



# **ΑΕΡΟΔΙΑΣΤΗΜΙΚΑ ΠΡΟΩΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΡΩΜΑΙΟΣ (Δρ. Μηχ.)**  
*Τμ. Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Πατρών*

# ΠΡΟΩΣΗ

---

**-Πρόωση στην ατμόσφαιρα**

**-Πρόωση στο διάστημα**

# Τι είναι πρόωση?

---

- Έναρξη ή μεταβολή της κίνησης ενός σώματος
  - *Μεταφορική* (γραμμική, επιτάχυνση ή επιβράδυνση)
  - *Περιστροφική* (γύρω από άξονα)
- **Διαστημική Πρόωση**
  - Εκτόξευση πυραύλων
  - Έλεγχος κίνησης δορυφόρων
  - Ελιγμοί διαστημοπλοίων
- **Πρόωση Jet**
  - Χρήση της ορμής εκτοξευόμενης μάζας (προωθητικού) για δημιουργία *δύναμης αντίδρασης*, που επάγει κίνηση



www.hearlinh.com

*At one time it was believed that rockets could not work in a vacuum -- they needed air to push against!!*

# Κατηγοριοποίηση της πρόωσης Jet

- **Αεριοπρωθούμενα Συστήματα (Air-Breathing)**
  - Ονομαζόμενη και *duct propulsion*.
  - Το όχημα μεταφέρει το καύσιμό του, και ο περιβάλλον αέρας χρησιμοποιείται (ως οξειδωτικό) για την καύση και την πρόωση
  - Αεριοστρόβιλοι αεροσκάφους...
- **Πυραυλική πρόωση**
  - Το όχημα μεταφέρει το καύσιμό του και το οξειδωτικό, ή άλλο εκτοξευόμενο προωθητικό για την πρόωση:
  - Μπορεί να λειτουργήσει εκτός γήινης ατμόσφαιρας
  - Εκτόξευση οχημάτων, άνω βαθμίδων, γήινων δορυφόρων, διαστημόπλοιων διαπλανητικών ταξιδιών ... ή



... a rocket  
powered  
scooter!

[www.the-rocketman.com](http://www.the-rocketman.com)

# Εφαρμογές διαστημικής πρόωσης

---

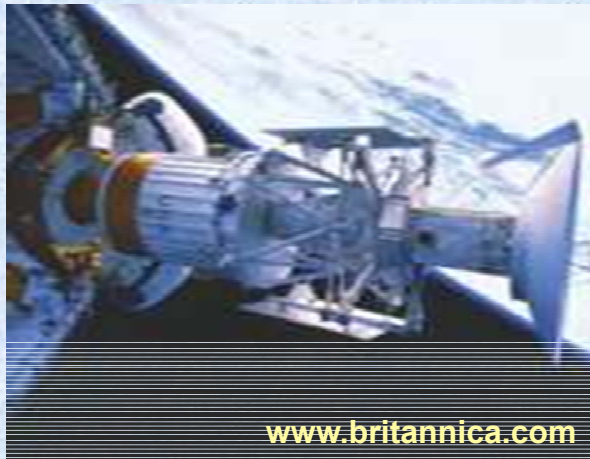
- Εκτόξευση οχημάτων
- Βαλλιστικοί Πύραυλοι
- Γήινοι δορυφόροι,
- Άνω βαθμίδες
- διαστημόπλοια  
διαπλανητικών ταξιδιών
- Επανδρωμένες  
διαστημικές πτήσεις



[www.army-technology.com](http://www.army-technology.com)



[en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)



[www.britannica.com](http://www.britannica.com)



[blog.wired.com](http://blog.wired.com)



[www.psrdr.hawaii.edu](http://www.psrdr.hawaii.edu)

# Λειτουργίες διαστημικής πρόωσης

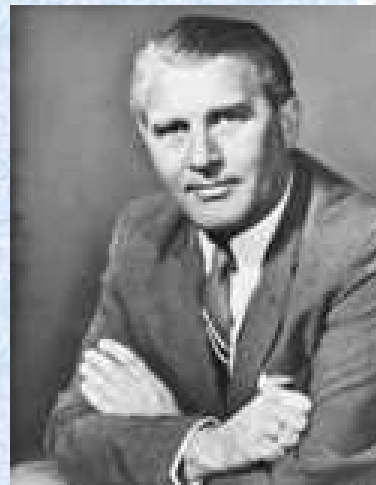
- **Κύρια πρόωση**
  - Εκτόξευση και ανύψωση
  - Ελιγμοί
  - Μεταφορά σε τροχιά, station keeping, διόρθωση πορείας
- **Βοηθητική πρόωση**
  - Έλεγχος ύψους
  - Έλεγχος αντίδρασης
  - Διαχείριση ορμής



# Σύντομη ιστορική Ματιά

- **Κίνα (300 π.Χ.)**
  - Παλαιότερη καταγραφή χρήσης πυραύλων
  - Δυναμίτιδα (Black powder)
- **Ρωσία (αρχές του 1900)**
  - Konstantin Tsiolkovsky
  - Orbital mechanics, rocket equation
- **ΗΠΑ (1920)**
  - Robert Goddard
  - Πρώτος πύραυλος υγρών καυσίμων (1926)
- **Γερμανία (1940)**
  - Wernher von Braun
  - V-2
  - Hermann Oberth

Dr. von Braun



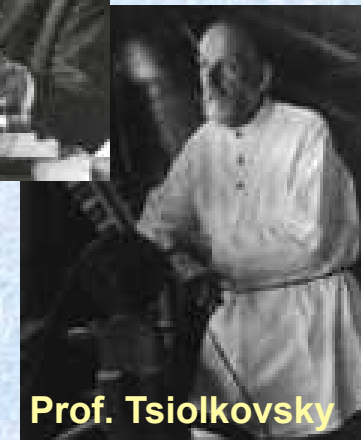
[www.britannica.com](http://www.britannica.com)



Wan-Hu who tried to launch himself to the moon by attaching 47 black powder rockets to a large wicker chair!



Dr. Goddard  
[goddard.littletonpublicschools.net](http://goddard.littletonpublicschools.net)

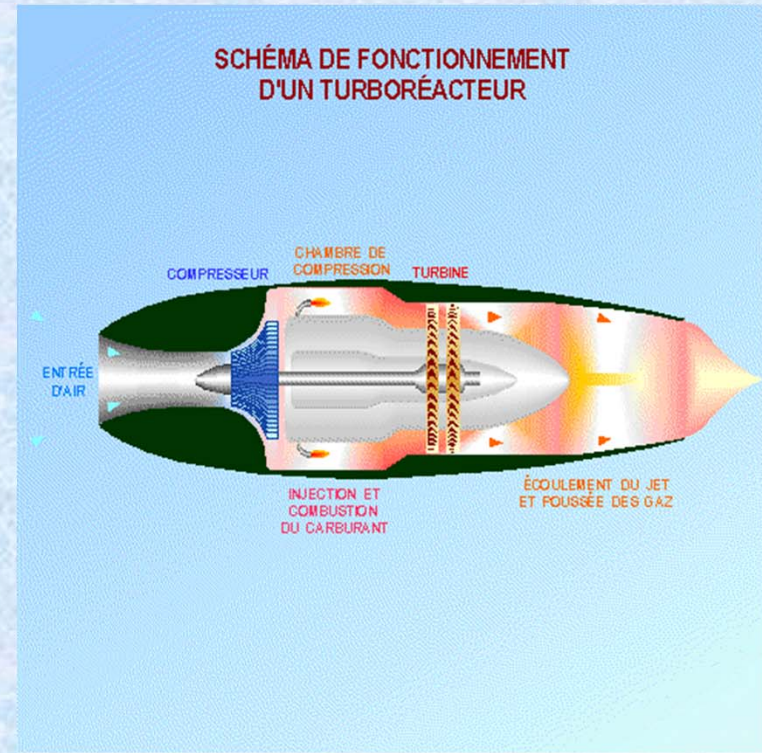
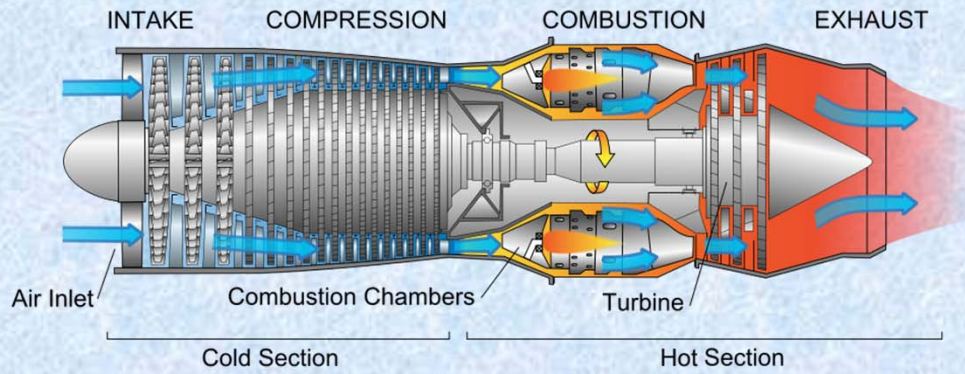


Prof. Tsiolkovsky

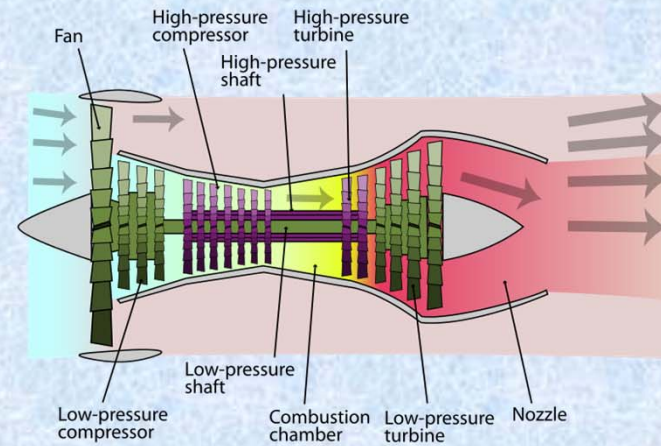
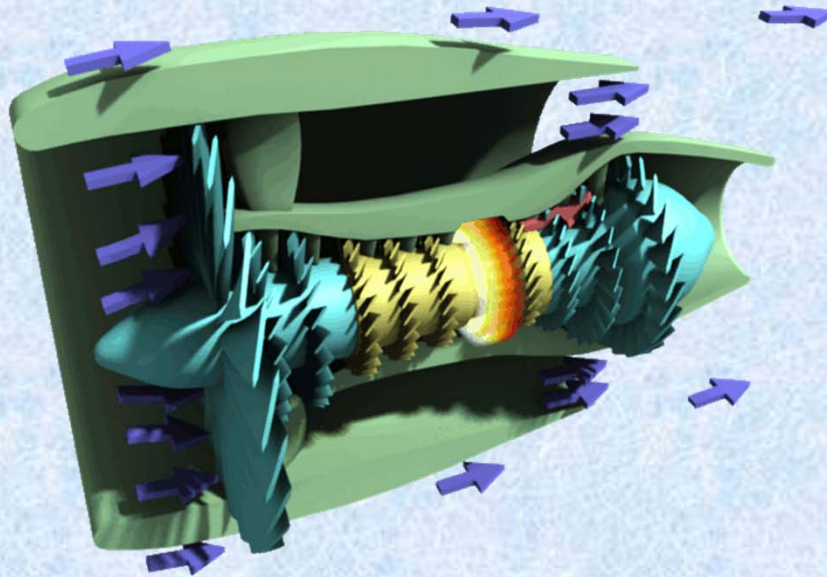
[www.geocities.com](http://www.geocities.com)

# Πρωθητικά Συστήματα

## Turbojet



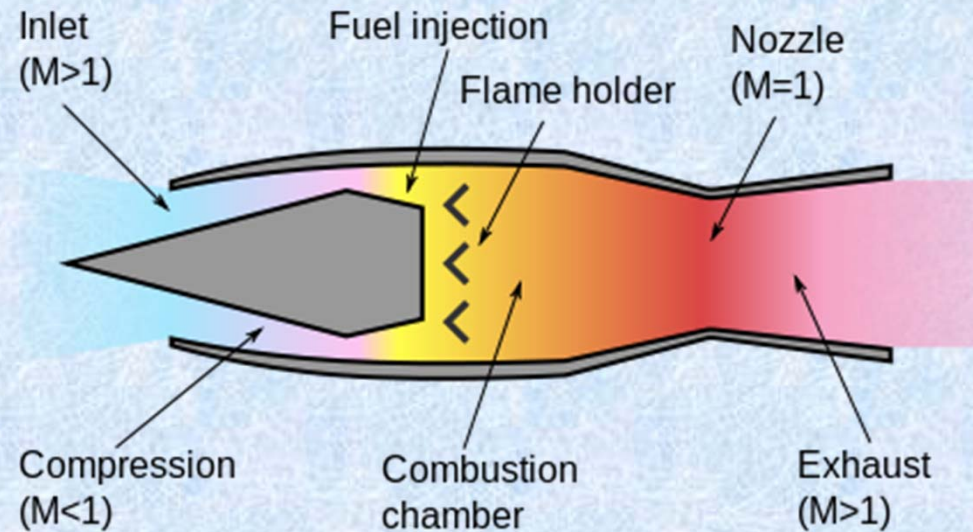
## Turbofan



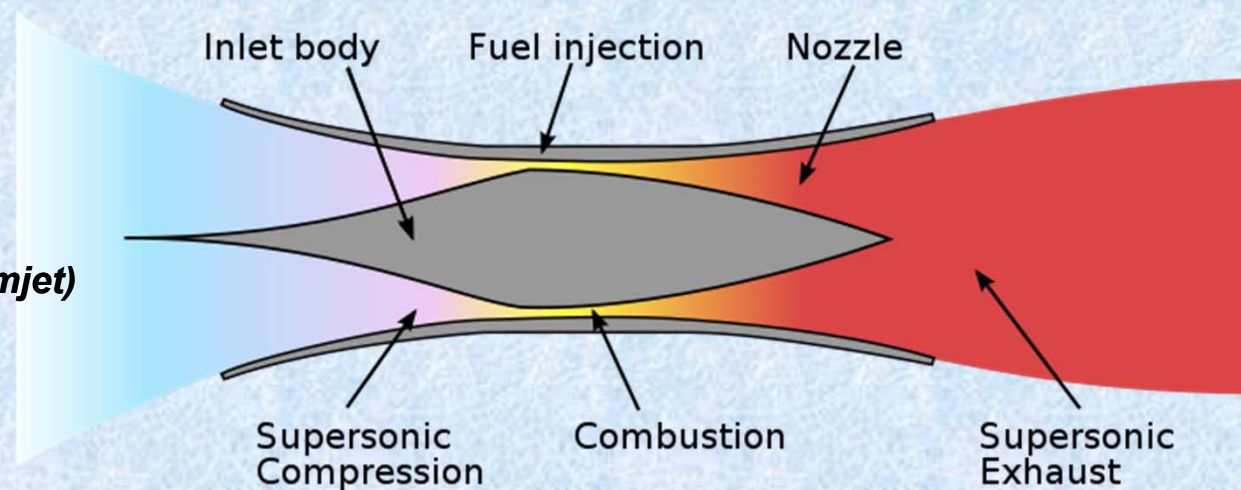


# Πρωθητικά Συστήματα

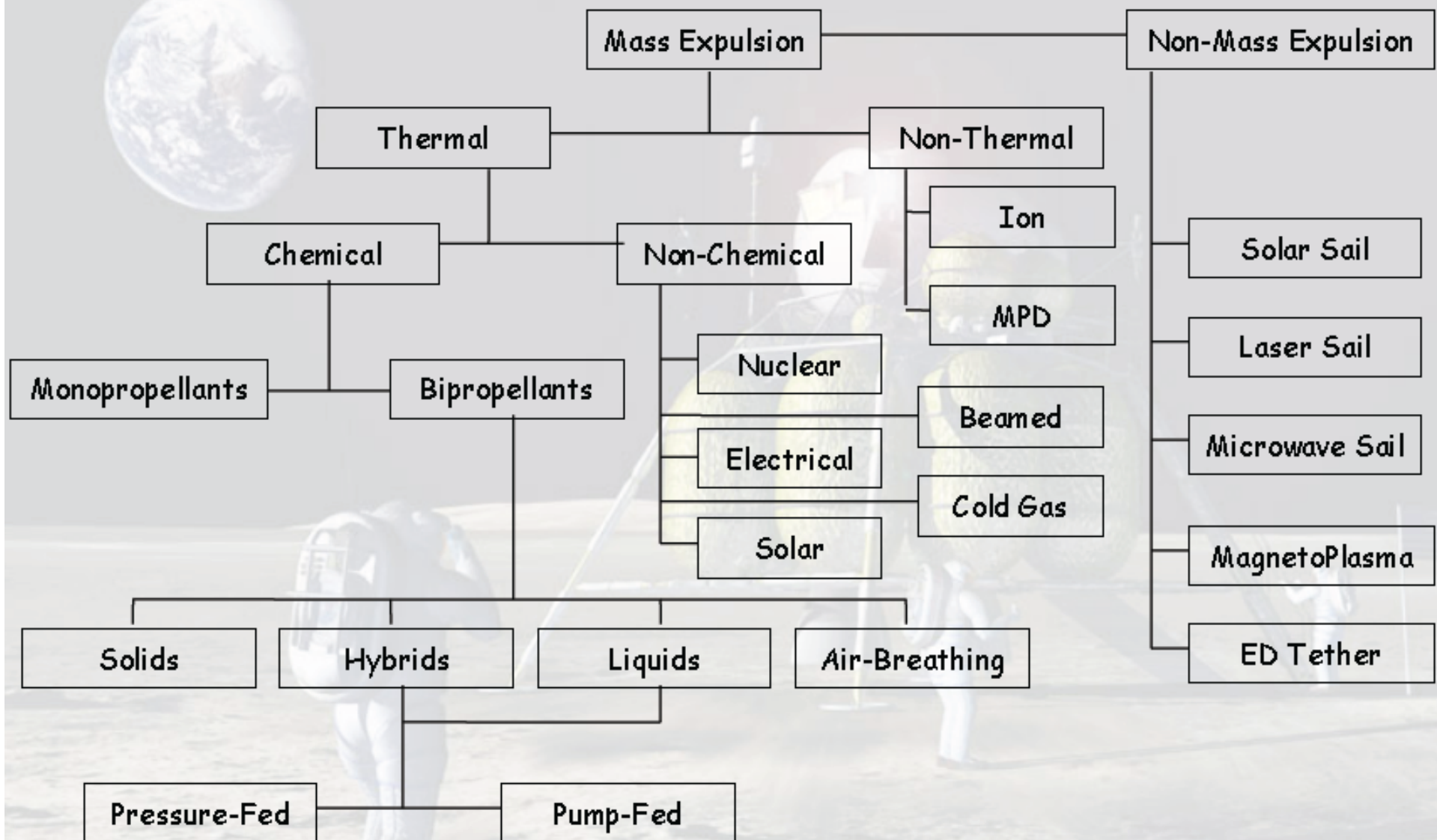
**Ramjet**



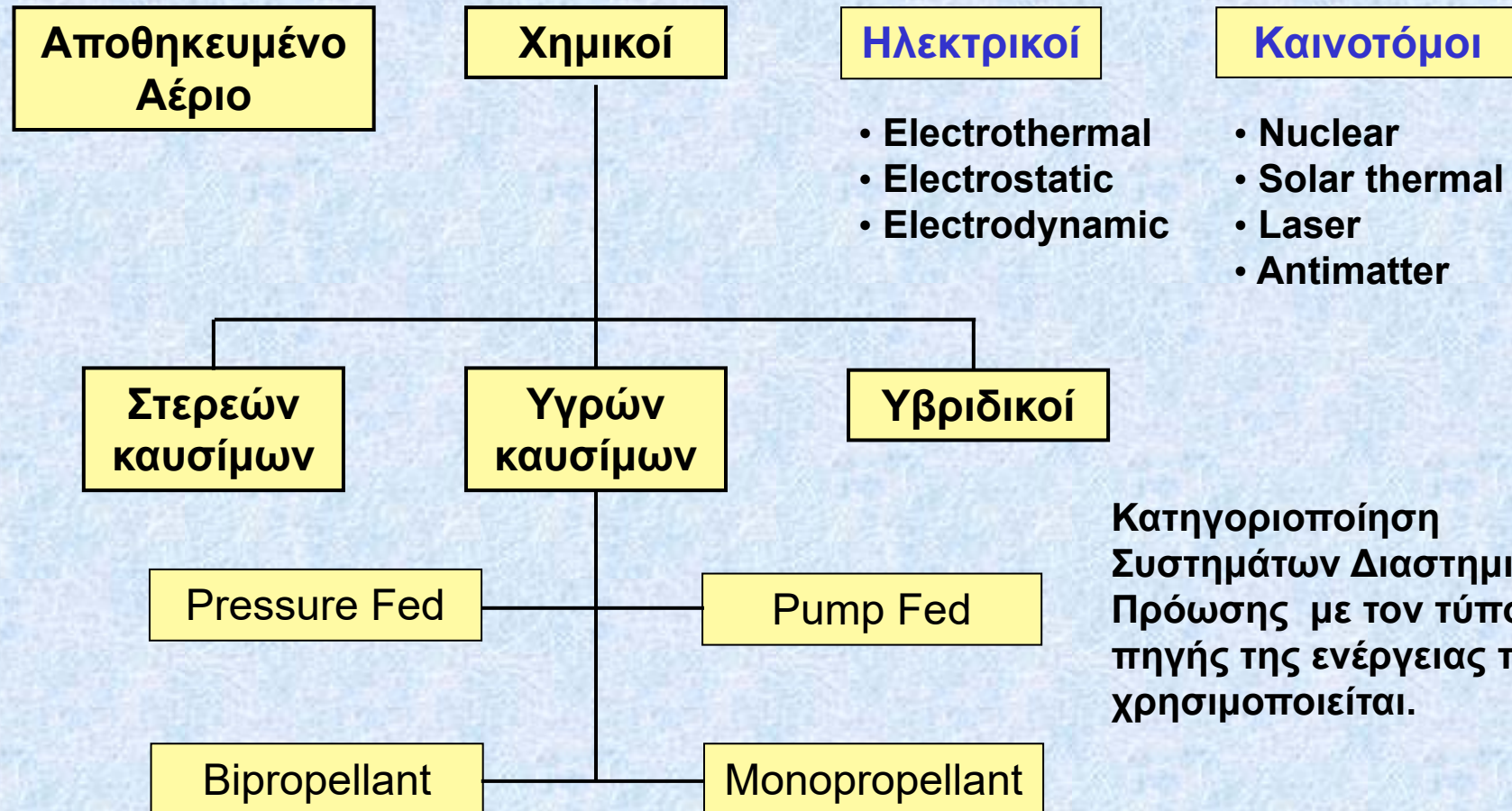
**Scramjet**  
(supersonic combusting ramjet)



# Κατηγοριοποίηση Συστημάτων Πρόωσης

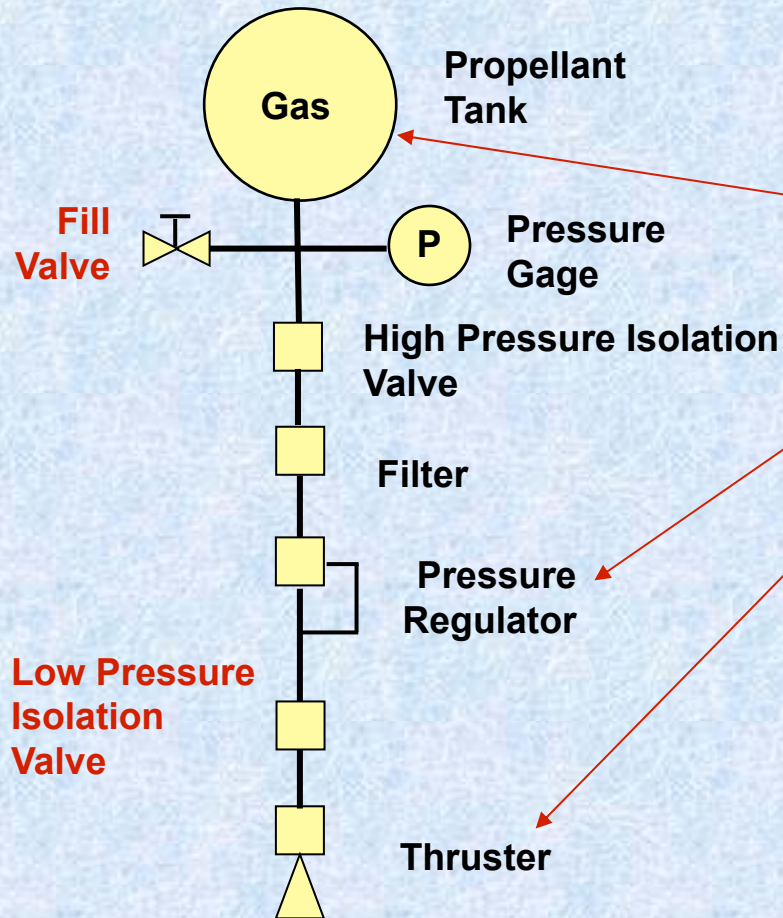


# Κατηγοριοποίηση Συστημάτων Διαστημικής Πρόωσης



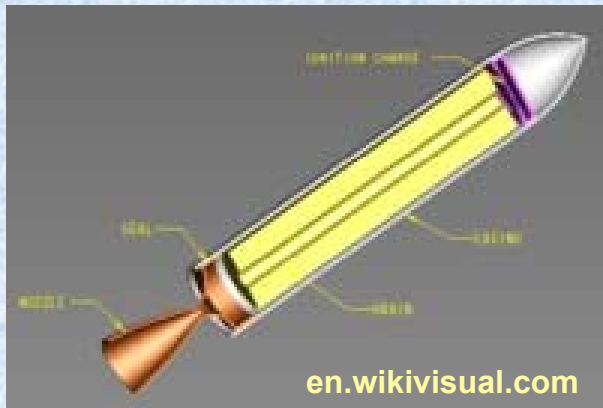
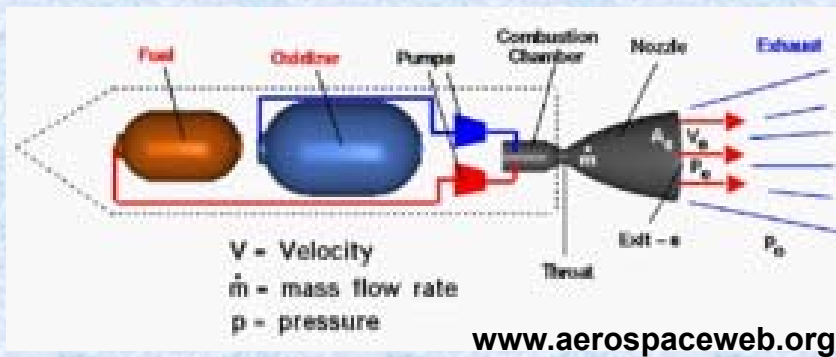
Κατηγοριοποίηση Συστημάτων Διαστημικής Πρόωσης με τον τύπο της πηγής της ενέργειας που χρησιμοποιείται.

# Πρόωση Αποθηκευμένου Αέριου (προωθητικού)



- Κύρια ή βοηθητική πρόωση
- Υψηλής πίεσης αέριο (*propellant*) τροφοδοτείται σε χαμηλής πίεσης ακροφύσια μέσω ρυθμιστών πίεσης.
- Έξοδος του αερίου από τα ακροφύσια (*thrusters*) δημιουργεί ώθηση.
- Χρησιμοποιείται για παράδειγμα στο Spitzer Space telescope.
- Στα προωθητικά περιλαμβάνονται –άζωτο, ήλιο, NOx, βουτάνιο.
- Πολύ απλή σύλληψη.

# Κατηγοριοποίηση Χημικής Πρόωσης

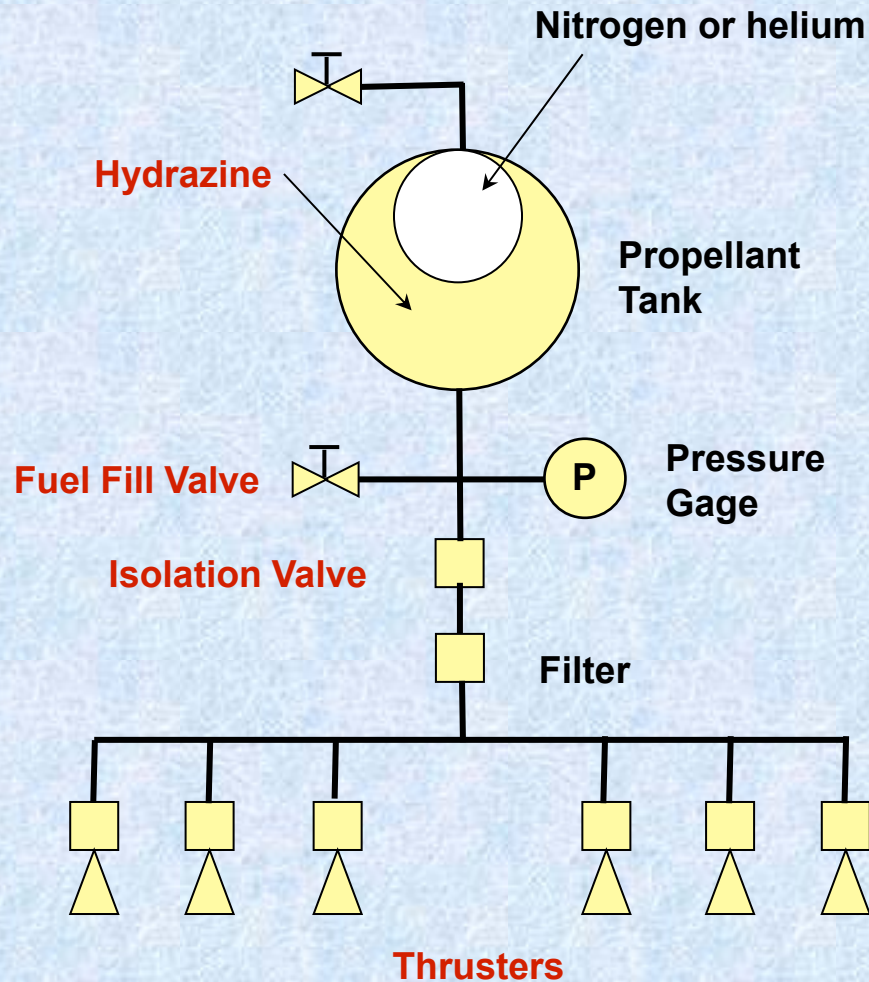


news.bbc.co.uk



- **Υγρό προωθητικό**
  - Τροφοδοσία με Αντλία
    - Οχήματα εκτόξευσης, μεγάλες άνω βαθμίδες
  - Τροφοδοσία με Πίεση
    - Μικρότερες κάτω βαθμίδες, διαστημόπλοιο
  - Μονοπρωθητικό
    - Μόνο καύσιμο
  - Διπρωθητικό
    - καύσιμο & οξειδωτικό
- **Στερεό προωθητικό**
  - Οχήματα εκτόξευσης, Space Shuttle, διαστημόπλοιο
  - Καύσιμο/οξειδωτικό σε στερεά μορφή
- **Υβριδικά**
  - Στερεά καύσιμα/Υγρό Οξυγόνο
  - Sounding rockets, X Prize

# Μονοπρωθητικά Συστήματα



- Η Υδραζίνη είναι το πιο κοινό μονοπρωθητικό καύσιμο  $N_2H_4$
- Αποσυντίθεται στον προωθητήρα (thruster) χρησιμοποιώντας καταλύτη για παραγωγή θερμών αερίων για ώθηση.
- Παλαιότερα συστήματα χρησιμοποιούσαν υπεροξείδιο του  $H_2$  (οξυζενέ  $H_2O_2$ ) πριν την ανάπτυξη καταλυτών υδραζίνης.
- Τυπική λειτουργία σε *blowdown mode* (αέριο συμπίεσης και καύσιμο σε κοινή δεξαμενή).

# Μονοπροωθητικά Συστήματα

## MONOPROPELLANT THRUSTERS

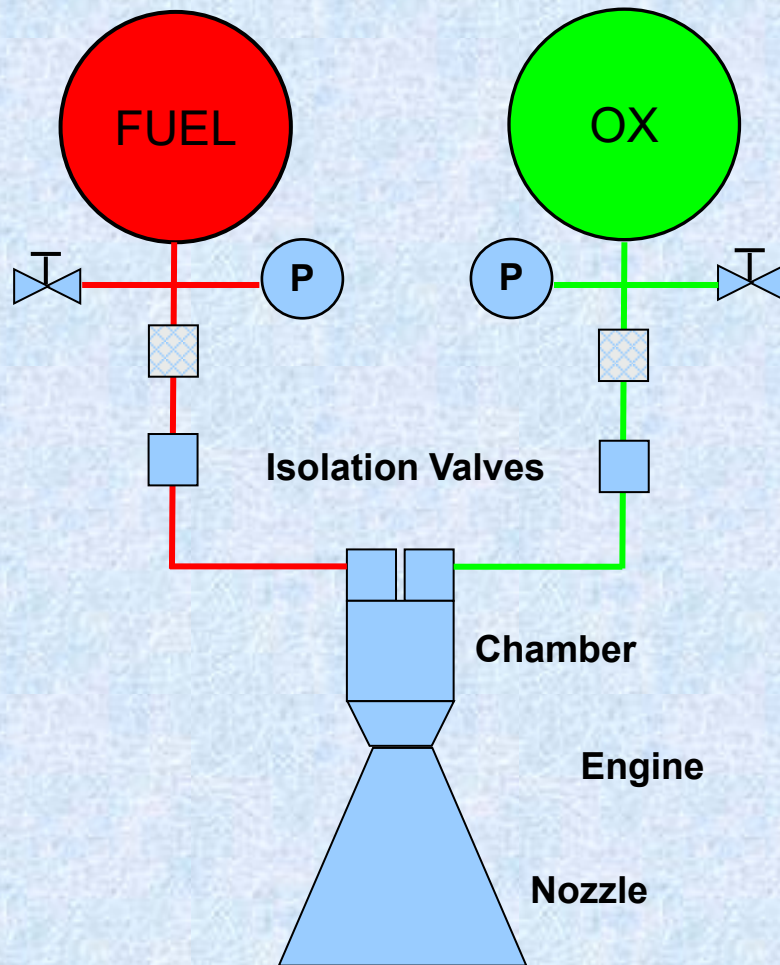
ENGINE <b>MONARC-1</b>	Nominal Thrust: 0.2 lbf Specific Impulse: 230 sec Propellants: Hydrazine Status: Flight proven	
ENGINE <b>MONARC-5</b>	Nominal Thrust: 1 lbf Specific Impulse: 232 sec Propellants: Hydrazine Status: Flight proven	
ENGINE <b>MONARC-22</b>	Nominal Thrust: 5 lbf Specific Impulse: 232 sec Propellants: Hydrazine Status: Flight proven	
ENGINE <b>MONARC-90</b>	Nominal Thrust: 20 lbf Specific Impulse: 235 sec Propellants: Hydrazine Status: Flight proven	
ENGINE <b>MONARC-445</b>	Nominal Thrust: 100 lbf Specific Impulse: 235 sec Propellants: Hydrazine Status: Flight proven	

[www.ampacisp.com](http://www.ampacisp.com)



[www.aerojet.com](http://www.aerojet.com)

# Διπρωθητικά Συστήματα



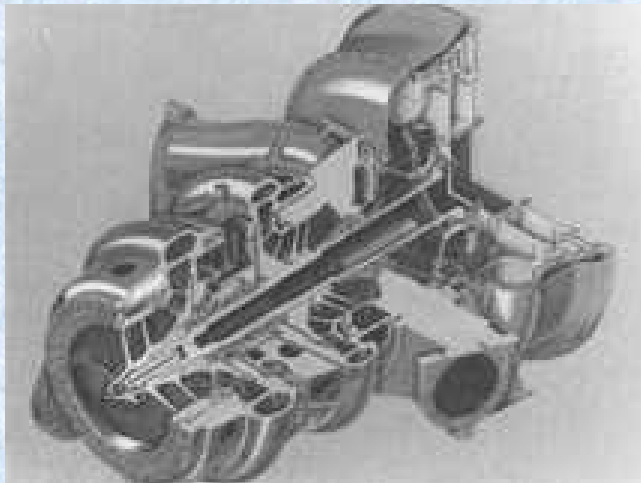
*Καύσιμο και οξειδωτικό τροφοδοτούνται στην μηχανή μέσω ενός εκτοξευτήρα και καίγονται στον θάλαμο ώθησης.*

- **Υπεργολικά (Hypergolic):** δεν απαιτείται εναυστήρας – τα προωθητικά αντιδρούν με την επαφή τους στην μηχανή.
- **Κρυογενικά προωθητικά: LOX (-423 °F) και LH2 (-297 °F).**
  - απαιτείται εναυστήρας
- **Αποθηκεύσιμα** προωθητικά: kerosene (RP-1), hydrazine, nitrogen tetroxide (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), monomethylhydrazine (MMH)



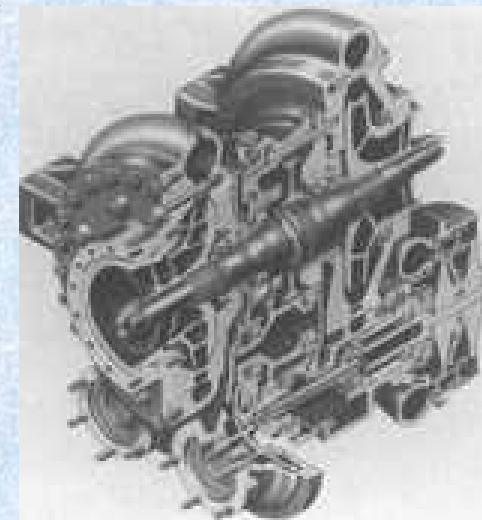
# Συστήματα υγρών προωθητικών

- **Συστήματα αντλιών τροφοδοσίας**
  - Το καύσιμο προωθείται στη μηχανή με *turbopump*
    - Αεριοστρόβιλος οδηγεί φυγοκεντρικές ή αξονικές αντλίες
  - Μεγάλα, υψηλής ώθησης, και μακράς καύσης συστήματα: οχήματα εκτόξευσης, space shuttle
  - Διάφοροι *κύκλοι* έχουν αναπτυχθεί.



F-1 Engine Turbopump

- F-1 engine turbopump:
- 55,000 bhp turbine drive
  - 15,471 gpm (RP-1)
  - 24,811 gpm (LOX)



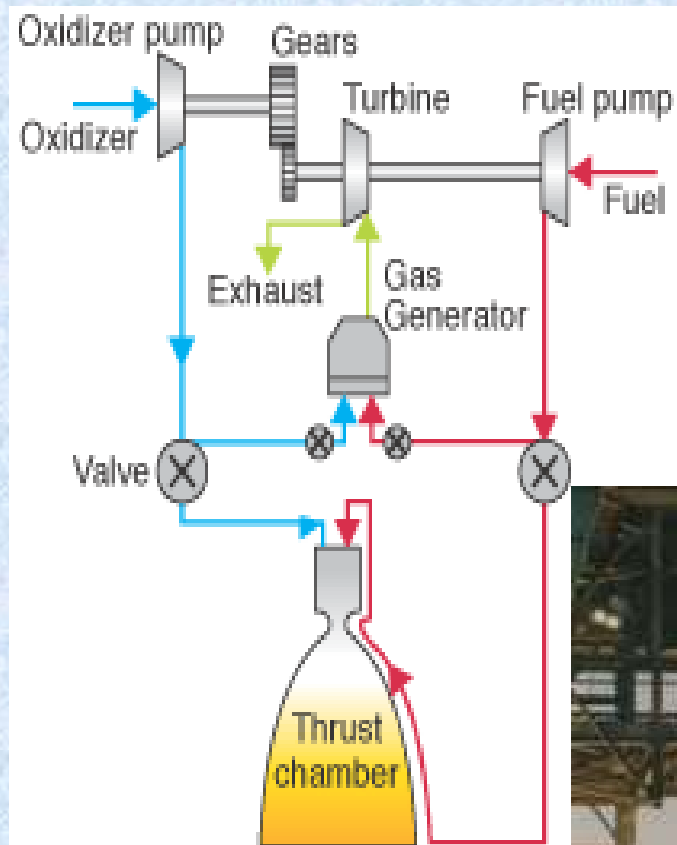
H-1 Engine Turbopump

*A 35'x15'x4.5' (ave. depth) backyard pool holds about 18,000 (68 m<sup>3</sup>) gallons of water. How quickly could the F-1 pump empty it?*

***Ans: In 27 seconds!***

Photos history.nasa.gov

# Κύκλοι ισχύος Πυραυλικών μηχανών



[www.aero.org/publications/crosslink/winter2004/03\\_sidebar3.html](http://www.aero.org/publications/crosslink/winter2004/03_sidebar3.html)

- **Κύκλος Γεννήτριας Αερίου (Gas Generator Cycle)**

- Απλούστερος
- Πιο κοινός
- Μέρος του καυσίμου και του οξειδωτικού τροφοδοτεί μία γεννήτρια αερίου
- Τα προϊόντα καύσης της γεννήτριας αερίου οδηγούν ένα στρόβιλο (turbine)

Ο στρόβιλος δίνει ισχύ στις αντλίες καυσίμου και οξειδωτικού

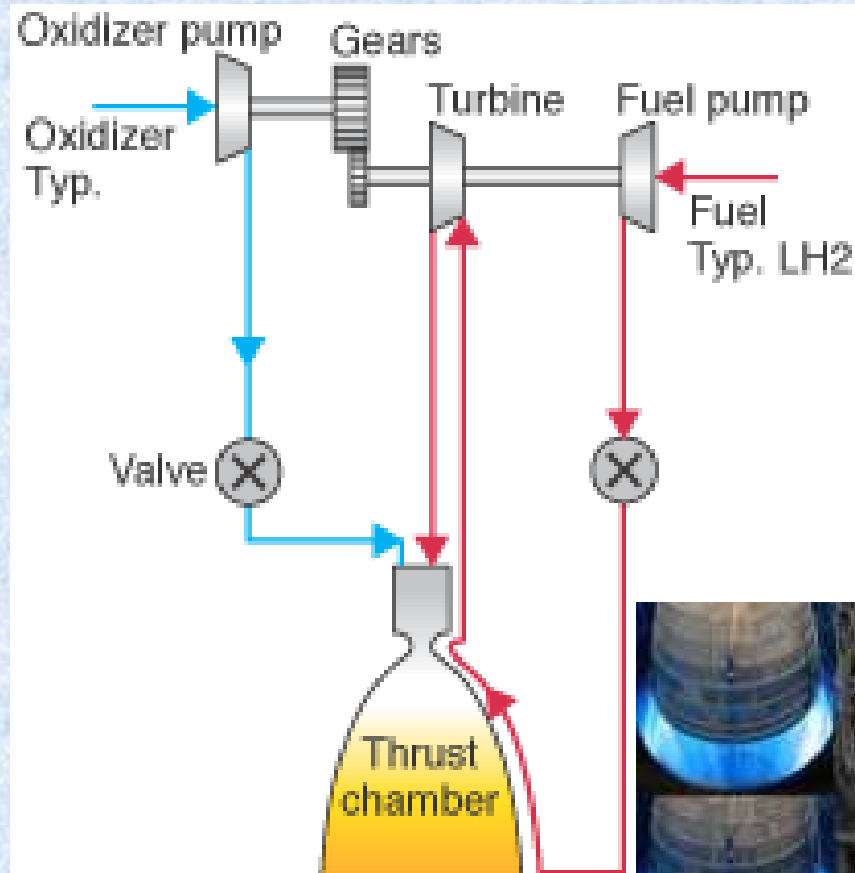
Τα απαιτήρια του στροβίλου συνήθως απορρίπτονται στο ακροφύσιο ή σε δευτερογενές σύστημα απόρριψης

Η μηχανή του Saturn V F-1 χρησιμοποιεί “Κύκλο Γεννήτριας Αερίου”



[www.aerospace.com](http://www.aerospace.com)

# Κύκλοι ισχύος Πυραυλικών μηχανών- συνέχεια



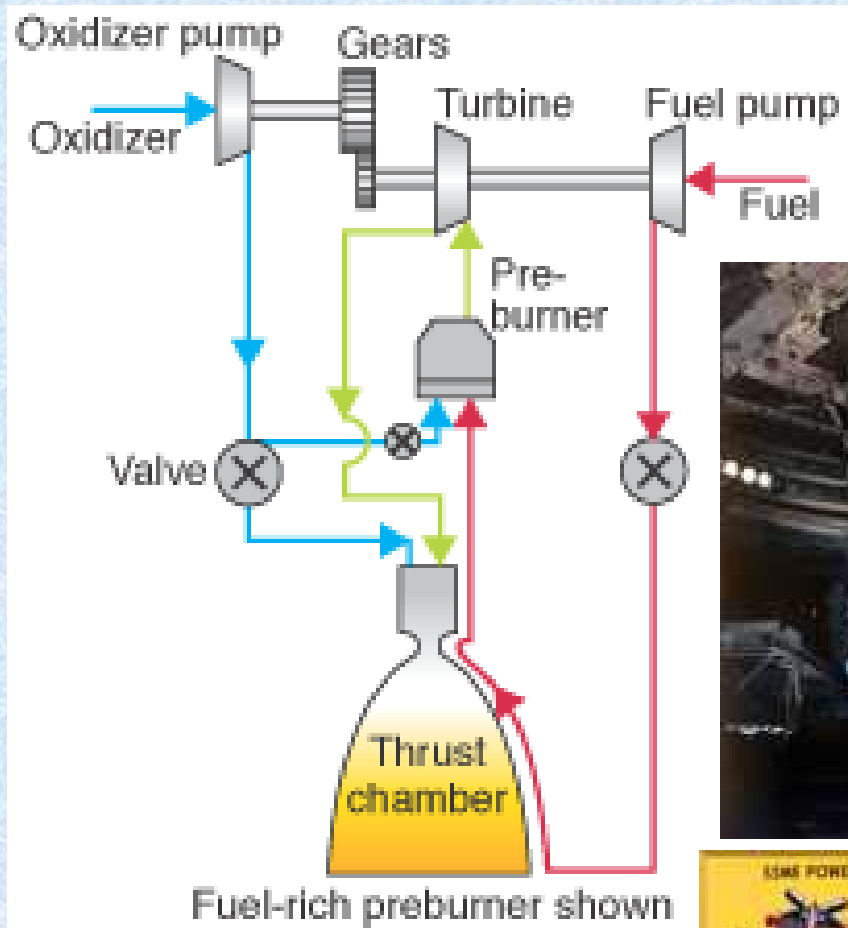
[www.aero.org/publications/crosslink/winter2004/03\\_sidebar3.html](http://www.aero.org/publications/crosslink/winter2004/03_sidebar3.html)



[science.nasa.gov](http://science.nasa.gov)

- **Κύκλος Εκτόνωσης (Expander)**
    - Το καύσιμο χρησιμοποιείται για ψύξη του θαλάμου καύσης της μηχανής, ανακτώντας θερμότητα και αλλάζοντας φάση.
    - Το θερμό, αέριο καύσιμο, δίνει ισχύ στο στρόβιλο, ο οποίος με τη σειρά του οδηγεί τις αντλίες καυσίμου και οξειδωτικού για την έγχυσή τους στη μηχανή και στο θάλαμο καύσης
- Υψηλότερες επιδόσεις σε σχέση με τον "Κύκλο Γεννήτριας Αερίου"
- Pratt-Whitney RL-10**

# Κύκλοι ισχύος Πυραυλικών μηχανών- συνέχεια



[www.aero.org/publications/crosslink/winter2004/03\\_side\\_bar3.html](http://www.aero.org/publications/crosslink/winter2004/03_side_bar3.html)

[shuttle.msfc.nasa.gov](http://shuttle.msfc.nasa.gov)  
[www.rocketrelics.com](http://www.rocketrelics.com)



- **Σταδιακή καύση**  
(Staged Combustion)

- Αρχικά γίνεται “πλούσια” καύση σε προ-καυστήρα (*preburners*, fuel/ox rich)
- Τα προϊόντα της καύσης οδηγούν το στρόβιλο
- Τα αέρια εξόδου του στρόβιλου τροφοδοτούνται στον εναυστήρα σε υψηλή πίεση
- Χρησιμοποιείται για μηχανές υψηλής πίεσης
- Πιο περίπλοκο, απαιτεί εξελιγμένη στροβιλομηχανή
- Όχι πολύ κοινό σύστημα
- **SSME (2700 psia)**

# Μεγάλες μηχανές...



**F-1 Engine**  
**Saturn V**  
**1.5 million lbs thrust (SL)**  
**LOX/Kerosene**

[www.flickr.com](http://www.flickr.com)



**Main Engine**  
**Space Shuttle**  
**374,000 lbs thrust (SL)**  
**LOX/H<sub>2</sub>**

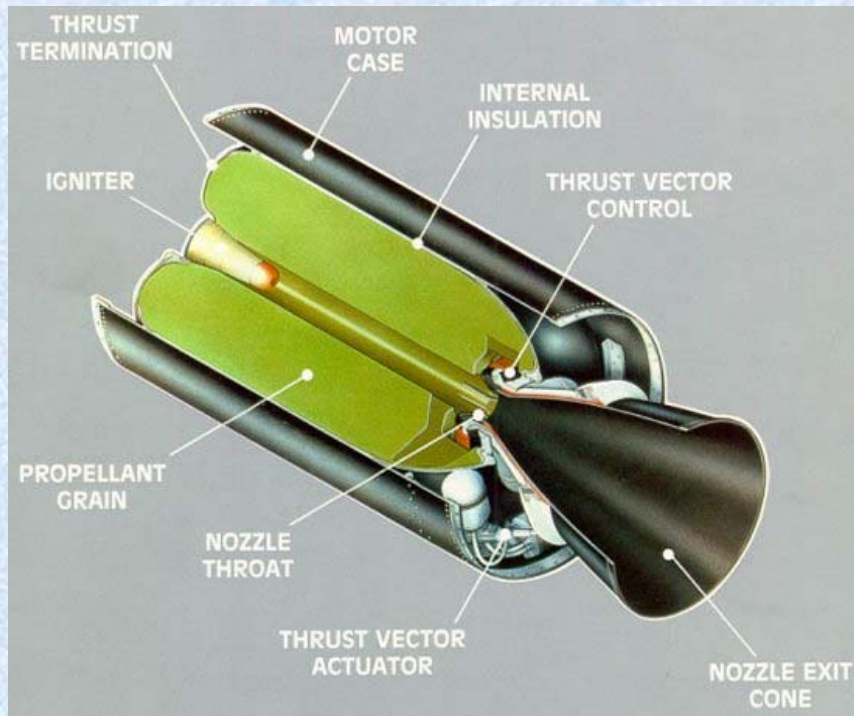
[spaceflight.nasa.gov](http://spaceflight.nasa.gov)



**RD-170**  
**1.78 million lbs thrust (SL)**  
**LOX/Kerosene**

[www.aerospaceguide.net](http://www.aerospaceguide.net)

# Κινητήρες Στερεών προωθητικών



- Καύσιμο και οξειδωτικό είναι ενσωματωμένα σε στερεά κατάσταση.
- Μοναδική χρήση – Μη δυνατότητα επαν-έναυσης.
- Χαμηλότερη επίδοση από τα υγρά συστήματα, αλλά πολύ απλούστεροι.
- Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν οχήματα εκτόξευσης, ανώτερα στάδια και διαστημικά οχήματα.

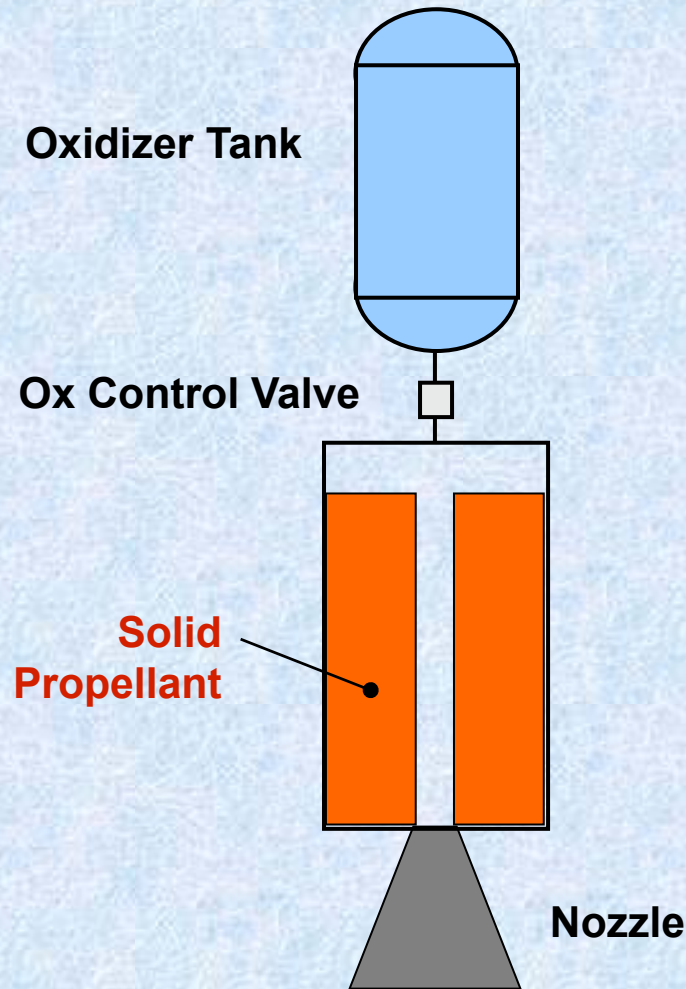


[www.propanepformance.com](http://www.propanepformance.com)



[www.nationalmuseum.af.mil](http://www.nationalmuseum.af.mil)

# Υβριδικοί κινητήρες



- **Συνδυασμός υγρού-στερεού προωθητικού**
  - Στερεό καύσιμο
  - Υγρό οξειδωτικό
- **Δυνατότητα πολλαπλών εκκινήσεων**
  - Τερματισμός της ροής του οξειδωτικού
- **Η βάση των καυσίμων είναι από καουτσούκ ή πλαστικό και είναι αδρανής.**
  - Σχεδόν από οτιδήποτε που μπορεί να καίει ...
- **Οι οξειδωτές περιλαμβάνουν  $LO_2$ , Υπεροξείδιο Υδρογόνου ( $H_2O_2$ ) και Νιτρώδες οξείδιο ( $NO_2$ )**
- **Δυνατότητα Απενεργοποίησης / Επανεκκίνησης.**

# Υπολογισμοί απόδοσης Πυραύλων

- **Ωση & Ειδική ώση ή ώθηση**

- **Ωση (Thrust)** είναι η ποσότητα δύναμης που παράγεται από τον πύραυλο.
- **Ειδική ώση (Specific impulse)** είναι ένα μέτρο της επίδοσης της μηχανής (ανάλογο του χιλιόμετρα ανά λίτρο)
  - Μονάδα μέτρησης το δευτερόλεπτο (**seconds**)

$$I_{sp} = \frac{F}{w}$$

$F$  = Πυραυλική Ωση (Rocket thrust)

$w$  = Ρυθμός απόρριψης μάζας του προωθητικού

- **Εξίσωση των Πυραύλων**

$$\Delta V = g \cdot I_{sp} \cdot \ln \frac{m_i}{m_f}$$

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$

$m_i$  = Μάζα οχήματος πριν την καύση

$m_f$  = Μάζα οχήματος μετά την καύση

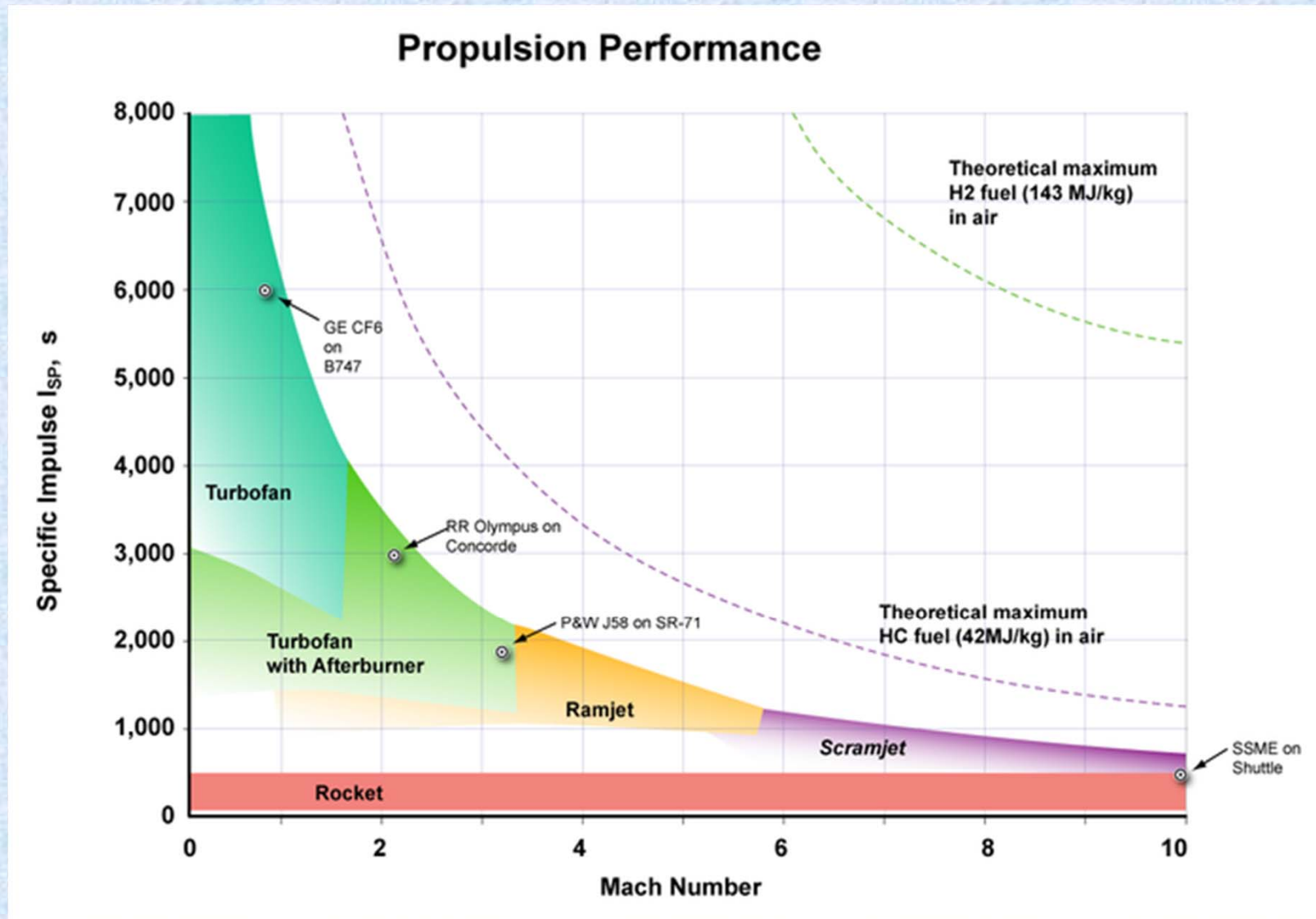
$m_p$  = Μάζα προωθητικού για την επίτευξη κατάλληλης μεταβολής ταχύτητα  $\Delta V = m_i - m_f$

$$m_p = m_i \cdot \left( 1 - e^{\frac{-\Delta V}{g \cdot I_{sp}}} \right)$$

**Η εξίσωση πυραύλων δεν λαμβάνει καμία απώλεια (βαρύτητα, αεροδυναμική αντίσταση). Στην πραγματικότητα, είναι πολύ ακριβής για σύντομες καύσεις σε Γήινη τροχιά ή στο βαθύ διάστημα!**



# Σύγκριση Ειδικής Ώθησης



# Σύγκριση Ειδικής Ώθησης

## Specific impulse of various propulsion technologies

Engine	Effective exhaust velocity (m/s)	Specific impulse (s)	Exhaust specific energy (MJ/kg)
<a href="#">VASIMR</a> (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket)	30,000–120,000	3,000–12,000	1,400
<a href="#">Turbofan jet engine</a> ( <i>actual V</i> is ~300 m/s)	29,000	3,000	Approx. 0.05
<a href="#">Space Shuttle Solid Rocket Booster</a>	2,500	250	3
<a href="#">Liquid oxygen-liquid hydrogen</a>	4,400	450	9.7
<a href="#">Ion thruster</a>	29,000	3,000	430
Ideal <a href="#">photonic rocket</a>	299,792,458	30,570,000	89,875,517,874
<a href="#">Dual-stage 4-grid electrostatic ion thruster</a>	210,000	21,400	22,500

# Σύγκριση Ειδικής Ώθησης



The [first photonic propulsion laboratory demonstration](#) by propelling a Cube Satellite spacecraft ([CubeSat](#)) with a photonic laser thruster (PLT) at Y.K. Bae Corp. In this demonstration, a 0.5 kW laser platform was used for PLT to deliver 3.3-mN photon thrust to a [CubeSat](#), which translates into a 500 kW intracavity laser beam.<sup>[1]</sup> The demonstration shows 1,000 times photon thrust amplification, and thus increasing photonic propulsion efficiency by 1,000 times. (3X Video Speed)

# Σύγκριση Ειδικής Ώθησης

- Σύστημα Αποθηκευμένου αερίου (Stored gas) 60-179 sec
- Μονοπρωθητικό σύστημα (Hydrazine) 185-235 sec
- Συστήματα πυραύλων στερεών καυσίμων 280-300 sec
- Υβριδικοί πύραυλοι 290-340 sec
- Διπρωθητικά συστήματα 300-330 sec
- LOX/LH<sub>2</sub> 450 sec



[www.rocketrelics.com](http://www.rocketrelics.com)

Η Ειδική Ώθηση,  $I_{sp}$ , εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: υψόμετρο, λόγος εκτόνωσης ακροφυσίου, αναλογία μείγματος καυσίμου – οξειδωτικού (διπρωθητικά), θερμοκρασίας καύσης

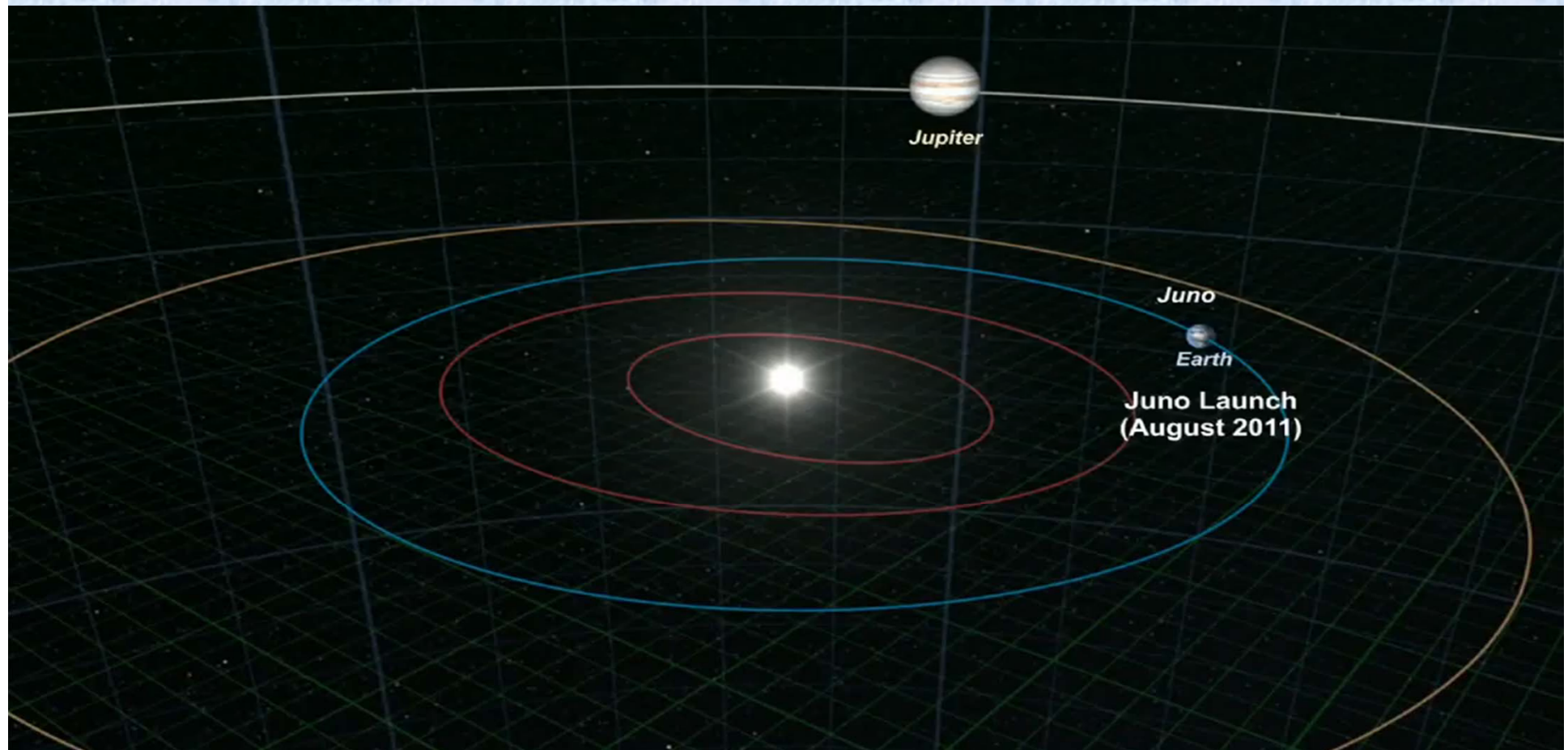
Ο προωθητής αυτός χρησιμοποιήθηκε στο Viking Lander. Είχε ειδική ώθηση περίπου 225 seconds.

## Απαιτήσεις αποστολών σε $\Delta V$

Αποστολή (διάρκεια)	$\Delta V$ (km/sec)
Επιφάνεια Γης σε LEO	7.6
LEO σε Εξω-ατμόσφαιρα Γης	3.2
LEO στον Άρη (0.7 yrs)	5.7
LEO στον Ποσειδώνα (Neptune) (29.9 yrs)	13.4
LEO to alpha-Centauri (50 yrs)	30,000

LEO = Χαμηλή Γήινη τροχιά (περίπου 274 km)

Για να μη στραβώνουν τα πράγματα...



## Παράδειγμα: Υπολογισμός προωθητηρίου

- Προσδιορισμός της μάζας προωθητικού για την αποστολή διαστημόπλοιου βάρους 2500 kg, από LEO στον Άρη (Αποστολή 0.7 yr).
  - Υποθέτουμε ότι το βάρος των 2500 kg συμπεριλαμβάνει και το προωθητικό, πριν την καύση του.
  - Η μηχανή έχει Ειδική Ώση,  $I_{sp}=310$  sec (τυπική τιμή μιας μικρής δι-προωθητικής μηχανής).

Χρησιμοποιούμε τη βασική **εξίσωση των πυραύλων**:

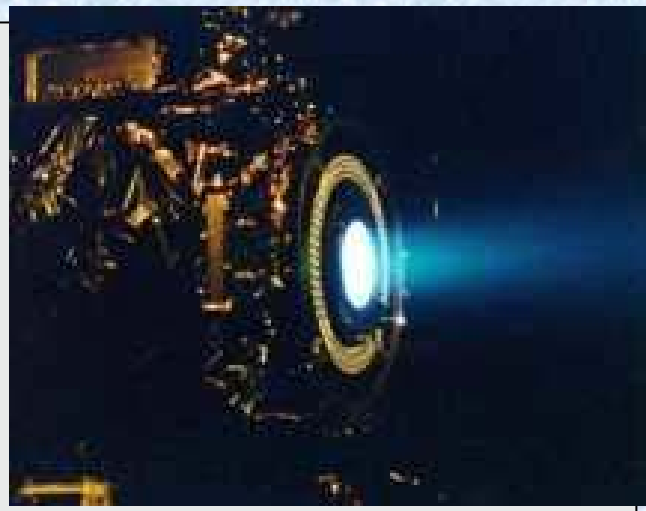
$$m_p = m_i \left( 1 - e^{\frac{-\Delta V}{g I_{sp}}} \right)$$

$$m_p = (2500) \left[ 1 - e^{\frac{-5700}{(9.8)(310)}} \right] = 2117 \text{ kg}$$

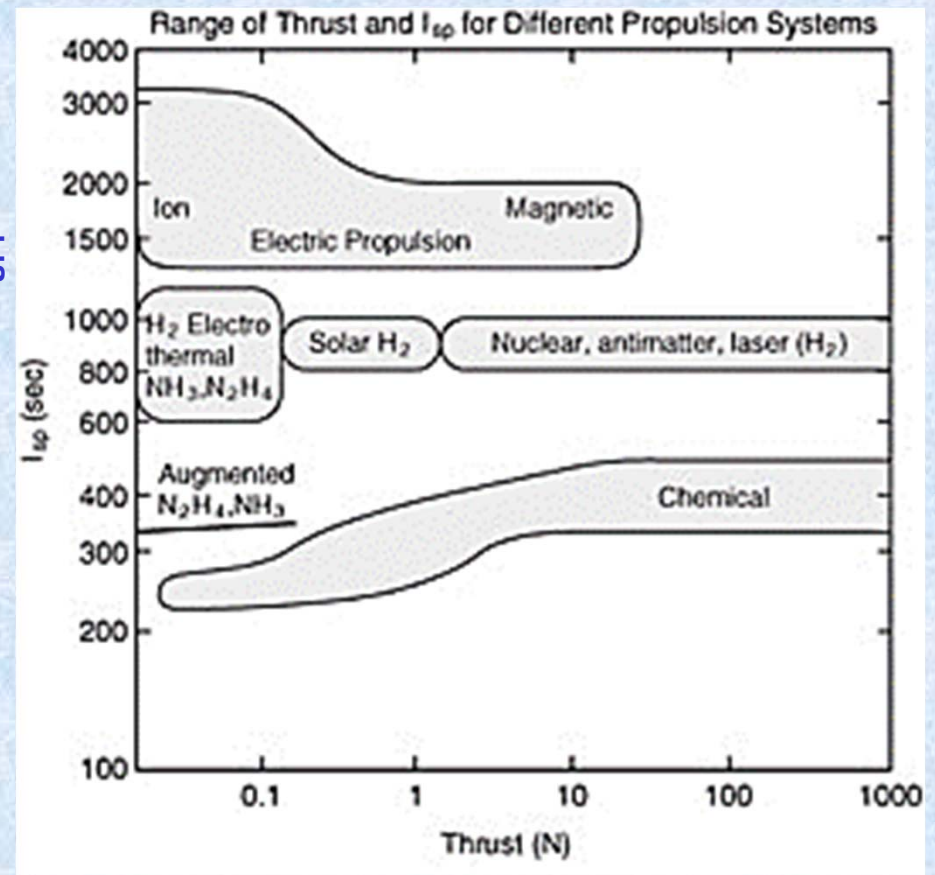
Το μεγαλύτερο μέρος του διαστημόπλοιου αποτελεί το προωθητικό! Μόνο 383 kg έχουν αφεθεί για το κέλυφος και λοιπό εξοπλισμό. Πώς θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε αυτό;

# Ηλεκτρική Πρόωση

- **Ταξινόμηση**
  - Ηλεκτροθερμική
  - Ηλεκτροστατική
  - Ηλεκτρομαγνητική
- **Χαρακτηριστικά**
  - Πολύ μικρή Ώση
  - Πολύ υψηλή Ειδική Ώση,  $I_{sp}$   
> 1000 sec
  - Απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας και ισχύος (kilowatts)



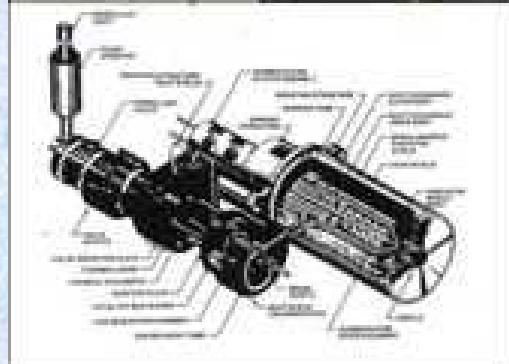
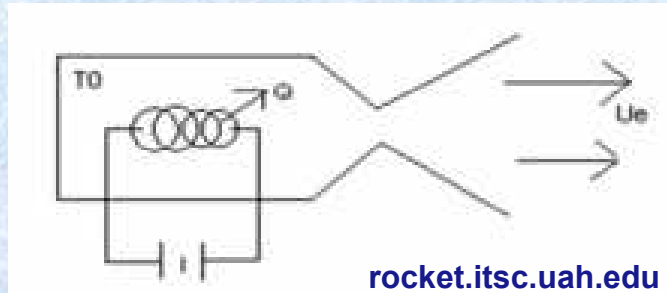
www-ssc.igpp.ucla.edu



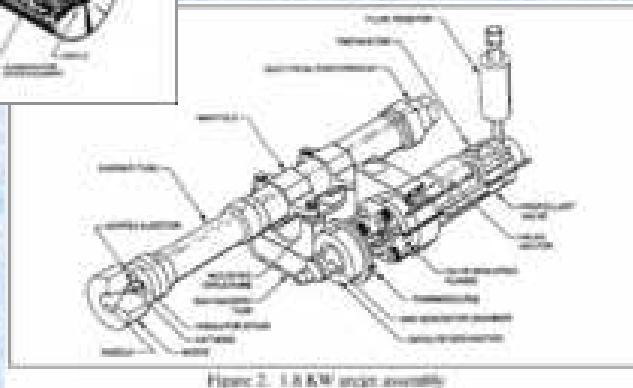
Εικόνα ενός **κινητήρα ιόντων ξένου (xenon)**, που φωτογραφήθηκε μέσω μιας θύρας στο θάλαμο κενού όπου δοκιμάστηκε, στο Jet Propulsion Laboratory της NASA. Στην εικόνα φαίνεται η ελαφρά μπλε λάμψη των φορτισμένων ατόμων που εκπέμπονται από τον κινητήρα. Ο κινητήρας πρόωσης ιόντων είναι η **πρώτη μη χημική πρόωση που θα χρησιμοποιηθεί ως το κύρια πρόωση σε διαστημικό σκάφος.**



# Ηλεκτροθερμική Πρόωση

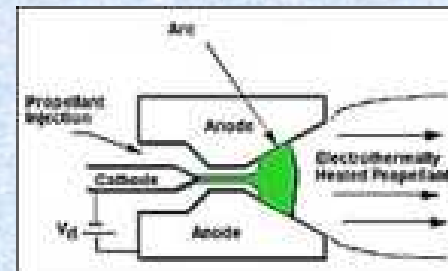


[www.fathom.com](http://www.fathom.com)



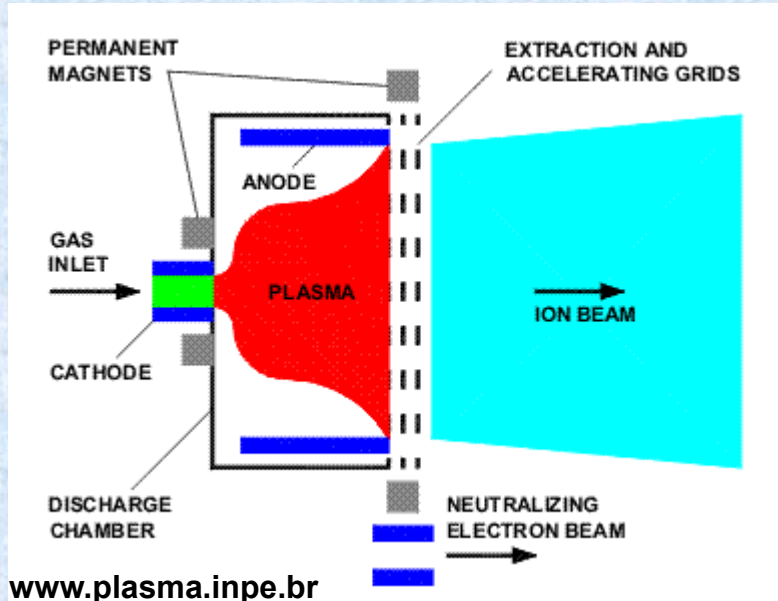
[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

- Η ηλεκτρική ισχύς χρησιμοποιείται για την προσθήκη ενέργειας στα παραγόμενα αέρια εκτόνωσης
- **Resistojet**
  - Η καταλυτική αποσύνθεση της Υδραζίνης αυξάνεται μέσω θερμαντήρα υψηλής ισχύος 800 – 5,000 W
- **Arcjet**
  - Ηλεκτρικό τόξο υψηλής τάσης στο λαιμό του ακροφυσίου αυξάνει τη θερμότητα των αερίων εκτόνωσης
  - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα αέρια προωθητικά ή άλλα προωθητικά σε αέρια φάση



[www.waynesthisandthat.com](http://www.waynesthisandthat.com)

# Ηλεκτροστατική Πρόωση



Οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις χρησιμοποιούνται για τη επιτάχυνση των φορτισμένων σωματιδίων σε πολύ υψηλές ταχύτητες

## Πρωθητές Xenon Ion

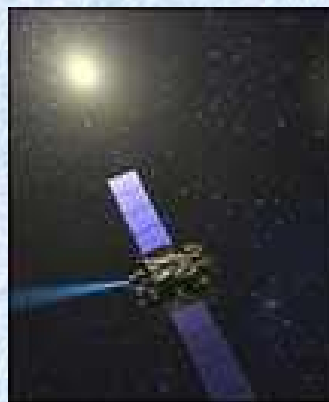
- Xenon προωθητικό
- Το Xenon ιονίζεται με βομβαρδισμό από ηλεκτρόνια

### Θερμική κάθοδος

- Τα θετικά φορτισμένα σωματίδια επιταχύνονται μέσω πλέγματος
- Τα ηλεκτρόνια οδηγούνται στη δεύτερη άνοδο και εισάγονται σε δέσμη για εξουδετέρωση

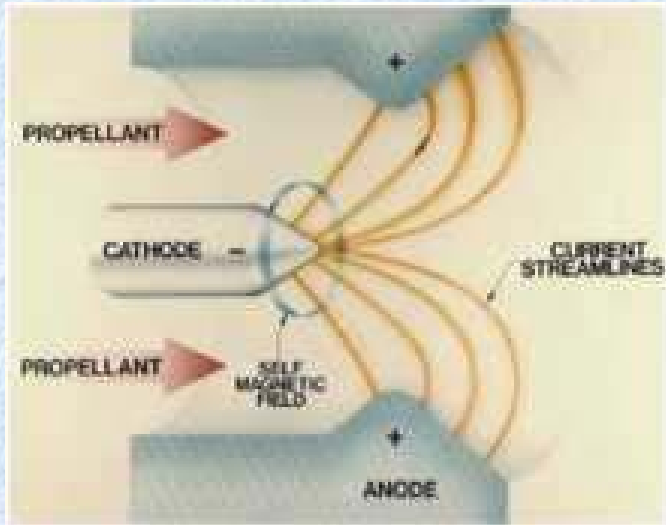


aerospace.engin.umich.edu



ESA's SMART-1 uses a xenon ion propulsion system (XIPS)

# Ηλεκτρομαγνητική Πρόωση



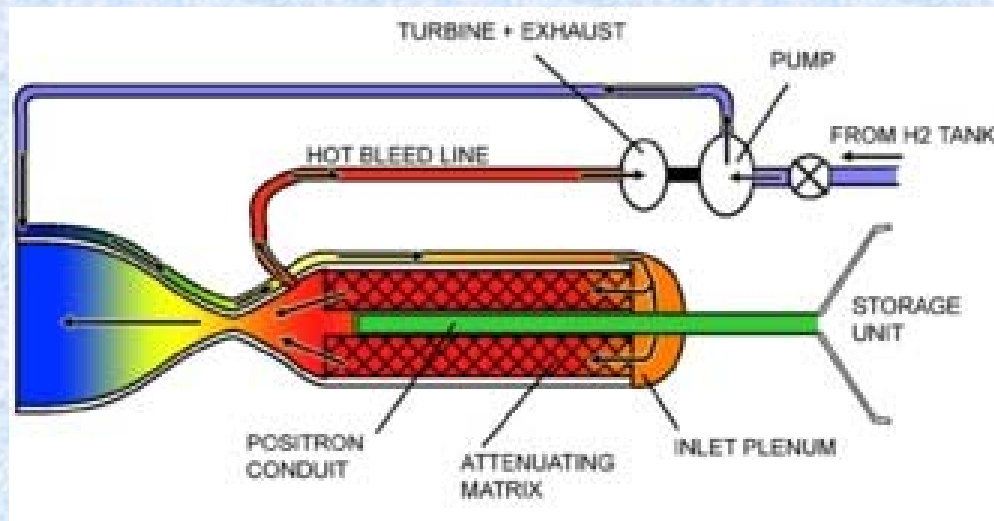
[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)

- Οι Ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις χρησιμοποιούνται για την επιτάχυνση **πλάσματος**
  - Αέριο αποτελούμενο από θετικά φορτισμένα ιόντα ηλεκτρονίων
  - 5000 – 9000 °R (2500 – 4726 °C)
- Παράγεται ουδέτερη ακτίνα
- Υψηλότερη Ώση ανά μονάδα επιφάνειας σε σχέση με τον ηλεκτροστατικό προωθητή
- **Ταξινόμηση**
  - **Magnetoplasmadynamic**
  - **Pulsed plasma**
    - Ηλεκτρική εκκένωση δημιουργεί πλάσμα από στερεό Telfon
  - **Hall effect**
    - Developed in Russia
    - Flew on U.S. STEx mission (1998)

# Το Μέλλον....

---

- Τα διαπλανητικά ταξίδια απαιτούν προηγμένες τεχνολογίες πρόωσης :
  - Αντιύλη (Antimatter)
  - Πυρηνική Σύντηξη (Nuclear fusion)
  - Μη πυραυλικές μεθόδους (Non-rocket methods)



# Αναφορές

---

- **Θεωρία και σχεδιασμός**

- Πολυζάκης Α. (2019), “Αεροδιαστημικά Προωθητικά Συστήματα (Θεωρία-Λυμένες Ασκήσεις)”, Heat Cool Power.
- Δ. Παπανίκας *Αεροδιαστημική Τεχνολογία*, ΠΠ 2004
- Sutton, G. P. and Biblarz, O., *Rocket Propulsion Elements, 7th ed.*, Wiley, 1987  
A classic; covers most propulsion technologies
- Huzel, D.K, and Huang, D. H., *Modern Engineering for Design of Liquid Propellant Rocket Engines (revised edition)*, Progress in Aeronautics and Astronautics, Vol. 147, American Institute for Aeronautics and Astronautics, 1992  
Dieter Huzel was one of the German engineers who came to the U.S. after WW II.
- Humble, R. W., et. al., *Space Propulsion Design and Analysis (revised edition)*, McGraw-Hill, 1995  
Covers chemical (liquid, solid, hybrid), nuclear, electric, and advanced propulsion systems for deep space travel

# Αναφορές – συνέχεια..

---

- **Ιστορία των πυραυλοκινητήρων**
  - Macinnes, P., *Rockets: Sulfur, Sputnik and Scramjets*, Allen & Unwin, 2003
  - Clary, D. A., *Rocket Man: Robert H. Goddard and the Birth of the Space Age*, Hyperion Special Markets, 2003
  - Ordway, F. I. and Sharpe, M., *The Rocket Team*, Apogee Books, 2003
    - The story of Werner von Braun, the V-2 and the transition of the German engineers to the United States following WW II
  - Sutton, G. P., *History of Liquid Propellant Rocket Engines*, American Institute for Aeronautics and Astronautics, 2006 New, over 800 pages of rocket engine history

**Όταν τα πράγματα στραβώνουν...**



<http://www.youtube.com/watch?v=gDnkEOKR1BE>

# Το Ηλιακό μας Σύστημα...

