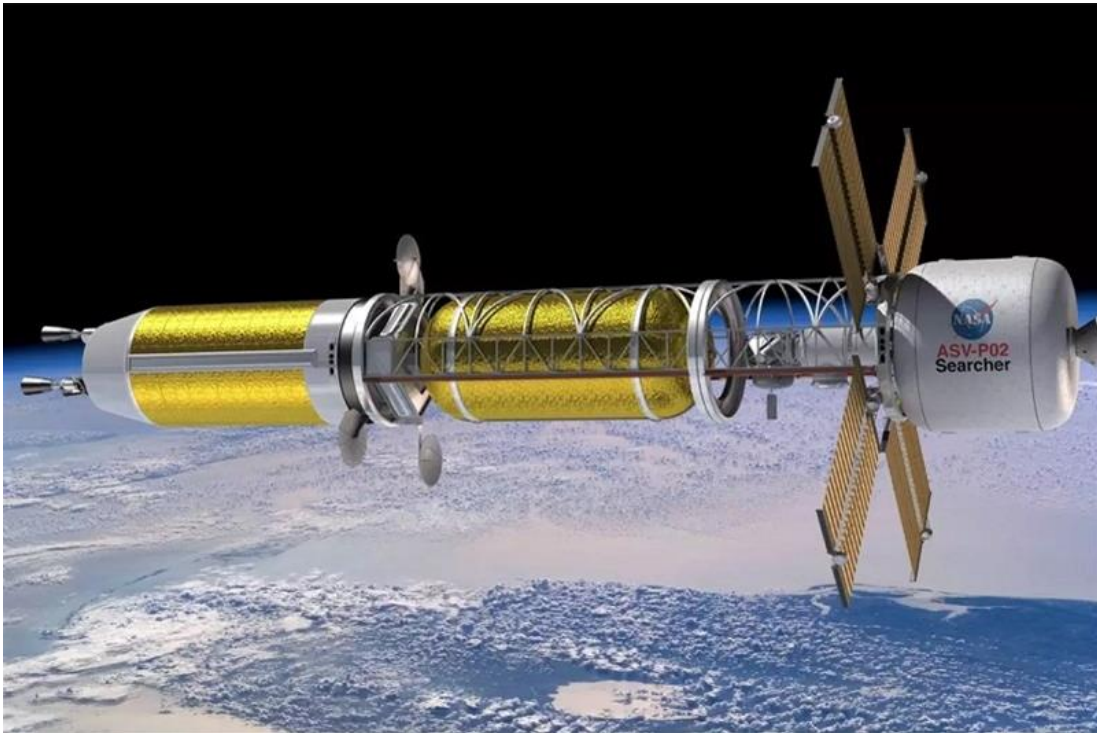




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών



Εικόνα 1, πηγή: [5476.jpg](#)

[Πρόωση πυραύλων-Τεχνητοί δορυφόροι]

[Βασιλική Μπασιμακοπούλου mm20051 - Ευαγγελία Στάικου mm20011]

[Εργασία Φυσικής Ι εξαμήνου]

[Κος. Τσιγαρίδας Γεώργιος]

[Ακαδημαϊκό έτος 2020-2021]

Περιεχόμενα

[Περίληψη]	3
[Εισαγωγή]	4
[Πύραυλοι]	1
[Ιστορική αναδρομή]	1
[Νόμοι της Φυσικής που τον διέπουν]	3
[Προωθητικό σύστημα- Τρόπος λειτουργίας]	3
[Είδη πυραύλων προώθησης]	5
[Πρακτικές εφαρμογές- παραδείγματα]	7
ORION	7
Magnetoplasdynamic (MPD) thruster	8
Proton	9
Διαστημικά λεωφορεία	10
[Τεχνητοί δορυφόροι].....	12
[Ιστορική Αναδρομή]	12
Δορυφόροι	12
Διαστημικοί Σταθμοί	12
[Θεωρητικό υπόβαθρο λειτουργίας τεχνητών δορυφόρων]	13
Είδη τροχιών	13
Θεμελιώδεις Νόμοι Ουράνιας Μηχανικής	15
Κυκλική και Ελλειπτική Τροχιά.....	16
Κλίση Τροχιάς	18
Μετάβαση από μια τροχιά σε άλλη	19
Σημεία Lagrange	22
[Είδη δορυφόρων]	23
1. Αστρονομικά Τηλεσκόπια και Παρατηρητήρια	23
2. Μετεωρολογικοί Δορυφόροι.....	23
3. Τηλεπικοινωνιακοί Δορυφόροι	24
4. Δορυφόροι Πλοήγησης	24
5. Πιο Ειδικοί Τύποι Δορυφόρων.....	24
6. Διαστημικοί Σταθμοί	25
[Πιθανές μελλοντικές εξελίξεις]	26
[Βιβλιογραφία]	26

[Περίληψη]

Η εργασία αυτή έχει ως αντικείμενο την επεξήγηση της αρχιτεκτονικής αλλά και της χρήσης των πυραύλων κυρίως όσον αφορά το προωθητικό τους σύστημα. Επίσης θα ασχοληθούμε με τους τεχνητούς δορυφόρους επεξηγώντας τον τρόπο λειτουργίας, τη χρήση, τους κανόνες της φυσικής που τους διέπουν και τις εφαρμογές τους στην σύγχρονη πραγματικότητα όπου ο άνθρωπος είναι ολοένα και πιο περίεργος και επιθυμεί να ανακαλύψει τον κόσμο του διαστήματος, πολλές φορές για δικό του όφελος.

This work aims to explain the architecture and the use of missiles mainly in terms of their propulsion system. We will also deal with artificial satellites by explaining how they operate, the use, the rules of physics that govern them and their applications in modern reality where man is increasingly curious and wishes to discover the world of space, often for his own benefit.

[Εισαγωγή]

Στην συγκεκριμένη εργασία αναλύονται το προωθητικό σύστημα και οι τεχνητοί δορυφόροι. Πιο συγκεκριμένα πύραυλος είναι ένα βλήμα το οποίο προωθείται βγάζοντας αέρια λόγω της καύσης στερεών ή υγρών καυσίμων στον κινητήρα του. Το όνομά του προέρχεται από το ελληνικό 'πυρ'= φωτιά και 'αυλός'= φλογέρα λόγω του σχήματος του. Οι πύραυλοι έχουν στρατιωτική καθώς και επιστημονική χρήση πχ για την εξερεύνηση του διαστήματος ,αφού μπορούν να κουβαλήσουν μεγάλες ποσότητες αντικειμένων.

Έπειτα, τεχνητός δορυφόρος είναι ένα σώμα που τίθεται σε τροχιά γύρω από τη γη. Διαθέτει ομοιότητες με τους φυσικούς δορυφόρους, όπως τη Σελήνη, αλλά η κύρια διαφορά τους είναι πως πρόκειται για εφευρέσεις της μηχανικής που δημιουργούνται από τον άνθρωπο για την εξυπηρέτηση των αναγκών της επιστήμης και κατ' επέκταση της καθημερινότητάς του (πχ μετεωρολογικοί σταθμοί), για τη διευκόλυνση της ανθρώπινης ζωής.

Πρώτο-χρησιμοποιήθηκαν στην Κίνα πριν από αρκετούς αιώνες κυρίως για στρατιωτικούς λόγους με άλλες μορφές και έπειτα με την εξέλιξη της τεχνολογίας και των κοινωνιών ανακάλυψαν κι άλλες εφαρμογές τους. Η τοποθέτηση των δορυφόρων γίνεται με την χρήση πυραύλων, οι οποίοι είναι συνήθως τριώροφοι.

Η διάρκεια ζωής των δορυφόρων διαφέρει ανάλογα με τη λειτουργία του και εξαρτάται από το ύψος του-η αντίσταση του αέρα σε χαμηλά ύψη μικραίνει την διάρκεια ζωής του- και το είδος της τροχιάς (εκτενέστερη αναφορά παρακάτω). Προφανώς μπορούν να υπάρξουν και επιπλοκές, ιδιαίτερα συγκρούσεις με διαστημικά σκουπίδια όπως ήταν η σύγκρουση Iridium - Cosmos το 2009.

Οι δορυφόροι μετά το πέρας της ζωής τους μεταβαίνουν σε συγκεκριμένη τροχιά, ώστε να μπορέσουν να αποφευχθούν οι διάφορες επιπλοκές, ή πέφτουν στην γη. Τα διαστημικά σκουπίδια πλέον εκτιμώνται πάνω από 18.000.

[Πύραυλοι] [Ιστορική αναδρομή]

Σε πολύ πρώιμο στάδιο, μία μορφή πυραύλου μπορούμε να πούμε ότι είναι το υγρό πυρ, ένα εμπρηστικό όπλο της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας, που εφευρέθηκε μετά τον 7ο αιώνα μ.Χ. Μέχρι και σήμερα δεν γνωρίζουμε τη σύσταση του που το έκανε να αναφλέγεται ακόμα και μέσα στο νερό διότι παρέμενε άκρως μυστική, αλλά σίγουρα το εμπρηστικό του υλικό ήταν ιδιαίτερα εύφλεκτο και γνωρίζουμε ότι εκτοξευόταν με καταπέλτες ή πεπιεσμένους σίφωνες, θα λέγαμε ένα αρχαίο προωθητικό σύστημα.



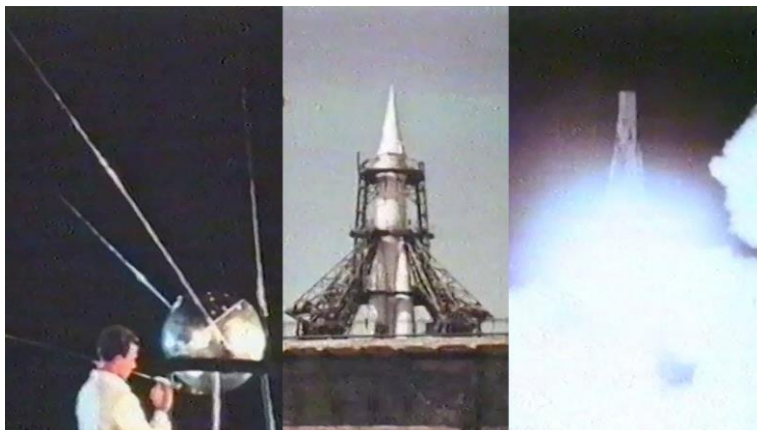
Εικόνα 2, το υγρόν πυρ, πηγή: 800px-Greekfire-madridskylitzes1.jpg

Απαρχή επίσης ρουκετομηχανών είναι η μηχανή του Ήρωνα ή αλλιώς η αιολοπύλη του Ήρωνα, ο οποίος ήταν σπουδαίος μαθηματικός και μηχανικός που έζησε τον 1ο ή 2ο αιώνα μ.Χ. στην Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου. Αποτελεί ουσιαστικά πρόδρομο των αεριοστρόβιλων κινητήρων, είναι μια απλή ατμομηχανή η οποία περιστρέφεται όταν η κεντρική παροχή νερού θερμαίνεται. Η ροπή παράγεται από πίδακες ατμού οι οποίοι αποχωρούν από την τουρμπίνα.

Έπειτα τα συστήματα πυραύλωσης πρωτοεμφανίστηκαν από τους Κινέζους, τους χρησιμοποιούσαν ως όπλα και είχαν ως καύσιμο την πυρίτιδα, το γνωστό 'βέλος του ιπτάμενου πυρός' από το οποίο εμπνεύστηκαν μεταγενέστερα οι δημιουργοί πυραύλων στη Δύση (πχ Γερμανοί), οι οποίοι τελειοποίησαν την ιδέα. Χρησιμοποιήθηκε αργότερα από τους Άγγλους στη μάχη κατά του Ναπολέοντα και έκτοτε

χρησιμοποιούνταν κυρίως ως πολεμικό όπλο (πχ αγώνας της ανεξαρτησίας των Αμερικάνων). Στη συνέχεια, τον 20ο αιώνα με πυραύλους ασχολήθηκε ο Ρώσος Κωνσταντίν Τσιολκόφσκι και πρακτικά ο Αμερικανός Γκόντφριντ, ο οποίος εκτόξευσε τον πρώτο πύραυλο. Στη Γερμανία πρωτεργάτης των πυραύλων ήταν ο Όμπερτ και ο μαθητής του Βίνκλερ, ο δε Μπράουν θεωρείται ο κατασκευαστής του ειδικού τύπου πυραύλων, που ονομαζόταν «ρουκέτες V1 και V2», με τους οποίους βομβαρδίστηκε το Λονδίνο κατά το 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο. Εκείνοι πάλεψαν με τη κοινή γνώμη και τους ανταγωνιστές επιστήμονες οι οποίοι θεωρούσαν παράδοξο το ότι ο πύραυλος ενώ αυξάνει συνεχώς την ταχύτητά του καθοδόν θα μπορούσε να κάνει το ίδιο στο κενό που δεν υπάρχει αντίδραση. Έπειτα οι Η.Π.Α και η Ρωσία, καθώς και άλλες χώρες πραγματοποιούν επανδρωμένες αποστολές στο διάστημα

Πλέον και μεταπολεμικά, οι πύραυλοι έχουν βοηθήσει τον άνθρωπο να γνωρίσει το διάστημα και τον γαλαξία στον οποίο ανήκει, αποσκοπώντας σε ειρηνικούς σκοπούς. Συγκεκριμένα το 1957, εκτοξεύεται ο «Σπούτνικ - 1» από την πρώην Σοβιετική Ένωση, για τον οποίο συνεργάστηκαν 10.000 επιστήμονες, που αποτέλεσε τον πρώτο τεχνητό δορυφόρο της Γης και την αρχή τους επιστήμης του Διαστήματος, το χαρακτηριστικό 'μπιτ μπιτ μπιτ' ακουγόταν παντού στον πλανήτη.



Εικόνα 3, Σπούτνικ 1, πηγή: maxresdefault.jpg

[Νόμοι της Φυσικής που τον διέπουν]

Το 1903 ο Κωνσταντίν Τσιολκόφσκυ δημοσίευσε την διάσημη πυραυλική του εξίσωση, που δείχνει ότι η σχέση της μεταβολής της ταχύτητας ενός πυραύλου και των καυσίμων που απαιτούνται γι' αυτή τη μεταβολή είναι εκθετική. Θα νόμιζε κανείς ότι για να διπλασιαστεί η ταχύτητα ενός πυραύλου απλά θα πρέπει να διπλασιάσει την κατανάλωση των καυσίμων. Όμως, στην πραγματικότητα, η ποσότητα των καυσίμων που απαιτείται για να αυξηθεί η ταχύτητα του πυραύλου, αυξάνεται εκθετικά με την μεταβολή της ταχύτητας.

Η πυραυλική εξίσωση του Κωνσταντίν Τσιολκόφσκυ:

$$\frac{m_0}{m} = e^{\frac{\Delta V}{u_{σχ}}}$$

Όπου: ΔV η μεταβολή της ταχύτητας του πυραύλου στο χρονικό διάστημα Δt m_0 η μάζα του πυραύλου την χρονική στιγμή $t=t_0$ m η μάζα του πυραύλου την χρονική στιγμή $t=t_0+\Delta t$ $u_{σχ}$ η σχετική ταχύτητα με την οποία εκτοξεύεται η μάζα Δm του καυσίμου ως προς τον πύραυλο.

Η κατασκευή του επίσης βασίζεται στον νόμο δράσης αντίδρασης του Νεύτωνα. Δηλαδή οι δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε σώμα εξαιτίας της αλληλεπίδρασης δύο σωμάτων, είναι ίσες κατά μέτρο και αντίθετες κατά φορά μεταξύ τους. Μαθηματικά αυτό σημαίνει πως:

$F_{12} = -F_{21}$ ο νόμος αυτός είναι απόρροια του νόμου διατήρησης της ορμής που ισχύει επίσης για την λειτουργία των πυραύλων

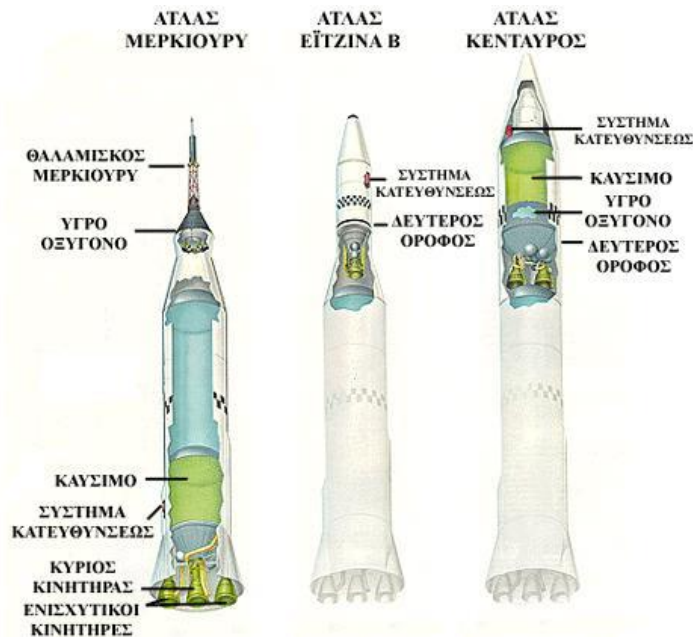
Αν $\Sigma F=0$, τότε P : σταθερό, άρα $P_{αρχ}=P_{τελ} \Rightarrow m_{(μάζα)} \cdot v_{αρχ(αρχική ταχύτητα)} = m \cdot v_{τελ(τελική ταχύτητα)}$

[Πρωθητικό σύστημα- Τρόπος λειτουργίας]

Ένα διαστημόπλοιο πχ, αποτελείται από πολλά μέρη, ένα από τα πολύ σημαντικά και απαιτητικά, είναι οι πρωθητικοί του πύραυλοι.

Το σύστημα προώθησης αποτελείται από μικροπροωθητήρες και τον κύριο πυραυλοκινητήρα. Οι πρώτοι ενεργοποιούνται για τον έλεγχο της θέσης του σκάφους μέσα στο διαστημικό χώρο και την εκτέλεση τροχιακών διορθωτικών ελιγμών, ενώ ο πυραυλοκινητήρας είναι υπεύθυνος για την τοποθέτηση του διαστημόπλοιου σε τροχιά.

Πρωθητικοί πύραυλοι



Εικόνα 5, , Μέρη ενός πυραύλου, πηγή: [img_81c911f6f7b6.jpg](#)



Εικόνα 4, Πρωθητικοί πύραυλοι, πηγή: [russia-samara-rocket-rocket-propulsion-drive-technology-space-travel-museum-exhibition.jpg](#)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η λειτουργία των πυραύλων βασίζεται στο αξίωμα δράσης αντίδρασης, δηλαδή καθώς τα καύσιμα των πυραύλων καίγονται και παράγουν προϊόντα καύσης βγαίνοντας με ορμή προς τα πίσω (δράση) , κινούν το διαστημόπλοιο προς τα πάνω (αντίδραση). Η ώθηση είναι η αντίδραση που υφίσταται η δομή λόγω της εκτόξευσης της ύλης με μεγάλη ταχύτητα. Η συνολική ώθηση It είναι η ενσωματωμένη δύναμη ωθήσεως F (η οποία μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο) κατά τη διάρκεια του χρόνου καύσης t . Για σταθερή ώθηση και πολύ σύντομη έναρξη αυτό μειώνεται στο: $It = Ft$. Η ώθηση It είναι ανάλογη με τη συνολική ενέργεια που

απελευθερώνεται από το σύνολο του προωθητικού σε ένα σύστημα πρόωσης.

[Είδη πυραύλων προώθησης]

Ανάλογα με το είδος της προωθητικής ύλης του καυσίμου και τον τρόπο καύσης και πρόωσης που χρησιμοποιούν οι πύραυλοι διακρίνονται σε :

1. Πυρηνικούς

- Με αντιδραστήρα πυρηνικής σχάσης
- Τους πυραύλους ραδιενεργών ισοτόπων
- Τους πυραύλους θερμοπυρηνικής τήξης

2. Ηλεκτρικούς

- Τους πυραύλους θέρμανσης με ηλεκτρικό τόξο
- Τους πυραύλους πλάσματος ή ηλεκτρομαγνητικούς
- Τους ηλεκτροστατικούς πυραύλους ή πυραύλους ιόντων

3. Χημικούς

- Τους πυραύλους χημικής καύσης στερεών καυσίμων με βοήθεια οξειδωτικού μέσου

Η προωθητική ύλη ανάλογα με τη φύση της διακρίνεται σε :

1. Υγρή
2. Στερεή
3. Υβριδική

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούν υγρή προωθητική ύλη είναι πιο σύνθετοι στη κατασκευή τους και περισσότερο αποτελεσματικά, λόγω του ότι ρέουν. Επίσης όσα έχουν υψηλότερη απόδοση προσφέρουν μεγαλύτερη ταχύτητα εξόδου. Χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες υγρών καυσίμων:

1. Παράγωγα του πετρελαίου-προϊόντα διύλισης αργού πετρελαίου
2. Κρυογενικά (cryogenics)-αέρια αποθηκευμένα σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες
3. Υπεργκόλ (hypergol)-καύσιμες και οξειδωτικές ουσίες που αναφλέγονται μόνες τους όταν έρθουν σε επαφή άρα δεν χρειάζονται μέσο εναύσματος και είναι πολύ τοξικά

Όσον αφορά τα στερεά καύσιμα ,οι κινητήρες τους είναι ιδιαίτερα απλοί και αποθηκεύονται εύκολα προκαλώντας καύση, δίνουν αέριο και τέλος αποφέρουν την ώθηση στον πύραυλο. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Τα ομογενή καύσιμα

προωθητικές πυρίτιδες διπλής βάσεως(νιτρογλυκερίνη, νιτροκυτταρίνη

2. Τα ετερογενή καύσιμα

Είναι σε μορφή υποστρώματος αποτελείται από ελαστικές ή πλαστικές ύλες και σ' αυτό, με μορφή λεπτής διασποράς, βρίσκεται το οξειδωτικό μέσο.

Για τα υβριδικά προωθητικά καύσιμα ισχύει ότι θάλαμος καύσης ουσιαστικά αποτελείται από τη διαμόρφωση του στερεού υλικού στο οποίο εγχύεται το υγρό. Προσφέρουν μεγάλη απόδοση αλλά μικρή ώση για αυτό δεν χρησιμοποιούνται συχνά κινητήρες με υβριδικά καύσιμα.

Οι πυρηνικοί πύραυλοι θεωρούνται μία πρόκληση καθώς και το μέλλον των πυραύλων κατ' επέκταση του ταξιδιού στο διάστημα, αφού η ανακάλυψη της διάσπασης του ατόμου έφερε την ανακάλυψη απελευθέρωσης μεγάλης ποσότητας ενέργειας για την προώθηση των πυραύλων άρα και μεγαλύτερων ταχυτήτων. Για παράδειγμα ο πυρηνικός αντιδραστήρας θα θέρμαινε το προωθητικό μέσο (πχ υδρογόνο) με αποτέλεσμα την παραγωγή ώσης 10.000 φορές μεγαλύτερη από αυτή ενός ηλεκτρικού κινητήρα, και έως και πέντε φορές από αυτή ενός τυπικού χημικού πυραύλου, καλύπτοντας έτσι και μεγαλύτερες αποστάσεις. Βρισκόμαστε όμως αρκετά μακριά από το να μας δοθεί αυτή η δυνατότητα.

Ο πύραυλος με ηλεκτρικό προωστικό σύστημα έχει σχεδόν τη χαμηλότερη ωστική δύναμη αφού χρειάζονται τεράστια ποσά ηλεκτρικής ενέργειας για να θερμανθεί και να τεθεί σε κίνηση, τα οποία δεν παράγονται με ευκολία ούτε σε μικρό χρονικό διάστημα.

Η συνηθέστερη χημική καύση από την άλλη είναι καύση υψηλής πίεσης των χημικών προωθητικών ουσιών ,συνήθως ένα καύσιμο και μια οξειδωτική χημική ουσία, επιτρέπει την θέρμανση των αερίων

αντίδρασης του προϊόντος, σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες θέτοντας στον πύραυλο μεγάλες ταχύτητες.

Είναι επόμενο ότι για να μπορέσουν να αντέξουν τα τοιχώματα του, σε κάθε περίπτωση, τις τεράστιες αυτές θερμοκρασίες και πιέσεις, απαιτούνται υλικά κατασκευής προχωρημένης τεχνικής στάθμης(αντοχής). Μεγάλα βήματα στον τομέα αυτόν έχουν γίνει με τη χρησιμοποίηση ειδικού υλικού από βόριο με κατάλληλη κατεργασία. Καθώς επεκτεινόμαστε το εξωτερικό περίβλημα του διαστημόπλοιου αποτελείται κυρίως από αλουμίνιο και τιτάνιο. Η χρησιμοποίηση του τιτανίου, ελαφριού και ακριβού μετάλλου, συμβάλλει αποτελεσματικά στην ελάττωση της συνολικής μάζας και, επιπλέον, στην εξασφάλιση μεγάλης αντοχής.

Αναφορικά επίσης υπάρχουν μηχανές πρόωσης πυραύλων που εκμεταλλεύονται τη δύναμη του ατμοσφαιρικού αέρα είτε την βαρυτική έλξη των πλανητών. Σε ερευνητικό κομμάτι είναι επίσης μηχανές εκτόξευσης προωθητικής μάζας και μη εκτόξευσης.

[Πρακτικές εφαρμογές- παραδείγματα]

Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα για κάθε ένα τρόπο πρόωσης πυραύλου τα οποία φαίνονται παρακάτω.

Γενικότερα τα συστήματα πρόωσης πυραύλων χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές της διαστημικής ναυπηγικής και αεροδιαστημικής με στόχο την εξερεύνηση του διαστήματος, τη μελλοντική κατάκτηση και διαμονή του ανθρώπου σε αυτό, καθώς και την εκμετάλλευση πλανητών του από τον άνθρωπο. Κάποιες φορές επίσης χρησιμοποιούνται σε πολεμικές ενέργειες.

Με χρήση πυρηνικής ενέργειας:

ORION

Γνωστό και ως δορυφόρος ‘κατάσκοπος’ των Η.Π.Α που δέχεται σινιάλα κρυπτογραφημένα (SIGINT) για ειδικές περιπτώσεις (πχ σε περίπτωση πολέμου) από το διάστημα.

Επίσης υπάρχει και το διαστημόπλοιο ,το πρώτο εξερευνητικό διαστημόπλοιο της NASA, που θα χρησιμοποιηθεί επανδρωμένο για την προσελήνωση και πάλι των ανθρώπων στο διάστημα και την

κατάκτηση του Άρη και της σελήνης το 2023, ενισχυμένο με περισσότερα στρώματα μετάλλων για να αντέχει σε εξαιρετικά υψηλότερες και χαμηλότερες θερμοκρασίες διανύοντας μεγάλες αποστάσεις. Χρησιμοποιούν πυρηνική ενέργεια στο προωθητικό σύστημα πυραύλωσης τους που θα γίνει με πύραυλο SLS (Space Launch System).



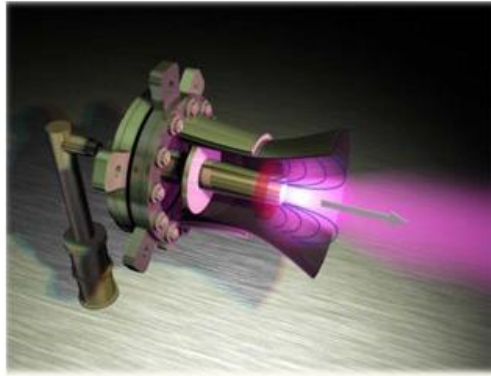
Εικόνα 6, Το Orion, πηγή:

<https://m.naftemporiki.gr/thumb/1318148/1200/1200/0x0000000001369da9/1/diastimoploio-orion.jpg>

Με χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας:

Magnetoplasmadynamic (MPD) thruster

Είναι μια νέα ανακάλυψη της NASA μιας και η ηλεκτρική προώθηση πυραύλων έχει αποδειχθεί ως εξέχουσα λύση για τους πυραύλους, συγκεκριμένα μετατρέπει μεγαβάτ ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας τη δύναμη Λόρεντζ, δηλαδή οι MPD αποβάλλουν το πλάσμα για να δημιουργήσουν πρόωση. Τα MPD μπορούν να επεξεργαστούν περισσότερη ισχύ και να δημιουργήσουν περισσότερη ώθηση από οποιονδήποτε άλλο τύπο ηλεκτρικής πρόωσης που διατίθεται σήμερα, διατηρώντας παράλληλα τις υψηλές ταχύτητες εξάτμισης που σχετίζονται με την πρόωση ιόντων.



Εικόνα 7, Το MPD, πηγή

https://www.nasa.gov/centers/glenn/images/content/105908main_fs022figs3and4.jpg

Με χρήση χημικών καυσίμων+οξειδωτικό:

Proton

Με καταγωγή την Ρωσία, οι πύραυλοι Proton κάνουν χρήση του χημικού τρόπου καύσης. Είναι σχεδιασμένοι για τη μεταφορά φορτίων τόσο για εμπορικές όσο και για ρωσικές κυβερνητικές διαστημικές εκκινήσεις σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις με τη πρώτη απογείωση να γίνεται το 1965. Ο πύραυλός κουβαλά ως καύσιμο ασύμμετρη διμεθυλυδραζίνη και ως οξειδωτικό τετροξείδιο του αζώτου, αποφεύγοντας την ανάγκη για σύστημα ανάφλεξης και μπορεί να αποθηκευτεί σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Αυτό αποφεύγει την ανάγκη για εξαρτήματα που είναι ανεκτικά σε χαμηλές θερμοκρασίες και επιτρέπει στον πύραυλο να παραμείνει στο επίθεμα επ' αόριστον. Είναι 53 μέτρα ψηλό και απαρτίζεται από τρία στάδια, ακόμα έχει μεγάλη αξιοπιστία μεγαλύτερου διαστημικού εκτοξευτή με 96% ποσοστό επιτυχίας ανάμεσα σε 300 πτήσεις. Υπάρχουν διάφορα μοντέλα όπως : Proton 8K82K και Proton-M



Εικόνα 8, Το Proton, πηγή: [440px-Proton_Zvezda_crop.jpg](#)

Διαστημικά Λεωφορεία

Είναι η πιο ευέλικτη μέθοδος μεταφοράς φορτίου και πληρώματος με 120 πτήσεις αλλά 2 αποτυχίες στις οποίες υπήρχαν θύματα, κοινώς είναι ο φορέας εκτόξευσης πληρωμάτων και φορτίου των ΗΠΑ. Αποτελείται από τρία κύρια συγκροτήματα: το επαναχρησιμοποιήσιμο τροχιακό όχημα (Orbiter Vehicle-OV), την εξωτερική δεξαμενή καυσίμων (External Tank-ET), το μόνο αναλώσιμο τμήμα του συστήματος, και δύο επαναχρησιμοποιήσιμους πυραύλους στερεών καυσίμων (Solid Rocket Boosters-SRBs). Η δεξαμενή και οι δυο πύραυλοι απορρίπτονται στη θάλασσα μετά την απογείωση. Μόνο το όχημα μπαίνει σε τροχιά. Το όχημα εκτοξεύεται κάθετα όπως ένας συμβατικός πύραυλος, προσγειώνεται οριζόντια όπως ένα πολιτικό αεροπλάνο, και μετά ανανεώνεται και επισκευάζεται για την επαναχρησιμοποίηση. Οι δύο πύραυλοι στερεών καυσίμων (Solid Rocket Boosters-SRBs) είναι οι μεγαλύτεροι και πιο ισχυροί πύραυλοι αυτού του τύπου που χρησιμοποιήθηκαν ποτέ σε πτήση, και ο κινητήρας τους ο πιο ισχυρός που έχει χρησιμοποιηθεί ποτέ. Παρέχουν περίπου το 83% της ώθησης του οχήματος στην εκτόξευση και κατά τη διάρκεια των πρώτων σταδίων της ανόδου. Απορρίπτονται δύο λεπτά μετά την εκτόξευση σε ύψος περίπου 45,7 χλμ., έπειτα ανοίγουν τα αλεξίπτωτά τους και προσθαλασσώνονται στον ωκεανό. Καθώς έχουν την ικανότητα να επιπλέουν, ανακτώνται και ετοιμάζονται για την

επόμενη χρήση τους. Το εξωτερικό τους περίβλημα αποτελείται από χάλυβα με πάχος περίπου 1,27 εκατοστά. Το 2004 η NASA ανακοίνωσε ότι το διαστημικό λεωφορείο θα αποσυρθεί το 2010 και θα αντικατασταθεί από το όχημα Orion που αναφέρθηκε παραπάνω.



Εικόνα 9, Το διαστημικό λεωφορείο *Discovery* κατά την εκτόξευσή του στις 23/8/2007, πηγή: [KSC-95EC-0911.jpg](#)

[Τεχνητοί δορυφόροι]

[Ιστορική Αναδρομή]

Δορυφόροι

Η ιστορία των τεχνητών δορυφόρων ξεκινά με τον Sputnik 1 που εκτόξευσε στις 4 Οκτωβρίου 1957 η πρώην Σοβιετική Ένωση. Μία από τις σημαντικές ανακαλύψεις, χάρη σε αυτόν, ήταν πως η πυκνότητα της ατμόσφαιρας της Γης σε ύψος 500 χλμ., την ημέρα είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την νύχτα. Στην συνέχεια εκτοξεύτηκαν οι Sputnik 2, στις 3/11/1957 που έφερε την σκυλίτσα Λάικα ώστε να μελετηθούν αν οι συνθήκες στο διάστημα είναι βιώσιμες και για τον άνθρωπο και το Sputnik 3, στις 15/5/1958 που εξέφερε διάφορες μελέτες όντας σε τροχιά 2 χρόνια.

Έπειτα οι ΗΠΑ έστειλαν το Explorer 1 στις 31/1/1958, Explorer 2 στις 5/3/1958 που απέτυχε, το Explorer 3 στις 26/3/1958 με επιτυχία και το Explorer 4 στις 7/8/1959. Οι δορυφόροι αυτοί ανακάλυψαν την ακτινοβολία Βαν Άλλεν.

Παράλληλα οι ΗΠΑ έστειλαν και τους δορυφόρους Vanguard 1 στις 17/3/1958 σε ύψος 650 χλμ. που θα περιφέρεται για 1000 χρόνια και Vanguard 2 στις 17/2/1959 ο οποίος ήταν ο πρώτος μετεωρολογικός δορυφόρος της Γης.

Οι δορυφόροι αυτοί και οι ανακαλύψεις χάρη σε αυτούς έθεσαν τα θεμέλια για τις αποστολές του μέλλοντος. Δεν πέρασε πολύς χρόνος μέχρι την πρώτη αποστολή ανθρώπου στο διάστημα, αυτή του Yuri Gagarin με το Vostok 1 στις 12 Απριλίου του 1961 που έκανε μια πλήρη περιφορά γύρω από την Γη. Αυτό το γεγονός σηματοδότησε μια καινούργια περίοδο στην ιστορία της διαστημικής.

Διαστημικοί Σταθμοί

Ο πρώτος διαστημικός σταθμός που τέθηκε σε τροχιά ήταν ο Skylab της NASA που εκτοξεύτηκε στις 14/5/1973. Το τριμελές του πλήρωμα κατοίκησε σε αυτόν 1 μήνα κάνοντας διάφορα πειράματα και παρατηρήσεις ενώ ακολούθησαν άλλες 2 τριμελής αποστολές. Διατηρήθηκε σε τροχιά μέχρι το 1979 οπότε κατέπεσε στον Ινδικό Ωκεανό.



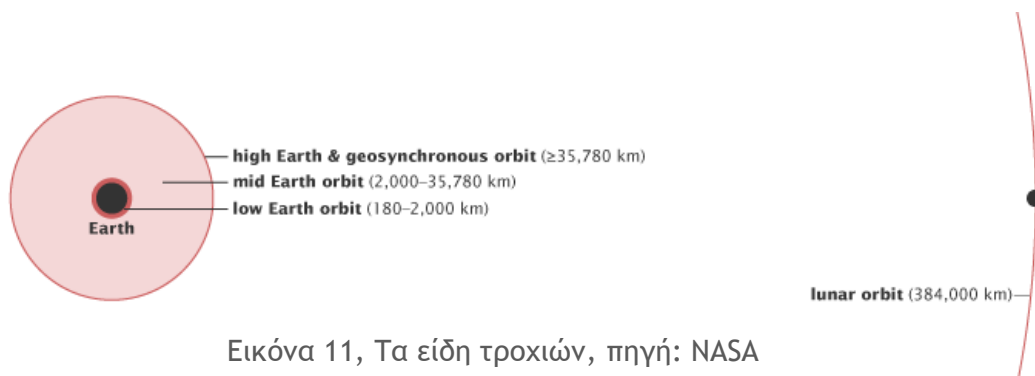
Εικόνα 10, Ο Sputnik 3, πηγή: Wikipedia

Ακολούθησαν τα Salyut 1-4 της Σοβιετικής Ένωσης τα οποία δεν μπορούσαν να λειτουργήσουν. Τα Salyut 5-7 όμως χρησιμοποιήθηκαν και το πλήρωμα του Salyut 7, το 1982 έσπασε κάθε ρεκόρ και κατάφερε να μείνει στο διάστημα 240 μέρες.

Και πάλι από τους Σοβιετικούς το 1986 εκτοξεύτηκε ο σταθμός Mir ο οποίος είχε επιφάνεια 76 τετραγωνικά μέτρα και μπορούσε να φιλοξενήσει ως 6 άτομα. Ο κοσμοναύτης Σεργκέι Αντβέγιεφ έζησε στο Mir 748 ημέρες, δηλαδή πάνω από 2 χρόνια. Ο σταθμός παρέμεινε σε λειτουργία μέχρι το 2001.

[Θεωρητικό υπόβαθρο λειτουργίας τεχνητών δορυφόρων]

Είδη τροχιών



Εικόνα 11, Τα είδη τροχιών, πηγή: NASA

Οι τροχιές γύρω από τη Γη μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το ύψος τους από την επιφάνεια. Έτσι έχουμε τις τροχιές χαμηλού ύψους LEO μέχρι 2000 km, τροχιές ενδιάμεσου ύψους MEO

μέχρι 35.780 km και τροχιές υψηλού ύψους HEO που περιέχεται και η γεωσύγχρονη GEO πάνω από 35.780 km.

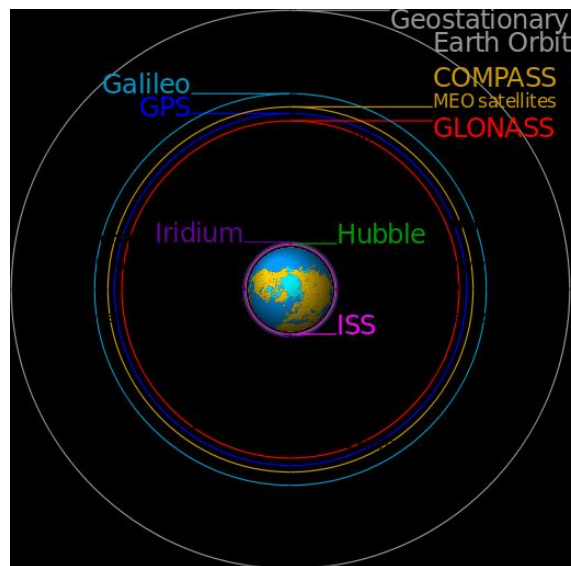
Οι τροχιές LEO χαρακτηρίζονται από τον μεγάλο αριθμό περιφορών περί την Γη που εκτελεί ο δορυφόρος κατά τη διάρκεια μιας ημέρας (10-16 περιφορές) χάρη στην υψηλή τους ταχύτητα. Δεν πρέπει όμως να παραλείψουμε να αναφέρουμε πως οι δορυφόροι σε LEO δέχονται την επίδραση της αεροδυναμικής τριβής, μιας που βρίσκονται κοντά στην ανώτερη ατμόσφαιρα της Γης, οπότε συνήθως χρειάζονται συστηματικότερη παρακολούθηση της τροχιάς τους διότι χάνουν συνεχώς ύψος. Έτσι δορυφόροι στη LEO χρειάζονται μεγάλο ποσό εναπομένοντα καυσίμου, δηλαδή δεν μπορούν να τελειώσουν όλο το καύσιμο κατά την απογείωση και την μετάβαση σε τροχιά.

Ο ISS και το Hubble βρίσκονται σε τέτοια τροχιά στα 360 km και 500 km αντίστοιχα, καθώς και το μεγαλύτερο ποσοστό των δορυφόρων.

Οι τροχιές MEO είναι λίγες, αλλά εξαιρετικά σημαντικές για την ανθρώπινη δραστηριότητα, καθώς πρόκειται κυρίως για τους αστερισμούς δορυφόρων των συστημάτων προσδιορισμού θέσης GPS των ΗΠΑ, Galileo της ΕΕ και GLONASS της Ρωσίας.

Τροχιές μεγάλου ύψους HEO ακολουθούν περίπου το 15% των δορυφόρων έτσι ώστε να εκτελούν μία ή δύο περιφορές της Γης ανά ημέρα. Οι τροχιές αυτές ονομάζονται επομένως

γεωσύγχρονες (GEO) που κάνουν μία περιστροφή σε 23 ώρες και 56 λεπτά περίπου και ημισύγχρονες που κάνουν δύο περιφορές την ημέρα. Οι τροχιές τύπου GEO των οποίων το επίπεδο κίνησης σχεδόν ταυτίζεται με τον ισημερινό της Γης ονομάζονται γεωστατικές, με τον δορυφόρο να βρίσκεται διαρκώς πάνω από έναν συγκεκριμένο τόπο



Εικόνα 12, Οι Τροχιές Μερικών Χαρακτηριστικών Δορυφόρων, πηγή: Wikipedia

του ισημερινού της Γης. Οι δορυφόροι στην ΗΕΟ δεν έχουν όσο υψηλή ταχύτητα όσο αυτοί στη ΛΕΟ.

Εκτός από το ύψος της τροχιάς, εξετάζουμε την κλίση και την εκκεντρότητα της, τα οποία θα αναλύσουμε παρακάτω.

Θεμελιώδεις Νόμοι Ουράνιας Μηχανικής

Νομοί Κέπλερ

Ο Κέπλερ κατάφερε να διατυπώσει, πριν από την Νευτώνεια Μηχανική, τους τρεις παρακάτω νόμους, σύμφωνα με τις παρατηρήσεις του:

1. Οι τροχιές των πλανητών είναι επίπεδες ελλείψεις και ο Ήλιος κατέχει την μία εκ των δύο εστιών.
2. Τα εμβαδά που καλύπτουν οι επιβατικές ακτίνες είναι ανάλογα των χρόνων (σε ίσους χρόνους ίδια εμβαδά) ή αλλιώς η κίνηση γίνεται με σταθερή εμβαδική ταχύτητα.

Ως επιβατική ακτίνα ορίζεται η ακτίνα που συνδέει τον ήλιο με τον πλανήτη.

3. Ο λόγος του τετραγώνου του χρόνου περιφοράς ενός πλανήτη προς τον κύβο του μεγάλου ημιάξονα της ελλειπτικής τροχιάς είναι σταθερός. $a^3 / T^2 = \text{σταθερός και περίπου ίσος με } 7,496 \times 10^{-6}$ ($\text{AU}^3 / \text{ημέρες}^2$)

Ο νόμος αυτός αποδεικνύεται από τον νόμο της παγκόσμιας έλξης του Νεύτωνα, με το AU να αναφέρεται στις αστρονομικές μονάδες, τις αποστάσεις των πλανητών από τον ήλιο.

Νόμος Παγκόσμιας Έλξης Νεύτωνα

Ο Νόμος της Παγκόσμιας Έλξης μπόρεσε να αποδείξει και τους τρεις κινηματικούς νόμους του Κέπλερ. Η διατύπωση του νόμου για ένα σώμα που βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τη Γη είναι η εξής:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ ή } F = G \frac{M_{\text{ΓΗΣ}} m}{R^2} \text{ ή } F = \frac{m \mu}{R^2}$$

Που μ η παράμετρος μάζας $\mu = GM \sim 3.986 \times 10^{14}$

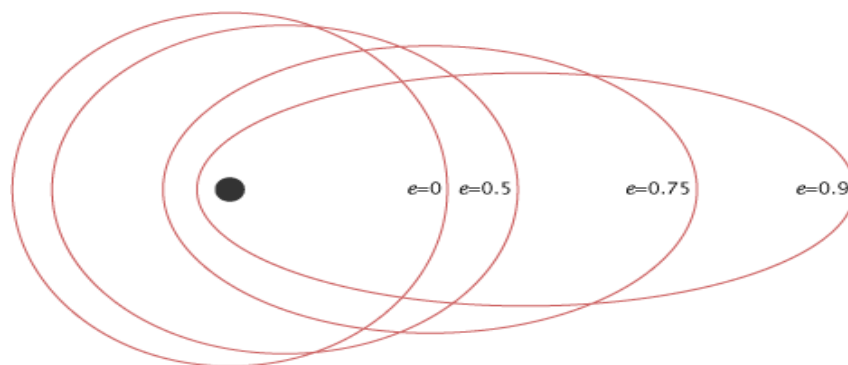
Παράλληλα ο Νεύτωνας διατύπωσε και τους τρεις θεμελιώδεις νόμους της μηχανικής. Ο 1ος νόμος του Νεύτωνα συγκεκριμένα, μας δείχνει

πως ένας δορυφόρος θα διατηρήσει τη ταχύτητά του σταθερή λόγω αδράνειας.

Λαμβάνοντας υπόψη την βαρυτική έλξη της Γης, που επιδρά ως κεντρομόλος στον δορυφόρο, αντιλαμβανόμαστε πώς μπορεί να παραμείνει ο δορυφόρος σε σταθερή τροχιά. Λόγω λοιπόν της ταχύτητας του δορυφόρου, αναπτύσσεται μία φυγόκεντρος δύναμη η οποία τείνει να “σπρώξει” τον δορυφόρο σε ανώτερου ύψους τροχιάς. Αυτές οι δύο δυνάμεις αλληλο-εξουδετερώνονται οπότε ο δορυφόρος παραμένει σε τροχιά. Συμπεραίνουμε παράλληλα πως τροχιές χαμηλού ύψους LEO χρειάζονται μεγαλύτερη ταχύτητα, ώστε να αποκτήσουν μεγαλύτερη φυγόκεντρο δύναμη για να υπερνικήσει την βαρυτική έλξη της Γης, η οποία είναι πιο ισχυρή όσο πιο κοντά βρίσκεται ένα σώμα σ’ αυτήν.

Κυκλική και Ελλειπτική Τροχιά

Οι δύο αυτές κωνικές τομές είναι οι συνήθεις κινήσεις των σωμάτων καθώς πρόκειται για “κλειστές” τροχιές. Είναι αναγκαίο εδώ να αναφέρουμε την έννοια της εκκεντρότητας e , η οποία για τον κύκλο είναι $e=0$ ενώ για την έλλειψη υπολογίζεται από την εξίσωσή της και είναι $e=\frac{\gamma}{\alpha} < 1$. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η παραβολή $e=1$ έχει και η υπερβολή $e>1$.



Εικόνα 13, Η έννοια της εκκεντρότητας, πηγή: NASA

Βέβαια πρέπει να σημειώσουμε πως οι τροχιές των δορυφόρων αλλά και γενικότερα των ουρανίων σωμάτων δεν μπορούν να είναι τέλει κύκλοι και ελλείψεις. Στη πραγματικότητα υπάρχουν πολλές ανωμαλίες (όπως το ισημερινό εξόγκωμα) και γενικά αρκετοί παράγοντες (όπως οι τριβές ή δυνάμεις βαρυτικής φύσης) που τείνουν να “σπρώξουν” το σώμα από την καθορισμένη του τροχιά. Ειδικότερα στη περίπτωση των

δορυφόρων, τα οποία είναι σώματα χαμηλής μάζας οπότε εύκολα επηρεασμένα από εξωτερικούς παράγοντες, οι αρμόδιοι επιστήμονες χρησιμοποιούν εξισώσεις περίπλοκων μαθηματικών ώστε να βρουν τις αποκλίσεις και να υπολογίσουν με ποιόν τρόπο το σώμα θα κρατηθεί στην καθορισμένη του τροχιά.

Κυκλική

Ο δορυφόρος εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση οπότε χρησιμοποιούμε τους γνωστούς τύπους της κυκλικής κίνησης δηλαδή: η κεντρομόλος επιτάχυνση: $\alpha_c = \frac{u^2}{r}$ και η κεντρομόλος δύναμη: $F_K = \Sigma F = m \frac{u^2}{r}$.

Ένας δορυφόρος που κινείται κυκλικά διατηρεί σταθερή την κυκλική και εμβαδική του ταχύτητα (νόμος Κέπλερ), οπότε είναι εύκολο να βρούμε τη θέση του σε οποιαδήποτε στιγμή. Το διάνυσμα της ταχύτητάς του εφάπτεται στη τροχιά του.

Επίσης σε ένα δέσμιο σύστημα η ενέργεια E είναι υποχρεωτικά μικρότερη από 0, οπότε για δορυφόρο σε κυκλική τροχιά: $E = -\frac{GMm}{2r}$.

Ελλειπτική

Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του Κέπλερ οι τροχιές των πλανητών είναι ελλειπτικές. Το ίδιο ισχύει και για τις τροχιές των τεχνητών δορυφόρων. Η έλλειψη είναι ο γεωμετρικός τόπος που διαθέτει δύο εστίες E και E' και το άθροισμα των αποστάσεων ενός οποιουδήποτε σημείου από τις εστίες είναι σταθερό και μεγαλύτερο πάντα από EE' .

Ένας δορυφόρος σε ελλειπτική τροχιά θα εξακολουθεί να έχει μια κεντρομόλο επιτάχυνση προς το κέντρο της Γης μόνο που δεν θα είναι πάντα κάθετη ως προς αυτόν. Η ταχύτητα του επίσης μεταβάλλεται, δηλαδή θα κινηθεί ταχύτερα στο περιήλιο και αργότερα στο αφήλιο. Η Ενέργειά του θα είναι $E = -\frac{GMm}{2a}$ με a τον μεγάλο ημιάξονα.

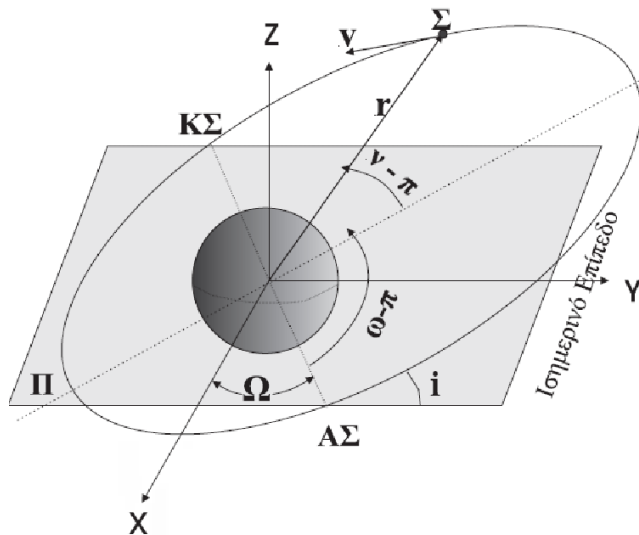
Σε κάποια ελάχιστη ταχύτητα, τη λεγόμενη ταχύτητα διαφυγής, η εκκεντρότητα μίας τροχιάς γίνεται ένα ($e=1$) οπότε πλέον η τροχιά είναι παραβολική και όχι ελλειπτική και το σώμα είναι πλέον ικανό να διαφύγει τη βαρύτητα του ελκτικού του κέντρου.

$u_{\infty} = \sqrt{\frac{2\mu}{r}}$ που μ η παράμετρος μάζας . Αν $r = R_{\text{ΓΗΣ}}$ τότε βρίσκουμε την ταχύτητα που πρέπει να πάρει το σώμα για να αποκτήσει την παραβολική ταχύτητα ή αλλιώς ταχύτητα διαφυγής.

Η ιδιότητα αυτή χρησιμεύει στο σχεδιασμό τροχιών για διαπλανητικές αποστολές, όπου συνήθως πρακτική είναι η τοποθέτηση του σκάφους, αρχικά, σε κυκλική ή ελαφρώς ελλειπτική τροχιά γύρω από τη Γη μέχρι θα πυροδοτηθούν οι μηχανές του για να ξεκινήσει την ανοικτή, παραβολική, τροχιά του. Παράλληλα περνώντας κοντά από έναν πλανήτη, η βαρυτική αλληλεπίδραση μπορεί να γίνει τέτοια ώστε η ελλειπτική τροχιά να γίνει παραβολική, κάτι που ονομάζεται φαινόμενο της σφενδόνας (sling-shot effect) ή βαρυτική υποβοήθηση.

Κλίση Τροχιάς

Ένα χαρακτηριστικό της τροχιάς που πρέπει να έχουμε υπόψη μας, είναι πως η τροχιά συχνά έχει κλίση. Αν θεωρήσουμε πως το επίπεδο περνάει από την νοητή γραμμή του ισημερινού, κλίση της τροχιάς θα είναι η γωνία που σχηματίζει η επιβατική ακτίνα Γης-δορυφόρου με το επίπεδο. Η κλίση συμβολίζεται με i (inclination).



Εικόνα 14, Αναπαράσταση της κλίσης τροχιάς i

Σύμφωνα λοιπόν με την κλίση μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τις τροχιές σε:

Ισημερινές

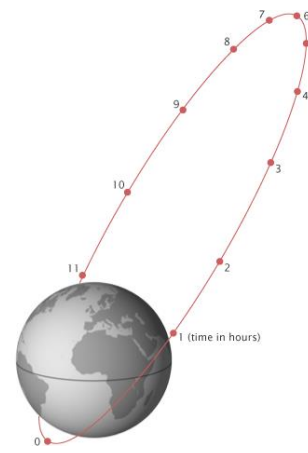
Ισημερινές είναι οι τροχιές με κλίση $i < 15^\circ$ δηλαδή είναι σχεδόν παράλληλες με τον ισημερινό και στη πλειοψηφία τους είναι κυκλικές. Τέτοιες τροχιές ακολουθούν περίπου το 10% των δορυφόρων.

Πολικές

Ως πολικές χαρακτηρίζουμε τις τροχιές με κλίση $i \sim 90^\circ$. Οι ηλιοσύγχρονες τροχιές, δηλαδή τροχιές που είναι έτσι σχεδιασμένες ώστε να περνάνε από ένα σημείο σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, μπορούν να θεωρηθούν σχεδόν πολικές. Ενώ ο δορυφόρος περιστρέφεται στην τροχιά του, η γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της οπότε σε κάθε πλήρη περιστροφή, σαρώνεται και μια νέα λωρίδα της επιφάνειας. Έτσι, μετά από ένα ορισμένο αριθμό περιστροφών θα έχει σαρωθεί ολόκληρη η επιφάνεια της γης.

Molniya και Toundra

Οι τροχιές Molniya και Toundra στην ΜΕΟ μπορούν να χαρακτηριστούν ως ενδιαμέσης κλίσης. Πρόκειται για ειδική κατηγορία ημισύγχρονων και γεωσύγχρονων, αντίστοιχα, τροχιών που ταυτόχρονα χαρακτηρίζονται από σταθερή κλίση $i = 63,4^\circ$. Εγκαθιδρύθηκαν από την πρώην Σοβιετική Ένωση διότι μπορούσαν να καλύψουν περιοχές υψηλού γεωγραφικού πλάτους. Αποτελούν περίπου το 15% του συνόλου των δορυφόρων.



Εικόνα 15, Η τροχιά

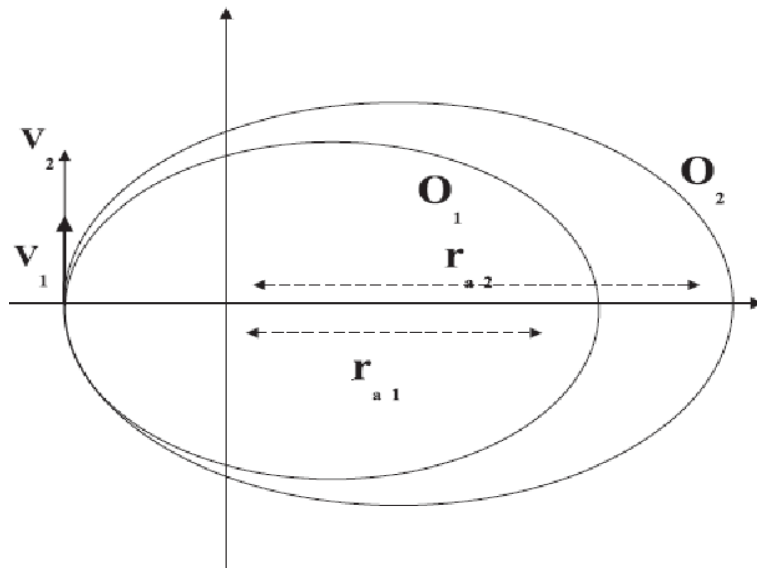
Πρέπει να σημειώσουμε επίσης πως αυτές οι τροχιές χαρακτηρίζονται και από μεγάλο βαθμό εκκεντρότητας, μέχρι και $e=0.8$, οπότε είναι πολύ ελλειπτικές.

Μετάβαση από μια τροχιά σε άλλη

Όπως αναφέραμε και νωρίτερα, υπάρχουν στάδια μετάβασης από την αρχική τροχιά του δορυφόρου στην τελική του. Ανάλογα με το που θέλουμε να μεταβεί ο δορυφόρος χρησιμοποιείται κάποια από τις παρακάτω τεχνικές ή ένας συνδυασμός τους. Πάντα βέβαια πρέπει να έχουμε στο νου μας την ελαχιστοποίηση των καυσίμων.

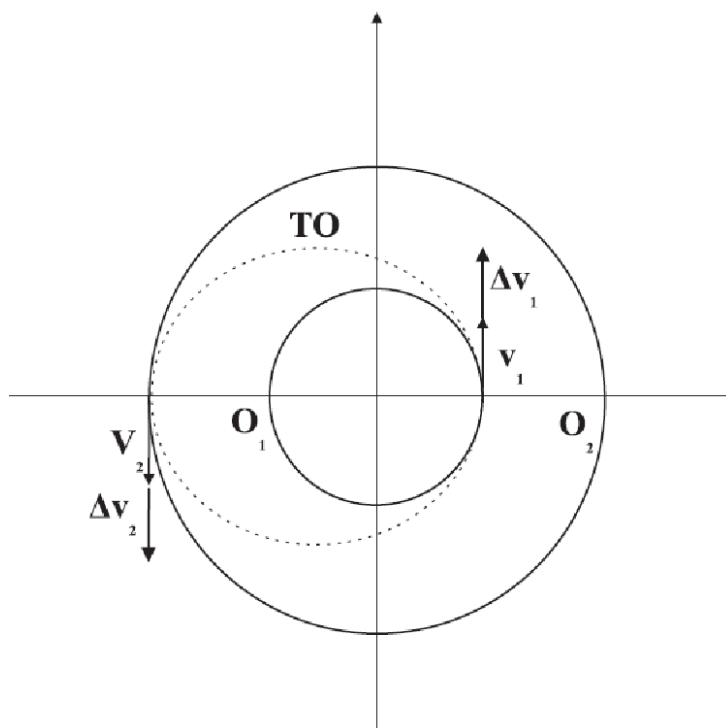
Αλλαγή του ύψους του περίγειου/απογείου

Η αλλαγή του ύψους επιτυγχάνεται, προκαλώντας τη μεταβολή της ταχύτητας του δορυφόρου κατά τη διάβασή του από το απόγειο ή από το περίγειο της αρχικής τροχιάς, O_1 . Οι δύο τροχιές πρέπει να εφάπτονται είτε στο απόγειο είτε στο περίγειο, όπως βλέπουμε και στην παρακάτω εικόνα: Μετάθεση τύπου Hohmann



Εικόνα 16, Απλή μεταφορά τροχιάς

Στη προηγούμενη περίπτωση είδαμε απλές διορθώσεις της τροχιάς του δορυφόρου που μπορούν να επιτευχθούν με μία μόνο πυροδότηση των προωθητικών πυραύλων. Αντίθετα, η μετάθεση του δορυφόρου σε νέα τροχιά, η οποία δεν έχει κανένα κοινό σημείο με την αρχική, πρέπει να γίνει τουλάχιστον σε δύο στάδια. Έτσι, ο δορυφόρος αναγκάζεται να ακολουθήσει προσωρινά μια τροχιά μεταφοράς, η οποία εφάπτεται τόσο στην αρχική όσο και στην τελική τροχιά του. Η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμου επιτυγχάνεται ακολουθώντας τη διαδικασία μετάθεσης του Hohmann που βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα. Με διακεκομμένες γραμμές βλέπουμε την ελλειπτική προσωρινή τροχιά μεταφοράς από την αρχική O_1 στη τελική O_2 .



Εικόνα 11, Μετάθεση τροχιάς τύπου Hohman

Αλλαγή Κλίσης

Παράλληλα τις περισσότερες φορές χρειάζεται να γίνει μετάθεση μεταξύ τροχιών με διαφορετική τιμή κλίσης ως προς το ισημερινό επίπεδο της Γης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η τοποθέτηση δορυφόρου σε ισημερινή, κυκλική, γεωσύγχρονη τροχιά (GEO). Κάτι τέτοιο είναι δυνατό να γίνει με παράλληλη με τις παραπάνω μεταθέσεις, πρόκληση στροφής του διανύσματος της στροφορμής του, ώστε να γίνει κάθετο προς το επίπεδο του ισημερινού. Αυτό επιτυγχάνεται αν στρέψουμε το διάνυσμα της ταχύτητας του δορυφόρου κατά γωνία i , τη στιγμή που αυτός διέρχεται από το ισημερινό επίπεδο.

Η NASA συνήθως εκτοξεύει τεχνητούς δορυφόρους από γεωγραφικό πλάτος $\varphi=28.5^\circ$ ενώ η ESA χρησιμοποιεί τη βάση εκτόξευσης με $\varphi=5.2^\circ$. Οπότε αντιλαμβανόμαστε πως για κάθε δορυφόρο που εκτοξεύεται πρέπει να λάβουν υπόψη την κλίση. Συμπεραίνουμε παράλληλα πως όταν η εκτόξευση γίνεται από μικρό γεωγραφικό πλάτος χρειάζονται λιγότερα καύσιμα οπότε είναι λιγότερο κοστοβόρο.

Σημεία Lagrange

Τα σημεία Λαγκράνζ είναι σημεία μεταξύ δύο ουράνιων σωμάτων όπου διατηρείται βαρυτική ισορροπία και αν τοποθετηθεί ένας δορυφόρος, θα δέχεται συνολική βαρυτική δύναμη μηδέν, αν συνυπολογιστεί βέβαια και η φυγόκεντρος δύναμη. Σημεία Λαγκράνζ έχουν συστήματα τύπου ήλιος-πλανήτη και είναι πολύ χρήσιμα. Για παράδειγμα στον Δία, δεν είναι τυχαίο πως σε 2 από αυτά τα σημεία είναι τοποθετημένοι οι δορυφόροι του Τρώαδες.

Στο σύστημα Ήλιος- Γη τα σημεία Λαγκράνζ φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Τα σημεία L1, L2 και L3 χαρακτηρίζονται από έλλειψη σταθερότητας, ενώ τα L4 και L5 είναι πολύ σταθερά. Στα σημεία L1 και L2 έχουν τοποθετηθεί δορυφόροι ο οποίος βρίσκονται σε τροχιά, ονόματι Halo orbit, γύρω από το ίδιο το σημείο. Στο L1 έχει τοποθετηθεί το ηλιακό παρατηρητήριο SOHO ώστε να έχει εικόνα του ήλιου ενώ στο L2, μιας που η Γη κρύβει πάντα τον Ήλιο, έχουν τοποθετηθεί άλλα τηλεσκόπια που κοιτάζουν το διάστημα.



Εικόνα 18, τα σημεία Lagrange



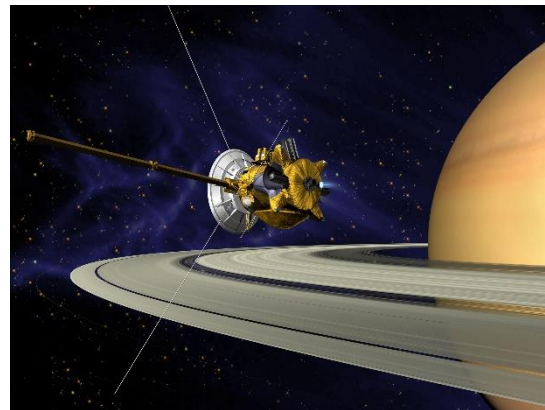
Εικόνα 19, τα σημεία Lagrange σε σχέση με την

[Είδη δορυφόρων]

Ένας τεχνητός δορυφόρος εκτοξεύεται σε τροχιά έχοντας συγκεκριμένο σκοπό και λειτουργίες. Έτσι έναν δορυφόρο μπορούμε να τον εντάξουμε σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

1. Αστρονομικά Τηλεσκόπια και Παρατηρητήρια

Αυτοί οι δορυφόροι είναι κατασκευασμένοι με τέτοιο τρόπο και είναι εφοδιασμένοι με τον κατάλληλο εξοπλισμό έτσι ώστε να μπορούν να βγάλουν φωτογραφίες υψηλής ευκρίνειας που θα σταλούν στους σταθμούς βάσης ώστε να αναλυθούν από τους επιστήμονες. Πιο συγκεκριμένα διαθέτουν τηλεσκόπια οπτικά, ακτινών Χ όπως το *Uhuru* και το *Einstein*, υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας όπως το *IRAS* και το *Spitzer*, κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου όπως το *Planck* κ.α.



Εικόνα 12, Το Cassini σε τροχιά γύρω από τον Κρόνο

Γενικότερα χάρη σε αυτά τα τηλεσκόπια έχουν γίνει τρομερές ανακαλύψεις, όπως την πραγματική ηλικία του σύμπαντος χάρη στο *Hubble*. Έχουν παράλληλα εξερευνήσει και έχουν φέρει στη δημοσιότητα εικόνες του ήλιου μας, με το *SOHO*, εικόνες από το Δία και τον Κρόνο με το *Ulysses* και *Cassini* αντίστοιχα, εικόνες εξωηλιακών πλανητών χάρη στο *Kepler* και αμέτρητα άλλα.

2. Μετεωρολογικοί Δορυφόροι

Η πρόγνωση του καιρού γίνεται χάρη στις πληροφορίες που συλλέγουν και στέλνουν στη Γη αυτοί οι δορυφόροι. Μπορούν να είναι είτε σε γεωστατική τροχιά GEO στα 36.000 km είτε σε πολική τροχιά από 700 ως 1200 km στη LEO. Οι δορυφόροι στη γεωστατική τροχιά δίνουν δεδομένα για μία συγκεκριμένη περιοχή ανά μισή ώρα περίπου ενώ οι πολικοί δίνουν στοιχεία για ολόκληρη τη Γη.

3. Τηλεπικοινωνιακοί Δορυφόροι

Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι χρησιμοποιούνται για την μετάδοση πληροφοριών από τόπο σε τόπο. Τοποθετούνται σε γεωσύγχρονη τροχιά GEO στα 35.780 km πάνω από την επιφάνεια οπότε φαινομενικά είναι στάσιμοι πάνω από μια περιοχή. Διεθνώς υπάρχουν οι οργανισμοί Intelsat για τη στεριά και Inmarsat για τη θάλασσα, οι οποίοι διαθέτουν “αστερισμούς” δορυφόρων. Μόνο η Intelsat διαθέτει σε τροχιά πάνω από 20.

4. Δορυφόροι Πλοήγησης

Οι δορυφόροι πλοήγησης βρίσκονται σε τροχιές ενδιάμεσου ύψους MEO. Έχουν την δυνατότητα να εντοπίζουν και να προσανατολίζουν την πορεία τόσο αυτοκινήτων όσο πλοίων και αεροπλάνων. Η πλοήγηση διεξάγεται από την GPS στις ΗΠΑ και οι δορυφόροι βρίσκονται στα 20.200 km, από την Ρωσική Glonass στα και την Galileo της ΕΕ. Οι δορυφόροι αυτοί έχουν περίοδο τροχιάς 12 ωρών.



Εικόνα 21, δορυφόρος GPS

5. Πιο Ειδικοί Τύποι Δορυφόρων

Οι γεωδαιτικοί δορυφόροι πρόκειται για δορυφόρους που μελετούν και αναλύουν την επιφάνεια της Γης ώστε να την χαρτογραφηθούν αναλυτικά. Χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα από τους μηχανικούς για να εκπονήσουν τοπογραφικά σχέδια.

Παράλληλα οι δορυφόροι γεωλογικών εφαρμογών και ερευνών χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση των γεωφυσικών φαινομένων όπως οι σεισμοί και τον εντοπισμό ορυκτών κοιτασμάτων.

Οι δορυφόροι περιβάλλοντος συλλέγουν στοιχεία για το περιβάλλον ώστε να μπορέσουν να εντοπιστούν τυχόν φαινόμενα ή μεταβολές. Αυτά τα στοιχεία αφορούν την ρύπανση του περιβάλλοντος, τη παρακολούθηση για τυχόν πυρκαγιές και άλλα.

Εκτός από τους παραπάνω μπορούν να εκτοξευθούν και άλλοι δορυφόροι με πολύ εξειδικευμένη αποστολή.

6. Διαστημικοί Σταθμοί

Η δημιουργία διαστημικών σταθμών άρχισε το 1970 τόσο από τις ΗΠΑ όσο από την πρώην Σοβιετική Ένωση. Είδαμε και παραπάνω, στην ιστορική αναδρομή, τα επιτεύγματα της μηχανικής ανά τα χρόνια σε αυτό τον τομέα. Αυτοί λοιπόν οι κατοικήσιμοι δορυφόροι δημιουργήθηκαν λόγω της ανάγκης να διατίθενται ερευνητικά εργαστήρια, χώροι αποθήκευσης φορτίων, κέντρα ελέγχου, χώροι κατοικίας αστροναυτών αλλά και αποβάθρες ελλιμενισμού διαστημοπλοίων πέρα από την επιφάνεια της Γης. Ο πλέον σύγχρονος διαστημικός σταθμός είναι ο Διεθνής Διαστημικός Σταθμός ISS, έργο πολλών χωρών με την κατασκευή του να αρχίζει το 1997 και να είναι σε λειτουργία μέχρι σήμερα. Πάνω από 200 κοσμοναύτες έχουν μείνει στον σταθμό αυτό. Αποτελεί ένα τεράστιο ανθρώπινο επίτευγμα.



Εικόνα 22, Ο ISS, πηγή: ESA

[Πιθανές μελλοντικές εξελίξεις]

Μελλοντικά σκοπός θα είναι αρχικά η επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων, οι οποίες θα μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας πλάσματα υδρογόνου χωρίς συμπίκνωση, τα οποία βρίσκονται υπό διερεύνηση στη NASA Glenn. Οι υψηλότερες ταχύτητες εξάτμισης και τα επίπεδα ώθησης θα οδηγήσουν σε μικρότερους χρόνους ταξιδιού και μειωμένο κόστος αποστολής, το οποίο είναι ιδιαίτερα ευεργετικό για φορτία και πιλοτικές αποστολές. Επόμενος στόχος θα είναι η κάλυψη πιο μακρινών αποστάσεων, οι προωθητήρες MPD μπορούν να γίνουν η μέθοδος πρόωσης που μεταφέρει τους ανθρώπους σε άλλους πλανήτες στο ηλιακό μας σύστημα(πχ να καταφέρουμε τα 100.000 μέτρα ανά δευτερόλεπτο-πάνω από 200.000 mph).Επιπρόσθετα φαίνεται πως θα εξελιχθούν τα καύσιμα που θα χρησιμοποιούνται ώστε να ωφελούν σε κόστος, ποσότητα, τρόπο καύσης και ταχύτητα, αλλά και τα ταξίδια του διαστήματος που ονειρεύεται η ανθρωπότητα στο μέλλον θα απαιτούν ιδιαίτερα εξελιγμένη τεχνολογία σε αντοχή υλικών σε πίεση και θερμοκρασία. Αυτά είναι θέματα που λύνονται με τη χρήση όλο και περισσότερο του πλάσματος, της πυρηνικής ενέργειας για καύσιμη ύλη και εμπλουτισμού είτε επεξεργασίας διάφορων μετάλλων για την αντοχή των προωθητικών πυραύλων στα συγκεκριμένα υλικά και συνθήκες. Σίγουρα αυτές οι εξελίξεις θα πάρουν αρκετό χρόνο στην ανθρωπότητα για να υλοποιηθούν, αλλά η τεχνολογία ολοένα και αυξάνεται.

Παράλληλα θα υπάρξουν και τεχνολογικές σημαντικές εξελίξεις για τους τεχνητούς δορυφόρους. Η μείωση του μεγέθους τους αποτελεί στόχος, φέρνοντας στο προσκήνιο ‘νανοδορυφόρους’ οι οποίοι έχουν μάζα μικρότερη των 10 κιλών. Επίσης, τόσο τα υλικά κατασκευής τους, ο εξοπλισμός τους και η γενικότερη απόδοση τους ολοένα και βελτιώνεται. Δεν πρέπει όμως να παραλείψουμε να αναφέρουμε και τις καινούργιες δυνατότητες που μπορούν να αποκτήσουν, όπως την δυνατότητα να παρέχεται 5G σήμα μέχρι και στην πιο απομακρυσμένη γωνιά της Γης. Σήμερα τέλος, είναι γεγονός το δορυφορικό ιντερνέτ, με το σμήνος Starlink της SpaceX να εκτοξεύεται το 2020, με στόχο να φτάσει σε ταχύτητες internet έως και 1000mbps, κάτι που μας δείχνει

τις απεριόριστες δυνατότητες της τεχνολογίας και μας δημιουργεί αγωνία για μελλοντικές εξελίξεις.

[Βιβλιογραφία]

Για προωθητικά συστήματα:

1. <https://el.wikipedia.org/wiki/Πύραυλος>
2. https://el.wikipedia.org/wiki/Υγρόν_πυρ
3. https://el.m.wikipedia.org/wiki/Τεχνητός_δορυφόρος
4. <https://school.astronomos.gr/c-class-less-1/>
5. <https://physicsgg.me/2019/08/15/η-πυραυλική-εξίσωση-του-τσιοιγκόφσκι/>
6. <https://slideplayer.gr/slide/12341541/>
7. <https://www.liberal.gr/technology/epistrofi-sto-diastima-me-purinikous-kinitires/327123>
8. http://repository.library.teimes.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/8125/KAT_PHS%20ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ%206443.pdf?sequence=1&isAllowed=y
9. <https://el.wikipedia.org/wiki/Orion>
10. <https://www.nasa.gov/exploration/systems/orion/index.html>
11. <https://www.naftemporiki.gr/story/1318147/arxise-i-kataskeui-tou-diastimoploiou-orion-pou-proorizetai-gia-epandromeni-apostoli-sti-selini>
12. <https://www.space.com/21820-russia-proton-rocket-explained-infographic.html>
13. [https://en.wikipedia.org/wiki/Proton_\(rocket_family\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Proton_(rocket_family))
14. https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetoplasma_dynamic_thruster
15. <https://www.nasa.gov/centers/glenn/about/fs22grc.html>
16. https://el.wikipedia.org/wiki/Διαστημικό_Λεωφορείο
17. <https://www.orionas.gr/wp-content/uploads/2007/12/Fragos-Propulsion.pdf>
18. <https://docplayer.gr/6720443-Kinitires-pyraylon-kai-proothitika-pyraylikon-systimaton-konstantinos-g-kolovos.html>
19. https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/TRC/Rockets/history_of_rockets.html
20. <https://el.wikipedia.org/wiki/Αιολόσφαιρα>
21. Μαυρομμάτης, Κωνσταντίνος, 2013. *Στοιχεία Αστρονομίας Αστροφυσικής και Διαστημικής*, τεύχος 3^ο. Βόλος: Εταιρία Αστρονομίας και Διαστήματος.

Για τεχνητούς δορυφόρους:

1. https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/SEMAPY4PVFG_2.html
2. <https://www.nasa.gov/>
3. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/OrbitsCatalog>
4. <https://www.sciencelearn.org.nz/>
5. <https://en.wikipedia.org/>
6. Μαυρομμάτης, Κωνσταντίνος, 2013. *Στοιχεία Αστρονομίας Αστροφυσικής και Διαστημικής*, τεύχος 3^ο. Βόλος: Εταιρία Αστρονομίας και Διαστήματος.
7. Τσιγάνης, Κ. και Βάρβογλης, Χ., 2015. *Πλανητικά Συστήματα*. (e-book) Από: <https://repository.kallipos.gr/>
8. <https://news.itu.int/satellite-communications-trends/>