

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

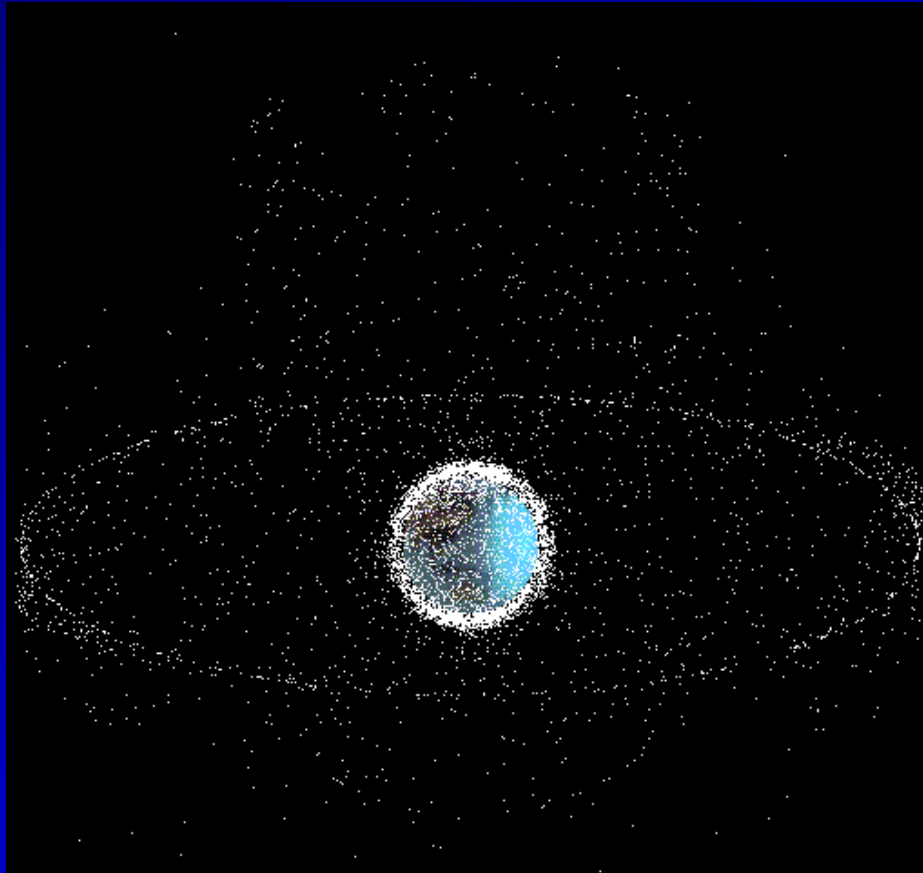
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΚΑΙ ΕΓΓΥΣ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

- ◆ Είδη
- ◆ Ανάλυση της κίνησης
- ◆ Συγκρούσεις
- ◆ Όπλα
- ◆ Απειλή για το εγγύς διαστημικό περιβάλλον και τη Γη
- ◆ Ανάλυση της κίνησης
- ◆ Αντιμετώπιση

Επιμέλεια: Ασβεστά Βασιλική

Ζηνά Χαρούλα

Διαστημικά κατάλοιπα



Με τις φωτεινές κουκκίδες απεικονίζονται τα διαστημικά κατάλοιπα που γυρίζουν γύρω από τη Γη , χωρίς να προσφέρουν κάτι χρήσιμο

Ορισμός:

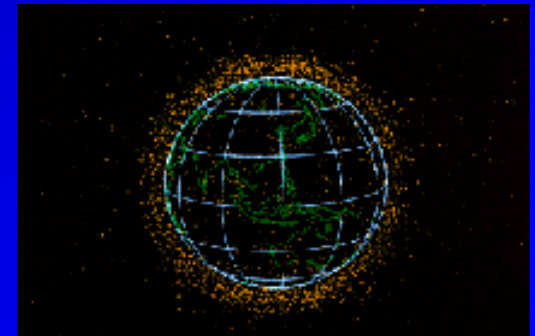
Διαστημικά κατάλοιπα θεωρούμε τα περιφερόμενα αντικείμενα γύρω από τη Γη που δεν προσφέρουν πλέον κάτι χρήσιμο.

Ανάλογα με την προέλευσή τους χωρίζονται στις κατηγορίες:

- ♦ Φυσικά σώματα
- ♦ Αντικείμενα ανθρώπινης προέλευσης
- ♦ Άγνωστης προέλευσης

Ανάλογα με το μέγεθός τους χωρίζονται σε:

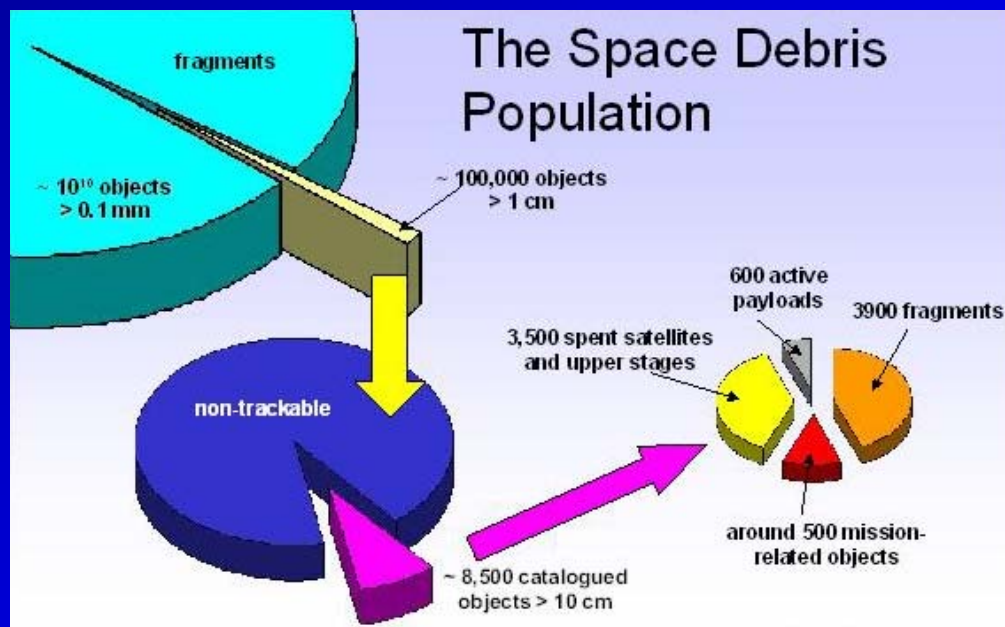
- ♦ Μεγάλα αντικείμενα d όπου $d > 10\text{cm}$
- ♦ Μεσαία αντικείμενα διαμέτρου d όπου $1\text{mm} < d < 10\text{ cm}$
- ♦ Μικρά αντικείμενα διαμέτρου d όπου $d < 1\text{mm}$



Ο πληθυσμός των διαστημικών καταλοίπων

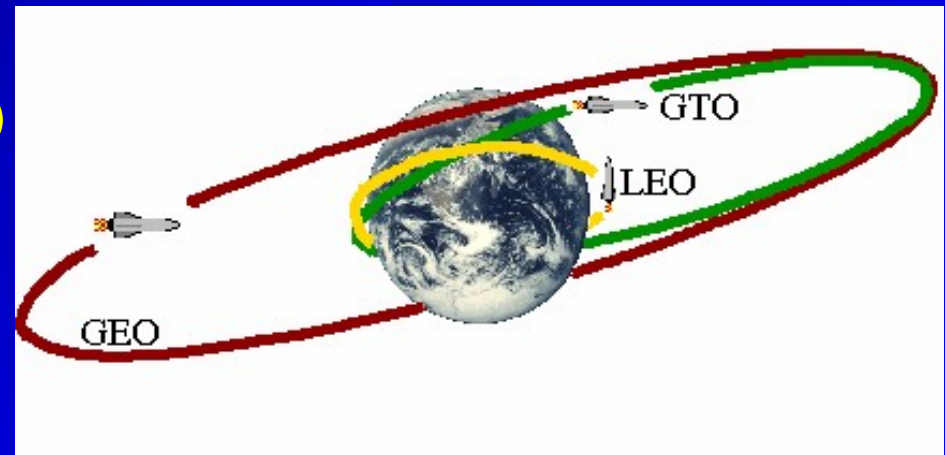
Η πρώτη εκτόξευση έγινε το 1957. Από τότε έχουν γίνει 4800 εκτοξεύσεις και παραχθεί 25000 αντικείμενα.

Η κατανομή του πληθυσμού των συντριμμιών ανάλογα με το είδος του φαίνεται στο σχήμα:



Οι τροχιές στις οποίες κινούνται τα διαστημικά κατάλοιπα

- ♦ Τροχιά χαμηλού ύψους (LEO)
- ♦ Τροχιά μεσαίου ύψους (MEO)
- ♦ Γεωσύγχρονη τροχιά (GTO)
- ♦ Γεωστάσιμη τροχιά (GEO)



Πηγές διαστημικών καταλοίπων

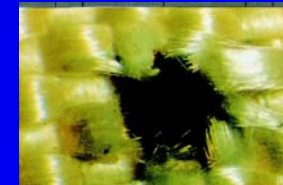
1) Αποθήκευση των χρησιμοποιημένων ορόφων των πυραύλων σε τροχιές γύρω από τη Γη.

- ♦ όροφος στάθμευσης
- ♦ όροφος μεταφοράς
- ♦ τελικός όροφος



2) Τα στερεά καύσιμα των ανώτερων ορόφων

- ♦ Το Αργίλιο οξειδώνονται σε Al_2O_3
- ♦ 10^{20} Σωματίδια παράγονται κάθε φορά
- ♦ Κίνδυνος για τον επιστημονικό εξοπλισμό.



3) Διαφυγή υλικού κατά την εκτόξευση

- ◆ Τα εξαρτήματα που προεξέχουν κινδυνεύουν περισσότερο λόγω τριβής

4) Σχεδιασμένα προγράμματα στο διάστημα

- ◆ Πρόγραμμα Westford 1961-1963.
Το 1963 ελευθέρωσε 300 εκατομμύρια διπόλων



5) Η ανθρώπινη δραστηριότητα στο διάστημα

- ◆ Γάντια, κατσαβίδια, σκουπίδια των αποστολών, κομμάτια πάγου από το σύστημα διαχείρισης αποβλήτων του δορυφόρου

6) Χρησιμοποιημένα φορτία δορυφόρων

- ◆ Γίνονται πηγές συντριμμιών κατά τη σύγκρουσή τους με μικρότερα κατάλοιπα.

7) Η καταστροφή των δορυφόρων

- ◆ Ατομικό Οξυγόνο
- ◆ ηλιακή θέρμανση



8) Ο θρυμματισμός των δορυφόρων

- ◆ Εσκεμμένες ενέργειες
- ◆ Τυχαία γεγονότα κατά την προώθηση του δορυφόρου
- ◆ Η μεταφορά εκρηκτικών φορτίων
- ◆ Άγνωστοι λόγοι



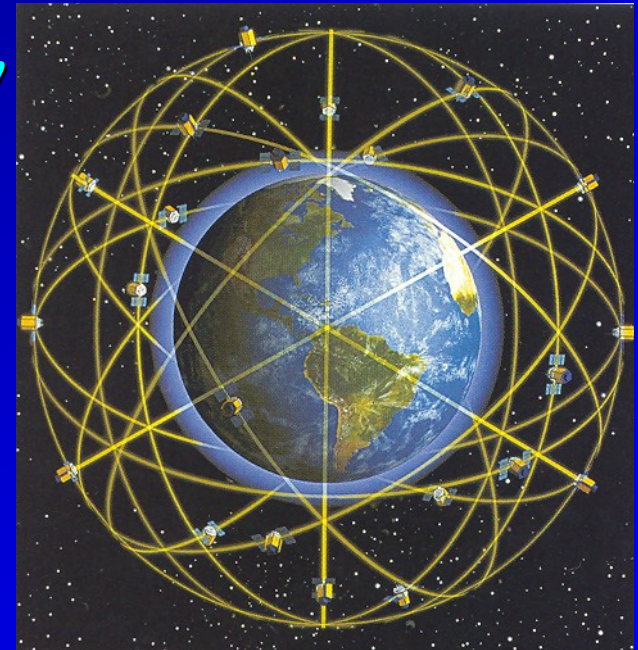
9) Σκόπιμος θρυμματισμός των δορυφόρων

- ◆ Αντιδορυφορικά τεστ -ASAT
- ◆ Αυτοάμυνα

11)θρυμματισμός δορυφόρου σχετικός με την προώθησή του

- ◆ Αποτυχημένες εκτοξεύσεις (Shuttle,Titan,Atlas, Delta)

13) Έτα φυσικά σώματα των μετεώρων και των αστεροειδών



10) Όπλα στο διάστημα

- ◆ Είναι άγνωστος ο πληθυσμός των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς και κατασκοπευτικούς σκοπούς.

α) Τα είδη των όπλων του διαστήματος

- ◆ Διαστημικά λέιζερ: Χρησιμοποιούν εκατοντάδες watt ισχύος και μεγάλους φακούς για να μεταφέρουν τελειωτικά χτυπήματα στην επιφάνεια του εδάφους.
- ◆ Όπλα κινητικής ενέργειας εναντίον στόχων-πυραύλων. Χτυπάει στόχους στο διάστημα ή αντικείμενα που βρίσκονται στο ανώτερο τμήμα της Γήινης επιφάνειας.



- ❖ Όπλα κινητικής ενέργειας με την βάση τους στο διάστημα που χτυπούν στόχους στο έδαφος
- ❖ Συμβατικά όπλα στο διάστημα που χτυπούν επίγειους στόχους κάνοντας ελιγμούς

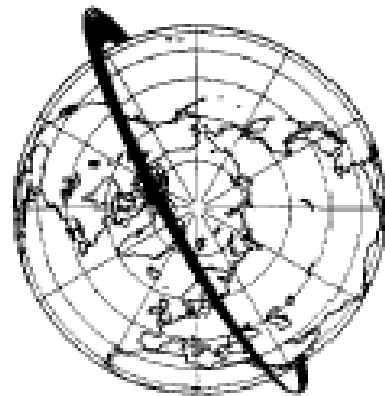
β) Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

- ❖ Καλύπτουν στόχους που δεν μπορούν τα επίγεια
- ❖ Ανταποκρίνονται σε λίγα λεπτά
- ❖ Είναι λιγότερο εκτεθειμένα σε επίθεση
- ❖ Προβλέψιμες οι θέσεις των όπλων στο διάστημα
- ❖ Τα πυρηνικά όπλα μολύνουν την ατμόσφαιρα με ραδιενέργεια.
- ❖ Πρέπει να είναι την σωστή ώρα στη σωστή στιγμή
- ❖ Όταν καταστραφούν γίνονται πηγή συντριμμιών
- ❖ Αν χτυπηθούν δεν είναι σε θέση να αποκρούσουν μια επίθεση

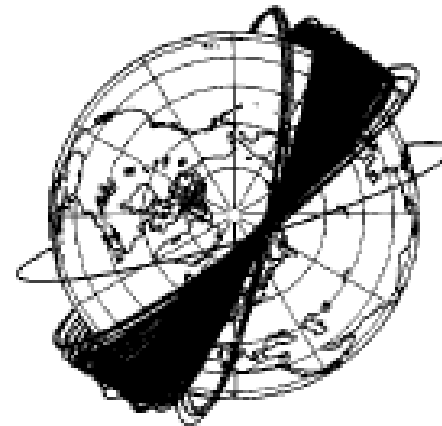


Κατανομή του πληθυσμού
των διαστημικών καταλοίπων

Κατανομή του πληθυσμού των διαστημικών καταλοίπων

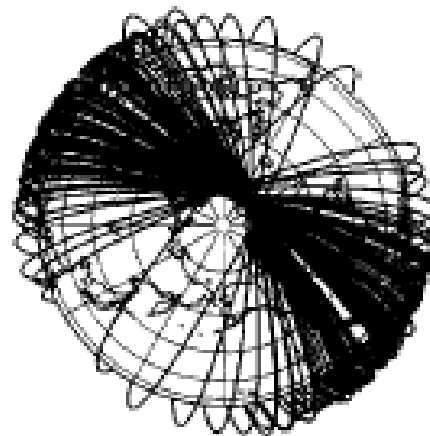


immediately

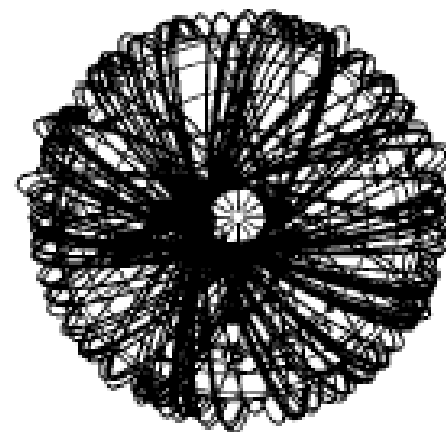


3 months

Time after
explosion

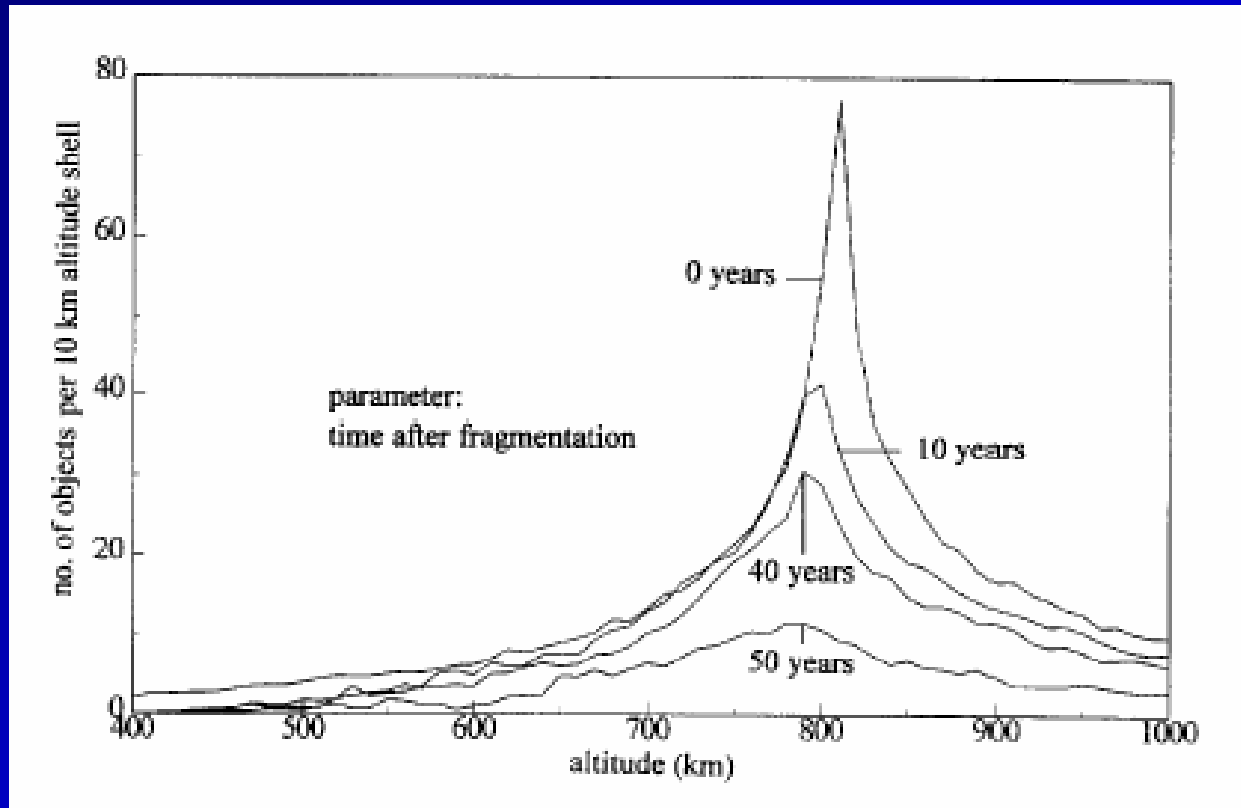


1 year



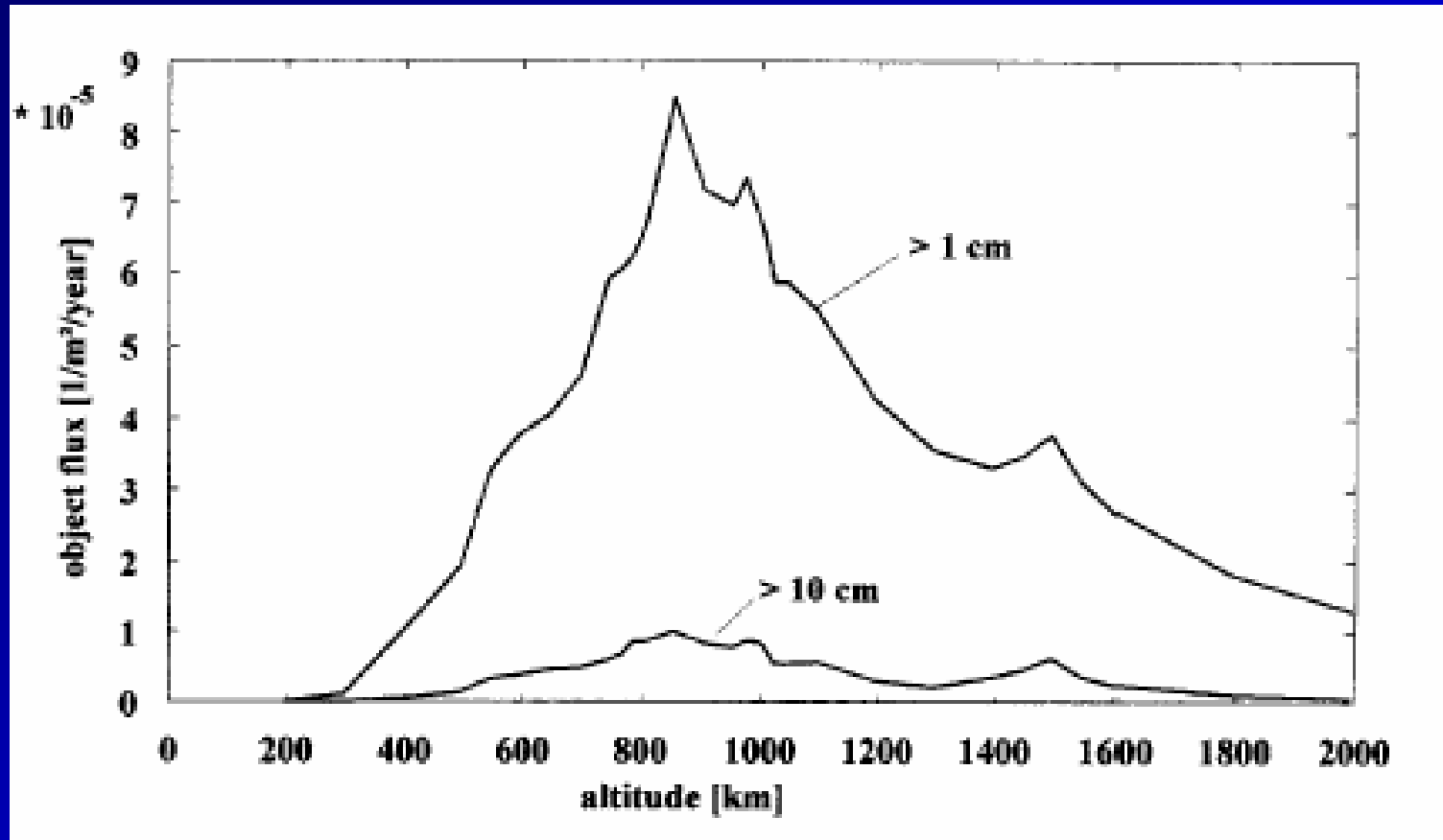
4 years

Κατανομή του πληθυσμού των διαστημικών καταλοίπων



Αποσύνθεση του νέφους θραυσμάτων

Κατανομή του πληθυσμού των διαστημικών καταλοίπων



Παρατηρούνται δύο συγκεντρώσεις διαστημικών καταλοίπων: 800-1000km και 1500km

Κατανομή του πληθυσμού των διαστημικών καταλοίπων

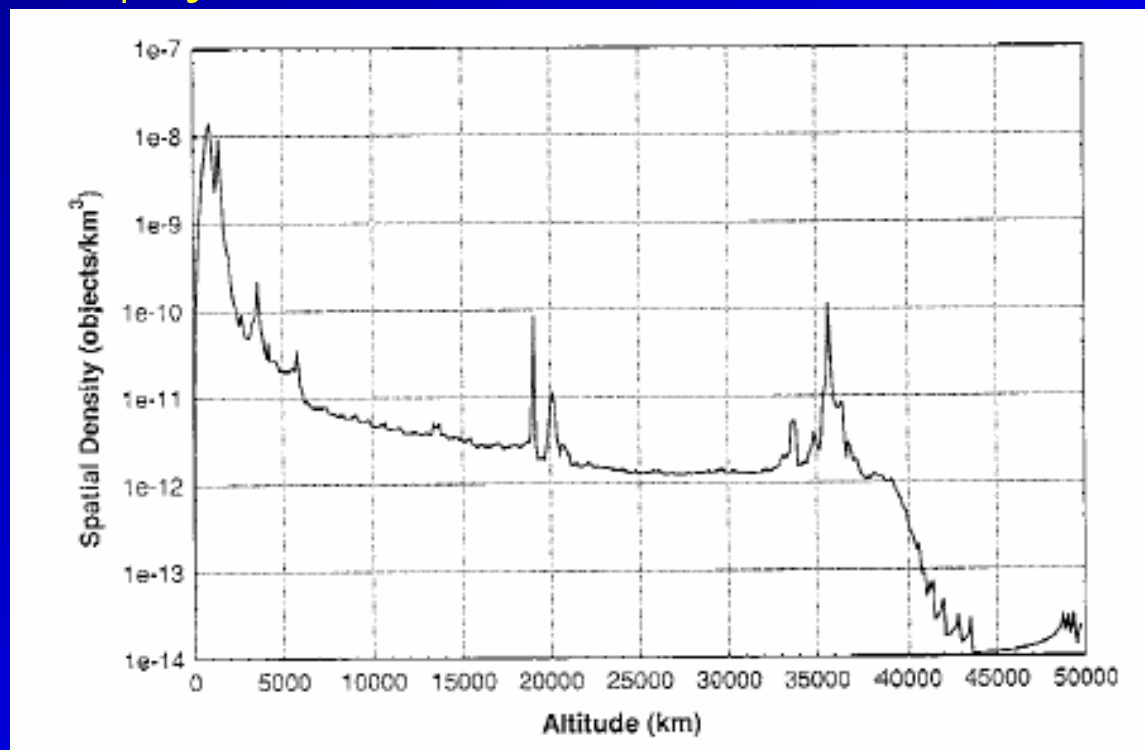
Μεγάλου μεγέθους :διαμέτρου >10cm

- Καθαρές συγκεντρώσεις εμφανίζονται

στην LEO , δηλαδή σε ύψος <2000km ,

στην MEO σε ύψος γύρω από τα 20000km και

στην GEO στο ύψος των 36000km .



Μέτριου μεγέθους: διαμέτρου 1mm-10cm

- Υπάρχουν λίγες μετρήσεις από μικρό δείγμα χαμηλού ύψους
- Ο αριθμός των μέτριων αντικειμένων που έχει ανιχνευτεί είναι μεγάλος σε σύγκριση με τον αριθμό των μεγάλων αντικειμένων

Κατανομή του πληθυσμού των διαστημικών καταλοίπων

Μικρού μεγέθους: διαμέτρου $<1\text{mm}$

- Υπάρχει μεγάλος αριθμός στην τροχιά της Γης
- Οι δυνάμεις διαταραχής επηρεάζουν τις τροχιές των μικρών αντικειμένων πιο έντονα από ότι των μετρίου μεγέθους



Δυνάμεις διαταραχής που επιδρούν στα διαστημικά κατάλοιπα:

1. Η Βαρυτική έλξη της Γης
2. Στις χαμηλές τροχιές: η ατμοσφαιρική αντίσταση και οι βαρυτικές διαταραχές από τη Γη
3. Στις μεγαλύτερες τροχιές: η έντονη ηλιακή και σεληνιακή επίδραση
4. Τα μικρά συντρίμια επηρεάζονται ακόμη και από την πίεση της ηλιακής ακτινοβολίας, την αντίσταση του πλάσματος και τις ηλεκτροδυναμικές δυνάμεις .
5. Ο ενδεκαετής κύκλος της ηλιακής δραστηριότητας

Ανάλυση του περιβάλλοντος
των διαστημικών συντριμμιών και διασπορά τους

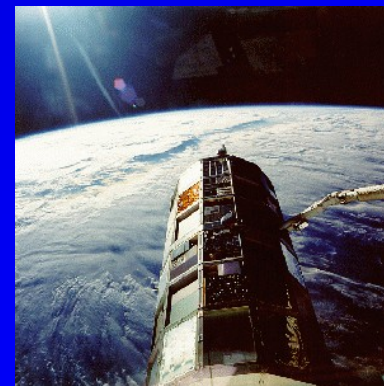
Ανάλυση του περιβάλλοντος των διαστημικών συντριμμιών και διασπορά τους

1. Πηγή πληροφοριών : NORAD (σύστημα διαχείρισης του διαστήματος)

- ❖ Οι τιμές RCS που λαμβάνει αναφέρονται σε περιοχές που ανιχνεύουν δυο ή περισσότερα ραντάρ
- ❖ Δημοσιεύει τον κατάλογο SATCAT
- ❖ Εξοπλίζεται με παρατάξεις ραντάρ-φωτογραφικό εξοπλισμό και ήλεκτρο-οπτικές μηχανές.

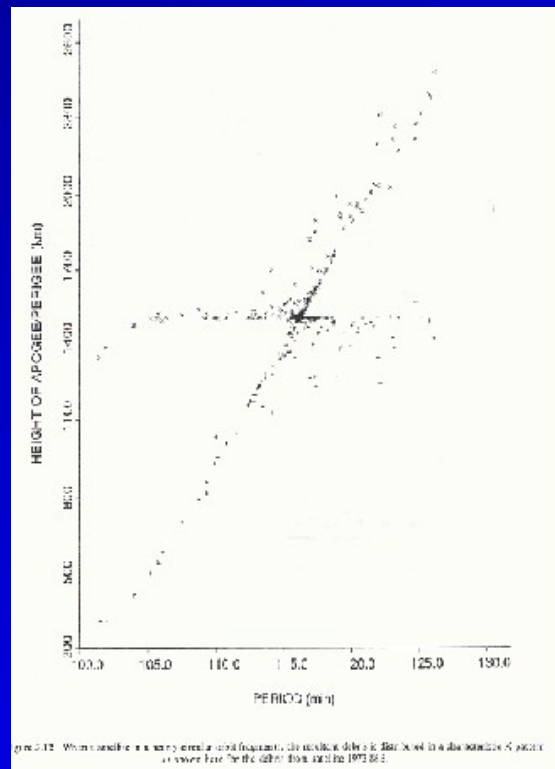
2. Η εξερεύνηση του περιβάλλοντος των δορυφόρων γίνεται με:

- ❖ Η εγκατάσταση έκθεσης μακράς διάρκειας(LDEF)
- ❖ Χρήση τηλεσκοπίων GEODSS



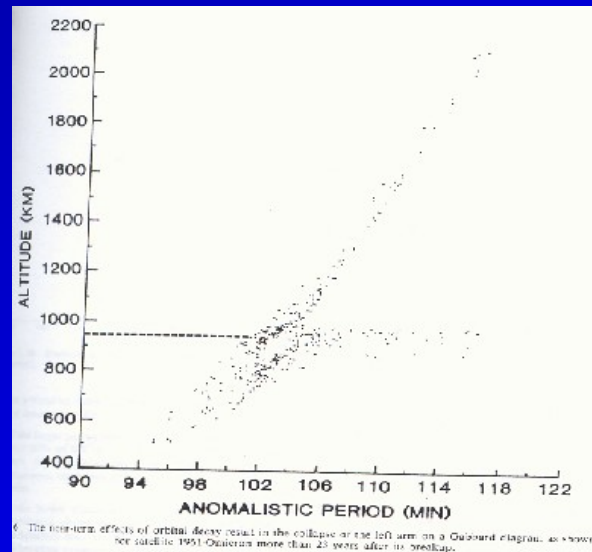
Ανάλυση του περιβάλλοντος των διαστημικών συντριμμιών και διασπορά τους

- ❖ Το διάγραμμα Gabbard σχεδιάζει το απόγειο ενός δορυφόρου και το περίγειο με την περίοδο τροχιάς
- ❖ το σύμβολο X συμβολίζει το απόγειο και το + το περίγειο



Ανάλυση του περιβάλλοντος των διαστημικών συντριμμιών και διασπορά τους

- ❖ Τα θραύσματα που έλαβαν αντίθετη δύναμη έχουν το ίδιο απόγειο αλλά διαφορετικά περίγεια .
- ❖ Η κατάρρευση των αριστερών συνόλων δηλώνει ουσιαστικά την φυσιολογική αποσάθρωση των σκουπιδιών



Ανώτερα διαγράμματα Gabbard

- ◆ Έχουμε 3 υποθέσεις για την προέλευση της διάλυσης
- ◆ Αν η διασπορά των μεγάλων κομματιών είναι σε πάνω από 50 % του εύρους των κομματιών, προέρχεται από έκρηξη
- ◆ Εάν τα μεγαλύτερα κομμάτια είναι ασύμμετρα κατανεμημένα γύρω από τον μητρικό δορυφόρο, η διάλυση να προκλήθηκε από έκρηξη
- ◆ Εάν το σχέδιο διασποράς είναι με τάξη (αυτό γίνεται, όταν κατανέμονται κατά μήκος των αρμάδων) η διάλυση θα προέρχεται από κρούση. Εάν η μέση ταχύτητα μειώνεται καθώς το μέγεθος των σωματιδίων αυξάνεται, η διάλυση θα προέρχεται από κρούση

Εκτιμήσεις του κινδύνου
από τα διαστημικά κατάλοιπα

Εκτιμήσεις του κινδύνου από τα διαστημικά κατάλοιπα

Στην LEO (χαμηλή τροχιά γύρω από τη Γη):

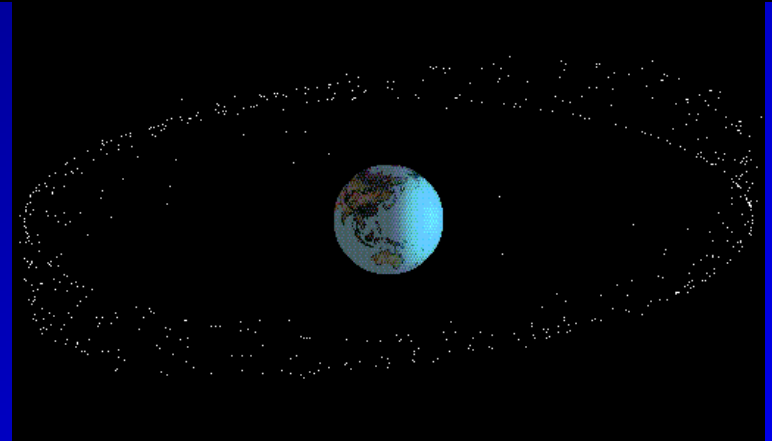
- Κινούνται με υψηλές ταχύτητες σε σχέση με την ταχύτητα των δορυφόρων στο ύψος αυτό. Η μέση ταχύτητα των τροχιακών αυτών αντικειμένων κατά την κρούση είναι 10km/sec. Με την ταχύτητα αυτή ακόμα και τα πολύ μικρά σωματίδια περιέχουν σημαντικά ποσά κινητικής ενέργειας . Ωστόσο τα σωματίδια μεγέθους μικρότερου από 1mm δεν αποτελούν σοβαρό κίνδυνο.

Στην GEO (γεωστάσιμη τροχιά γύρω από τη Γη):

- Η μέση ταχύτητα είναι μικρή, περίπου 500m/sec.
- Όμως, παρά τη μικρή τους ταχύτητα , τα διαστημικά κατάλοιπα στο ύψος αυτό μπορούν να προκαλέσουν σημαντική ζημιά ύστερα από κρούση με δορυφόρο .

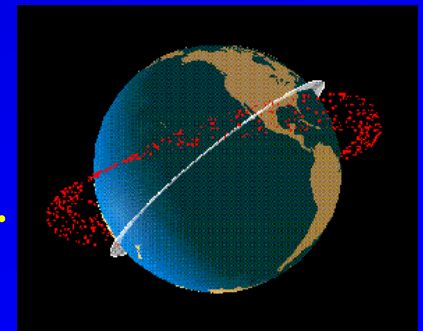
1) Νέφη διαστημικών σκουπιδιών

- ◆ Δημιουργούνται αμέσως μετά την καταστροφή ενός δορυφόρου.
- ◆ Η κίνησή τους είναι ελλειψοειδής
- ◆ Υπάρχουν κάποια στενά σημεία (pinch points) μέσα από τα οποία διαφεύγει ο εναπομένον δορυφόρος έπειτα από μια καταστροφή



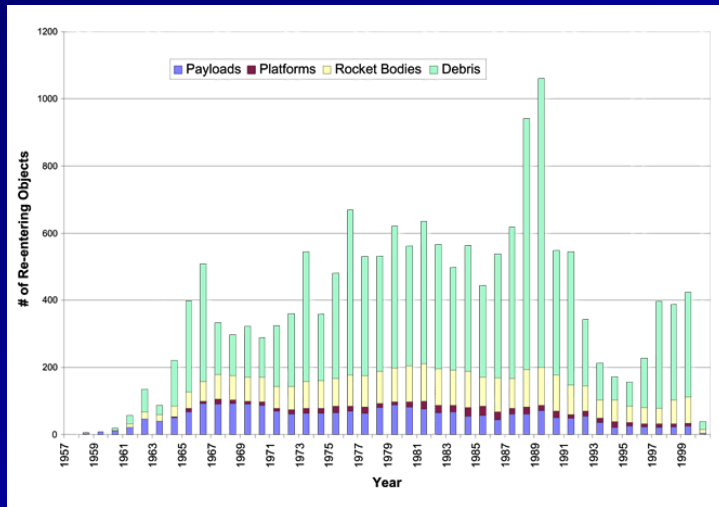
2) Πόσο θα μείνουν τα συντρίμια εκεί πάνω;

- ◆ Όσο ψηλότερα βρίσκεται, τόσο πιο αργά θα πέσει.
- ◆ Σε ύψος 800 km γυρνούν σε δεκαετίες ενώ σε πάνω απο 1000km μπορεί να κάνουν και αιώνες.



Επανείσοδος στη Γη

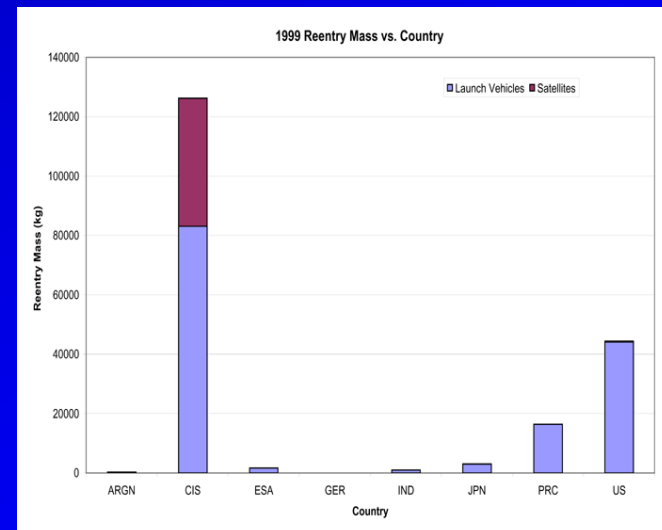
3) Επανείσοδος



Αριθμός των
αντικειμένων που
εισέρχονται κάθε χρόνο

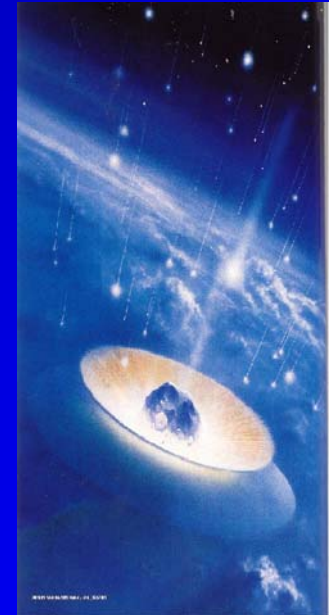
Η συνολική μάζα των
αντικειμένων που
επανήλθε σε κάθε
χώρα

(193000 kgr) το 1999-
9500 kgr σε στεριά



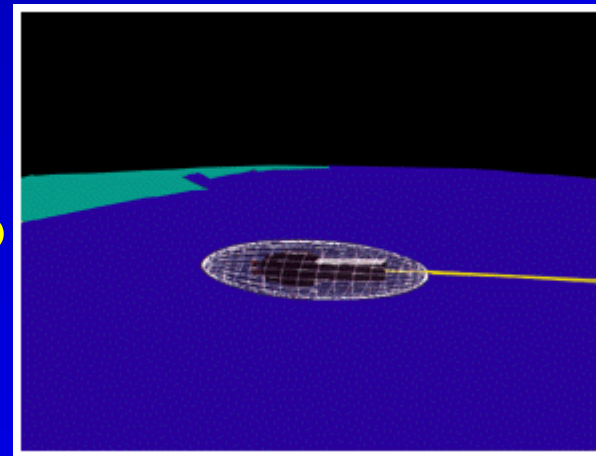
4) Επανείσοδος φυσικών σωματιδίων

- ◆ Αστεροειδείς - μετέωρα - σκόνη κομητών
- ◆ Κατά την είσοδο έχουμε τριβή με την ατμόσφαιρα, αναπτύσσεται θερμοκρασία 3000 F .
- ◆ Τα βραχώδη μετέωρα αντέχουν λιγότερο στην πίεση κατά την επανείσοδο.
- ◆ Κινούνται κατά την επανείσοδο με 30 km./h τα ελαφριά και 300 km/h τα βαριά



5) Έλεγχος του τόπου προσγείωσης

- ◆ Με ελιγμούς και πυραυλάκια μεταβάλλουμε την τροχιά των δορυφόρων
- ◆ Χαρακτηριστικό παράδειγμα το Compton Gamma Ray Observatory 14000 κιλών που έπεσε στον Νότιο Ειρηνικό ωκεανό



6) Πρόβλεψη του τόπου προσγείωσης

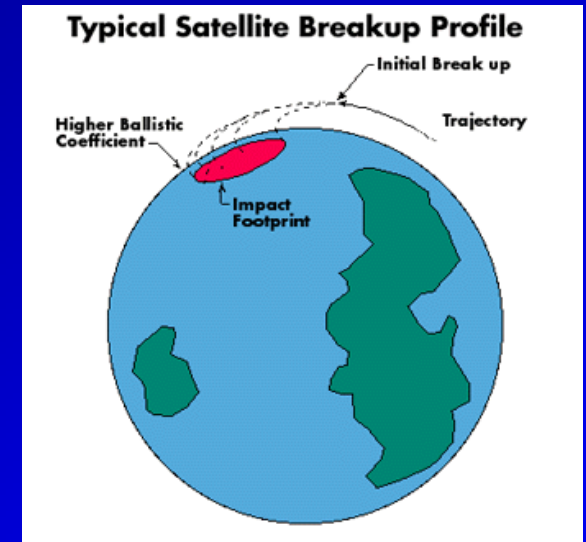
- ◆ Είναι πολύ δύσκολη αφού ένα μικρό σφάλμα στην ταχύτητα κίνησης του συντριμμιού μεταφράζεται σε απόσταση εκατοντάδων km στον τόπο που θα προσγειωθεί.(γύρω στα 7000 km)

7) Ίχνος συντριμμιών

- ✦ Εξαρτάται από το ύψος στο οποίο έγινε η διάλυση

Τα βαριά αντικείμενα πέφτουν στην άκρη ενώ τα ελαφρύτερα στο κέντρο.

- ✦ Το εύρος του ίχνους καθορίζεται από τον άνεμο, και την πρόοδο διάλυσης του συντριμμιού.



8) Παραδείγματα συντριμμιών που έπεσαν



Επανείσοδος των διαστημικών καταλοίπων στην ατμόσφαιρα της Γης

- Έχουν γίνει περισσότερες από 1600 γνωστές επανείσοδοι καταμετρημένων διαστημικών καταλοίπων σε 40 χρόνια. Δεν έχει αναφερθεί καμία σοβαρή ζημιά. Δικαιολογείται από την μεγάλη θαλάσσια επιφάνεια και από την αραιή πυκνότητα πληθυσμού στις περιοχές όπου κατέληξαν τα περισσότερα από αυτά.
- Από το 1958 , 62 περιπτώσεις με διαστημικά κατάλοιπα είναι γνωστό ότι έχουν συντριβεί στην επιφάνεια της Γης .



- Υπό μελέτη βρίσκονται ακόμα τα αποτελέσματα της επανεισόδου στην μόλυνση της ατμόσφαιρας.
- Ιδιαίτερα ανησυχητικά είναι τα 1300kg ραδιενεργών υλικών που κινούνται σε τροχιά διασκορπισμένα σε περίπου 50 δορυφόρους

Εκτιμήσεις του κινδύνου από τα διαστημικά κατάλοιπα

- Στις 23 Μαρτίου 2001 επανήρθε στην Γήινη ατμόσφαιρα ο διαστημικός σταθμός **Mir**. Πολλά μέρη του διασπάστηκαν και εξαερώθηκαν από την ατμοσφαιρική τριβή, αλλά ένας σεβαστός αριθμός συντριμμιών κατέληξε στον Ειρηνικό Ωκεανό.



Mir

Συγκρούσεις με τη Γη

Συγκρούσεις με τη Γη



Νέα απειλή;

Ιστορική αναδρομή

- ❖ Ουσιαστική απειλή είναι τα αντικείμενα κοντινής απόστασης από τη Γη και αποτελούνται κυρίως από τους αστεροειδείς που ξεφεύγουν από την κύρια ζώνη

- ❖ 1908: Σύγκρουση στην περιοχή Tunguska της Σιβηρίας.

Ένταση: 10-15 μεγατόνους TNT

Εκτίμηση ο κρατήρας προκλήθηκε από αστεροειδή και όχι από κομήτη όπως αρχικά ήταν αποδεκτό



Συγκρούσεις με τη Γη

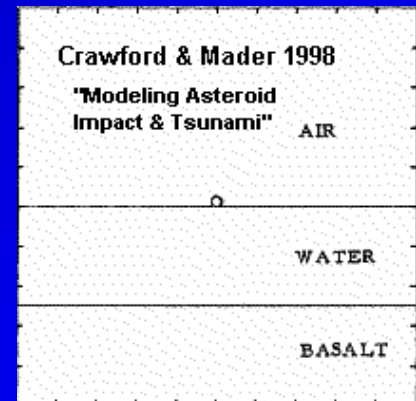
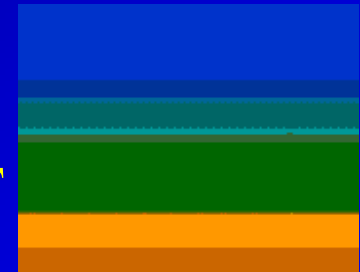


Όπως σημειώθηκε από τις 136 εισόδους στην ατμόσφαιρα, μεταξύ του 1975 και 1992, η ετήσια μέγιστη μάζα που συγκρούεται έχει ενέργεια περίπου 10 κιλοτόνων , περίπου ίδιας ενέργειας με την ατομική βόμβα της Χιροσίμα αλλά γύρω στις 1000 φορές λιγότερο από την Tunguska



Φυσικά και Βιολογικά αποτελέσματα

- ❖ Αν γίνει έκρηξη σε θαλάσσιο χώρο έντασης 10^8 MT προκαλούνται κύματα Τσουνάμι(παλιρροιακά)
- ❖ Χημικές αλλαγές στη σύσταση της ατμόσφαιρας και αλλαγή του κλίματος



- ❖ Εξαφάνιση των δεινοσαύρων

Σύγχρονοι κίνδυνοι των συγκρούσεων ΝΕΑ

- ❖ Μια σύγκρουση 10^8 MT έχει πιθανότητα να συμβεί μία φορά στα 100 εκατομμύρια
- ❖ Μια σύγκρουση 10^6 MT έχει πιθανότητα να συμβεί δυο φορές κάθε 1 εκατομμύριο χρόνια
- ❖ Υπό φυσιολογικές συνθήκες , ο άνθρωπος έχει πιθανότητα να σκοτωθεί από μια σύγκρουση 1/100000
- ❖ Αναλόγως τον τόπο, το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από την πιθανότητα να συμβεί ένας πιο γνώριμος κίνδυνος(σεισμοί, πλυμμήρες)

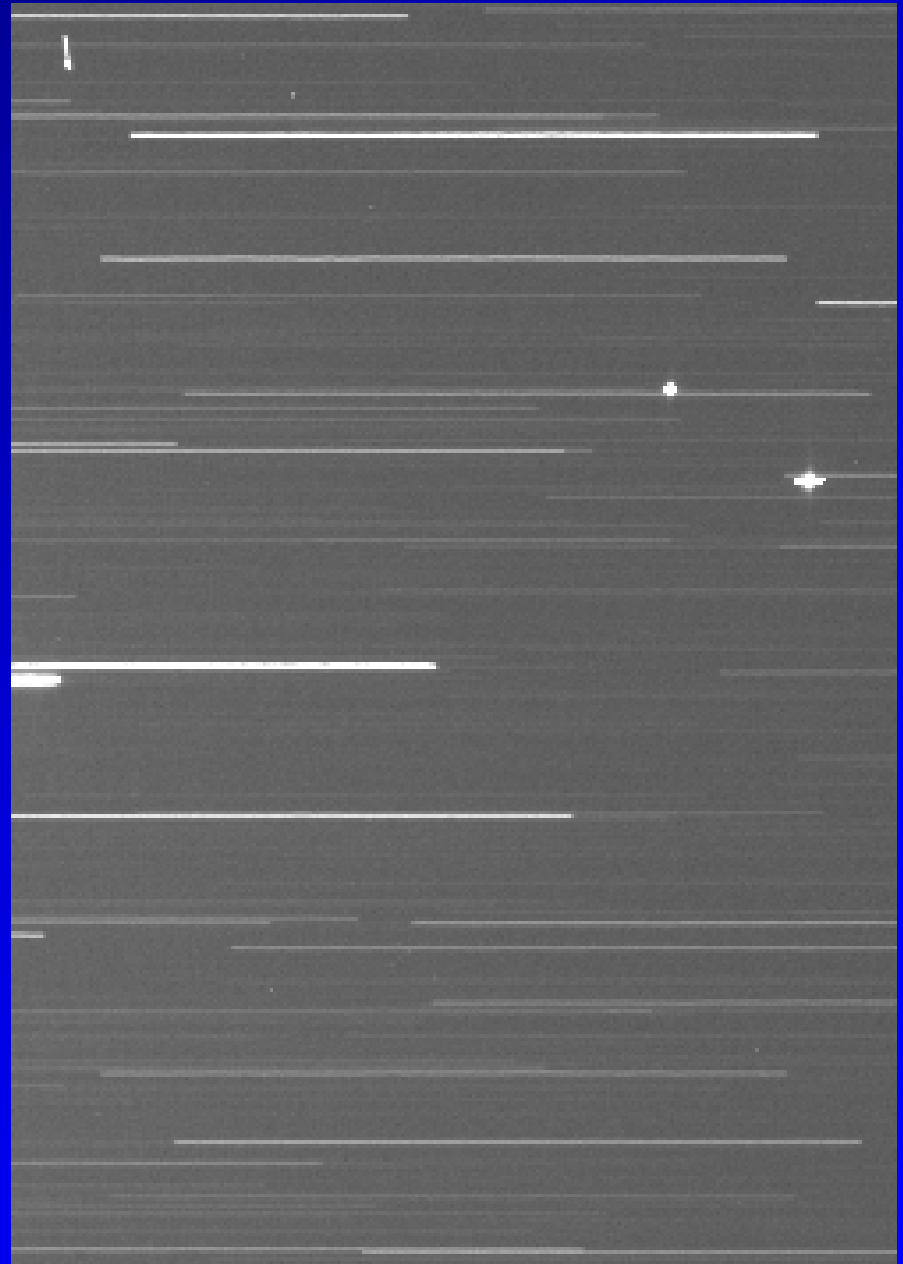
Κοινωνικές συνθήκες για έρευνες

- ✦ Από τη στιγμή που γίνεται δεκτό ότι ο κίνδυνος συγκρούσεων είναι ένα κοινωνικό και όχι μόνο επιστημονικό πρόβλημα, έγινε το πρώτο βήμα.
- ✦ Τα διεθνή προγράμματα συνεργάζονται (κρατικά και μη)
- ✦ Τα ΜΜΕ αναγκάζονται να δημοσιοποιούν έναν κίνδυνο σύγκρουσης όταν ο κίνδυνος είναι 1/100000 στο κοντινό μέλλον.
- ✦ Φυσικά, οι πιο πολλές εκφρασμένες προειδοποιήσεις θα αποτελέσουν λανθασμένους συναγερμούς.

Επιδράσεις των διαστημικών καταλοίπων

1. Στην παρατήρηση:

Υπάρχουν πάνω από 100.000 αντικείμενα μεγαλύτερα του 1cm στην GEO τα οποία παρεμβάλουν στις αστρονομικές παρατηρήσεις.



2. Στη λειτουργία των διαστημικών σταθμών: Τα μεγάλα αντικείμενα μπορούν να ανιχνευθούν εύκολα και έτσι οι δορυφόροι μπορούν να τα αποφύγουν με κατάλληλους ελιγμούς διαφυγής με εκρήξεις. Τα μικρά αντικείμενα έχουν ήδη προκαλέσει ζημιά σε λειτουργικά συστήματα δορυφόρων, στις επιφάνειες τους, ενώ ιδιαίτερης σημασίας είναι και το γεγονός ότι είναι επικίνδυνα και για την προστασία του πληρώματος. Μία λύση είναι η χρήση ειδικών διαδικασιών αλλαγής του προσανατολισμού του διαστημόπλοιου



ISS

- 3. Στους γεωστάσιμους δορυφόρους:** Αποτελεί θέμα συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος εξαιτίας της μεγάλης σημασίας των δορυφόρων του ύψους αυτού. Μία λύση είναι η δημιουργία τροχιάς εγκαταλελειμμένων δορυφόρων, αλλά έχει πολλά μειονεκτήματα.

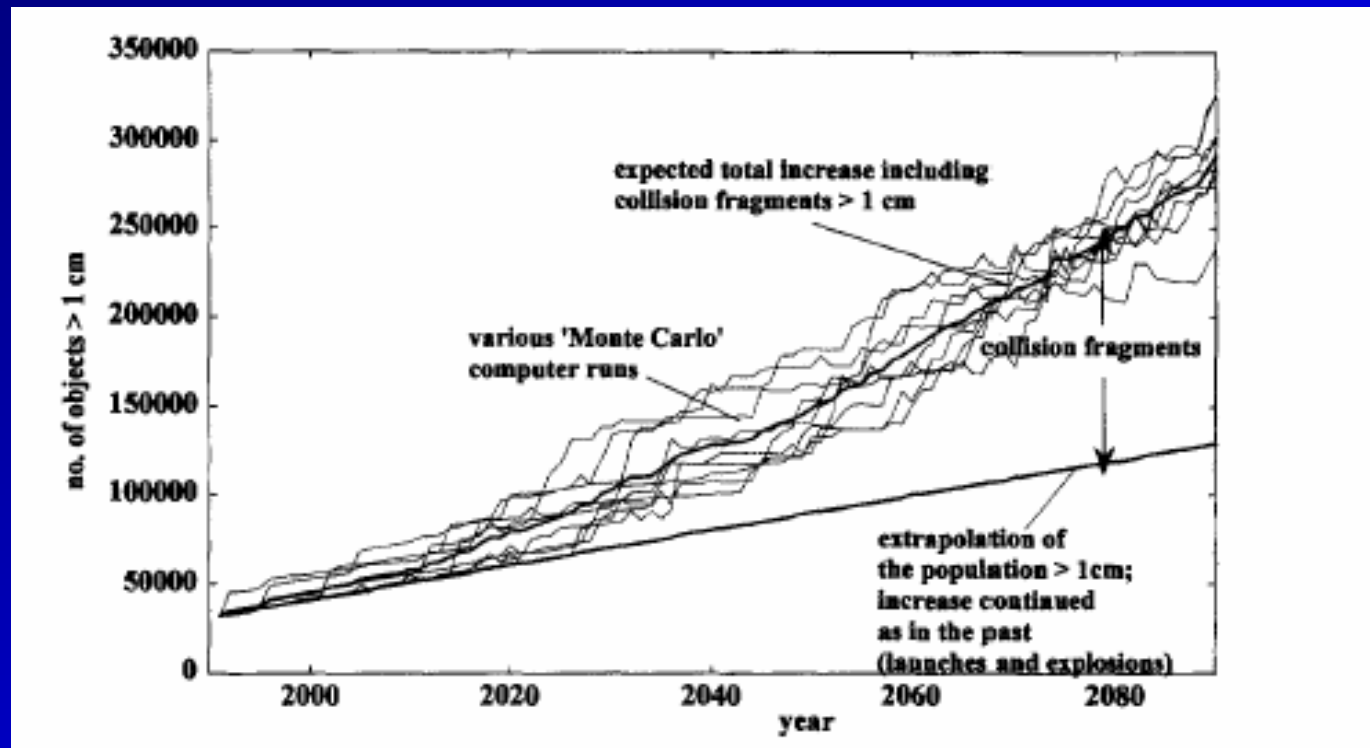


4. **Στην κινητή τηλεφωνία:** Αρκεί ένας δορυφόρος να χτυπηθεί από κάποιο διαστημικό κατάλοιπο για να καταστραφεί ολόκληρο το Δίκτυο Δορυφόρων Ιρίδιο.
5. **Στην μόλυνση του Διαστημικού Περιβάλλοντος:** Με την χρήση ραδιενεργών καυσίμων, όπως είναι το πλουτώνιο, ιδιαίτερα σε μακρινές αποστάσεις. Εξάλλου εκλύεται ακτινοβολία και μόνο από την ύπαρξη των δορυφόρων ή ακόμα και κατά τη σύγκρουση τους με κάποιο αντικείμενο.

Τρόποι αντιμετώπισης των διαστημικών καταλοίπων

Τρόποι αντιμετώπισης των διαστημικών καταλοίπων

- Μέσα στις επόμενες δεκαετίες θα υπάρξει αύξηση στον αριθμό των συγκρούσεων μεταξύ όλων των αντικειμένων που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη, αν συνεχίσουν να αυξάνονται με τον ίδιο ρυθμό οι διαστημικές αποστολές.



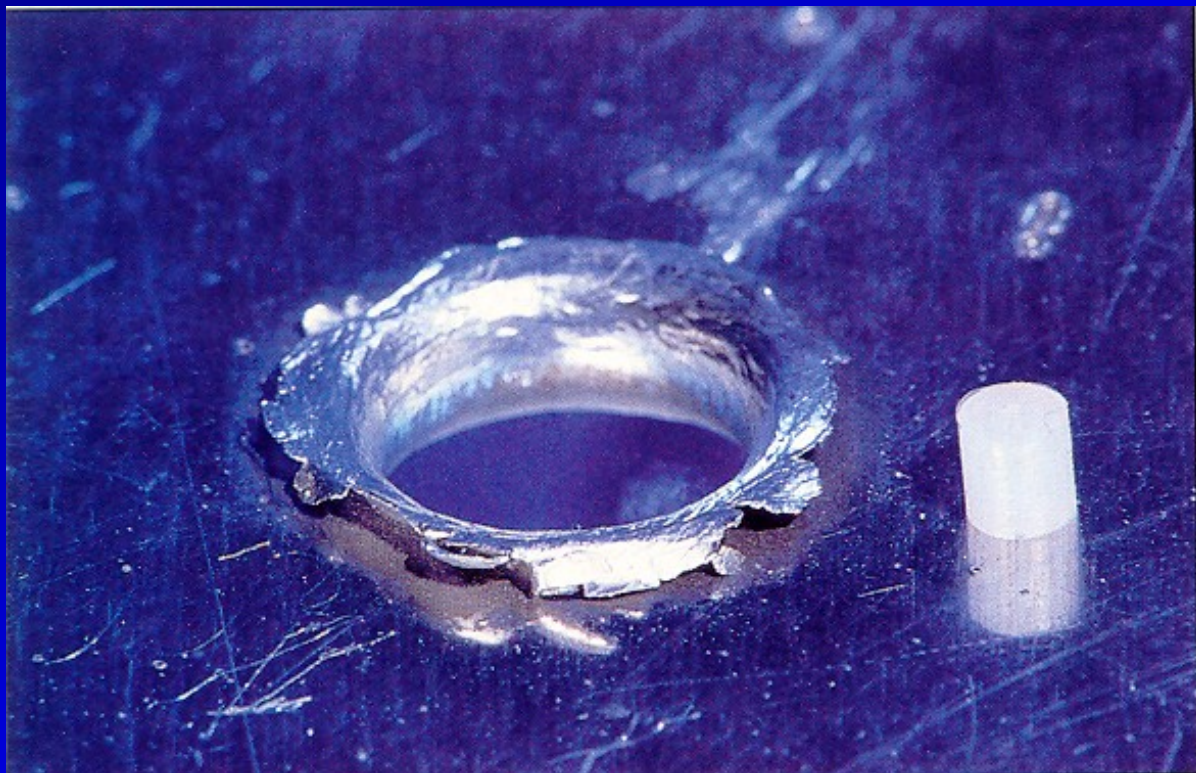
Αύξηση των διαστημικών καταλοίπων >1cm στα επόμενα 100 χρόνια.

Παράλληλη αύξηση και των θραυσμάτων.

- Η εξέλιξη του αριθμού των διαστημικών καταλοίπων μπορεί να παρομοιαστεί με μια αλυσιδωτή αντίδραση που αυτοσυντηρείται.
- Έχει προταθεί η λύση της κατασκευής «διαστημικής ηλεκτρικής σκούπας», η οποία όμως δεν είναι πρακτικά εφικτή.

1. Έγκαιρη μείωση του αριθμού των διαστημικών καταλοίπων:

- Υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας δορυφόρου αποφυγή δημιουργίας: αντικειμένων που συνδέονται με την αποστολή, σχοινιών, προϊόντων καύσης, μπογιάς και άλλων εξωτερικών υλικών.



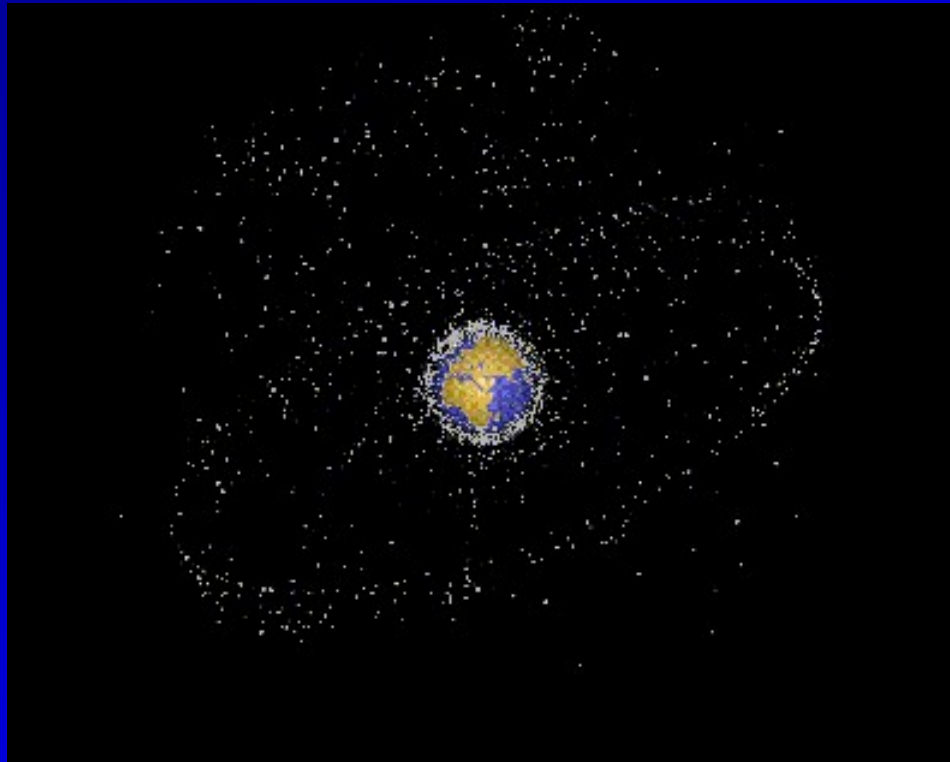
Τρόποι αντιμετώπισης των διαστημικών καταλοίπων

- **Αποφυγή των διασπάσεων επί τροχιάς είτε από εκρήξεις είτε από συγκρούσεις.**



Διαχωρισμός ανώτερων ορόφων ενός δορυφόρου

- **Κατά την κίνηση των διαστημικών καταλοίπων εντός κι εκτός τροχιάς:** Μετά τη λήξη της αποστολής μεταφορά του δορυφόρου σε τροχιά μειωμένης διάρκειας ζωής-Επανείσοδος. Κατάλληλη αντιμετώπιση σε περίπτωση δυσλειτουργίας.



2. Στρατηγικές προστασίας

- Θωράκιση προστασίας
- Αποφυγή συγκρούσεων επί τροχιάς και κατά την εκτόξευση

3. Αποφυγή υπερφόρτωσης της γεωστάσιμης τροχιάς

- Μετά το τέλος της αποστολής μεταφορά σε «τροχιά ταφής», περίπου 300km πάνω από την GEO.

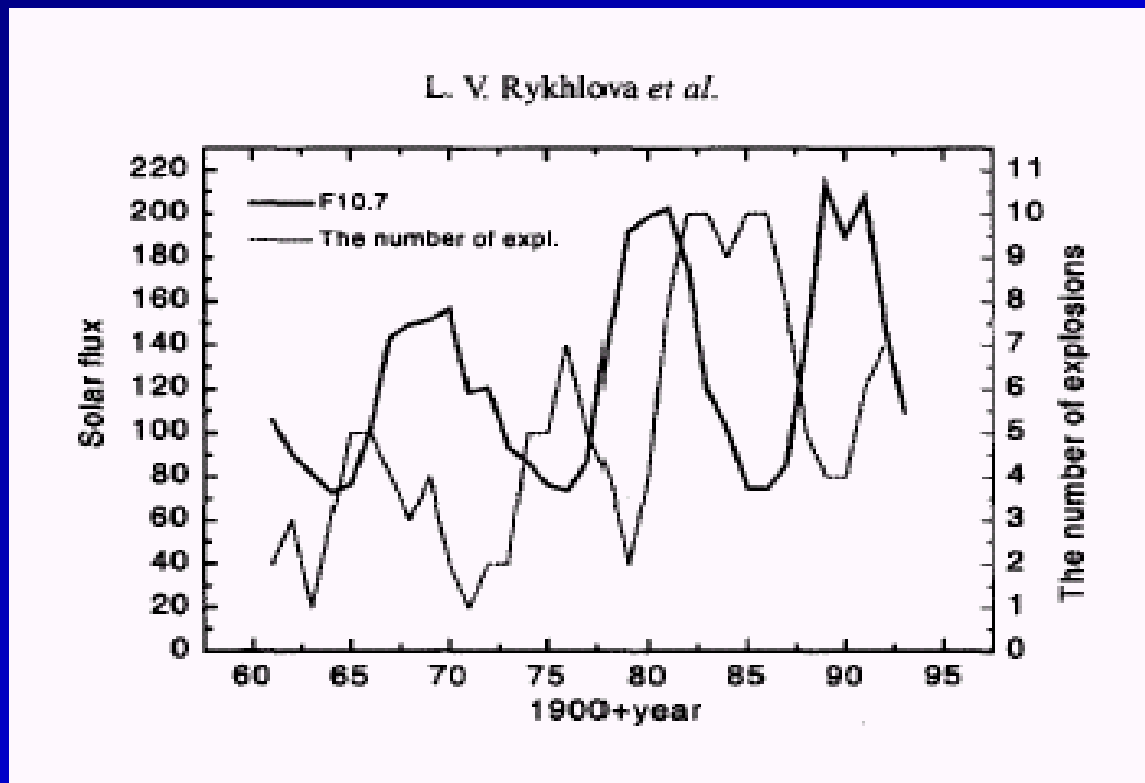
4. Νέες τεχνολογίες

- Νανοτεχνολογία

Τρόποι αντιμετώπισης των διαστημικών καταλοίπων

Η ατμόσφαιρα ως μια φυσική μέθοδος καθαρισμού:

Κάθε 11 χρόνια παρατηρείται μια μείωση του αριθμού των διαστημικών καταλοίπων της τάξης του 10% .



Αριθμός εκρήξεων (σε ύψη $<1000\text{km}$) συναρτήσει της ηλιακής δραστηριότητας κατά την περίοδο 1961-1994.

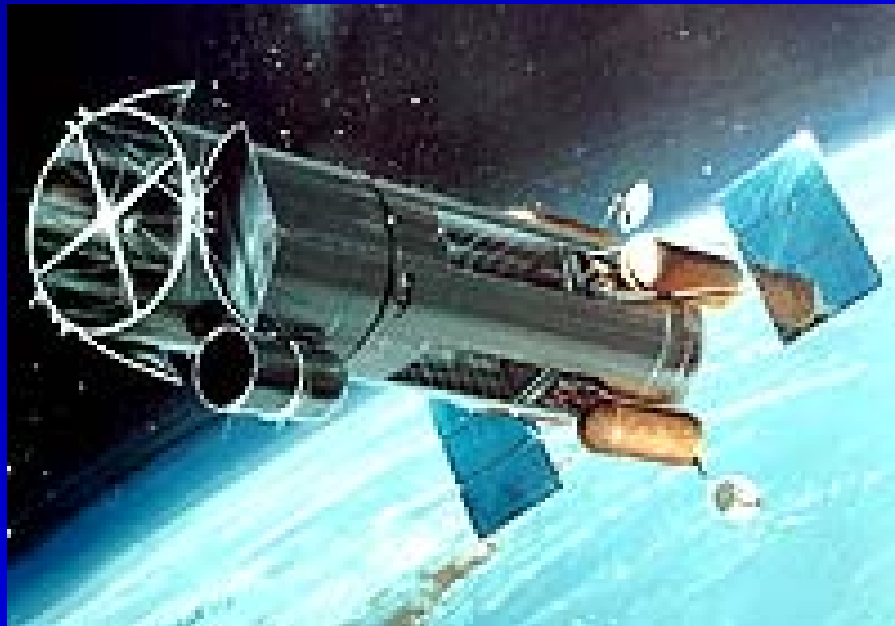
Άλλες Λύσεις

- Το **Σχέδιο Orion** , το οποίο θα χρησιμοποιεί ακτίνες λέιζερ που θα στέλνονται από το έδαφος με σκοπό να εξαερώσουν ένα μέρος από το υλικό των συντριμμιών , και έτσι θα τα απομακρύνουν από την τροχιά τους , είτε για να επανέρθουν στην ατμόσφαιρα είτε για να σταλθούν σε τροχιές όπου δεν θα είναι πλέον επικίνδυνα .



Άλλες Λύσεις

- Το ξετύλιγμα των σκοινιών όταν ο δορυφόρος τελειώνει την αποστολή του και μετά την εκμετάλλευση των ενδεχόμενων διαφοροποιήσεων που προκαλούνται μεταξύ των τελειωμάτων τους εξαιτίας του γήινου μαγνητικού πεδίου.
- λείζερ πάνω σε ένα διαστημικό σταθμό



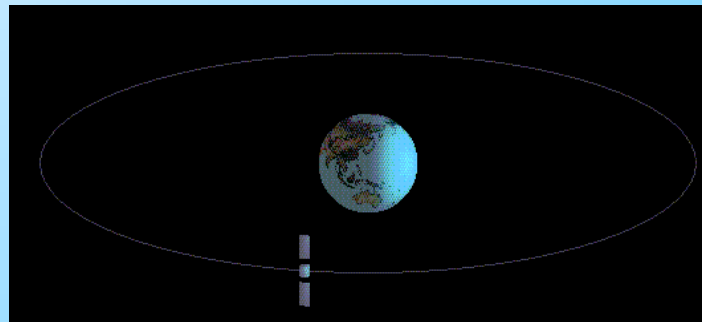
Laser

Παρόλο που σήμερα οι προβλέψεις για το πρόβλημα των διαστημικών καταλοίπων έχουν σταματήσει να αμφισβητούνται, υπάρχει ακόμη ένα μεγάλο εμπόδιο στην διεθνή κινητοποίηση για την αντιμετώπιση τους:

Ο ανελέητος διεθνής ανταγωνισμός που κυριαρχεί στο χώρο των διαστημικών αποστολών, οι οποίες είναι πρωτεύοντα εγχειρήματα εμπορικής-κερδοσκοπικής φύσεως.

*Η προστασία του Διαστημικού Περιβάλλοντος αποτελεί
πρωταρχική υποχρέωση του Ανθρώπου για την επιβίωση του στην
Γη και για την μελέτη του Διαστήματος.*

Μελέτη κίνησης σωματιδίων μετά από διαταραχή τους στο Εγγύς Διαστημικό Περιβάλλον



- Σε καρτεσιανές συντεταγμένες ισχύει :

$$du^a/dt = \partial U / \partial x^a - 1/\rho \partial p / \partial x^a \quad (\text{Εξίσωση Euler})$$

- Εισάγουμε το θερμοδυναμικό περιεχόμενο, το οποίο επειδή είναι σταθερό , θα έχουμε αδιαβατική κίνηση, άρα:

$$dQ=0$$

- Το 1ο θερμοδυναμικό αξίωμα σύμφωνα με την Νευτώνεια θεωρία γίνεται :

$$d\Pi/dt + p d/dt(1/\rho) = 0$$

- Για μοναδιαία μάζα ($1/\rho = V/m$) και βάζοντας το θερμοδυναμικό περιεχόμενο στην εξίσωση του Euler προκύπτει:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial t} + p \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{1}{\rho} \right) + \vec{u} \bullet \left[\vec{\nabla} \Pi + p \vec{\nabla} \left(\frac{1}{\rho} \right) \right] = 0$$

- Μετά από πράξεις:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x^a} \left[U - \left(\Pi + \frac{p}{\rho} \right) \right] &= \frac{\partial V}{\partial x^a} \Rightarrow \\ \Rightarrow \quad \frac{du^a}{dt} &= \frac{\partial V}{\partial x^a} \quad \text{όπου} \quad V = U - \left(\Pi + \frac{p}{\rho} \right) \\ &\text{η οποία είναι η εξίσωση του Νεύτωνα.} \end{aligned}$$

✓ Συμπεράσματα:

- Αντί για volume element έχουμε υπόθεμα με γενικευμένο δυναμικό.
- Τα εσωτερικά χαρακτηριστικά μιας φυσικής πηγής είναι πηγές κίνησης.

■ Σε κυλινδρικές συντεταγμένες r, φ, z ,

Το δυναμικό είναι της μορφής $V=V(r, z)$

■ Οι εξισώσεις κίνησης είναι :

$$\dot{\varphi} = \frac{J}{r^2}$$

$$\ddot{r} - \frac{J^2}{r^3} = \frac{\partial V}{\partial r}$$

$$\ddot{z} = \frac{\partial V}{\partial z}$$

- Θεωρούμε ότι έχουμε κυκλική τροχιά ισορροπίας πάνω στο επίπεδο με στροφορμή J και με δεδομένη ακτίνα. Για οποιοδήποτε λόγο, εκείνη τη στιγμή κάνουμε διαταραχή κατά r και κατά z .
- Θα εξετάσουμε τι θα προκύψει σε εκείνο το σημείο.
- Η διαταραχή εκφράζεται από τις εξισώσεις:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \boldsymbol{\xi} \quad |\boldsymbol{\xi}| \ll r_0$$

$$z = 0 + z \quad |z| \ll r_0$$

Όπου $r_0 =$ σταθερό

- Συνθήκες ύπαρξης κυκλικής τροχιάς:

$$\ddot{r}_0 - \frac{J^2}{r_0^3} = \frac{\partial V}{\partial r} \Big|_0$$

$$\frac{\partial V}{\partial z} \Big|_0 = 0$$

Όπου $V = U - (\Pi + p/\rho)$.

- Στις παραπάνω συνθήκες ενσωματώνουμε τις εξισώσεις των διαταραχών και προκύπτει :

$$\ddot{r}_0 + \ddot{\xi} - \frac{J^2}{(r_0 + \xi)^3} = \frac{\partial V(r_0 + \xi, z)}{\partial r} = \Phi$$

▪ Εφαρμόζοντας το **ανάπτυγμα Taylor** στην τελευταία εξίσωση καταλήγουμε στην εξής σχέση :

*Για την
εξίσωση των ξ*

$$\ddot{\xi} + \left[3 \frac{J^2}{r_0^4} - \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} \Big|_0 \right] \xi + \left[-6 \frac{J^2}{r_0^5} - \frac{1}{2} \frac{\partial^3 V}{\partial r^3} \Big|_0 \right] \xi^2 + \left[\frac{10J^2}{r_0^6} - \frac{1}{6} \frac{\partial^4 V}{\partial r^4} \Big|_0 \right] \xi^3 +$$

$$+ \left(\frac{1}{2} \frac{\partial^3 V}{\partial z^2 \partial r} \Big|_0 \right) z^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{\partial^4 V}{\partial r (\partial z)^2 \partial r} \Big|_0 \right) \xi z^2 = 0$$

*Για την
εξίσωση των z*

$$\ddot{z} + \left[-\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \Big|_0 \right] z - \xi z \frac{\partial^3 V}{\partial r \partial z^2} \Big|_0 - \frac{1}{2} \xi^2 z \frac{\partial^4 V}{\partial r^2 \partial z^2} \Big|_0 - \frac{1}{6} z^3 \frac{\partial^4 V}{\partial z^4} \Big|_0 = 0$$

Οι οποίες αποτελούν απλή αρμονική ταλάντωση με διαταραχή

✓ Υπολογίζουμε όλους τους συντελεστές των παραγόντων της κάθε εξίσωσης για :

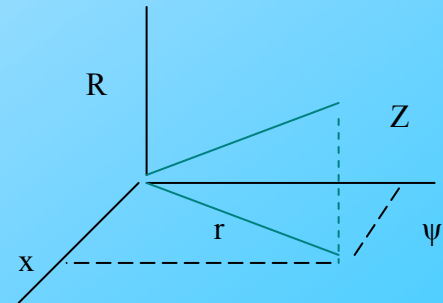
■ Αδιαβατική μεταβολή ισχύει ότι $p = k\rho^\gamma$

■ Ισόθερμη μεταβολή ισχύει ότι $p = \frac{k}{\mu m_H} \rho T$

✓ Κάνουμε αλλαγή μεταβλητής σύμφωνα με τη σχέση $R^2 = r^2 + z^2$

Η οποία με τις εξισώσεις των διαταραχών γίνεται:

$$R_0^2 = r_0^2 + 0^2 = r_0^2 \Rightarrow \begin{aligned} R_0 &= r_0 \\ z_0 &= 0 \end{aligned}$$

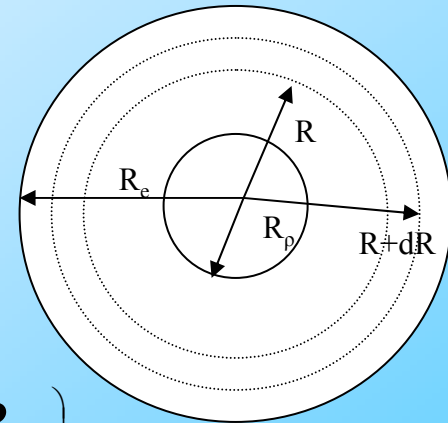


Θεωρούμε ότι έχουμε ατμόσφαιρα που κινείται γύρω από
κεντρικό σώμα

■ Εφαρμόζουμε μια διαταραχή, οπότε η U μεταβάλλεται
σε:

$$U(R) = -\frac{GM}{R} + U_{atm}(R)$$

$$U_{atm}(R) = -\frac{Gm(R)}{R} + G \int_{\lambda=R}^{\lambda=R_e} \frac{dm(\lambda)}{\lambda} - \frac{Gm(R_p)}{R}$$



- Η πυκνότητα δίνεται από τον τύπο:

$$\rho(R) = \rho_0 \left(1 + \frac{R^2}{R_0^2} \right)^{-n/2}$$

- Η εξίσωση $\nabla^2 U = -4\pi G \rho$ Poisson στην περίπτωση μας μετατρέπεται σε:

$$\nabla^2 V = -4\pi G \rho_V$$

- Και μετά από πράξεις προκύπτει :

$$\rho_V = \rho + \frac{1}{4\pi G} \vec{\nabla} \bullet \left(\frac{1}{\rho} \vec{\nabla} p \right)$$

✓ Σε κάθε υπολογισμό των συντελεστών , ελέγχουμε αν επαληθεύονται οι αρχικές συνθήκες μέσω της σχέσης:

$$\left. \frac{\partial V}{\partial r} \right|_0 + \frac{J^2}{r_0^3} = 0$$

Δηλαδή θα πρέπει να ισχύει

■ Για $p = k\rho^\gamma$

$$-\frac{G}{R_0^2} [M_P + m(R) - m(R_P)] + k\gamma n 2^{\frac{n(1-\gamma)-2}{2}} \frac{\rho_0^{\gamma-1}}{R_0} + \frac{J^2}{r_0^3} = 0$$

■ Για $p = \frac{k}{\mu m_H} \rho T$

$$-\frac{G}{R_0^2} [M_P + m(R) - m(R_P)] + \frac{kTn}{2\mu m_H R_0} + \frac{J^2}{r_0^3} = 0$$

Συγκεντρωτικά, οι συντελεστές είναι ίσοι με:

Για την εξίσωση των ξ για $p = \frac{k}{\mu m_H} \rho T$

$$\Omega_{\xi}^2 = -\frac{6J^2}{R_0^6} - \frac{11kTn}{4\mu m_H R_0^4}$$

$$\Gamma = \frac{6J^2}{R_0^6} - \frac{9kTn}{4\mu m_H R_0^4}$$

$$A = \frac{J^2}{R_0^4} - \frac{kTn}{\mu m_H R_0^2}$$

$$\Delta = \frac{3J^2}{2R_0^5} + \frac{kTn}{2\mu m_H R_0^3}$$

$$B = -\frac{3J^2}{R_0^5} + \frac{7kTn}{4\mu m_H R_0^3}$$

- Για $p = k\rho^\gamma$ παραθέτουμε ενδεικτικά τον συντελεστή

$$\Omega_\xi^2 = \frac{J^2}{R_0^4} - \frac{k\gamma\rho_0^{\gamma-1}}{R_0^2} \left\{ 3 \cdot 2^{\frac{n(1-\gamma)-2}{2}} + [n(1-\gamma)-2] 2^{\frac{n(1-\gamma)-4}{2}} \right\}$$

Για $\gamma=1$

$$\Omega_\xi^2 = \frac{J^2}{R_0^4} - \frac{kn\rho_0}{R_0^2}$$

- Παρατηρούμε ότι για $\gamma=1$ (για ισόθερμη μεταβολή), οι αντίστοιχοι συντελεστές ταυτίζονται για τα δύο p

- Ομοίως για την εξίσωση των z υπολογίζουμε τους αντίστοιχους συντελεστές, όπου και πάλι για $\gamma=1$ ταυτίζονται

■ Στην προσπάθειά μας να μελετήσουμε τη συμπεριφορά του υποθέματος (περατωμένη ή μη περατωμένη κίνηση), εξετάζουμε τα πρόσημα των συντελεστών.

Ω_ξ^2	A	B	Γ	Δ
$>0 \Rightarrow$	<0	>0	>0	<0
$<0 \Rightarrow$	>0 ή <0	>0 ή <0	>0	<0

Ω_z^2	E	H	Θ
$>0 \Rightarrow$	<0	<0	<0

	Ω_ξ^2
A >0	<0
A <0	<0 ή >0
B >0	<0 ή >0
B <0	<0
$\Gamma >0$	<0 ή >0
$\Delta <0$	<0 ή >0

✓ Θεωρούμε ότι οι λύσεις των εξισώσεων είναι ημιτονοειδείς αλλά με κάποια διαταραχή και έστω ότι έχουν την παρακάτω μορφή .

$$\xi = \xi_e(t) + \varepsilon \theta_\xi(t)$$

$$\text{όπου } \xi_e(t) = \xi_0 \eta\mu(\Omega_\xi \cdot t)$$

$$z = z_e(t) + n \theta_z(t)$$

$$\text{όπου } z_e(t) = z_0 \eta\mu(\Omega_z \cdot t)$$

$$\ddot{\xi} + \Omega_\xi^2 \cdot \xi + A\xi^2 + B\xi^3 + \Gamma z^2 + \Delta \xi z^2 + \dots = 0$$

■ Μηδενίζοντας τους όρους κάθε τάξης μετά την αντικατάσταση προκύπτει ότι $A=B=\Gamma=\Delta=0$

Το οποίο είναι αδύνατο σύμφωνα με τα προηγούμενα.

■ Ομοίως εργαζόμαστε στην εξίσωση των z , και καταλήγουμε σε ανάλογα συμπεράσματα

Διαπιστώνουμε λοιπόν, ότι οι ημιτονοειδείς λύσεις που θέσαμε δεν ήταν οι κατάλληλες, εφόσον οδηγηθήκαμε σε άτοπα συμπεράσματα.

Επίσης δε μπορούμε αυθαίρετα να παραλείπουμε όρους οποιασδήποτε τάξης αν δεν εξετάσουμε πρώτα αν ισχύουν οι προϋποθέσεις

