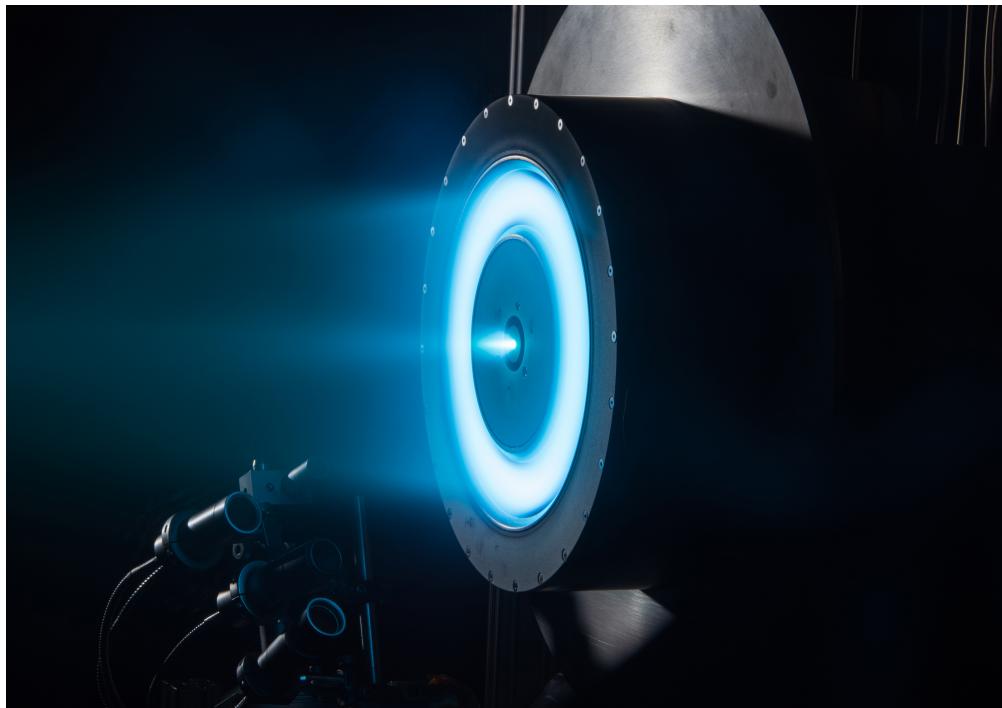


Fig. 1 Un propulsore ionico a effetto Hall (NASA).

B. Scontro tra Giove e Shoemaker-Levy 9

Contemporaneamente a questi eventi, di importantissima rilevanza tecnologica, avvenne uno dei più spettacolari urti mai documentati: quello tra Giove e la cometa Shoemaker-Levy 9. Scoperta il 25 marzo 1993, era stata catturata tra la seconda metà degli anni sessanta ed i primi anni settanta da Giove, e le interazioni tra il gigante gassoso e la cometa ne avevano causato la disgregazione in 21 frammenti.

Gli studi dell'orbita della cometa portarono alla conclusione che essa sarebbe precipitata sul pianeta nel luglio del 1994. Fu quindi avviata un'estesa campagna osservativa che coinvolse numerosi osservatori a Terra e diverse sonde nello spazio per la registrazione dell'evento. Tra il 16 ed il 22 luglio del 1994, i frammenti della cometa caddero su Giove in un vero e proprio bombardamento. Le macchie scure che si formarono sul pianeta furono osservabili dalla Terra per diversi mesi prima di essere riassorbite dall'atmosfera di Giove. L'evento ebbe una rilevanza mediatica considerevole, ma contribuì notevolmente anche alle conoscenze scientifiche sul Sistema Solare. In particolare, permise di effettuare misurazioni sugli strati profondi dell'atmosfera gioviana, normalmente inaccessibili, e sottolineò il ruolo svolto da Giove nel ridurre i detriti spaziali presenti nel Sistema solare interno.

C. Sicurezza planetaria della Terra

Esistono degli oggetti analoghi nello spazio circumterrestre: si chiamano NEO, Near-Earth Objects, e sono tanto interessanti quanto pericolosi per la Terra. Con un raggio medio non molto diverso da quello di questi oggetti, i



Fig. 2 La cometa Shoemaker-Levy 9 prima dell'urto.

frammenti più grandi della Shoemaker-Levy 9 si distrussero solo a una pressione di 2.5 bar, e i segni lasciati dall'evento rimasero visibili a lungo e furono descritti come più visibili della famosa Grande Macchia Rossa. Probabilmente furono i fenomeni transitori più importanti mai osservati sul pianeta, e mentre la Grande Macchia Rossa risalta per il suo colore, non fu mai registrata alcuna macchia di dimensioni e colori simili a quelle provocate dalla cometa. Le osservazioni spettroscopiche mostrarono che ammoniaca e solfuro di carbonio rimasero nell'atmosfera almeno per quattordici mesi dopo l'evento. La temperatura atmosferica tornò ai livelli normali molto più velocemente nei punti di impatto maggiori rispetto a quelli minori. Nei primi, infatti, le temperature aumentarono in una regione ampia da 15000 a 20000 km, ma scesero a valori normali entro una settimana dall'evento. Nei punti più piccoli, temperature di 10 K superiori rispetto ai siti circostanti persistettero invece per almeno due settimane. Le temperature della stratosfera aumentarono immediatamente dopo gli impatti, per scendere due o tre settimane dopo a valori di temperatura inferiori rispetto alla situazione precedente agli impatti. Soltanto in seguito tornarono lentamente a valori normali.

Le conseguenze di un evento come questo sarebbero state molto più drastiche su un pianeta come la Terra, da cui la necessità di un programma di difesa planetaria. Ma i NEO non sono solo minacce, ma opportunità: da questi possono essere minate preziose risorse iniettabili nell'economia globale. L'idea è molto semplice: dalle analisi spettroscopiche

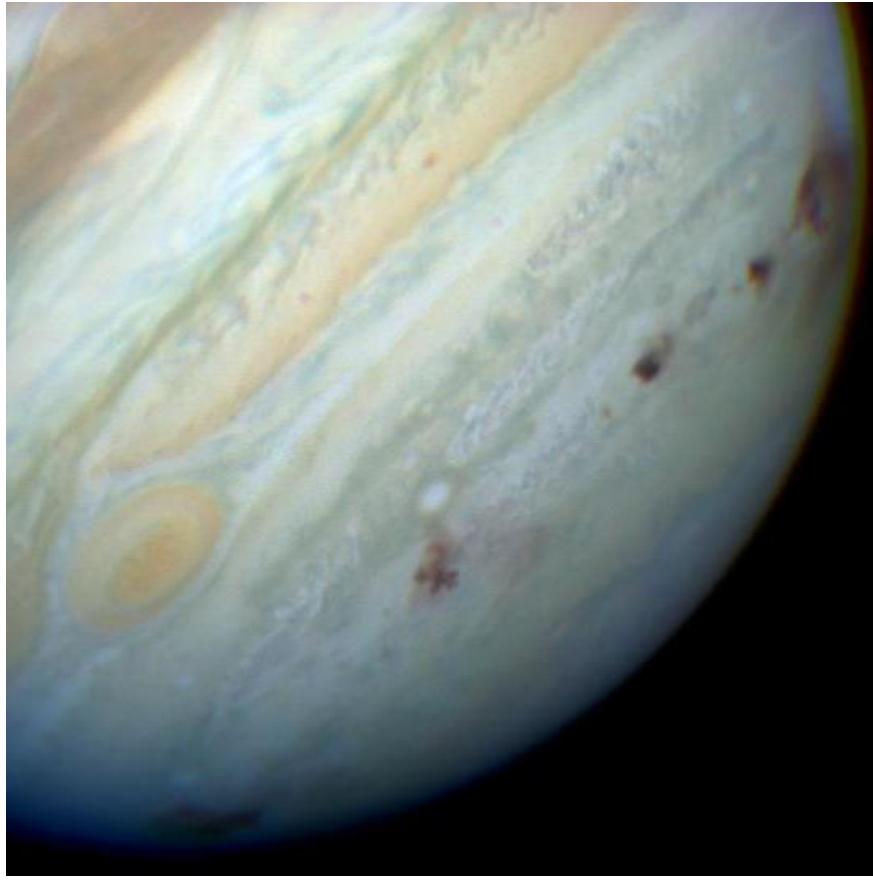


Fig. 3 Giove dopo l'urto con la cometa. Si notino le estese macchie nere nella fitta atmosfera.

si rileva la composizione dell'oggetto, e in base a queste si decide se farlo esplodere mediante una convenzionale bomba H impiantata con idoneo veicolo spaziale, oppure reindirizzarlo in un pre-esistente network di asteroidi preposti allo sfruttamento minerario. In questo senso, sono fondamentali gli studi in corso nell'ambito della Asteroid Redirect Robotic Mission (ARRM), e dopo il lancio della prima sonda direttamente rivolta alla difesa planetaria (il Double Asteroid Redirection Test, DART), si prevede di lanciare anche la prima sonda che studierà un asteroide metallico, Psyche, nel luglio 2022. Si noti come tutte queste missioni utilizzano proprio propulsori ionici.

D. Stato dell'arte e industria interplanetaria

Riprendendo il filo del network di asteroid mining, c'è la possibilità di sfruttare l'energia cinetica di rotazione di un piccolo asteroide dotato di magnetosfera sufficientemente forte per generare elettricità in modo analogo a quanto avviene nei convenzionali alternatori sincroni. Una volta esaurita l'energia cinetica di un singolo asteroide, il singolo sistema di generazione può essere disassemblato per sfruttarne un altro; l'energia generata può essere inviata mediante onde elettromagnetiche laddove è richiesta, utilizzata in situ oppure archiviata in batterie al grafene. Inoltre, sistemi robotizzati possono autonomamente inviare, come fatto da numerose missioni passate (Genesis, Stardust, OSIRIS-REx, ...) le utili risorse minerarie dislocate in questi piccoli corpi celesti, sotto la supervisione di esseri umani da remoto o, eventualmente, nel luogo stesso.

Come già avvenuto nei precedenti programmi spaziali, anche qui le ricadute tecnologiche possono essere particolarmente rilevanti per il futuro dell'umanità. Dato che la fusoliera del veicolo Kvant sarà la prima struttura di spazioplano interamente realizzata in un materiale composito di fibra di carbonio e aerogel di grafene, mentre si prevede di implementare anche pannelli fotovoltaici e batterie in materiali derivati dal grafene e dai nanotubi di carbonio, la ricerca su questi materiali potrebbe subire una forte spinta in avanti, con applicazioni nel settore dei trasporti (batterie e telai di automobili, aerei, navi e treni convenzionali), dell'edilizia e numerosi altri.

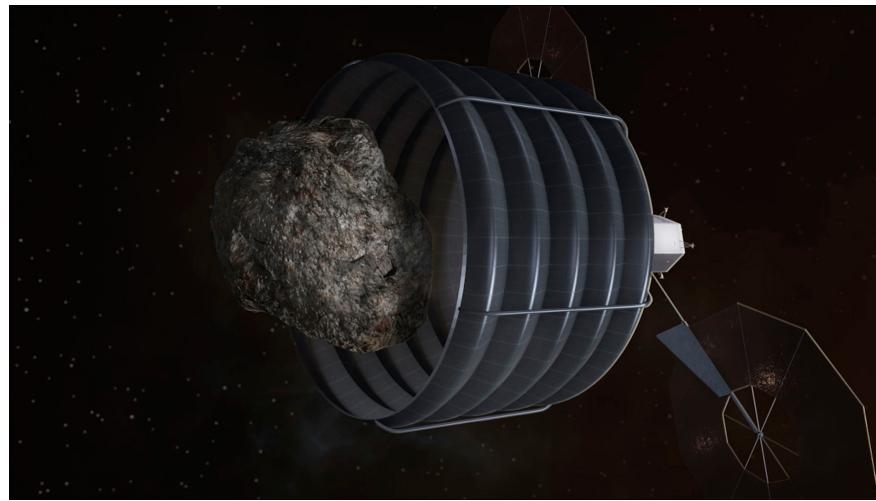


Fig. 4 Fase di raccolta di un masso in una ipotetica Asteroid Redirect Mission (NASA).

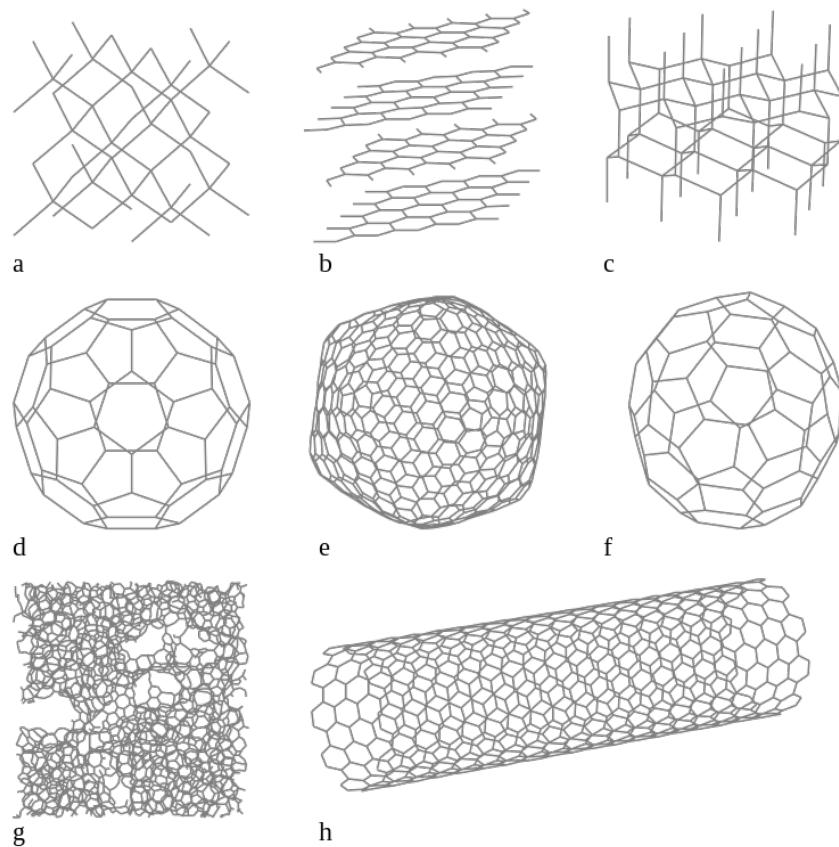


Fig. 5 Varie forme allotropiche del carbonio.

E. Ricerca scientifica e armamenti nello spazio

Non da ultimo, la ricerca scientifica e la colonizzazione dello spazio sono in un vicolo cieco, poiché gli attuali schemi si basano su tecnologie decisamente antiquate, i costi di esercizio delle attuali infrastrutture orbitali sono esorbitanti così come i prezzi dei lanciatori.

Si elencano solo alcune delle principali aree di ricerca che in questo periodo storico stanno subendo i maggiori rallentamenti:

- Ingegnerizzazione delle tecniche di In-Situ Research Utilization, per la costituzione di colonie stabili su altri corpi celesti;
- Consolidamento della conoscenza in materia di criogenia e risveglio nello spazio per voli di lunga durata;
- Approfondimento degli effetti della lunga permanenza dello spazio sul fisico e sulla psiche degli esseri viventi;
- Ricercare in modo diretto evidenze di vita extraterrestre, più o meno sviluppata, sui corpi del Sistema Solare e delle stelle più vicine;
- Esperimenti di astrofisica, fisica delle particelle e fisica della materia nello spazio;
- Testing di tecnologie terrestri nello spazio e certificazione di prodotti industriali;
- Studio degli effetti del vento solare e dei raggi cosmici sui materiali e sulle forme di vita a livelli diversi di schermatura.

Questo elenco chiaramente non può essere esaustivo, e non farà che allungarsi nel tempo sotto le pressioni della comunità scientifica, in virtù dello stallo in cui l'industria aerospaziale si trova.

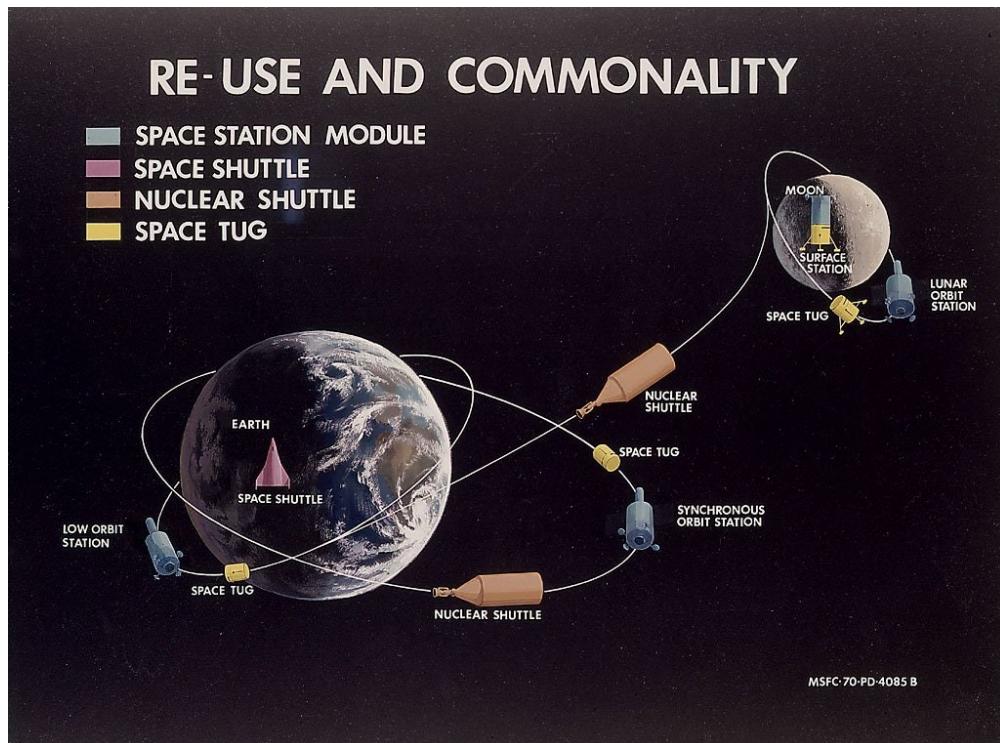


Fig. 6 Integrated Program Plan "Maximum Rate" Traffic Model (1970).

Allo stallo in cui versa la ricerca scientifica nello spazio si aggiunge quello delle neo-costituite space force, incapaci di operare senza mezzi di trasporto veloci e versatili, adatti a multipli scenari di utilizzo. Attualmente, la U.S. Space Force è dotata di sistemi satellitari e radar, più uno spazioplano di dimensioni ridotte e senza equipaggio (il Boeing X-37), ma è incapace di esercitare in modo diretto la propria influenza nello spazio, così come quella russa.

II. Sistemi di trasporto e architettura del framework

La rete è formata da stazioni spaziali chiamate Kristall e navette di trasporto interplanetario chiamate Kvant. Per abbattere i costi e i tempi di sviluppo, sono previsti gli Array, che sono centri di raccolta, smistamento e ricondizionamento di materiali di scarto, progettazione, costruzione, collaudo e lancio di nuove infrastrutture orbitali, e assistenza, gestione e amministrazione del framework. I primi Kvant e Kristall dovrebbero essere costruiti negli Array, ma a partire dagli anni Trenta la rete orbitale dovrebbe già essere in grado di sostenersi e replicarsi in modo autonomo.

Un Kristall è indicato da una sigla KRS-X-Y, con X un numero che rappresenta il pianeta per distanza dal Sole e Y una lettera che indica l'ordine di arrivo su tale pianeta. Un Kvant è identificato da una sigla KNT-XXY, dove XX sono le ultime due cifre dell'anno di immatricolazione e Y è una lettera che indica l'ordine di immatricolazione in quell'anno.

È evidente che un piano del genere comporta un gran numero di variabili da esaminare, in particolare per quanto riguarda i rischi legati al cosmo (detriti spaziali, fasci di particelle ad alta energia, asteroidi e comete) e al fattore umano. È per questo motivo che ogni studio dev'essere condotto con la massima cura e ridondanza e da un team fortemente coeso sul piano ideologico.

A. Reattore al laser Spektr

Spektr è il reattore a fusione nucleare progettato per alimentare i Kristall più lontani dal Sole e i Kvant per l'esplorazione interstellare. Sfrutta le proprietà della materia degenere e numerosi effetti per produrre energia elettrica destinata ad alimentare i sistemi di bordo.

In una nana bianca l'energia prodotta dalle reazioni di fusione nucleare non è più in grado di equilibrare la forza gravitazionale, che causerebbe il collasso della stella; allora si viene a formare un gas di Fermi completamente degenere, in cui la pressione degenerativa degli elettroni riesce a riportare la stella in uno stato relativamente stabile. Il gas è estremamente caldo ma la superficie radiativa è molto ridotta, quindi è necessario un intervallo di tempo estremamente lungo affinché tutta l'energia ivi concentrata si irraggi nell'universo.

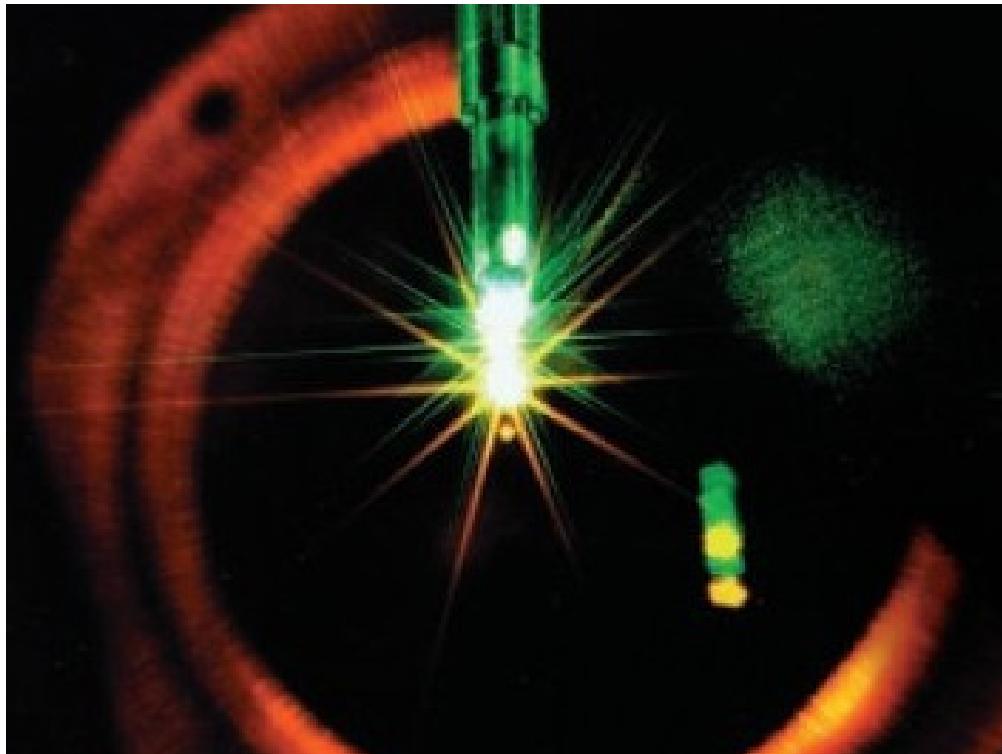


Fig. 7 Nova, una fusione a confinamento inerziale, che ha prodotto condizioni paragonabili a quelle all'interno del nucleo solare.

Eseguendo per confinamento inerziale una reazione di fusione nucleare di un composto leggero dell'idrogeno all'interno di un recipiente a tenuta stagna sufficientemente resistente, l'onda d'urto di ritorno nel fulcro della reazione può portare alla formazione di un gas del tutto analogo a quello che si trova nel nucleo di una nana bianca, ma esponenzialmente più piccolo. L'elevata temperatura raggiunta, combinata con la bassa superficie di irraggiamento e la pressione degenerativa degli elettroni, può quindi essere sfruttata in un ciclo termico, con termocoppie o in altro modo per produrre energia elettrica.

Il problema principale di questa tecnologia è, naturalmente, il mantenimento di una fonte energetica così intensa all'interno di un recipiente stagno; del resto, il mondo intero sta cercando da decenni di risolvere il problema del confinamento nei tokamak tradizionali.

L'idea di Spektr Mark I è quella di sfruttare il campo magnetico prodotto dal nucleo per indurre una tensione che, a sua volta, può essere usata per generare un campo magnetico opposto, che mantenga la sorgente in equilibrio statico con l'ambiente circostante; la superficie radiativa esterna, di forma sferica, avrebbe un'albedo estremamente elevato, in modo da limitare il riscaldamento per irraggiamento della membrana esterna. Alle estremità di uno o più dei diametri verrebbero montate delle fibre ottiche, adeguatamente schermate, in grado di trasportare le onde elettromagnetiche prodotte dal nucleo verso celle fotovoltaiche e quindi produrre elettricità.

Una maniera alternativa e sicuramente tecnologicamente meno problematica è la seguente: al posto di avere un unico emettitore di fotoni ad alta energia, si possono produrre tanti piccoli nuclei di temperatura sufficientemente bassa, in modo da poterli mantenere in equilibrio statico con l'ambiente circostante usando mezzi di tipo meccanico.

In Spektr Mark II, invece, un cristallo di deuteruro di litio (LiD) viene pesantemente compresso e drogato per impiantazione ionica con atomi di prozio, deuterio e/o trizio e posto in una camera, dove una serie di fasci laser irraggiano i nuclei di idrogeno, innescando tante reazioni di fusione nucleare i cui prodotti, raggi α e γ , vengono captati da particolari trasduttori alternati con i laser sulle pareti della camera. In questo caso la resa della reazione è condizionata dallo spazio disponibile a bordo, ma la fusione nucleare a raggi X sembra essere una strada relativamente economica, semplice e sicura, in base a quanto dimostrato da Belayev et al. nel 2018.

Il nome è un tributo alla stazione spaziale Mir, che ha operato in orbita terrestre bassa tra il 1986 e il 2001.



Fig. 8 La Stazione Spaziale Freedom, che ha fortemente influenzato Kristall.

B. Infrastruttura orbitante *Kristall*

Kristall è un progetto di infrastruttura orbitante polifunzionale in grado di ospitare scienziati, turisti e ingegneri, composta da quattro sezioni, ciascuna delle quali dispone di strutture e funzioni specifiche e interconnesse:

- Lithium è formato da quattro moduli rigidi, connessi tra loro attraverso altrettanti nodi/airlock/docking compartment, formando un quadrato. Questa sezione è adibita a laboratorio orbitante multiuso compatibile con il modello della Stazione Spaziale Internazionale, e ciascun modulo è diviso in più piani secondo il modello TransHab *.
- Platinum è formato da quattro moduli rigidi connessi allo stesso modo tra loro che comunicano trasversalmente con Lithium. Questa sezione è la zona abitativa degli ospiti dell'avamposto, anch'essa in stile TransHab.
- Silicium è formato da quattro moduli rigidi, che contengono le apparecchiature elettriche, i sistemi di navigazione e comando e le provviste alimentari. Una struttura reticolare non pressurizzata, invece, alloggia i pannelli fotovoltaici, le antenne principali, i pezzi di ricambio, i serbatoi di propellente, gli hangar non pressurizzati, quattro bracci robotici e il sistema di propulsione elettro-solare.
- Vanadium è formato da quattro moduli rigidi, dai quali si gestiscono i bracci robotici della struttura reticolare che costruiscono e collaudano i Kvant e i componenti di altri Kristall all'interno degli hangar non pressurizzati.

La sezione pressurizzata di Silicium comunica con Lithium mediante lo zenith dei nodi di quest'ultimo; la struttura reticolare è agganciata allo zenith di Silicium e Vanadium, che comunicano trasversalmente tra loro.

Si stima che ogni modulo rigido pressurizzato abbia diametro e lunghezza media interna di almeno 5 e 9 m, per un totale di 2700 m³ di volume abitabile, più di 6 volte quello della Stazione Spaziale Internazionale. Ogni Kvant in configurazione cargo è capace di trasportare quattro moduli per volta, di conseguenza è sufficiente una decina di voli per il suo completamento. A quel punto la stazione dovrebbe essere abitata da 50 persone più un Kvant di emergenza.

Una possibile sequenza di assemblaggio è la seguente:

- 1) Sezione pressurizzata di Silicium;
- 2) Sezione pressurizzata di Vanadium;
- 3) Telaio trasversale;
- 4) Sistema di propulsione elettro-solare, con pannelli fotovoltaici;
- 5) Serbatoi di propellente e antenne principali;
- 6) Sezione pressurizzata di Lithium;
- 7) Sezione pressurizzata di Platinum;
- 8) Telaio verticale;
- 9) Parti di ricambio, bracci robotici e sistemi per cantiere spaziale.

Una volta completato, un *Kristall* è in grado di raggiungere qualsiasi orbita nel terrestre e, se dotato di Spektr, anche altri pianeti del Sistema Solare, nonché, eventualmente, destinazioni ancor più lontane.

Per salvaguardare la sicurezza delle stazioni e dei relativi equipaggi, un *Kristall* può essere costruito solo da un altro *Kristall* vicino, e può essere spostato nell'orbita desiderata solo dopo il suo completamento.

C. Propulsore elettromagnetico *Laserfan*

Il *Laserfan* è un propulsore per applicazioni aerospaziali in sviluppo dal 2020, ed è la base delle navette *Kvant*.

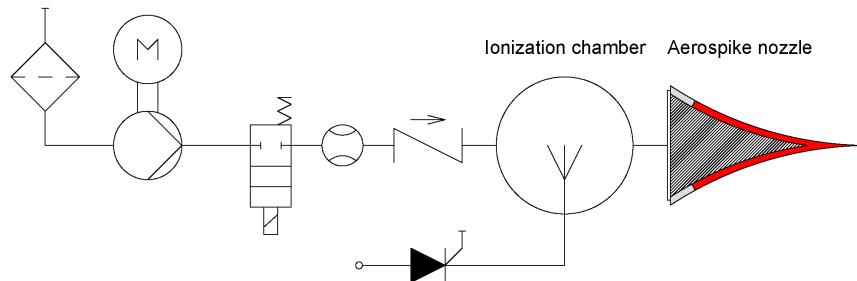


Fig. 9 Diagramma schematico di *Laserfan* Mark III.

*AIAA Paper 2000-1822

L'idea originale prevedeva un turbofan derivato dal modulo LM6000, al quale venivano rimosse le pale nelle turbine per l'espansione dei gas di scarico, ridotto a un terzo il numero degli stadi di compressione e rimossi gli iniettori del combustibile stesso, sostituiti da una serie di pastiglie di idrogeno compresso uniformemente disposte sulla corona interna della sezione di gola. Una saracinesca ad azionamento elettrico poteva isolare la sezione di compressione dalle altre. Al decollo un motore sincrono trifase avrebbe alimentato la ventola, come avviene in un convenzionale aereo elettrico. A 20 km di altitudine, con regime di volo supersonico, la sezione di compressione sarebbe stata chiusa e una serie di fasci laser avrebbe provocato la fusione nucleare delle pastiglie di idrogeno. Per il principio di azione e reazione Kvant avrebbe raggiunto la velocità necessaria per superare l'atmosfera terrestre senza il bisogno di alcun propellente, e tutte le manovre orbitali sarebbero state eseguite con propulsori a griglia ionica. Eventualmente, anche le manovre di immissione in orbite trans-planetarie si sarebbero rese più rapide riutilizzando Laserfan, poiché in orbita il modulo di gola sarebbe stato sostituito per permettere fino a 5 accensioni, con un sistema di refurbishment analogo a quello di un convenzionale caricatore di pistola.

L'idea maturata, invece, a partire da Mark I, e successivamente evolutasi in Mark II e III, gli unici ad aver effettivamente superato la fase di progettazione, prevede che Kvant sia spinto unicamente da un sistema di Solar Electric Propulsion (SEP), che eventualmente sostituirà la fonte di energia elettrica solare con Spektr, una volta che la costruzione di quest'ultimo sarà ultimata. Il progetto finale prevede di produrre la spinta dalla compressione e dalla ionizzazione di gas atmosferico (ad esempio aria), per griglie elettrostatiche e/o effetto Hall. Mark III è progettato per volare su Ikarus-Y, il penultimo Kvant Test Article.

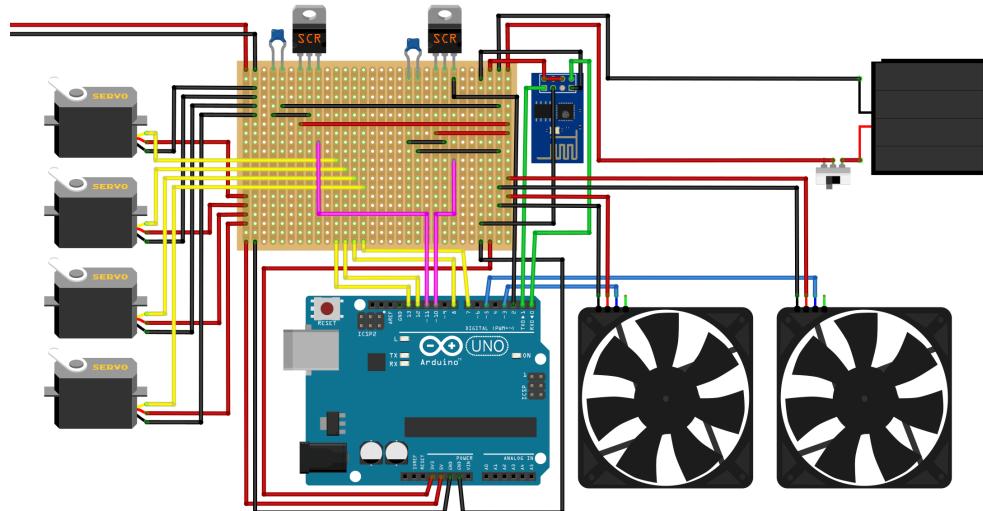


Fig. 10 Circuito di comando dei Laserfan a bordo di Ikarus-Y.

È in corso la progettazione di due modelli più performanti, Mark IV e V, destinati a volare sui primi articoli strutturali di test di Kvant. Mentre Mark IV costituisce un semplice potenziamento di Mark III, con l'aggiunta dei serbatoi di gas (in modo da consentire l'operatività nel vuoto) e più sensori e attuatori, Mark V adotta una filosofia completamente diversa, basata sulla riconnessione magnetica dei plasmoidi, che qui non viene approfondita.

Un altro possibile progetto di Laserfan, denominato Laserfan Mark VI, è il seguente. Si disponga un contenitore contenente una o più sorgenti di particelle alfa (eventualmente scarti radioattivi). Una parete mobile, a saracinesca, ospita una membrana permeabile ai soli ioni (He-4) $^{2+}$, che vengono collimati e accelerati con un selettore di velocità, alimentato da energia solare. La spinta verso l'esterno procura la propulsione. Quest'ultima configurazione è forse la più economica, assieme a quella dei Mark I-IV, in quanto la tecnologia esiste già ed è richiesta solo un progettazione meramente ingegneristica. La decisione finale sarà presa in base ai risultati dei test sperimentali.

Nel primo concept, l'elevata pressione nella camera di combustione viene raggiunta poiché ciascuna pastiglia è immersa in un cristallo di sodio, che vaporizza immediatamente grazie all'efficiente trasmissione del calore per irraggiamento e urti molecolari; da questo, il nome del propulsore.

D. Navetta spaziale *Kvant*

Kvant è il progetto di navetta spaziale multifunzione capace di trasportare un equipaggio di 8 persone più un carico utile di 150 t o di 50 persone. È pensata per eseguire voli abitati di lunga durata verso qualunque destinazione del Sistema solare e lavori su grandi infrastrutture orbitali; si tratta dunque di uno Space Shuttle “potenziato”.

È composto da cinque moduli, connessi mediante otto grandi corridoi; il modulo centrale non può essere rimosso in quanto contiene il ponte di comando, gli alloggi per l'equipaggio, le apparecchiature elettriche, i serbatoi di propellente, aria e acqua, due paracadute e Spektr. Gli altri moduli possono essere utilizzati come stive di carico o ponti per il trasporto di passeggeri. Anche se la base del veicolo è tutta d'un pezzo, la sovrastruttura primaria può essere rimossa per eseguire gli opportuni fitting, tra configurazione cargo e configurazione passeggeri.

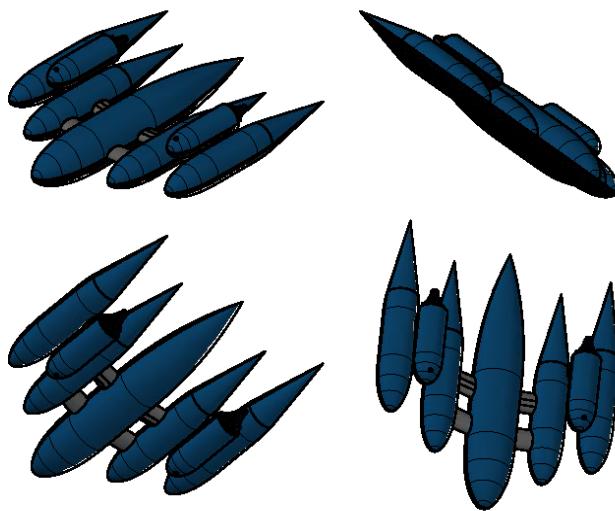


Fig. 11 Rendering di Ikarus-Y, prototipo della serie Kvant Test Article (KTA).

La sovrastruttura è in un materiale composito basato su carbonio allotropico, mentre il sistema di protezione termica è integrato. La navetta dispone di due airlock, con i quali può agganciarsi con altri veicoli spaziali dotati di NASA Docking System o consentire passeggiate spaziali. L'alimentazione per gli impianti elettrici proviene da Spektr o, nei voli di durata minore, dal rivestimento in pannelli fotovoltaici.

Per atterrare su qualsiasi superficie del Sistema Solare, è provvisto di carrelli di atterraggio retrattili, azionati da piccoli motori asincroni, e da un triplice paracadute verticale.

Il sistema di navigazione inerziale autonomo è costituito da un'unità di misura inerziale, gruppi ottici connessi ai telescopi di riferimento stellare e radar per i dati di altimetria delle fasi di decollo e atterraggio, oltre ai computer di bordo, che sono gestiti direttamente dall'equipaggio sfruttando display touch screen di ultima generazione.

I sistemi di bordo sono gestiti da un sistema Unix-like, che eseguono simultaneamente gli stessi calcoli per assumere i valori statisticamente migliori.

Si prevede una flotta composta da 6 unità: Ranger, Aquila, Endurance, Hydra, Lyra, Lazarus. I nomi sono ispirati ad alcune costellazioni del cielo boreale e dai nomi dei mezzi presenti nel film *Interstellar*.

Questo e Spektr sono gli unici componenti dell'ASF attualmente in fase di progettazione avanzata; prima di avviare lo studio del *Kvant* vero e proprio, la serie Ikarus sta testando le tecnologie necessarie, nonché i sistemi di controllo e tutti gli altri sottosistemi che serviranno al veicolo finale. La serie Ikarus ha visto la luce nel 2019, con la progettazione e la costruzione di Ikarus-X, primo della serie, e si prevede che si concluderà nel 2023, con i voli di Ikarus-Z.

In russo, *Kvant* significa "quanto", una quantità elementare discreta e indivisibile di una certa grandezza; in effetti, *Kvant* è la prima parte del Framework, quella che che agisce da "traghetto".

III. Prospettive di evoluzione umana abilitate da ASF

L'ASF costituisce la base di una intera space economy; di conseguenza, agendo da fondamenta, non può essere che terreno fertile per la crescita di tecnologie e stili di vita del tutto nuovi.

Nella Design Reference Architecture 5.0 [†] sono stati definiti alcuni obiettivi da perseguire nell'esplorazione di Marte; partendo da questi, si annoverano alcune delle sfide del secolo presente che potrebbero riguardare l'ASF:

- Definizione degli obiettivi scientifici dell'esplorazione spaziale;
- Possibilità di eseguire determinate operazioni in maniera robotizzata o supervisionata;
- Definizione di nuovi lavori, come minatori spaziali, scienziati planetari, forze spaziali ecc.;
- Istituzione di organizzazioni governative interplanetarie, per la salvaguardia della pace nel Sistema Solare;
- Occupazione di ogni corpo del Sistema Solare in modo funzionale ai bisogni delle specie terrestri;
- Definizione di nuovi materiali da costruzione per la costruzione delle nuove città extraterrestri;
- Redazione di un *Codice della Navigazione Spaziale*, di *piani di sviluppo urbano* e di convenzioni internazionali che regolino i rapporti tra le Nazioni terrestri ed extraterrestri;
- Ottenimento della piena indipendenza dei veicoli spaziali e delle Nazioni extraterrestri da materiali di consumo terrestri, come acqua, cibo, propellente e parti di ricambio;
- Varie ed eventuali.

Questi obiettivi discendono dal fatto che la legge di Darwin sull'evoluzione delle specie è imprescindibile e prima o poi l'uomo dovrà occuparsi anche di questi problemi, come già dimostrato dagli ultimi incidenti orbitali che hanno interessato Stati Uniti d'America, Cina e Russia. L'istituzione delle space forces nazionali, di fianco alle agenzie spaziali governative, è solo un piccolo tassello dell'inarrestabile processo di evoluzione umana.

IV. Supportabilità, mantenibilità e partecipazione pubblica

Un progetto ambizioso come questo è impossibile da realizzare senza adeguati finanziamenti. Nel 1970, un piano simile fu preventivato per un costo di 9 miliardi di dollari del 1970 all'anno, equivalenti a circa 67 miliardi del 2022.

È difficile fare delle stime per i costi dell'ASF, in quanto le tecnologie coinvolte sono effettivamente disponibili, e anche l'opinione pubblica in merito a queste tematiche è drasticamente cambiata. Proprio grazie agli esperimenti condotti durante l'ultimo secolo si è in grado di stabilire con assoluta certezza l'affidabilità delle soluzioni tecniche adottate, per periodi di tempo che si estendono per oltre 50 anni dall'entrata in servizio. La propulsione ionica si è dimostrata essere il miglior mezzo di trasporto per missioni interplanetarie di lunga durata, traghetti celesti e voli caratterizzati da ripetute accensioni nel tempo e grandi valori di impulso totale.

In ASF gli attori in gioco sono potenzialmente tutti gli Stati dell'ONU, e gli interessi non riguardano solo scienziati e ricercatori, ma agenti giuridici ed economici e soprattutto persone fisiche. Si tratta dell'opportunità di generare nuovi posti di lavoro, eliminare occupazioni fisicamente provanti, superare barriere ideologiche, dare un motivo in più alle persone per contribuire al meglio per lo sviluppo della società. È la possibilità di vedere quel pallido puntino blu, quale è la Terra, non come il posto dove tutto cominciò e tutto finirà, ma come il posto dove tutto partì e nulla potrà mai finire. È la natura stessa dell'uomo: il bisogno di conoscenza, dai semplici pettegolezzi sull'uscio di casa alle grandi domande della Fisica, e il suo istinto di sopravvivenza, la più grande fonte d'ispirazione nella vita di tutti i giorni.

Per questo, il finanziamento dell'Astrodynamic Space Framework e l'ingresso del singolo al suo interno può essere nell'interesse di chiunque, e il ritorno economico dell'impresa è implicito.

V. Conclusione

In conclusione, l'Astrodynamic Space Framework fornisce un modello, molto ambizioso ma attuabile, di space economy sostenibile a lungo termine e per molti obiettivi.

Le possibilità abilitate da questo Framework sono molto più ampie; basti pensare che l'architettura stessa del sistema è flessibile a incorporazioni successive, refurbishment e refresh periodici, e quindi questo è solo un trampolino di lancio verso un sistema ancora più complesso ma efficace per abilitare l'esplorazione dell'uomo nello spazio interstellare, con futuri warp drive sviluppabili già nella seconda metà di questo secolo, grazie agli innumerevoli studi condotti dalla comunità scientifica internazionale.

[†]NASA-SP-2009-566-Mars-DRA5

References

- [1] Sito ufficiale della missione Dawn - <https://solarsystem.nasa.gov/missions/dawn/overview/>
- [2] Sito ufficiale della missione Deep Space 1 - <https://www.jpl.nasa.gov/nmp/ds1/index.php>
- [3] Dana G. Andrews et al., *Defining a successful commercial asteroid mining program*, Acta Astronautica 108 (2015) 106-118.
- [4] Shane D. Ross, *Near-Earth Asteroid Mining*, Control and Dynamical Systems, Caltech 107-81, Pasadena, CA 91125, shane@cds.caltech.edu, December 14, 2001, Space Industry Report.
- [5] Sito ufficiale Graphene Flagship - <https://graphene-flagship.eu/graphene/understand/>
- [6] Wernher von Braun, *Manned Mars Landing Presentation To The Space Task Group*, 4 agosto 1969.
- [7] Stanley K. Borowski, Stephen W. Ryan, David R. McCurdy, Bob G. Sauls, *Commercial and Human Settlement of the Moon and Cislunar Space - A Look Ahead at the Possibilities Over the Next 50 Years*, August 19, 2019.
- [8] Stuart L. Shapiro, Saul A. Teukolsky, Black Holes, *White Dwarfs, and Neutron Stars: The Physics of Compact Objects*, 6 maggio 1983
- [9] R. G. Jahn, *Physics of Electric Propulsion*, McGraw-Hill, 2006.
- [10] V. B. Belyaev, M. B. Miller, J. Otto, and S. A. Rakityansky, *Nuclear fusion induced by x rays in a crystal*, Phys. Rev. C 93, 034622 - Published 28 March 2016.
- [11] Terry Kammash, *Fusion Energy in Space Propulsion*, 978-1-56347-184-1, January 1, 1995.
- [12] P.R. Ahlf, R.J. Saucillo, B.D. Meredith, *Space Station Freedom Integrated Research and Development Growth*, February 6-8, 1990.
- [13] *Space Station Freedom: A Foothold On The Future*, NASA-NP-107/10-88, 48 pages, 1990.
- [14] *Space Shuttle System Summary*, Rockwell International Space Division, SSV73-45(R), July 1973.