



**ΠΜΣ Εφαρμοσμένης Οικονομικής, Τμήμα Οικονομικών
Επιστημών, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας**

Κατεύθυνση: Τραπεζική και Χρηματοοικονομική

**Space, The Final Frontier – Τα διαστημικά
συντρίμια και οι τρόποι αντιμετώπισης τους**

Επιβλέπων καθηγητής: Πασχάλης Αρβανιτίδης

Αποστολάκης Πέτρος

Βόλος, Μάιος 2024

Υπεύθυνη δήλωση

Βεβαιώνομαι ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια για την οποία είχα για της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην διπλωματική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της εργασίας. Τέλος, διαβεβαιώνω ότι αυτή η διπλωματική εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών στην Εφαρμοσμένη Οικονομική του Τμήματος Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Βόλος, Μάιος, 2024

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας μου, κο Πασχάλη Αρβανιτίδη, Καθηγητή του Τμήματος Οικονομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, ο οποίος με καθοδήγησε καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα κατά την περίοδο εκπόνησης αυτής της διπλωματικής εργασίας. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω για τις συμβουλές του και τη βοήθεια που μου πρόσφερε όλο αυτό το διάστημα για την επιλογή και διαμόρφωση αυτού του θέματος μέχρι και την ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας.

Αποστολάκης Πέτρος

Βόλος, Μάιος 2024

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	7
Κεφάλαιο 1: Το περιβάλλον του διαστήματος και οι απειλές των δορυφόρων	10
1.1 Ιστορικό εκτοξεύσεων δορυφόρων	10
1.2 Οι δορυφόροι στην ζωή μας.....	11
1.3 Προβλήματα των δορυφόρων	12
1.4 Πηγές συντριμμιών στο διάστημα	12
Κεφάλαιο 2: Το πρόβλημα των διαστημικών συντριμμιών στον κοινό αυτό πόρο – το διάστημα.....	15
2.1 Οι κίνδυνοι του παγκόσμιου αυτού κοινού πόρου	15
2.2 Εννοιολογία των διαστημικών συντριμμιών	17
2.3 Η τρέχουσα κατάσταση	18
2.4 Επιδείνωση του προβλήματος με τα διαστημικά συντρίμια.....	18
2.5 Κίνδυνοι που προκαλούν τα διαστημικά συντρίμια	19
2.5.1 Επιπτώσεις στους δορυφόρους.....	19
2.5.2 Επιπτώσεις σε επανδρωμένα σκάφη και ωφέλιμα φορτία.....	20
2.5.3 Επιπτώσεις σε διαστημικές δραστηριότητες	22
2.5.3.1 Επιστήμη.....	22
2.5.3.2 Στρατός και Εθνική Ασφάλεια.....	23
2.6 Ο εντοπισμός των διαστημικών συντριμμιών	25
2.7 Διάρκεια ζωής των διαστημικών συντριμμιών στην τροχιά της Γης.....	27
2.8 Συγκρούσεις και το σύνδρομο Kessler	28
Κεφάλαιο 3: Ζητήματα Ευθύνης και Δίκαιο του διαστήματος.....	30
3.1 Η ανάπτυξη του Διεθνούς Δικαίου του Διαστήματος	30
3.2 Το δίκαιο του διαστήματος.....	31
3.3 Συνθήκες της UNCOPUOS.....	34
Κεφάλαιο 4: Προσέγγιση στο πρόβλημα των διαστημικών υπολειμμάτων και εύρεση λύσεων αντιμετώπισης του	40
4.1 Τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος των διαστημικών υπολειμμάτων	40
4.2 Παγκόσμιο ταμείο και οικονομικά κίνητρα για την απομάκρυνση των συντριμμιών.....	42
4.3 Τεχνολογική προσέγγιση για την αντιμετώπιση του προβλήματος.....	43
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα	63
Αναφορές.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	65

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Sputnik I	11
Εικόνα 2 Διαστημικά συντρίμια με διάμετρο άνω των 10 εκατοστών γύρω από την Γη(2019).....	14
Εικόνα 3 Αριθμός Διαστημικών Συντριμμιών ανάλογα με το μέγεθος - Δεκέμβριος 2023.....	22
Εικόνα 4 Orbital Express. Astro και NextSat.....	45
Εικόνα 5 Συλλογή μη λειτουργικού δορυφόρου μέσω του προγράμματος Deutsche Orbitale.....	46
Εικόνα 6 Διαδικασία εκτροπής αντικειμένων μέσω λέιζερ για την αποφυγή σύγκρουσης	49
Εικόνα 7 Τοποθέτηση του RRM στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό	50
Εικόνα 8 Τεχνολογία της DARPA για την χρήση εξαρτημάτων από ανενεργούς δορυφόρους.....	51
Εικόνα 9 Clean Space One: Η Ελβετική αποστολή για να λύσει το πρόβλημα των διαστημικών συντριμμιών.....	52
Εικόνα 10 Η στιγμή που ο CX OLEV ετοιμάζεται για προσκόλληση με τον δορυφόρο	54
Εικόνα 11 Vivisat Vehicle και δορυφόρος ετοιμάζονται να έρθουν σε επαφή	55
Εικόνα 12 Προσομοιωμένη εικόνα του SIS	56
Εικόνα 13 Προσομοιωμένη εικόνα του EDDE.....	57
Εικόνα 14 Προσομοίωση Ηλιακού Πανιού από Βίντεο της NASA	59
Εικόνα 15 Ψηφιακή Απεικόνιση του FDC	61

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1 Συντρίμια άνω των 10 εκατοστών που παραμένουν στην τροχιά της Γης μετά την διάσπαση ενός δορυφόρου (%).....	27
Διάγραμμα 2 Συντρίμια μεταξύ 1 και 10 εκατοστών που παραμένουν στην τροχιά της Γης μετά την διάσπαση ενός δορυφόρου (%)	27
Διάγραμμα 3 Απομάκρυνση αντικειμένων με την χρήση δεσμών ιόντων και οι δυνάμεις που ασκούνται κατά την διαδικασία αυτή.	62

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1 Αριθμός Ενεργών Δορυφόρων 1957-2022	11
Πίνακας 2 Μέσος Χρόνος Δορυφόρου σε διαφορετικά τροχιακά επίπεδα επηρεαζόμενος από διαστημικά αντικείμενα διαφόρων μεγεθών.....	21
Πίνακας 3 Εκτιμώμενη ποσότητα space debris ανάλογα με το μέγεθος, 2006-2010..	26

Περίληψη

Από το 1957 έως και σήμερα έχουν εκτοξευθεί χιλιάδες δορυφόροι οι οποίοι βελτιώνουν συνεχώς την καθημερινότητά μας. Η διαστημική αυτή δραστηριότητα έχει οδηγήσει στην «μόλυνση» του διαστήματος με χιλιάδες τόνους συντριμμίων από τις αποστολές αυτές με αποτέλεσμα να κινδυνεύει τόσο ότι βρίσκεται στο διάστημα όσο και το ίδιο του το περιβάλλον. Στην εργασία αυτή γίνεται ανασκόπηση στον χρόνο για το πως αυξήθηκαν τα αντικείμενα στο διάστημα, πως επιδεινώνεται η κατάσταση και τί κινδύνους προκαλούν τα συντρίμια σε δορυφόρους, επανδρωμένα σκάφη, στην επιστήμη, τον στρατό και στο περιβάλλον γενικότερα τόσο του εξώτερου διαστήματος αλλά και του πλανήτη μας.

Ο ρυθμός αύξησης των υπολειμμάτων είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν της εκκαθάρισης – απομάκρυνσης με αποτέλεσμα τον κίνδυνο αποκλεισμού πρόσβασης σε αυτό για εκατοντάδες χρόνια (Σύνδρομο Κέσλερ). Οι κατηγορίες υπολειμμάτων και το μέγεθός τους ποικίλει ανάλογα με το τροχιακό επίπεδο που εξετάζουμε.

Στην μεθοδολογία της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν ποσοτικά δεδομένα για να εκφραστούν ποσοτικά οι κατηγορίες των διαστημικών συντριμμίων με την πάροδο των χρόνων, το μέγεθός τους και η αποστάσεις που έχουν στα διάφορα τροχιακά επίπεδα, καθώς και ο χρόνος παραμονής τους σε αυτά. Η εργασία περιλαμβάνει δευτερογενή δεδομένα τα οποία αντλήθηκαν από προηγούμενες μελέτες (άρθρα και βιβλία και ηλεκτρονικές πηγές), τα οποία αναφέρονται τόσο μέσα στην συγγραφή της εργασίας όσο και στην βιβλιογραφική αναφορά.

Δυστυχώς τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι η κατάσταση που επικρατεί αυτή την στιγμή ίσως μπορεί να ελεγχθεί μερικώς αν παρθούν δραστηκά μέτρα. Η αντιμετώπιση και ο ολικός καθαρισμός του διαστήματος, ακόμα και στην περίπτωση που έπαυε η διαστημική δραστηριότητα, θα διαρκέσει εκατοντάδες χρόνια καθώς τα τεχνολογικά μέσα που υπάρχουν σήμερα δεν αρκούν και το κόστος τους είναι τεράστιο.

Λέξεις – κλειδιά: δορυφόροι, διαστημικά συντρίμια, σύνδρομο Κέσλερ, Δίκαιο Διαστήματος, τεχνολογία

Abstract

Thousands of satellites have been launched since 1957, improving constantly our everyday life. This space activity has led to the “pollution” of space with thousands of tons of space debris from missions, with the result that both being in space and its environment are at risk. In this work, a review is made over time of how objects have been increased in space, how the situation is worsening and what dangers does the space debris cause to satellites, manned ships, science, military, and the environment in general both in outer space and on our planet.

The growth rate of residues is much greater than that of their clearance – removal, resulting in the risk of blocking access to it for hundreds of years (Kessler Syndrome). The categories of space debris and their size vary depending on the orbital level we are considering.

In the research methodology, quantitative data were used to quantify the categories of space debris over time, their size, and the distances they have in the various orbital levels, as well as their residence time in them. The work includes secondary data drawn from previous studies (articles, books, and electronic sources), which are mentioned both in the writing of the paper and in the bibliographic reference.

Unfortunately, the conclusions drawn are that the current situation might be partially controlled if drastic measures are taken. The treatment and the total cleaning of space, even if space activity stops, will take hundreds of years as the technological means that exist right now, are not sufficient and their costs are enormous.

Keywords: satellites, space debris, Kessler Syndrome, Space Law, technology

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η επιστήμη έχει δείξει μεγάλη ανησυχία για το μέλλον του διαστήματος. Μπορεί η διαστημική δραστηριότητα να ξεκίνησε το 1957 με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου, συζητήσεις για τον πόρο του διαστήματος όμως είχαν γίνει αρκετά χρόνια πριν. Η έπαρση της δραστηριότητας αυτής έχει διευκολύνει αρκετά την καθημερινότητα μας. Παρόλα αυτά, τα διαστημικά αυτά ταξίδια σε συνδυασμό με την ανθρώπινη αμέλεια, «γέμισαν» το διάστημα με υπολείμματα. Οι χιλιάδες δορυφόροι που εκτοξεύονται κάθε χρόνο εξυπηρετούν πολλά συμφέροντα, τα συντρίμια που αφήνουν όμως πίσω τους, έχουν τραγικές συνέπειες για όλους. Το ζήτημα των διαστημικών συντριμμιών άρχισε να παίρνει μεγαλύτερες διαστάσεις όταν διαπιστώθηκε η ζημιά που προκάλεσε η χρήση αντιδορυφορικών όπλων για την καταστροφή ανενεργών (περίπτωση FY-1C της Κίνας, 2007). Ένα ακόμη γεγονός που συνέτρεξε στην απαραίτητη λήψη δραστικών μέτρων για την αντιμετώπιση των συντριμμιών, ήταν η σύγκρουση των δορυφόρων Iridium33 (Αμερική) και Cosmos251 (Ρωσία) το 2009 που σκόρπισε επίσης χιλιάδες διαστημικά συντρίμια.

Γενικότερα, όταν μιλάμε για διαστημικά συντρίμια, αναφερόμαστε σε όλα τα «άχρηστα αντικείμενα» που υπάρχουν στην τροχιά της Γης. Αυτά περιλαμβάνουν είτε ανενεργούς δορυφόρους, είτε αντικείμενα διαφόρων μεγεθών τα οποία προκύπτουν από μέρη σκάφους – δορυφόρου τα οποία αποκολλιούνται από αυτό κατά την εκτόξευση, είτε ακόμα υπολείμματα που προκύπτουν από συγκρούσεις – καταστροφές άλλων αντικειμένων στο διάστημα με αποτέλεσμα να σκορπίζονται.

Το διάστημα αποτελεί έναν κοινό πόρο, όπως και η περίπτωση της Ανταρκτικής. Υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσής τους, αλλά στα επιτρεπτά πλαίσια και με την αυστηρή απαγόρευση πυρηνικών και ραδιενεργών υλικών. Πρόκειται επίσης για πόρους με ειρηνική χρήση και αυτός είναι και ο σημαντικότερος λόγος που απαγορεύεται η απομάκρυνση αντικειμένων αν δεν είναι από την ίδια την χώρα που εκτοξεύθηκε. Συνεπώς η μη εύρεση λύσης στο πρόβλημα μπορεί να οδηγήσει σε προχωρημένες συζητήσεις περί ιδιωτικοποίησης του διαστήματος. Όταν η πρόσβαση σε αυτό είναι ελεύθερη από όλα τα κράτη τα οποία έχουν σαν μοναδικό τους μέλημα το προσωπικό όφελος – δικαιώματα αδιαφορώντας για την υποχρέωση που έχουν απέναντι σε αυτό και στα υπόλοιπα κράτη, η διαχείριση του διαστήματος από κάποια ιδιωτική εταιρία που ασχολείται με το αντικείμενο αυτό, μπορεί να μην αργήσει.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη του προβλήματος των διαστημικών συντριμμιών που προκύπτει από την διαστημική δραστηριότητα αλλά και οι τρόποι αντιμετώπισης του. Δυστυχώς το πρόβλημα αυτό πλέον βρίσκεται εκτός ελέγχου λόγω της αμέλειας των κρατών να απομακρύνουν τα αντικείμενά τους. Παράλληλα γίνονται προσπάθειες διαχείρισης του προβλήματος κυρίως τεχνολογικές, οι οποίες για να υλοποιηθούν χρειάζονται οικονομική ενίσχυση. Εάν δεν καταφέρουν να απομακρυνθούν τα «άχρηστα» αντικείμενα από το διάστημα (ανενεργοί δορυφόροι και συντρίμια) το συντομότερο δυνατόν, οι μελέτες δείχνουν πως ο παγκόσμιος αυτός κοινός πόρος θα καταστεί μη ωφέλιμος για τα επόμενα τουλάχιστον 100 χρόνια, καθώς η πρόσβαση του από επανδρωμένα σκάφη θα είναι αδύνατη για λόγους ασφαλείας και επιπλέον προσθήκη δορυφόρων στην τροχιά της Γης θα είναι ανούσια λόγω της πολύ μεγάλης πιθανότητας σύγκρουσής τους με άλλα αντικείμενα.

Η εργασία αποτελείται από 4 κεφάλαια τα οποία δομούνται ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στα πρώτα βήματα της εξερεύνησης του διαστήματος με αφετηρία την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου, στην εξάρτηση της ζωής μας από αυτούς και στην πρώτη αναφορά των διαστημικών συντριμμιών – κατηγοριοποίησή τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο και έχοντας ήδη κατηγοριοποιηθεί τα συντρίμια, τονίζεται η σοβαρότητα της κατάστασης και οι κίνδυνοι που αντιμετωπίζει ο κοινός αυτός παγκόσμιος πόρος καθώς και η σύγκρισή του με την περίπτωση της Ανταρκτικής. Γίνεται ανασκόπηση στον χρόνο για το πως αυξήθηκαν τα αντικείμενα στο διάστημα, πως επιδεινώνεται η κατάσταση και τί κινδύνους προκαλούν τα συντρίμια. Καθοριστικό ρόλο στο πρόβλημα αυτό παίζει ο έγκαιρος εντοπισμός των υπολειμμάτων και οι παράγοντες που επηρεάζουν την ζωή τους στην τροχιά της Γης.

Το τρίτο κεφάλαιο είναι «αφοσιωμένο» στο Διαστημικό Δίκαιο καθώς αναπτύσσονται όλες οι συνθήκες που υπογράφηκαν ανά της τέσσερεις περιόδους μέχρι και σήμερα.

Το τέταρτο και σημαντικότερο κεφάλαιο αναπτύσσει τρόπους αντιμετώπισης του προβλήματος, έχοντας αυτό αναπτυχθεί στα προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό έγινε χρήση αρκετής βιβλιογραφίας και εικόνων για να αναπτυχθούν περισσότερο οι τρόποι αντιμετώπισης από τεχνολογικής άποψης.

Κεφάλαιο 1: Το περιβάλλον του διαστήματος και οι απειλές των δορυφόρων

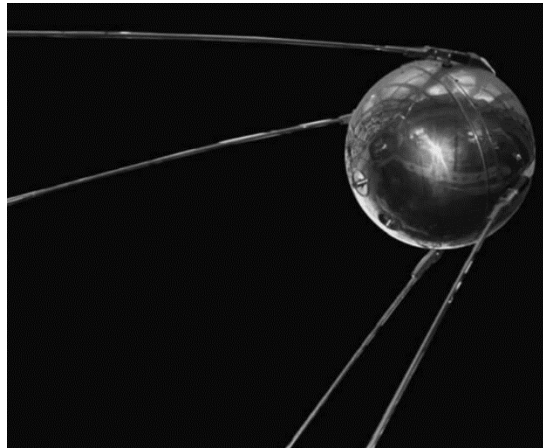
Εισαγωγή

Η έναρξη της διαστημικής δραστηριότητας ξεκινάει το 1957 με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου την οποία ακολούθησαν χιλιάδες μέχρι και σήμερα. Πρόκειται για έναν τεχνολογικό επίτευγμα ζωτικής σημασίας, καθώς οι δορυφόροι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ακόμα και στην καθημερινότητά μας. Στον διαστημικό χώρο τον οποίο βρίσκονται όμως με τα σημερινά δεδομένα, έρχονται αντιμέτωποι με κινδύνους, πρώτο και σημαντικότερο τα διαστημικά συντρίμια τα οποία λόγω της μάζας τους και της ταχύτητας που μπορούν να αναπτύξουν γύρω από την Γη, θέτουν την λειτουργία των δορυφόρων σε κίνδυνο.

1.1 Ιστορικό εκτοξεύσεων δορυφόρων

Όλα ξεκινούν στις 4 Οκτωβρίου το 1957 όπου οι Σοβιετικοί εκτοξεύουν τον πρώτο τεχνητό δορυφόρο **Sputnik I** σε τροχιά της γης. Επρόκειτο για ένα τεράστιο τεχνολογικό επίτευγμα το οποίο διήρκησε 22μέρες (όσο η μπαταρία του δορυφόρου δηλαδή). Λίγες μέρες αργότερα και συγκεκριμένα στις 3 Νοεμβρίου επιτυγχάνεται η εκτόξευση του **Sputnik II** με τον πρώτο ζωντανό οργανισμό από την Γη, τον σκύλο Λάικα. Το ίδιο έτος, καταβάλουν και οι Αμερικάνοι την δική τους προσπάθεια με των **Vanguard 1A**, χωρίς επιτυχία. Το επόμενο έτος ακολουθεί ο **Sputnik III** και η πρώτη επιτυχημένη εκτόξευση των Αμερικάνων οι οποίοι στέλνουν κι αυτή σε τροχιά της Γης τον δικό τους δορυφόρο **Explorer I**. Οι 2 «αντίπαλοι» συνεχίζουν τις προσπάθειές τους εκτοξεύοντας αρκετούς δορυφόρους στο διάστημα μέχρι και το 1962 όπου ξεκινάει σιγά σιγά η ενεργή συμμετοχή κι άλλων χωρών στην εξερεύνηση του διαστήματος. Έπειτα ξεκινάει η συνεργασία μεταξύ κάποιων από αυτών δημιουργώντας έτσι τον πρώτο Διαστημικό Σταθμό. Από τους χιλιάδες δορυφόρους που βρίσκονται σήμερα σε τροχιά από την Γη, οι περισσότεροι από αυτούς αφορούν τις τηλεπικοινωνίες, την παρατήρηση της γης, την ανάπτυξη της τεχνολογίας, την πλοήγηση και την διαστημική επιστήμη αντίστοιχα (Pelton, 2013).

Εικόνα 1 Sputnik I

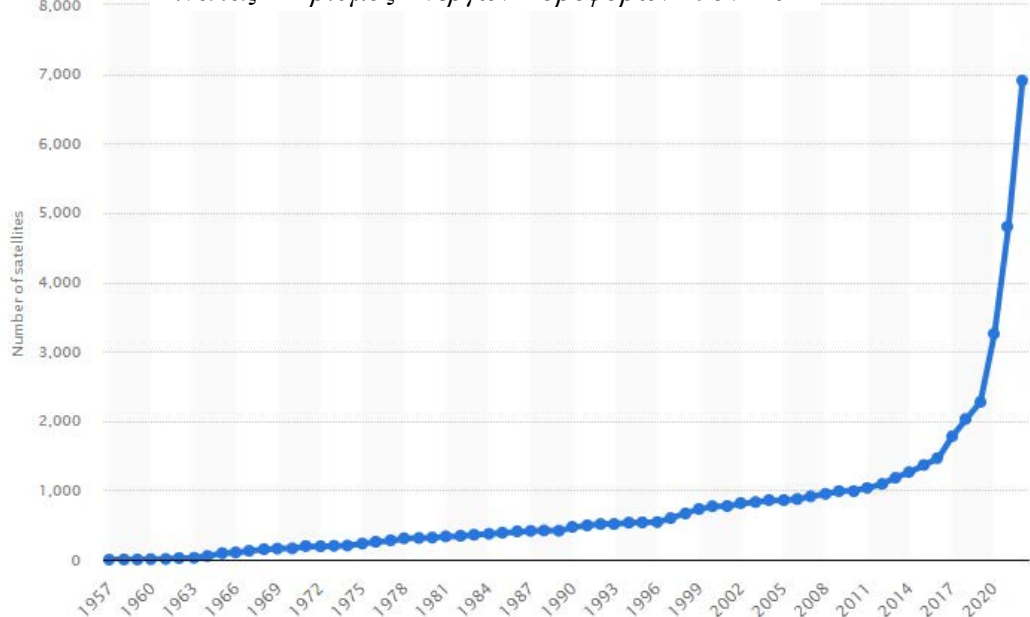


ΠΗΓΗ: (NASA)

1.2 Οι δορυφόροι στην ζωή μας

Υπάρχουν πάρα πολλές δραστηριότητες από την καθημερινή μας ζωή οι οποίες εξαρτώνται αποκλειστικά από τους δορυφόρους όπως τραπεζικές συναλλαγές, επικύρωση πιστωτικών καρτών, τηλεπικοινωνίες, χρήση του ίντερνετ και άλλα. Παράλληλα όμως η χρήση των δορυφόρων καθίσταται αναγκαία και για θέματα εθνικής άμυνας όπως στρατιωτικά δίκτυα και χρήση πυρηνικών. Η πρόβλεψη καιρού και ακραίων φαινομένων για τα οποία ενημερωνόμαστε από τα ΜΜΕ, γίνεται μέσα από αυτούς. Επομένως μπορεί κανείς να καταλάβει τί οικονομικά στρατιωτικά και κοινωνικά αντίκτυπα θα είχαμε αν ξαφνικά σταματούσε η πρόσβαση στην χρήση των δορυφόρων (Pelton, 2015).

Πίνακας 1 Αριθμός Ενεργών Δορυφόρων 1957-2022



1.3 Προβλήματα των δορυφόρων

Αυτή την στιγμή σε τροχιά από την Γη βρίσκονται τουλάχιστον 9 χιλιάδες ενεργοί δορυφόροι και αρκετοί ανενεργοί οι οποίοι εξακολουθούν να περιφέρονται χωρίς ακόμα να διαλυθούν ή να πέσουν στην επιφάνεια της γης. Όσον αφορά τους ενεργούς δορυφόρους, η λειτουργία τους επηρεάζεται από δυο βασικούς παράγοντες. Ο ένας έχει να κάνει με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στο διάστημα. Πιο συγκεκριμένα, οι ηλιακές λάμψεις μπορούν να κάνουν ζημιά σε έναν δορυφόρο ή ακόμα και να τον καταστρέψουν (Pelton, 2015). Τα διαστημικά συντρίμια, δηλαδή τα υπολείμματα δορυφόρων στην συνέχεια, είναι αυτά που δημιουργούν το δεύτερο και μεγαλύτερο πρόβλημα, το οποίο αποτελεί και αντικείμενο μελέτης της εργασίας.

1.4 Πηγές συντριμμιών στο διάστημα

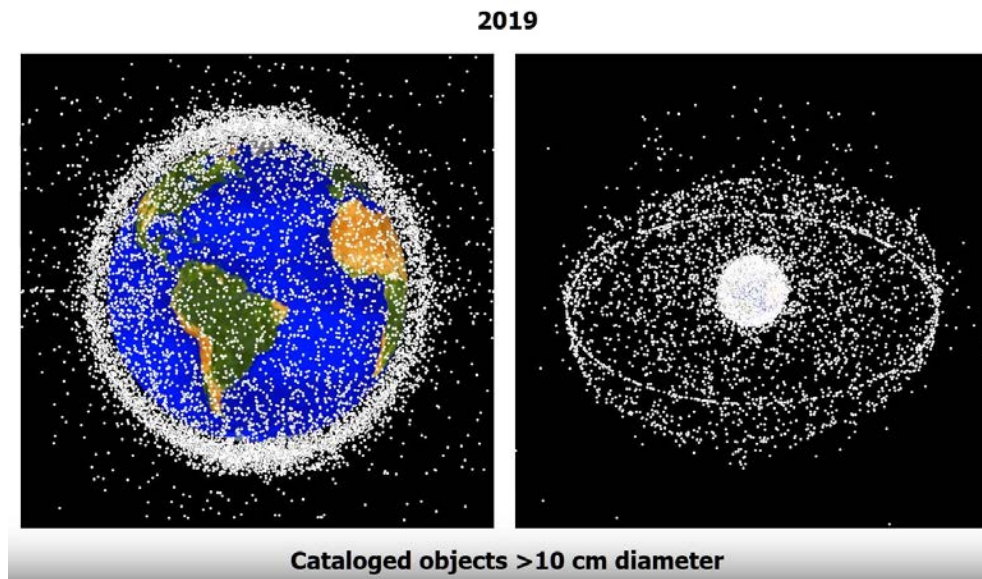
Όπως αναφερθήκαμε παραπάνω, το μεγαλύτερο μέρος των διαστημικών συντριμμιών είναι τα συντρίμια που αφήνει ένας κατεστραμμένος δορυφόρος. Γενικότερα όμως, τα τεχνητά διαστημικά αυτά αντικείμενα δημιουργούνται από επανδρωμένα και μη επανδρωμένα διαστημικά προγράμματα (Baker, 1989). Τα space debris ή space junk όπως λέγονται και στα αγγλικά χωρίζονται κατά τους επιστήμονες σε τέσσερις κατηγορίες:

- α. Ανενεργά ωφέλιμα φορτία (inactive payloads):** Πρόκειται κυρίως για ανενεργούς – μη λειτουργικούς δορυφόρους οι οποίοι είτε λόγω κάποιας βλάβης είτε λόγω μη χρήσης τους βρίσκονται σε τροχιά με την Γη. “Από τον συνολικό αριθμό των διαστημικών σκουπιδιών, καλύπτουν περίπου το 20% και υπάρχουν σχεδόν 3.000 τέτοια κομμάτια σε τροχιά, κάποια ακόμα ενεργά”.
- β. Επιχειρησιακά συντρίμια (operational debris):** Ως επιχειρησιακό ορίζεται «κάθε ακέραιο αντικείμενο ή συστατικό του μέρους, που εκτοξεύθηκε-δρομολογήθηκε ή απελευθερώθηκε στο διάστημα στη διάρκεια των συνηθισμένων εργασιών» (Hollingsworth, 2013, σ.13), ή κάθε «κατάλοιπο των προηγούμενων διαστημικών επιχειρήσεων». Στην κατηγορία των επιχειρησιακών σκουπιδιών υπάγονται και αυτά από τις επιδιορθώσεις τα οποία προκύπτουν από εργασίες επισκευής που γίναν σε ενεργούς δορυφόρους.

- γ. **Θραύσματα (fragmentation debris):** Τα θραύσματα είναι στην πραγματικότητα τα εναπομείναντα μέρη από ένα διαστημικό αντικείμενο όταν αυτό καταστραφεί, γίνει έκρηξη ή συγκρουστεί με κάποιο άλλο. Πρόκειται για «μικρά κομμάτια αντικειμένων τα οποία δημιουργούνται συχνά από τυχαίες εκρήξεις διαστημικών σκαφών» ή «συγκρούσεις ανάμεσα σε δύο διαστημικά αντικείμενα» (Hollingsworth, 2013, σ. 18). Στο διάστημα, οι μετρήσεις δείχνουν περί 7.300 τέτοια αντικείμενα και αποτελούν την μεγαλύτερη κατηγορία σκουπιδιών που βρίσκονται αυτή τη στιγμή.
- δ. **Μικρο-μιλιμετρικά συντρίμια (microparticulate matter):** «Πρόκειται για αντικείμενα πολύ μικρού μεγέθους όπως σταγονίδια χρωματοποίησης, καύσιμα από πυραύλους και spaceglow από τους κινητήρες των πυραύλων» (Hollingsworth, 2013). Τα σκουπίδια αυτά αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των space debris και εκτιμάται ότι υπάρχουν περίπου 10 δισεκατομμύρια έως 1 τετράκις εκατομμύρια κομμάτια.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, συντρίμια στο διάστημα εμφανίζονται και από εκρήξεις. Οι ΗΠΑ, από το 1950, ξεκίνησε να ασχολείται με την παραγωγή όπλου καταστροφής δορυφόρων. Έτσι, το 1959 παρήγαγε το πρώτο της «Bold Orion», όπως ονομάστηκε, με σκοπό την καταστροφή δορυφόρου, το οποίο δεν κατάφερε να πετύχει τον δορυφόρο «Explorer 6» που είχε ως στόχο καθώς πέρασε σε απόσταση 6.4 χιλιόμετρα από αυτόν (Jasani, 1987).. Η πρώτη επιτυχημένη τους προσπάθεια έγινε το 1963 που κατασκεύασαν τον Nike Zeus ο οποίος είχε σκοπό την καταστροφή βαλλιστικών πυραύλων από τους Σοβιετικούς. Αντ' αυτού όμως, δοκιμάστηκε και για την καταστροφή δορυφόρου (Stares, 1985).. Το 1985, έχοντας κάνει αρκετές δοκιμές με αυτού του είδους τα όπλα, επιχείρησαν εκ νέου καταστροφή δορυφόρου, όπου κατά την έκρηξή του δημιούργησε 230 κομμάτια θραυσμάτων ενώ το 1986 οδήγησε στην σύγκρουση άλλων δύο δορυφόρων τους δημιουργώντας εκ νέου υπολείμματα στον χώρο του διαστήματος (Taylor M. W., 2007). Σχεδόν 20 χρόνια αργότερα και συγκεκριμένα το 2007, η Κίνα κατέστρεψε δικό της δορυφόρο καιρού και η έκρηξη αυτή δημιούργησε χιλιάδες μικρο-αντικείμενα (Taylor M. W., 2007). Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε μια από τις τελευταίες μετρήσεις που έγιναν το 2019 και αφορά τα space debris που ανήκουν στις τρεις πρώτες κατηγορίες (ανενεργά ωφέλιμα, επιχειρησιακά και θραύσματα).

Εικόνα 2 Διαστημικά συντρίμια με διάμετρο άνω των 10 εκατοστών γύρω από την Γη(2019)



ΠΗΓΗ: (NASA, 2019)

Συμπεράσματα

Οι αρχή της διαστημικής δραστηριότητας μπορεί να αποτέλεσε ένα τεράστιο τεχνολογικό επίτευγμα, ο τρόπος διαχείρισης όμως αυτού του κοινού πόρου σήμερα, τον θέτει σε τεράστιους κινδύνους. Η χρήση όπλων για την καταστροφή ανενεργών δορυφόρων δεν αποτελεί λύση στο πρόβλημα, παρά μόνο οξύνει την κατάσταση. Οι χιλιάδες τόνοι συντρίμμων που υπάρχουν αυτή την στιγμή στην τροχιά της Γης, διαφόρων ειδών και μεγεθών αυξάνονται με πολύ μεγαλύτερο ρυθμό από τον ρυθμό απομάκρυνσής τους και οι ανησυχίες για το μέλλον του διαστήματος μεγαλώνουν.

Κεφάλαιο 2: Το πρόβλημα των διαστημικών συντρίμμων στον κοινό αυτό πόρο – το διάστημα

Εισαγωγή

Τα διαστημικά υπολείμματα άρχισαν να γίνονται θέμα προς συζήτηση αρκετά χρόνια αφότου γίναν οι πρώτες εκτοξεύσεις. Η χρήση όπλων από τις ανεπτυγμένες χώρες δεν αποτελεί λύση στο πρόβλημα ενώ ο καθαρισμός τους θα μπορούσε να διαρκέσει εκατοντάδες χρόνια ακόμα και στην περίπτωση όπου σταματούσε πλήρως η διαστημική δραστηριότητα. Ο χώρος του διαστήματος είναι μια ευρεία έννοια που αποτελείται από πολλά τροχιακά επίπεδα και όταν αναφερόμαστε στους κινδύνους που αντιμετωπίζει αναφερόμαστε σε οποιοδήποτε αντικείμενο βρίσκεται σε αυτόν και θεωρείται εκτεθειμένο στα διαστημικά συντρίμια. Οι χιλιάδες τόνοι κατατάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με την μάζα τους και το προσδόκιμο ζωής τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η ηλιακές ακτίνες, το υψόμετρο και οι ταχύτητες που αναπτύσσουν. Πρόκειται για έναν παγκόσμιο κοινό πόρο (όπως το οξυγόνο, οι θάλασσες, η Ανταρκτική κ.α.) ο οποίος είναι ελεύθερα προσβάσιμος από όλους μας, η υπερεκμετάλλευσή του όμως θα οδηγήσει σε τραγικές συνέπειες.

2.1 Οι κίνδυνοι του παγκόσμιου αυτού κοινού πόρου

Ο Hardin (1968) αναφέρθηκε σε κείμενο του για την θεωρία της τραγωδίας των κοινών. Σαν ορολογία ήταν πρωτόγνωρη, υπάρχουν όμως πολλά παραδείγματα μέσα από την ζωή τα οποία την περιγράφουν, όπως και η αύξηση του πληθυσμού που αποτέλεσε το αρχικό άρθρο που έγραψε ο ίδιος. Κοινά αγαθά είναι αυτά τα οποία δεν έχουν κάποιον ιδιοκτήτη για να διαχειρίζεται, αλλά ανήκουν σε όλους όπως το νερό, το οξυγόνο που αναπνέουμε, το περιβάλλον, το έδαφος κ.α. Στο κείμενο του, χρησιμοποιεί το παράδειγμα με το λιβάδι όπου όλοι όσοι κτηνοτρόφοι το εκμεταλλεύονται έχουν την δυνατότητα να προσθέσουν επιπλέον ζώα. Το προσωπικό του όφελος αυξάνεται, το κοινό όφελος όμως μειώνεται λόγω της υπερβόσκησης κάθε επιπλέον ζώου στο λιβάδι (Hardin, 1968). Στην ουσία το περιβάλλον και συγκεκριμένα στο παράδειγμα του, το λιβάδι, έχει όριο ζωντανών για να το βοσκήσουν, οι κτηνοτρόφοι όμως κοιτάνε μόνο το προσωπικό τους όφελος το οποίο μακροχρόνια θα «υποστεί ζημιά». Έτσι ακριβώς συμβαίνει και με την του διαστήματος.

Παγκόσμιος Πληθυσμός

Η «υπερφόρτωση» του διαστήματος με αντικείμενα που οδηγεί στην δημιουργία διαστημικών συντριμμιών ίσως είναι ένα ιδιαίτερο πρόβλημα, δεν διαφέρει όμως πολύ από άλλα που συναντάμε στην ζωή μας. Λίγο μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση στον παγκόσμιο πληθυσμό λόγω των γεννών. Ο κίνδυνος του υπερπληθυσμού δεν είχε αποτελέσει προηγουμένως ανησυχία για τον παγκόσμιο χάρτη. «Ο πληθυσμός αυξάνεται γεωμετρικά το οποίο σημαίνει ότι το κατά κεφαλήν μερίδιο των παγκόσμιων αγαθών πρέπει να μειώνεται σταθερά» (Thomas Malthus, 1798, σ. 4). Για να μπορέσουν να επιβιώσουν όλοι οι οργανισμοί, πρέπει η πηγή ενέργειάς τους να είναι ανάλογη του πληθυσμού τους. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους που υπάρχουν εκατομμύρια νοικοκυριά που ζούνε κάτω από τα όρια της φτώχειας.

Περίπτωση Ανταρκτικής

Η ήπειρος της Ανταρκτικής ανακαλύφθηκε τον 17^ο αιώνα και σχεδόν 2 αιώνες αργότερα ξεκίνησε η εδαφική διεκδίκηση από αρκετές χώρες (Stoller 1995). Ο Β' Παγκόσμιος Πόλεμος αποτέλεσε αφορμή να υπογραφεί η συνθήκη της Ανταρκτικής η οποία απαγορεύει την χρήση πυρηνικών όπλων και ραδιενεργών αποβλήτων, παρά μόνο για ειρηνικούς σκοπούς και ελεύθερη πρόσβαση από όλα τα κράτη (Arvanitidis, 2021). Τυχόν δραστηριότητες που δεν συμβαδίζουν με την συνθήκη της Ανταρκτικής παραπέμπονται στο Διεθνές Δικαστήριο Δικαιοσύνης. Οι κανόνες διακυβέρνησης της Ανταρκτικής για την αντιμετώπισή της ως έναν κοινό πόρο κατατάσσεται σε τρία επίπεδα. Τα επίπεδα αυτά «διαχειρίζονται» τις θεμελιώδεις αρχές για την προστασία αυτού του κοινού πόρου και εκμετάλλευσή του στα πλαίσια της ειρήνης, τα δικαιώματα ιδιοκτησίας που έχει το κάθε κράτος το οποίο δραστηριοποιείται σε αυτή την ήπειρο και την εκμετάλλευση των πόρων της (Arvanitidis, 2021).

Εξώτερο Διάστημα και διαστημικά συντρίμια

Αντικείμενο μελέτης της εργασίας αυτής είναι το διάστημα και τα συντρίμια που κατακλύζουν τον χώρο του. Το εξώτερο διάστημα αποτελεί κι αυτό έναν κοινό πόρο. Η εκμετάλλευση από όλα τα κράτη είναι ελεύθερη και έχει ατομικά οφέλη (ακόμα και από αυτά που δεν έχουν την τεχνολογική δύναμη, χάρη στις συνθήκες που θα μελετηθούν παρακάτω), οι συλλογικές αρνητικές συνέπειες όμως πρέπει να είναι κι αυτές κοινές. Τα νομικά και θεσμικά πλαίσια δεν απέχουν πολύ από την ήπειρο της

Ανταρκτικής καθώς και σε αυτή την περίπτωση απαγορεύεται αυστηρά η χρήση πυρηνικών όπλων και ραδιενεργών υλικών καθώς χρησιμοποιείται κι αυτό για ειρηνικούς σκοπούς. Η Συνθήκη του Διαστήματος (1967) που θα μελετηθεί παρακάτω είναι αυτή που καθορίζει το διεθνές διαστημικό δίκαιο (Portas, 2006 · Coffey, 2009). Δυστυχώς στη περίπτωση του διαστήματος υπάρχει μεγαλύτερη εκμετάλλευση του πόρου σε σχέση με την Ανταρκτική και παρά το γεγονός ότι και στις δυο περιπτώσεις οι ενέργειες των κρατών ελέγχονται, το διάστημα κινδυνεύει από την συσσώρευση τόνων αντικειμένων και υπολειμμάτων, καθώς τα κράτη που αφήνουν υπολείμματα, δεν απειλούνται από κυρώσεις. Στο κείμενο του αναφέρεται επίσης πόσο σημαντική είναι η ύπαρξη του ιδιωτικού τομέα στους κοινούς πόρους. Το γεγονός ότι το διάστημα είναι ελεύθερα προσβάσιμο για όλους και η υπερεκμετάλλευσή του σε συνδυασμό με την αμέλεια των διαστημικών συντριμμιών ίσως αποτελέσει θέμα προς συζήτηση για μελλοντική ιδιωτική του χρήση. Όταν τα κράτη είτε αδιαφορούν είτε αδυνατούν να προστατέψουν αυτό τον πόρο ο οποίος ίσως σε μερικά χρόνια πάθει μεγάλη ζημιά και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί, η ιδιωτικοποίησή του ίσως είναι μονόδρομος.

2.2 Εννοιολογία των διαστημικών συντριμμιών

Από την έναρξη της ανθρώπινης δραστηριότητας και ενασχόλησης με τον χώρο του διαστήματος μέχρι και σήμερα (σχεδόν 60 χρόνια), το πρόβλημα των διαστημικών σκουπιδιών (space debris) δεν απασχόλησε ιδιαίτερα τους επιστήμονες. Τα τελευταία όμως χρόνια το πρόβλημα αυτό αποτελεί μεγάλο θέμα προς συζήτηση καθώς οι ποσότητες αυτών των σκουπιδιών αυξάνονται με μεγάλο ρυθμό. Ο αρχικός τους όρος ο οποίος προκύπτει από τα νομικά συμβατικά κείμενα είναι «διαστημικά αντικείμενα» ή στα αγγλικά «space objects» (Leinberg, 1989). Γενικότερα όμως ο πιο συνηθισμένος όρος που χρησιμοποιείται στην βιβλιογραφία είναι «διαστημικά υπολείμματα / συντρίμια – σκουπίδια» και στα αγγλικά αντίστοιχα «space debris» «space junk» ή και «space garbage». Στην πραγματικότητα, δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος όρος για να προσδιορίσει αυτό το φαινόμενο, στις συνθήκες του διαστήματος όμως αναφέρεται ως «space objects». Σύμφωνα με το άρθρο I της συνθήκης του διαστήματος, ορίζεται ότι ο όρος αυτός περιλαμβάνει «τα συστατικά μέρη ενός διαστημικού αντικειμένου, καθώς και το όχημα εκτόξευσης με τα μέρη του» (Leinberg, 1989). Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί ο όρος των διαστημικών υπολειμμάτων – space debris.

2.3 Η τρέχουσα κατάσταση

Το πρόβλημα των space debris ξεκίνησε με την πρώτη εκτόξευση δορυφόρου σε τροχιά της γης (Sputnik I), από τους Σοβιετικούς. Έπειτα, με την αύξηση της δραστηριότητας της εξερεύνησης του διαστήματος κι από άλλες χώρες, το πρόβλημα πήρε μεγαλύτερη έκταση. Δεν αποτελούσε εξ αρχής θέμα ανησυχίας, αλλά με το πέρασμα των δεκαετιών, οι επιστήμονες άρχισαν να εξετάζουν περισσότερο το πρόβλημα φτάνοντας σε άσχημα συμπεράσματα. Το πρόβλημα αυτό άρχισε να γίνεται απειλή τόσο για τον χώρο του διαστήματος, όσο και για την μακροπρόθεσμη ανθρώπινη πρόσβαση σε αυτό. «Όπως υπάρχει ανησυχία για την βιωσιμότητα στην Γη για τα επόμενα χρόνια, έτσι υπάρχει ανησυχία για την πρόσβαση στο διάστημα λόγω των σκουπιδιών» (Pelton, 2013, σ. 4). Στο πέρας της τελευταίας σχεδόν 20ετίας παρατηρήθηκε πολύ μεγάλη όξυνση του προβλήματος. Η μη εκκαθάριση του διαστήματος σε συνδυασμό με την τεχνολογία όπλων για την καταστροφή δορυφόρων μπορεί να έχει πολύ μεγάλες συνέπειες τα επόμενα χρόνια. Από το 2007 μέχρι το 2011, «προστέθηκαν» περίπου 4.000 ακόμα αντικείμενα. Αυτό κατά κύριο λόγο οφείλεται και στις δοκιμές όπλων που έκανε η Κίνα για την καταστροφή δορυφόρων και την απόπειρα μερικής εκκαθάρισης αντικειμένων από την τροχιά της Γης (Trapp, 2013)..

2.4 Επιδείνωση του προβλήματος με τα διαστημικά συντρίμια

Από την τελευταία πενταετία και μετά, κάθε χρόνο εκτοξεύονται τουλάχιστον 1.000 δορυφόροι. Η εξάρτηση μας από αυτούς γίνεται όλο και μεγαλύτερη, καθώς λύνονται πολλά προβλήματα από αυτά που προαναφέρθηκαν. Καθώς αυξάνεται ο αριθμός τους στην τροχιά της γης, αυξάνεται και ο αριθμός των υπολειμμάτων που αφήνουν πίσω τους. Θεωρητικά, αν είχαμε λιγότερες εκτοξεύσεις δορυφόρων, θα μπορούσαμε να είχαμε και λιγότερα συντρίμια στο διάστημα. Πρακτικά όμως τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά, καθώς τα ήδη υπάρχοντα αντικείμενα στο διάστημα είναι αρκετά και ακόμα και να σταματούσε η διαστημική δραστηριότητα, ο καθαρισμός της «περιοχής» θα έπαιρνε ίσως εκατοντάδες χρόνια (Pelton, 2013). Επιπλέον, ένας ακόμα και μεγαλύτερος περιορισμός είναι το γεγονός ότι «τα συντρίμια δημιουργούν συντρίμια». «Δεν είναι δύσκολο να σπάσεις τις λάμπες σε έναν δρόμο, αλλά θα χρειαστεί σίγουρα αρκετός χρόνος για να καθαριστούν τα σπασμένα γυαλιά και να γίνει αποκατάσταση καλωδίων. Επιπλέον η εγκατάσταση φωτός στον δρόμο περιλαμβάνει

έναν στύλο, μια λάμπα και ένα γυαλί προστασίας» (Pelton, 2013, σ. 17-18). Όταν γίνει ζημιά όμως θα δημιουργηθούν πολλά συντρίμια τα οποία αν δεν καθαριστούν και σε συνδυασμό με νέες ζημιές, θα σκορπιστούν σε χιλιάδες. Έτσι ακριβώς είναι και με την περίπτωση του διαστήματος. Η τουλάχιστον μισού αιώνα διαστημική δραστηριότητα σε συνδυασμό με την αμέλεια καθαρισμού του διαστήματος επιδεινώνει συνεχώς την κατάσταση. Παράλληλα όταν 2 ή περισσότεροι δορυφόροι ή αντικείμενα συγκρούονται στο διάστημα με ταχύτητες 10 με 20 χιλιάδες χιλιόμετρα, αφήνουν χιλιάδες συντρίμια πίσω τους.

Το 2006, οι J. C. Liou και Nicolas Johnson μέσω μελέτης που έκαναν για τα διαστημικά συντρίμια συμπέραναν ότι ακόμα και στην περίπτωση που έπαυαν οι εκτοξεύσεις αντικειμένων στο διάστημα, είτε δορυφόρων είτε πυραύλων, τα ήδη υπάρχοντα υπολείμματα που υπάρχουν αυτή την στιγμή στον χώρο του διαστήματος, μπορούν να τριπλασιαστούν μέσα στα επόμενα 200 χρόνια αν δεν αντιμετωπιστεί το πρόβλημα (Pelton, 2013). Ο σημαντικότερος παράγοντας λοιπόν είναι τα ήδη υπάρχοντα συντρίμια και όχι τα μεταγενέστερα, τα οποία είναι σίγουρο ότι θα προκληθούν ακόμα και αν παρθούν μέτρα για τον μετριασμό τους. Επίσης θεωρείται ότι η αφαίρεση των μεγαλύτερων συντριμμίων από τα χαμηλά επίπεδα της τροχιάς της Γης, είναι της πιο καίριας σημασίας (Pelton, 2013).

2.5 Κίνδυνοι που προκαλούν τα διαστημικά συντρίμια

2.5.1 Επιπτώσεις στους δορυφόρους

Οι συνέπειες της πρόσκρουσης των συντριμμίων με δορυφόρους ή ακόμα και με σκάφη επανδρωμένα και μη, διαφέρουν ανάλογα με το μέγεθος του αντικειμένου αλλά σε κάθε περίπτωση μπορεί να φέρουν καταστροφικά αποτελέσματα. Για το περιβάλλον του διαστήματος αυτή την στιγμή, μεγάλο κίνδυνο διατρέχουν δορυφόροι οι οποίοι κινούνται με ταχύτητες Mach 20 (Pelton, 2013). Για να καταλάβει κανείς την ταχύτητα αυτή, αξίζει να σημειωθεί ότι Mach 1 ισοδυναμεί με την ταχύτητα του ήχου, δηλαδή σχεδόν 1235 χιλιόμετρα την ώρα. Οπότε αντικείμενα που κινούνται με ταχύτητες είκοσι φορές παραπάνω κατά την σύγκρουσή τους με κάποιο αντικείμενο, καταστρέφονται ολοσχερώς, δημιουργώντας εκ νέου σκουπίδια. Αντικείμενα άνω των 10 εκατοστών βλάπτουν ή ακόμα και καταστρέφουν οτιδήποτε έρθουν σε σύγκρουση.

Γενικότερα όμως, αντικείμενα αυτού του μεγέθους παρακολουθούνται από το Δίκτυο Διαστημικής Επιτήρησης των ΗΠΑ (SSN), ειδικά στα χαμηλότερα επίπεδα

τροχιάς, για να προβλεφθούν και να αποφευχθούν συγκρούσεις (Chen, 2011). Το δίκτυο αυτό περιλαμβάνει ραντάρ και αισθητήρες ανα τον κόσμο και μια λίστα με τα αντικείμενα που βρίσκονται σε τροχιά και τα αντίστοιχα τροχιακά υψόμετρα στα οποία βρίσκονται. Για να βρίσκεται στην λίστα το διαστημικό αυτό αντικείμενο πρέπει να παρακολουθείται από το SSN. Η λίστα περιλαμβάνει περίπου 16.000 αναγνωρισμένα αντικείμενα και ακόμα χιλιάδες απροσδιόριστα. Ένας τρόπος μερικής αντιμετώπισης της σύγκρουσης αντικειμένων με δορυφόρους, που θα μελετηθεί σε επόμενη ενότητα, είναι η θωράκιση τους με υλικά ή οι ελιγμοί.

2.5.2 Επιπτώσεις σε επανδρωμένα σκάφη και ωφέλιμα φορτία

Πέρα από την καταστροφή ενός δορυφόρου, τα συντρίμια και γενικότερα τα αντικείμενα που βρίσκονται στην τροχιά της γης, μπορεί να αποτελέσουν μεγάλο κίνδυνο και για ένα επανδρωμένο σκάφος το οποίο βρίσκεται στο διάστημα. Λόγω της ταχύτητας τους, διαπερνούν εύκολα τη μονάδα του πληρώματος και «δημιουργούν βλάβες διαφόρων βαθμών στο σκάφος όπως σκασίματα, διαρρηγνούν οπτικές επιφάνειες, ηλιακές κυψέλες, καλύμματα γυαλών ή ειδικές θερμικές επικαλύψεις» (Παπαδοπούλου, 2014, σ. 22). Τα αντικείμενα αυτά έρχονται πολλές φορές σε σύγκρουση με ενεργά ωφέλιμα φορτία δορυφόρων, δηλαδή τμήματα τους τα οποία «παράγουν» δεδομένα στο διάστημα και έπειτα τα μεταφέρουν στην Γη (αφορά κυρίως δορυφόρους τηλεπικοινωνιών. Αυτό έγινε για πρώτη φορά αντιληπτό από τον Explorer 46 της NASA ο οποίος ήταν δορυφόρος εξερεύνησης. Παράλληλα, πέρα από τις βλάβες που προκαλούν, μπορούν και να οδηγήσουν στον θάνατο των επιβατών που βρίσκονται στο διαστημικό σκάφος.

Για να μπορέσει ένα αντικείμενο να παραμείνει σε τροχιά γύρω από την Γη, πρέπει να αναπτύσσει ταχύτητες περίπου 11.000km/h ή σε μίλια 7.000m/h. Αυτό βέβαια εξαρτάται κι από το ύψος στο οποίο βρίσκεται το αντικείμενο (Trapp, 2013).. Ακόμα και ένα μικροαντικείμενο – θραύσμα, αν έρθει σε επαφή με ένα σκάφος με αυτές τις ταχύτητες θα προκαλέσει ίσως και ολική καταστροφή. Έπειτα εφόσον γίνει η σύγκρουση, είτε με σκάφος είτε με δορυφόρο, διαλύεται και πολλαπλασιάζει τα αντικείμενα που βρίσκονται στην τροχιά της Γης. Στο διάστημα επίσης, υπάρχει και ο διαστημικός σταθμός «ISS» και άλλες διαστημικές εγκαταστάσεις που κοστολογούνται αρκετά δισεκατομμύρια δολάρια τα οποία βρίσκονται σε κίνδυνο ακόμα κι από αυτά τα μικροαντικείμενα. Γενικά, δημιουργείται μια «αλυσίδα» του ίδιου προβλήματος δημιουργώντας συνωστισμό στον χώρο του διαστήματος.

Υπάρχουν πολλά επίπεδα τροχιάς της γης εκ των οποίων τα πιο διακριτά είναι η χαμηλή τροχιά – low earth orbit (LEO), η μέση τροχιά – mid earth orbit και η γεοσύγχρονη – geosynchronous earth orbit (GEO), εκ των οποίων όλα έχουν γεμίσει με συντρίμια. Επιπλέον, σε χαμηλότερα πόδια, εκτός διαστήματος, τα αντικείμενα αυτά έλκονται από την Γη μπαίνουν στην ατμόσφαιρα και αν δεν αποτεφρωθούν (σπάνιο φαινόμενο), φτάνουν ακόμα και στην επιφάνειά της. Υπάρχουν περίπου 6 χιλιάδες τόνοι υπολειμμάτων στην τροχιά της γης εκ των οποίων το 45% βρίσκεται στην χαμηλή τροχιά LEO και συνεχίζει να αυξάνεται καθώς αυξάνονται και οι συγκρούσεις στην τροχιά της Γης. Σε αυτή την τροχιά παρατηρείται ο μεγαλύτερος αριθμός συντριμμιών, αποτελώντας μεγάλο κίνδυνο τόσο για διαστημικά σκάφη όσο και για τους ίδιους τους αστροναύτες (Hollingsworth, 2013). Με την πάροδο του χρόνου, οξύνεται περισσότερο το πρόβλημα με την συσσώρευση αντικειμένων στο διάστημα γνωστή και ως σύνδρομο Κέσλερ που θα αναπτυχθεί παρακάτω.

Πίνακας 2 Μέσος Χρόνος Δορυφόρου σε διαφορετικά τροχιακά επίπεδα επηρεαζόμενος από διαστημικά αντικείμενα διαφόρων μεγεθών

Orbital Altitude	Debris Size		
	>1mm	>1cm	>10cm
500	14	3,500	46,000
600	10	1,300	18,000
700	10.5	930	17,000
800	8	590	1,000
900	8.4	350	3,800
1000	9.5	780	11,000
1100	10.9	1,400	31,000
1200	10.6	1,700	50,000
1300	11.2	1,760	71,000
1400	10	920	13,000
1500	11	1,280	19,000
1600	13	1,900	62,000

ΠΗΓΗ: (M. Oswald, 2005)

Στον παραπάνω πίνακα αναγράφεται στην πρώτη στήλη το τροχιακό υψόμετρο και στις επόμενες τρεις στήλες οι πιθανότητες σύγκρουσης δορυφόρου με αντικείμενο μεγαλύτερο του 1 χιλιοστού, 1 εκατοστού και 10 εκατοστών αντίστοιχα (σε διάρκεια ενός χρόνου). Για παράδειγμα στα 1.000χιλιόμετρα υψόμετρο, η πιθανότητα σύγκρουσης ενός δορυφόρου με αντικείμενο διαμέτρου 1 εκατοστό είναι 1/780 σε 1 χρόνο. Η διάρκεια ζωής του δορυφόρου γενικότερα είναι κοντά στα 10 χρόνια.

Επομένως η ίδια πιθανότητα αλλά στην συνολική διάρκεια ζωής του δορυφόρου (10 έτη) είναι 1/78. Η πιο πιθανή σύγκρουση δορυφόρου με αντικείμενο σε έναν χρόνο παρατηρείται στο τροχιακό υψόμετρο των 800 χιλιομέτρων με αντικείμενο **1 χιλιοστό < αντικείμενο < 1 εκατοστό** και πιθανότητα 1/8 ή 12,5% ενώ η πιο απίθανη σύγκρουση παρατηρείται σε υψόμετρο 1.600 χιλιομέτρων **με αντικείμενο μεγαλύτερο των 10 εκατοστών** και πιθανότητα 1/62.000.

Εικόνα 3 Αριθμός Διαστημικών Συντρίμμιων ανάλογα με το μέγεθος - Δεκέμβριος 2023



ΠΗΓΕΣ: (Agency, European Space, 2023), (Vox, 2024)

Η μη εύρεση λύσης στο πρόβλημα θα οδηγήσει σιγά σιγά τα ανώτερα τροχιακά τμήματα να γίνουν άχρηστα και μη προσβάσιμα ούτε από δορυφόρους αλλά ούτε και από επανδρωμένα σκάφη για πλοήγηση και εξερεύνηση. Επιπλέον, σε χαμηλότερα πόδια, εκτός διαστήματος, τα αντικείμενα αυτά έλκονται από την Γη και κατεβαίνουν σε υψόμετρο. Όπως λοιπόν κινδυνεύουν να συγκρουστούν με σκάφη στο διάστημα, κινδυνεύουν και με αεροσκάφη.

2.5.3 Επιπτώσεις σε διαστημικές δραστηριότητες

2.5.3.1 Επιστήμη

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι διαστημικές δραστηριότητες γίνονται με σκοπό την διευκόλυνση της ζωής μας, μέσω εμπορικών και τραπεζικών συναλλαγών, τηλεπικοινωνιών, επιστημονικών ερευνών και στρατιωτικών δικτύων. Τα συντρίμια όμως στέκονται εμπόδιο σε αυτές τις δραστηριότητες παρεμβάλλοντας την συλλογή επιστημονικών δεδομένων ή και αλλοιώνοντας τα αποτελέσματα που ήδη

συλλέχθηκαν, προκαλώντας βλάβες στους αντίστοιχους δορυφόρους. Υπάρχουν επίσης στο διάστημα ευαίσθητα όργανα, όπως αισθητήρες, κάμερες και ραδιοτηλεσκόπια τα οποία πέρα από το μεγάλο κόστος κατασκευής και συντήρησής τους, δεν μπορούν να λειτουργήσουν σωστά σε ένα τόσο «ακατάλληλο» περιβάλλον (Παπαδοπούλου, 2014).

2.5.3.2 Στρατός και Εθνική Ασφάλεια

Αντίστοιχα ο στρατός ο οποίος είναι επιφυλακτικός να μοιράζεται δεδομένα που αντλεί από τους δικούς του δορυφόρους, θεωρεί ότι τα δεδομένα του δεν είναι πλέον ασφαλή. Μέλη της Πολεμικής Αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών ανησυχούν ιδιαίτερα για τα δεδομένα, τα όργανα μέτρησης και τους αισθητήρες προγράμματος υπεριώδους ακτινοβολίας που διαχειρίζονται (Παπαδοπούλου, 2014).. Παράλληλα όμως ο ίδιος ο στρατός χρησιμοποιεί κινητικά όπλα για την καταστροφή δορυφόρων στο διάστημα. Το δίκαιο του διαστήματος δεν απαγορεύει την χρήση τους, αρκεί να μην γίνεται χρήση πυρηνικών και όπλων καταστροφής. Συνεπώς κάθε κράτος έχει το δικαίωμα να κάνει επίθεση σε δορυφόρους άλλων κρατών. Γνωρίζουν όμως ότι μια τέτοια επιθετική ενέργεια, όσο επιτρεπτή και αν είναι στο διάστημα, θα δημιουργήσει διαμάχες στην Γη (Taylor M. W., 2007). Αν όμως μια τέτοια ενέργεια πρέπει να υλοποιηθεί, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το στρατιωτικό πλεονέκτημα θα υπερτερεί της ζημιάς που μπορεί να προκληθεί, δηλαδή να περιοριστεί ο αριθμός των συντριμμίων που θα δημιουργηθούν από την σύγκρουση (Taylor m. W., 2007).

Από την άλλη βέβαια έχουν προταθεί και τρόποι αξιοποίησης των συντριμμίων ως μέσω εθνικής ασφάλισης. Τα αντικείμενα που περιφέρονται στην τροχιά της Γης, έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για την πρόκληση ζημιάς σε κάποιον εχθρό ή και για σκοπούς κάλυψης – καμουφλάζ (Baker, 1989).

2.5.3.3 Περιβάλλον

Όπως στο γήινο περιβάλλον, έτσι και στο περιβάλλον του διαστήματος, η μόλυνση του αποτελεί σοβαρό πρόβλημα και η ύπαρξη μέτρων αντιμετώπισής του είναι αναγκαία. Η τοποθέτηση δορυφόρων σε περιοχές γεμάτες με διαστημικά συντρίμια είναι είτε αδύνατη, είτε πολύ ριψοκίνδυνη. Κατά την εκτόξευσή τους, έχει ήδη προμελετηθεί η διαδρομή που θα ακολουθήσει, το τελικό τους σημείο και η τροχιά που θα συνεχίσουν να ακολουθούν όσο είναι ενεργοί. Πολλοί από αυτούς είναι σχεδιασμένοι για να μπορούν να μεταβάλλονται τα υψόμετρά στα οποία κινούνται,

προκειμένου να αποφύγουν κινδύνους πρόσκρουσης. Από την άλλη, δορυφόροι που δεν έχουν αυτή την δυνατότητα απλά αντιμετωπίζουν τον κίνδυνο των συντριμμιών. Η NASA, έχει υποδείξει περιοχές που βρίσκονται στην «κόκκινη ζώνη» και τα υπολείμματα σε αυτές τις περιοχές τείνουν να αυξάνονται με μεγάλο ρυθμό. Όσο δεν λύνεται το πρόβλημα, τόσο πιο άχρηστες θα καταστούν αυτές οι περιοχές για πολλά χρόνια (Taylor M. W., 2007). Το φαινόμενο του Κέσλερ το οποίο ερμηνεύει αυτή την κατάσταση, θα μελετηθεί παρακάτω.

2.5.3.4 Ασφάλιση

Όπως ασφαλίζουμε ένα όχημα για να μας παρέχονται υπηρεσίες σε περίπτωση βλάβης και μερική οικονομική αποκατάσταση, έτσι και με τους δορυφόρους. Δεν είναι δυνατόν να εκτοξευθεί ένα τέτοιο «όχημα» κόστους αρκετών εκατομμυρίων, χωρίς να ασφαλιστεί. Το κόστος της ασφάλειας όμως επιβαρύνει τις διαστημικές επιχειρήσεις. Τόσο κατά την εκτόξευση, την θέση σε λειτουργία στην δρομολογημένη τροχιά και για την διάρκεια ζωής του, αποζημιώνεται ο ιδιοκτήτης, ή διαχειριστής αντίστοιχα αν προκύψει κάποιο πρόβλημα (Taylor M. W., 2007) (Taylor M. W., 2007). Οι ασφαλιστικές αποζημιώσεις είναι συχνό φαινόμενο καθώς πολλοί δορυφόροι (όχι τόσο πλέον), αποτυγχάνουν στο στάδιο της εκτόξευσης, καταστρέφονται, ενώ άλλοι απλά κατά την διάρκεια της ζωής τους συγκρούονται με διαστημικά συντρίμια.

Πέρα από αυτή την ασφάλιση όμως, υπάρχει και η δεύτερη περίπτωση στην οποία αποζημιώνεται κάποιος τρίτος. Όταν για παράδειγμα εκτοξεύεται ένας δορυφόρος, ένα σκάφος ή ένας πύραυλος, και προκαλεί ζημιά σε κάποιο άλλο λειτουργικό αντικείμενο στο διάστημα (πχ έναν άλλο δορυφόρο), ο ιδιοκτήτης της δεύτερης περίπτωσης πρέπει να αποζημιωθεί καθώς δεν ευθύνεται για την ζημιά που προκλήθηκε. Κατά την ΗΠΑ, είναι υποχρεωτική η άδεια εκτόξευσης από το Υπουργείο Μεταφορών για την ασφάλιση τρίτου καθώς και η αναφορά στο όνομα του διαχειριστή του δορυφόρου ως ασφαλισμένο πρόσωπο (Παπαδοπούλου, 2014)..

2.5.3.5 Επανείσοδος διαστημικών συντριμμιών στην ατμόσφαιρα της Γης

Όταν εισέρχεται ένα αντικείμενο στην ατμόσφαιρα της Γης, λόγω της υψηλής ταχύτητας και θερμοκρασίας που διατηρεί αποτεφρώνεται όσο πλησιάζει στην επιφάνεια της. Γι' αυτό και δεν παρατηρούνται αρκετά φαινόμενα πρόσκρουσης αντικειμένων από το διάστημα στην Γη. Κατά μέσο όρο, 200 περίπου κομμάτια διαστημικών αντικειμένων και 500 φυσικοί μετεωρίτες επιστρέφουν κάθε χρόνο στην

Γη. Ο κίνδυνος πρόκλησης ζημιάς από διαστημικά αντικείμενα είναι μικρότερος από τον απειροελάχιστο κίνδυνο των μετεωριτών και δεν προβλέπεται να αυξηθεί καθώς αυξάνονται τα διαστημικά υπολείμματα. Παρόλα αυτά, πολλά από αυτά τα αντικείμενα μεγάλου μεγέθους, παρατηρείται ότι εισέρχονται στην ατμόσφαιρα της Γης και καταλήγουν στην επιφάνεια, χωρίς να αλλοιωθεί το μέγεθός τους παρά τις υψηλές θερμοκρασίες. Υπάρχει όμως μια ιδιαίτερη περίπτωση που αφορά τα ραδιενεργά συντρίμια τα οποία όχι μόνο δεν αποτεφρώνονται, αλλά λόγω της ύλης τους, αποτελούν μεγάλο κίνδυνο για τον πληθυσμό.

2.6 Ο εντοπισμός των διαστημικών συντριμμιών

Τα πρώτα 20 χρόνια που το πρόβλημα δεν είχε την σημερινή έκταση, υπήρχαν λιγότερο από 5.400 αντικείμενα (μεγαλύτερα των 10 εκατοστών) που εντοπίστηκαν. «Σε μελέτες που έγιναν πριν το 2010, ο αριθμός αυτός είχε σχεδόν τριπλασιαστεί φτάνοντας τα 15.639 αντικείμενα, ενώ σήμερα οι διαστημικές υπηρεσίες των ΗΠΑ μιλάνε για 22.000 αντικείμενα αυτής της διαμέτρου» (Pelton, 2013, σ. 5).. Από αυτά, τα 1.000 περίπου αντιπροσωπεύουν ενεργούς δορυφόρους ενώ τα υπόλοιπα αποτελούν ανενεργούς και σκουπίδια. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η πλειοψηφία των αντικειμένων στην τροχιά της γης είναι τα θραύσματα δηλαδή αντικείμενα μικρότερα του 1 εκατοστού.

Η NASA σε προηγούμενες μελέτες κάνει αναφορά για 6.300 τόνους σκουπιδιών στο διάστημα και τα διακρίνει σε τρεις κατηγορίες ενός χιλιοστού και πάνω, ενός εκατοστού και δέκα εκατοστών και πάνω. Αυτά αριθμούνται σε 100.000.000 για την πρώτη κατηγορία, 500.000 για την δεύτερη και 22.000 που αναφέρθηκε παραπάνω για αντικείμενα 10 εκατοστών και πάνω.

Αξίζουν να σημειωθούν δυο γεγονότα που οδήγησαν στην δημιουργία χιλιάδων σκουπιδιών στο διάστημα και στάθηκαν απειλή στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό που αναφέρθηκε πιο πάνω. Το πρώτο αφορά την χρήση όπλου δορυφόρων από την Κίνα, για να καταστρέψει έναν δικό τους ανενεργό δορυφόρο το 2007. Πιο συγκεκριμένα, από το δορυφορικό κέντρο Xichang εκτόξευσαν πύραυλο για να καταρρίψουν τον ανενεργό δορυφόρο Fengyun-1C. Η σύγκρουση αυτή «σκόρπισε» περίπου 3.000 αντικείμενα μεγέθους (όσο μια μπάλα μπίζμπολ όπως χαρακτηρίζουν μερικές φορές το μέγεθος) και 150.000 «μικρο-μυλιμετρικά σκουπίδια» που ανήκουν στην τέταρτη κατηγορία σκουπιδιών που αναφέρεται παραπάνω, μεγέθους κάτω από 1 εκατοστό

(BBC, 2012). Τον Απρίλιο του 2011, σκουπίδια από την τότε σύγκρουση έθεσαν σε κίνδυνο τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό, πλησιάζοντάς τον κατά 6 περίπου χιλιόμετρα (Kimberly S., 2011). Μέχρι και σήμερα θεωρείται η μεγαλύτερη «μόλυνση» στο διάστημα.

Το δεύτερο αφορά την σύγκρουση δυο δορυφόρων το 2009 (δεν είχε ξανασυμβεί), του Iridium33 και του Cosmos2251 ο οποίος ήταν ανενεργός. Πρόκειται για δυο δορυφόρους των ΗΠΑ και της πρώην Σοβιετικής Ένωσης αντίστοιχα, όπου ο πρώτος αφορούσε τις επικοινωνίες και ο δεύτερος στρατιωτικές επικοινωνίες και σταμάτησε την λειτουργία του από το 1995. Η σύγκρουσή τους δημιούργησε πάνω από 2.000 αντικείμενα εκ των οποίων κάποιο από αυτά του Cosmos2251, πέρασε σε απόσταση αναπνοής 120 μέτρων τον Μάρτιο του 2012, από τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό, αποτελώντας την μεγαλύτερη μέχρι και σήμερα απειλή του ISS (NASA, 2012).

Πίνακας 3 Εκτιμώμενη ποσότητα space debris ανάλογα με το μέγεθος, 2006-2010

Debris Size	1-10 cm	>10cm
Total debris at all altitudes	700.000	24.000
Debris in low-Earth orbit	400.000	16.000

ΠΗΓΗ: (M. Oswald, 2005)

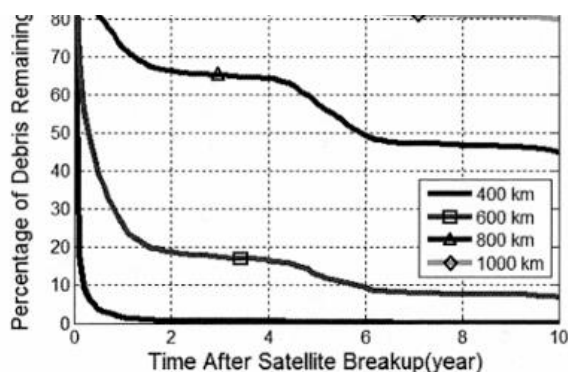
Απο τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι τα διαστημικά συντρίμια δεν κατανέμονται ομοιόμορφα στα τροχιακά επίπεδα, αλλά συγκεντρώνονται κυρίως στα χαμηλότερα επίπεδα (LEO), δηλαδή εκεί όπου υπάρχει και η μεγαλύτερη ανθρώπινη δραστηριότητα. Ο κίνδυνος σύγκρουσης σε αυτό το επίπεδο είναι πολύ μεγαλύτερος συγκριτικά με τα ανώτερα τροχιακά επίπεδα σε υψόμετρο. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι από τους 6 περίπου χιλιάδες τόνους συντρίμμων (χωρίς αυτά του Διεθνούς Διαστημικού Σταθμού), σχεδόν τα μισά βρίσκονται στο LEO. Τα σώματα πυραύλων και των διαστημοπλοίων αντιπροσωπεύουν περίπου το 97% της μάζας στην περιοχή. Το πρώτο «κυριαρχεί» στα υψόμετρα 800 και 1000 χιλιομέτρων ενώ το δεύτερο στα 600 χιλιόμετρα (Liou, 2011). Πέραν αυτής της μάζας όμως τα υψόμετρα αυτά βρίσκονται αντιμέτωπα και με άλλα δυο προβλήματα. Το ένα αφορά την κατεύθυνση των δορυφόρων, όπου στο LEO, οι δορυφόροι κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση και είναι πιο πιθανό να συγκρουστούν μεταξύ τους, ενώ αντίθετα οι γεωσύγχρονοι δορυφόροι (στα μεγαλύτερα υψόμετρα), κινούνται μαζί προς την ίδια κατεύθυνση

(Chen, 2011). Επιπλέον, οι ταχύτητες στην πρώτη περίπτωση είναι πολύ μεγαλύτερες κάνοντας τις συγκρούσεις πιο καταστροφικές.

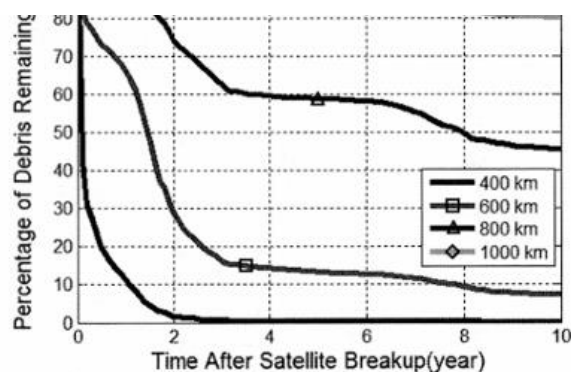
2.7 Διάρκεια ζωής των διαστημικών συντριμμιών στην τροχιά της Γης

Ο χρόνος ο οποίος παραμένουν τα space debris στην τροχιά της Γης εξαρτάται από μια «αλυσίδα» γεγονότων. Η ατμοσφαιρική έλξη είναι αυτή που παίζει καθοριστικό ρόλο η οποία με την σειρά της επηρεάζεται από κάποιες παραμέτρους, την αναλογία επιφάνειας προς μάζα και την πυκνότητα της ατμόσφαιρας. Η πυκνότητα αυτή αντίστοιχα εξαρτάται από την ηλιακή δραστηριότητα (λάμπεις). «Σε περιόδους υψηλής δραστηριότητας, η ατμόσφαιρα συμπίεζεται και υπάρχει λιγότερη αντίσταση σε μεγαλύτερα ύψη» (Chen, 2011). Η NASA εφαρμόζει ένα δικό της μοντέλο για να υπολογίζει την τροχιακή ζωή των συντριμμιών στο διάστημα. Σύμφωνα με έρευνα που έγινε από το πανεπιστήμιο Beihang το 2006, προκύπτουν κάποια αποτελέσματα στις παρακάτω εικόνες τα οποία αφορούν συγκρούσεις 1^{ης} Ιανουαρίου 1980 και 1^{ης} Ιανουαρίου 1986 σε περιόδους υψηλής αλλά και χαμηλής ηλιακής δραστηριότητας.

Διάγραμμα 1 Συντρίμμια άνω των 10 εκατοστών που παραμένουν στην τροχιά της Γης μετά την διάσπαση ενός δορυφόρου (%)

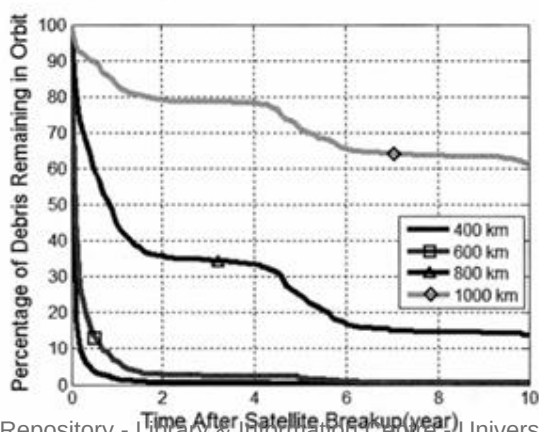


(a) Breakup during maximum solar activity

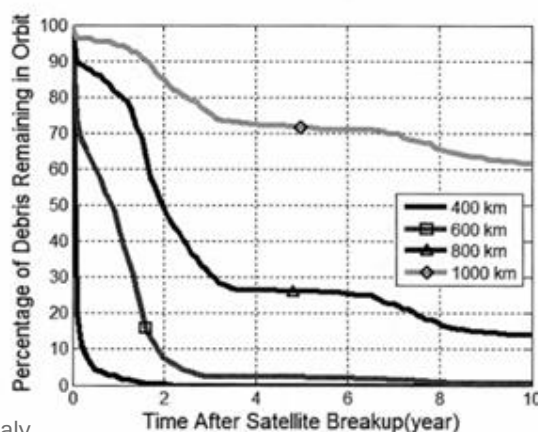


(b) Breakup during minimum solar activity

Διάγραμμα 2 Συντρίμμια μεταξύ 1 και 10 εκατοστών που παραμένουν στην τροχιά της Γης μετά την διάσπαση ενός δορυφόρου (%)



(a) Breakup during maximum solar activity



(b) Breakup during minimum solar activity

Στην εικόνα 4 παρατηρείται ότι στα υψηλότερα υψόμετρα, η ηλιακή δραστηριότητα δεν επηρεάζει αρκετά την ζωή των συντριμμιών, καθώς παραμένουν κατά μεγάλο ποσοστό για τουλάχιστον μια δεκαετία. Όσων αφορά όμως αυτά που δημιουργούνται στα υψόμετρα μεταξύ 600-800 χιλιομέτρων, κατά το πέρας της δεκαετίας παραμένουν ενεργά κατά 50% ενώ, στα χαμηλότερα υψόμετρα, τα αντικείμενα διαλύονται σε λιγότερο από 1 χρόνο. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με την εικόνα 5 στην περίπτωση που τα αντικείμενα είναι μικρότερου μεγέθους. Ωστόσο, επειδή ο αριθμός τους είναι μεγάλος, το προσδόκιμο ζωής τους μπορεί να είναι ακόμα μικρότερο γιατί μπορεί να συγκρουστούν και με άλλα, πολλαπλασιάζοντας έτσι τον συνολικό αριθμό. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι τα μεγαλύτερα αντικείμενα χρειάζονται συνήθως περισσότερα χρόνια για να αποσυντεθούν συγκριτικά με τα μικρότερα. Μερικές φορές όμως μπορεί να συμβεί και το αντίστροφο λόγω της υψηλότερης ταχύτητας που μπορούν να αναπτύξουν και να βρεθούν σε μεγαλύτερα υψόμετρα, αυξάνοντας την διάρκεια ζωής τους. Η ύπαρξη ηλιακής δραστηριότητας επίσης, συμβάλλει περισσότερο στα πρώτα χρόνια ζωής των συντριμμιών.

2.8 Συγκρούσεις και το σύνδρομο Kessler

“Τα συντρίμια που προκύπτουν από συγκρούσεις στο διάστημα τείνουν να μένουν στην τροχιά της Γης για μεγάλο χρονικό διάστημα, κάτι που αυξάνει την πιθανότητα όξυνσης του προβλήματος, καθώς η τροχιά στην οποία βρίσκονται φτάνει σε ένα όριο αντικειμένων, καθιστώντας τις συγκρούσεις σε αυτό το υψόμετρο πιο πιθανές”, (Donald J. Kessler, 1991), (Chen, 2011). Τα μεγάλα υπολείμματα συγκρούονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα να πληθαίνει ο συνολικός τους αριθμός. Παρά τις προσπάθειες που γίνονται για την εκκαθάριση του διαστήματος αλλά και την έλξη που υπάρχει και τα «αφαιρεί από την τροχιά», ο ρυθμός δημιουργίας νέων συντριμμιών είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν της εκκαθάρισης. Τα χαμηλότερα υψόμετρα στο διάστημα θεωρούνται πλέον κρίσιμης κατάστασης. (Chen, 2011). Οι παρεμβάσεις που γίνονται δεν είναι αρκετές και είναι πολύ πιθανό στο μέλλον να γίνει τόσο μεγάλο το πρόβλημα που η τροχιά της Γης να μην είναι προσβάσιμη για διαστημικές δραστηριότητες τόσο με την χρήση δορυφόρων όσο και με εξερεύνηση από επανδρωμένα σκάφη (Chen, 2011). Ουσιαστικά αυτή η θεωρία καθιστά το

διάστημα «άχρηστο» έως ότου γίνει εκκαθάριση. Αυτό λοιπόν είναι και το σύνδρομο Kessler ή όπως αλλιώς εμφανίζεται σε βιβλιογραφία ως «φαινόμενο του Ντόμινο», «φαινόμενο της αλληλουχίας» - «The Cascade Effect». Ο Ντόναλντ Κέσλερ, από το 1978, που είχε ήδη ξεκινήσει η διαστημική δραστηριότητα, προειδοποιούσε για τις καταστροφικές συνέπειες που θα ερχόταν τα επόμενα χρόνια αν δεν λαμβάνονταν απαραίτητα μέτρα.

Κάποιοι επίσης θεωρούν πως η μη εκκαθάριση του διαστήματος και οι συγκρούσεις στο διάστημα μπορεί να είναι εσκεμμένες. Όπως στην Γη υπάρχουν διαμάχες μεταξύ κρατών, εχθρικές σχέσεις ή ακόμα και πόλεμοι, έτσι θα μπορούσε και στο διάστημα. Η διαφορά όμως στην δεύτερη περίπτωση είναι ότι δεν μπορεί να αποδειχθεί το αν η χώρα που εκτόξευσε έναν δορυφόρο ή τα υπολείμματα ενός δικού της κατεστραμμένου έχουν ως στόχο κάποιον άλλο δορυφόρο ή σκάφος, δηλαδή είχε πρόθεση, ή αν όντως ήταν ένα τυχαίο γεγονός. Τέτοιου είδους παρερμηνείες θα μπορούσαν επίσης να εκδηλωθούν στην περίπτωση όπου κάποιο μεγάλο διαστημικό αντικείμενο έκανε την είσοδό του στην Γη και κατέληγε σε ξένο έδαφος από αυτό που εκτοξεύτηκε προκαλώντας ζημιά είτε υλική είτε σωματική. Η τροχιά ενός τέτοιου αντικειμένου είναι παρόμοια με αυτή ενός βαλλιστικού πυραύλου.

Συμπεράσματα

Το διάστημα όντας ένας παγκόσμιος κοινός πόρος, απειλείται από διαστημικά συντρίμια των οποίων η λίστα μεγαλώνει με την πάροδο των χρόνων ακόμα κι αν υποθετικά έπαυε εντελώς η διαστημική δραστηριότητα. Πέρα από το πρόβλημα της «μόλυνσης» του χώρου, απειλούνται επίσης οι δορυφόροι, τα σκάφη επανδρωμένα και μη, στρατιωτικά δίκτυα αλλά ακόμα και ο πλανήτης μας καθώς πολλά αντικείμενα επιστρέφουν σε αυτόν. Μεγαλύτερο κίνδυνο διατρέχουν οι χαμηλότερες υψομετρικές τροχιές οι οποίες είναι γεμάτες με υπολείμματα πολύ μικρού μεγέθους, δύσκολα εντοπίσιμα. Σημαντικό ρόλο παίζει τόσο το υψόμετρο στο οποίο κινούνται και οι ηλιακές ακτίνες οι οποίες συμβάλουν στην μείωση «της ζωής» τους. Η συνέχιση της εξερεύνησης του διαστήματος σε συνδυασμό με την μη εκκαθάριση του χώρου, κρίνουν το μέλλον του διαστήματος το οποίο κινδυνεύει να καταστεί «άχρηστο» και μη προσβάσιμο. Αυτή είναι η λεγόμενη θεωρία του Κέσλερ.

Κεφάλαιο 3: Ζητήματα Ευθύνης και Δίκαιο του διαστήματος

Εισαγωγή

Για την καλύτερη διαχείριση του διαστήματος και των πόρων που υπάρχουν στον χώρο αυτό, πέρα από προσωπική ευθύνη τις κάθε χώρας, χρειάζεται και ένα «σύνταγμα» μέσα από το οποίο θα ελέγχεται η διαστημική δραστηριότητα. Χωρίζεται σε τέσσερις περιόδους (από το 1950 μέχρι και σήμερα) και περιλαμβάνει συνθήκες του εξωτερικού διαστήματος, των αστροναυτών, ζητήματα ευθυνών, παρακολούθηση αντικειμένων και την γνωστή συνθήκη της Σελήνης. Υπεύθυνη για τις συνθήκες του διαστήματος είναι η ομάδα “UNCOPUOS” και ορίστηκε από τα Ηνωμένα Έθνη το 1959.

3.1 Η ανάπτυξη του Διεθνούς Δικαίου του Διαστήματος

Το διαστημικό δίκαιο είναι ένα σχετικά νέο θέμα ρύθμισης σε σύγκριση με άλλους νομικούς κλάδους. Οι περισσότεροι πιστεύουν ότι η εκτόξευση του Sputnik I το 1957, ήταν αυτή που σήμανε και την αρχή του διαστημικού νόμου. Όμως, αρκετά χρόνια πριν από αυτό το γεγονός είχαν γίνει νομικές αναλύσεις και συζητήσεις σχετικά με τους νόμους που διέπουν την ανθρώπινη δραστηριότητα στο διάστημα. Σε μια έκθεση που δημοσιεύτηκε ήδη από το 1903, ο Ρώσος Tsiolkovsky προέβλεψε ότι οι άνθρωποι θα χρησιμοποιούσαν αργότερα πυραύλους για να επεκταθούν στο διάστημα. Ο Mandl (1932) κυκλοφόρησε την πρώτη μονογραφία για το θέμα της έρευνας του διαστημικού δικαίου το 1932. Σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία πυραύλων επιτεύχθηκαν τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Υπήρχε μεγάλη αισιοδοξία για το μέλλον του διαστήματος και οι ελπίδες έγιναν πραγματικότητα όταν οι Σοβιετικοί έστειλαν τον πρώτο τεχνητό δορυφόρο και ακολούθησαν ακόμα 2 μεγάλες επιτυχίες (η πρώτη επανδρωμένη διαστημική πτήση το 1961 από τον Yuri Gagarin και η πρώτη ανθρώπινη επαφή με την επιφάνεια της σελήνης από τον Neil Armstrong το 1969) (Tronchetti, 2013).

Εκείνη την εποχή, τα κυρίαρχα κράτη «συνειδητοποίησαν» ότι έπρεπε να θέσουν κανόνες για τις διαστημικές δραστηριότητες, ώστε όλοι να γνωρίζουν τι να κάνουν και να μην υπάρχουν προβλήματα. Υπήρχαν ανησυχίες πως αν κάθε χώρα

έκανε ότι ήθελε στον χώρο του διαστήματος, θα προκαλούνταν διαμάχες μεταξύ των χωρών. Για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων, αποφάσισαν να συνεργαστούν για να φτιάξουν κάποιους κανόνες και να τους ακολουθήσουν.

Τα Ηνωμένα Έθνη είναι μια ομάδα χωρών (193 σήμερα) που συνεργάζονται για την επίλυση προβλημάτων και τη θέσπιση κανόνων που πρέπει να ακολουθούν όλοι. Το 1958, έφτιαξαν μια ειδική ομάδα που ασχολούνταν με τους κανόνες για τις διαστημικές δραστηριότητες. Αυτή η ομάδα έγινε μόνιμη το 1959 και ονομάστηκε Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για τις Ειρηνικές Χρήσεις του Εξωτερικού Διαστήματος (UNCOPUOS, 1959). Το 1962, έφτιαξαν δύο μικρότερες ομάδες που θα ασχολούνταν συγκεκριμένα με τους νόμους και τεχνικές που σχετίζονται με το διάστημα.

Η UNCOPUOS είναι μια ομάδα που διαμορφώνει κανόνες σχετικά με τις διαστημικές δραστηριότητες. Έχουν κάνει σημαντικές συνθήκες και ψηφίσματα για το διάστημα. Αλλά πρόσφατα, δεν μπόρεσαν να θεσπίσουν νέους κανόνες, επειδή χρειάζεται πολύς χρόνος για να ληφθούν αποφάσεις και ορισμένες χώρες δεν θέλουν να συμφωνήσουν σε νέους κανόνες (Kopal, 1996).

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και τους νέους τρόπους προσέγγισης του διαστήματος από τις όλο και περισσότερες χώρες, δημιουργούνται και νέοι κανόνες που πρέπει να τηρήσουμε. Αυτοί οι νέοι κανόνες απαιτούνται για την αντιμετώπιση νέων προβλημάτων, όπως η μείωση των διαστημικών σκουπιδιών που είναι και το σοβαρότερο πρόβλημα στον χώρο αυτό. Ορισμένοι από αυτούς τους νέους κανόνες δημιουργούνται από ομάδες εκτός των Ηνωμένων Εθνών, όπως μη κυβερνητικές οργανώσεις ή μεταξύ δύο μόνο χωρών.

3.2 Το δίκαιο του διαστήματος

Ο νόμος είναι ένα σύνολο κανόνων που ακολουθούν οι άνθρωποι για να διασφαλίσουν ότι όλοι αντιμετωπίζονται δίκαια και ότι τα πράγματα κυλούν ομαλά. Στη σύγχρονη εποχή, οι νόμοι θεσπίζονται για να διατηρήσουν την ειρήνη, να βελτιώσουν την κοινωνία και να αποτρέψουν άσχημα γεγονότα. Ο νόμος του διαστήματος ασχολείται με την προηγμένη τεχνολογία που χρησιμοποιείται για το διάστημα και τις αντιπαραθέσεις μεταξύ των κρατών ανα τον κόσμο σχετικά με την

διαστημική τους δραστηριότητα (Tronchetti, 2013). Επιπλέον ασχολείται με την ασφαλή εξερεύνησή του, με σκοπό την ωφέλεια μας και ταυτόχρονα την προστασία αυτού του περιβάλλοντος, τόσο για την ασφάλεια του, όσο και για την δυνατότητα χρήσης του και για τα επόμενα χρόνια (Tronchetti, 2013). Όπως υπάρχουν τα δικαιώματα στον χώρο αυτό, έτσι υπάρχουν και κάποιες υποχρεώσεις. Η εύρεση νέων λύσεων στα προβλήματα που αφορούν τον χώρο αυτό, αποτελεί το διαστημικό δίκαιο.

Γενικότερα λοιπόν είναι κι αυτό ένα σύνολο κανόνων το οποίο αναφέρει το τι μπορούν να κάνουν οι άνθρωποι στο διάστημα και πως πρέπει να συμπεριφέρονται. Μπορεί αντίστοιχα να αφορά και πράγματα που συμβαίνουν στην Γη, αλλά αφορούν το διάστημα όπως για παράδειγμα η ζημιά που προκαλείται από ένα διαστημικό αντικείμενο στην Γη. Έρχεται από τον εξωτερικό περιβάλλον, αλλά τα αποτελέσματα του φαίνονται στον πλανήτη μας.

Το διεθνές δίκαιο του διαστήματος δεν έχει σαφή ορισμό για το που αρχίζει και που τελειώνει το διάστημα. Πρόκειται για ένα αναπάντητο ερώτημα του εξωτερικού διαστήματος. Για πρακτικούς λόγους όμως, επιλέγεται η γραμμή Κάρμαν (Tronchetti, 2013), η οποία ορίζει το περιβάλλον αυτό στα εκατό χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Παρά το γεγονός ότι υπάρχει μια δομή που ορίζει αυτούς τους νόμους, δεν αποτελούν κάποιο ενιαίο σώμα νομικών αρχών όπως για παράδειγμα το σύνταγμα ενός κράτους. Επίσης, η νομοθεσία του διαστήματος αλλάζει συνεχώς και προσθέτονται νέες συνθήκες με πρώτη αυτή του 1967 και άλλες τέσσερεις που ακολούθησαν και θα αναφερθούν παρακάτω.

Στην συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών πάρθηκε η απόφαση ότι οι νόμοι που ισχύουν για την Γη, ισχύουν και για το διάστημα, τους πλανήτες και οτιδήποτε ανήκει σε αυτό το περιβάλλον. Αυτό σημαίνει ότι καμιά χώρα δεν μπορεί να διεκδικήσει την ιδιοκτησία οποιουδήποτε μέρους του διαστήματος (Shaw, 2008, σ. 544). Τα Ηνωμένα Έθνη έχουν θεσπίσει κανόνες μέσα από τους οποίους προκύπτει ότι όλες οι χώρες έχουν το δικαίωμα να ασχολούνται με την διαστημική δραστηριότητα – εξερεύνηση του διαστήματος εξίσου και σύμφωνα με τους διεθνείς νόμους. Το ψήφισμα που έγινε του 1962, το οποίο ψηφίστηκε στην συνέλευση της 13^{ης} Δεκεμβρίου του 1963 με τίτλο “The Declaration of Legal Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space” (Διακήρυξη των Νόμιμων Αρχών που Διέπουν τις Δραστηριότητες των Κρατών κατά την Εξερεύνηση και την Χρήση του

Διαστήματος), θεσπίζει αυτούς τους νόμους και επιτρέπει σε κάθε χώρα κράτος το δικαίωμα χρήσης του διαστήματος ως κοινό πόρο, αλλά όχι ως ιδιόκτητο κομμάτι κανενός (Shaw, 2008). Το 1996 ψηφίστηκε «η Διακήρυξη για την Διεθνή Συνεργασία στην Εξερεύνηση και χρήση του Διαστήματος η οποία είχε σκοπό να ενθαρρύνει τις χώρες να συνεργαστούν στις διαστημικές δραστηριότητες. Έδωσε έμφαση στην βοήθεια των αναπτυσσόμενων χωρών και εκείνων με νεότερα διαστημικά προγράμματα και πιο εξελιγμένες τεχνολογικά. Από την περίοδο αυτή και μετά ξεκινάει η εποχή των διεθνών διαστημικών συμφωνιών η οποία διακρίνεται σε τέσσερις περιόδους:

Η **Α περίοδος** αφορά την δεκαετία του 50 (1950-1960) κατά την οποία δημιουργήθηκαν οι πρώτοι κανόνες – συνθήκες για το διάστημα. Αρχικά αυτοί οι κανόνες ήταν μη υποχρεωτικοί και αποσκοπούσαν στην «ευαισθητοποίηση» των κρατών για την καλύτερη μεταχείριση του χώρου του διαστήματος και αργότερα μετατράπηκαν σε επίσημους κανόνες. Τα Ηνωμένα Έθνη ενέκριναν δυο ψηφίσματα την δεκαετία αυτή, 1961 (UNCOPUOS) και 1963 (UNCOPUOS). Τα ψηφίσματα αυτά θέτουν κάποιους κανόνες για την διαστημική δραστηριότητα δηλαδή την εξερεύνηση, την χρήση αλλά όχι την διεκδίκηση ως δικό τους πόρο. Κάπως έτσι δημιουργήθηκαν οι βάσεις για την πρώτη διεθνή συνθήκη του διαστήματος που ονομάζεται «Συνθήκη του 1967» (Tronchetti, 2013).

Η **Β περίοδος** αφορά τις δεκαετίες 60 και 70, όπου ονομάστηκε «εποχή της νομοθετικής διαδικασίας» καθώς δημιουργήθηκαν οι σημαντικότεροι κανόνες για το διάστημα που θα αναλυθούν παρακάτω. Κατά την χρονική αυτή περίοδο συνήφθησαν πέντε συνθήκες από τα Ηνωμένα Έθνη για την ανάπτυξη νέων κανόνων για το διάστημα. Ίσως και να ήταν η κατάλληλη στιγμή καθώς τότε ξεκίνησε η ενεργή διαστημική δραστηριότητα των πρώτων χωρών (Tronchetti, 2013). Η πρώτη έγινε το 1967 και αφορούσε γενικά τις διαστημικές δραστηριότητες. Οι υπόλοιπες τέσσερις που ακολούθησαν αφορούσαν την αντιμετώπιση των αστροναυτών (1968), την ευθύνη για ζημιές στο διάστημα από διαστημικά αντικείμενα (1972), την παρακολούθηση των πραγμάτων (1975) και τους κανόνες της Σελήνης (1979).

Η **Τ περίοδος** αφορά τα επόμενα χρόνια μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του 90. Ονομάστηκε «soft-law period» (εποχή μη σκληρών κανόνων) καθώς τα μέτρα που πάρθηκαν δεν ήταν τόσο αυστηρά όπως προηγούμενες νομοθεσίες διαστήματος. Με απλά λόγια δεν έμοιαζε τόσο με το δίκαιο του διαστήματος, όπως και στις αρχές τις πρώτης περιόδου. Γίναν συζητήσεις για χρήση δορυφόρων για τηλεμεταδόσεις, την τηλεπισκόπηση της γης και την χρήση πυρηνικής ενέργειας σε συγκεκριμένες περιπτώσεις (ζήτημα από πολυετείς διαπραγματεύσεις) (Tronchetti, 2013). Οι προηγούμενες πέντε συνθήκες της περιόδου 1960 με 1970, είχαν ήδη καλύψει τα σημαντικότερα θέματα που αφορούσαν το διάστημα οπότε στην Γενική Συνέλευση έπρεπε να συζητηθούν άλλα ζητήματα λιγότερο σημαντικά.

Η **Ά περίοδος** ξεκίνησε από τα τέλη του 1990 και συνεχίζεται μέχρι και σήμερα. Έχοντας γίνει συζητήσεις τεσσάρων δεκαετιών και πάρθηκαν αποφάσεις οι οποίες ψηφίστηκαν και δημιούργησαν το δίκαιο του διαστήματος που υπάρχει σήμερα, το μόνο που μπορεί να γίνει είναι να βελτιωθεί μέσω προτάσεων συμπεριλαμβανομένης κυρίως και της τεχνολογίας που έχουμε σήμερα (Tronchetti, 2013). Γίνονται επίσης προσπάθειες να πείσουν περισσότερες χώρες να συμφωνήσουν και να ακολουθήσουν τους κανόνες. Τα Ηνωμένα Έθνη από την πλευρά τους έχουν συντάξει δυο νέα ψηφίσματα περί καταστροφών στον διαστημικό χώρο (ευθύνες) και καταγραφών των διαστημικών αντικειμένων που υπάρχουν και αποτελούν πρόβλημα.

3.3 Συνθήκες της UNCOPUOS

Μέσα σε αυτές τις τέσσερις περιόδους η UNCOPUOS διαπραγματεύτηκε για τις συνθήκες που αναφέρθηκαν παραπάνω δηλαδή αυτή του εξωτερικού διαστήματος (1967), διάσωσης και επιστροφής αστροναυτών (1968), Σύμβαση Ευθύνης στο διάστημα (1972), «αναφορά αντικειμένων (1975) και κανόνες που αφορούσαν την Σελήνη (1979), όπως αναφέρθηκαν και παραπάνω. Η διαφορά μεταξύ αυτών των πέντε είναι ότι η τελευταία επικυρώθηκε από ελάχιστα κράτη (13) συγκριτικά με τις υπόλοιπες, κάτι που ίσως επιφυλάσσει μελλοντικούς κινδύνους για τις προθέσεις των χωρών. Αναλυτικότερα ισχύει:

Συνθήκη για το Διάστημα (1967)

Πρόκειται για μια συνθήκη στην οποία συμμετέχουν όλες οι μεγάλες χώρες που ασχολούνται με την διαστημική δραστηριότητα (ΗΠΑ, Ρωσία, Κίνα, Γερμανία, Ηνωμένο Βασίλειο κλπ, και αφορά το πως πρέπει να ενεργούμε στο διάστημα. (Stephan H., 2009). Καθοδηγεί τα κράτη που δραστηριοποιούνται σε αυτό τον χώρο μέσω δικαιωμάτων και υποχρεώσεων που έχουν με βάση την νομοθεσία που ισχύει. Το βασικότερο δικαίωμα που υπάρχει είναι η ελεύθερη εξερεύνηση του διαστήματος και η χρήση του για επιστημονικές έρευνες. Η συνθήκη αυτή χωρίζεται σε άρθρα εκ των οποίων το καθένα έχει διαφορετικό θέμα.

Το άρθρο I αναφέρεται στην εξερεύνηση του διαστήματος και στην βοήθεια μεταξύ των χωρών. Όταν ένα κράτος δεν διαθέτει την τεχνολογία που χρειάζεται και θέλει να δραστηριοποιηθεί, μπορεί να ζητήσει βοήθεια από ένα πιο ανεπτυγμένο τεχνολογικά κράτος (Tronchetti, 2013). Όπως αυτό, έτσι και το άρθρο III, επισημαίνουν ότι οι διαστημικές δραστηριότητες πρέπει να ακολουθούν τους διεθνείς κανόνες για την διατήρηση της ειρήνης και της συνεργασίας με άλλες χώρες. Παρά το γεγονός ότι αναφέρονται σε δραστηριότητες που συμβαίνουν στο διάστημα, εξακολουθούν να ισχύουν και οι ίδιοι κανόνες με αυτούς της Γης.

Το άρθρο II επισημαίνει ότι στο διάστημα, οτιδήποτε αφορά αυτό τον χώρο, δεν μπορεί να βρίσκεται στην κατοχή κανενός, ούτε να διεκδικηθεί. Το διάστημα είναι ένας κοινός πόρος και τα προβλήματα που υπάρχουν εκεί αφορούν το παγκόσμιο κοινό (Tronchetti, 2013). Εν συνέχεια, το άρθρο II είναι αυτό που προστατεύει τον κοινό χώρο του διαστήματος από στρατιωτικά θέματα. Απαγορεύει την χρήση πυρηνικών και άλλων μεγάλων όπλων (στην σελήνη και στους υπόλοιπους πλανήτες), παρόλα αυτά επιτρέπει την χρήση λιγότερο ισχυρών όπλων για την κατάρριψη δορυφόρων (με την προϋπόθεση ότι θα ακολουθήσει περισυλλογή των συντριμμιών) (Tronchetti, 2013, σ. 9).

Το άρθρο V αφορά την συνθήκη περί προστασίας των αστροναυτών στο διάστημα, συμφωνία που ψηφίστηκε το 1968 σε συνδυασμό με το άρθρο IV, που μιλάει για τις ευθύνες τόσο των χωρών για τις διαστημικές τους υπηρεσίες, όσο και για τις ιδιωτικές εταιρίες τους στο διάστημα αντίστοιχα. Κάθε ιδιωτική εταιρία που δραστηριοποιείται στο διάστημα δηλαδή, αδειοδοτείται και παρακολουθείται από την χώρα στη οποία ανήκει (Tronchetti, 2013). Τα επόμενα τρία και τελευταία άρθρα

αφορούν τις ευθύνες του διαστήματος, τον έλεγχο των διαστημικών αντικειμένων και τα περιβαλλοντικά ζητήματα. Εάν μια χώρα εκτοξεύσει διαστημικό αντικείμενο το οποίο προκαλέσει ζημιά σε άλλη χώρα (είτε στον χώρο του διαστήματος είτε στην Γη), είναι υπεύθυνη. Κάθε χώρα από την πλευρά της πρέπει να καταχωρεί τα αντικείμενα που έχει στην κατοχή της και βρίσκονται στην τροχιά της Γης και πρέπει να τα επιβλέπει (Tronchetti, 2013). Επίσης σε περιπτώσεις όπου γίνονται δραστηριότητες που θεωρείται ότι είναι επικίνδυνες για το περιβάλλον του διαστήματος, πρέπει να αναλαμβάνουν διεθνείς διαβουλεύσεις προτού κάνουν οποιαδήποτε ενέργεια (Tronchetti, 2013, σ. 9)

Συνθήκη διάσωσης αστροναυτών (1968)

Η συνθήκη Διάσωσης και Επιστροφής των αστροναυτών είναι ένας «κανόνας» που ψηφίστηκε το 1968 (F.G. von der Dunk, 2008) και αναφέρει ότι όταν κάποιος αστροναύτης αντιμετωπίζει κάποιο πρόβλημα (όχι στον χώρο του διαστήματος γιατί είναι δύσκολη η παροχή βοήθειας εκεί) , οι χώρες πρέπει να σπεύσουν να τον βοηθήσουν και πως πρέπει να κάνουν αναγκαστική προσγείωση στην χώρα από την οποία έγινε η δρομολόγηση της εκτόξευσης του σκάφους στο οποίο ανήκε αυτός. Και αυτήν η συνθήκη συμφωνήθηκε το 2014 (UNCOPUOS, 2014). Μεγάλη έκταση έχει πάρει το θέμα των «επισκεπτών – τουριστών» στο διάστημα, για το αν πρέπει να έχουν τα ίδια δικαιώματα και την προστασία με αυτή των αστροναυτών (F.G. von der Dunk, 2006). Από κοινωνικής άποψης, πρέπει να υπάρχει ίδια αντιμετώπιση γιατί είναι και αυτοί άνθρωποι, αν και μερικοί έχουν αντίθετη άποψη καθώς θεωρούν ότι κάνουν έναν επικίνδυνο «ταξίδι» και πρέπει να αναλαμβάνουν τις ευθύνες (Tronchetti, 2013) .

Η Συνθήκη Ευθύνης (1972)

Πρόκειται για μια σύμβαση που ασχολείται με την νομοθεσία του Διαστήματος και επικεντρώνεται στις ευθύνες των χωρών για τις ζημιές που προκαλούν τα αντικείμενα τους στο διάστημα. Εμβαθύνει στο μέγεθος της ζημιάς, πού συνέβη και τις συνέπειες (Marietta Edit Benkoe, 2005).

Το ζήτημα των ευθυνών για τα διαστημικά υπολείμματα τράβηξε την προσοχή μετά την σύγκρουση του Iridium33 και του Cosmos2251. Στο τρέχον καθεστώς δεν υπάρχει σαφής ορισμός του λάθους. Στην σύγκρουση αυτή, οι ΗΠΑ δεν προειδοποίησαν τους χειριστές του Iridium ότι πρόκειται να γίνει πρόσκρουση,

επομένως θεωρούνται υπαίτιοι. Ακόμα και να είχε συμβεί όμως, θα είχαν μειώσει τις πιθανότητες να συμβεί το μοιραίο, χωρίς κάποια σιγουριά. Όταν ένας δορυφόρος πλησιάζει σε απόσταση μικρότερη από 1 χιλιόμετρο με κάποιο αντικείμενο, πρέπει να γίνει ελιγμός για την αποφυγή σύγκρουσης. Στην περίπτωση αυτή, η απόσταση τους έφτασε τα 800 μέτρα. (Wang, 2016, σ. 26)

Θραύσματα τα οποία έχουν δημιουργηθεί και γνωρίζουν τον ιδιοκτήτη, δηλαδή την χώρα που εκτόξευσε τον δορυφόρο, σε περίπτωση σύγκρουσης μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνος. Αν όμως πρόκειται για μικρά αντικείμενα τα οποία κινούνται στην τροχιά της Γης, χωρίς να γνωρίζει κανείς από που προέκυψαν ή ακόμα χειρότερα να μην γνωρίζει κανείς την ύπαρξη τους μέχρι να κάνουν κάποια ζημιά, δεν μπορεί να αναλάβει την ευθύνη κανένα κράτος (Tronchetti, 2013).

Η έλλειψη οικονομικών κυρώσεων για την συμμόρφωση των χωρών που δραστηριοποιούνται στον χώρο του διαστήματος τους «δίνει το δικαίωμα» να εξακολουθούν να εκτελούν εκτοξεύσεις, χωρίς να περιορίζονται στην οικονομική δαπάνη για τον καθαρισμό του διαστήματος, ή ακόμα και στην δαπάνη για λειτουργίες που χρειάζονται για ελιγμούς δορυφόρων στο τέλος της ζωής τους.

Συνοψίζοντας λοιπόν, «δεν υπάρχει κάποια διεθνής ευθύνη από διαστημικά συντρίμια, ούτε μπορεί να συνταχθεί στο πλαίσιο του δικαίου του διαστήματος» (Παναγιωτόπουλος, 2015, σ. 32). Υπό άλλες κανονικές συνθήκες όμως, υποστηρίζεται ότι, ευθύνη για αυτό το πρόβλημα θα πρέπει να έχουν όσες χώρες δραστηριοποιούνται στον χώρο του διαστήματος και κυρίως αυτές που εκτοξεύουν τον μεγαλύτερο αριθμό δορυφόρων, πυραύλων και σκαφών (Limperis, 1998).

Η Συνθήκη για την εγγραφή και παρακολούθηση των αντικειμένων στο διάστημα (1975)

“Η συνθήκη αυτή συσχετίζεται με την συνθήκη του Διαστήματος (1967) και κάνει τους κανόνες της ακόμα πιο σαφείς και σημαντικούς. Το 2012, 57 χώρες και 2 διακυβερνητικοί οργανισμοί αποδέχτηκαν αυτή την συνθήκη” (Tronchetti, 2013, σ. 11).

Το σύστημα καταγραφής των διαστημικών αντικειμένων είναι σαν μια λίστα που περιλαμβάνει τα συντρίμια κυρίως στο διάστημα, την ημερομηνία τους, τον τρόπο δημιουργίας τους και την χώρα που «ευθύνεται». Αν δεν υπήρχε αυτή η λίστα

θα ήταν πολύ δύσκολη η εύρεση των αντικειμένων και το πως προκλήθηκε η ζημιά. Συμβάλει επίσης στην προστασία του διαστημικού χώρου από χρήση ισχυρών όπλων. Υπάρχουν δυο τρόποι για να εγγραφεί κάποιο αντικείμενο στην λίστα αυτή (Tronchetti, 2013). Στην πρώτη περίπτωση πρέπει η χώρα που στέλνει κάποιο αντικείμενο στο διάστημα να δώσει άδεια για την χρήση εθνικού μητρώου. Στην δεύτερη περίπτωση επεμβαίνει ο ΟΗΕ, ο οποίος κατέχει ένα διεθνές μητρώο στο οποίο έχουν πρόσβαση όλες οι χώρες και καταχωρούν τα αντικείμενα τους παρέχοντας πληροφορίες για αυτά. Όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες δίνονται για κάτι που εκτοξεύει η κάθε χώρα και όσο πιο γρήγορα σταλούν, τόσο το καλύτερο. Όταν πρόκειται για ενέργειες που δεν είναι τόσο μέσα στα πλαίσια του διαστημικού δικαίου, είναι πολύ πιθανό οι χώρες να εκτοξεύσουν κάτι στο διάστημα και έπειτα να ενημερώσουν για την ενέργειά τους (Tronchetti, 2013).

Ένα πρόβλημα που συναντήθηκε τα τελευταία χρόνια αφορά την εγγραφή και την ιδιοκτησία των αντικειμένων στο διάστημα. Πολλές χώρες άλλαζαν την ιδιοκτησία αντικειμένων που έχουν εκτοξεύσει. Γενικότερα, κατά την εκτόξευση ενός δορυφόρου για παράδειγμα, πρέπει να καταχωρηθεί η ενέργεια στον ΟΗΕ. Σε δεύτερη μοίρα, πρέπει να δηλωθεί και στην Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) προκειμένου να διασφαλιστεί η μη παρεμβολή των δορυφόρων μεταξύ τους και η σωστή λειτουργία τους. Διεθνείς εταιρίες που θέλουν να εκτοξεύσουν δορυφόρο στο διάστημα, δεν μπορούν να κάνουν εγγραφή στην λίστα, επομένως πρέπει να δώσουν τα στοιχεία τους στην χώρα καταγωγής τους και αυτές με την σειρά τους να κάνουν την καταχώρηση (Tronchetti, 2013, σ. 12)

Η Συνθήκη της Σελήνης 1979

Η τελευταία συνθήκη που αφορά την Σελήνη, είναι αυτή με τις λιγότερες ψήφους από τα κράτη, καθώς τα κράτη δεν θέλουν να θεωρήσουν τον χώρο αυτό ως κοινό πόρο και μελλοντικά μπορεί να περιοριστούν σε ενέργειες που θα θέλουν να κάνουν. Αφορά τους τρόπους χρήσης και εξερεύνησης του διαστήματος, τις επιστημονικές δραστηριότητες μέσω αποστολής αντικειμένων σκαφών και ανθρώπων – αστροναυτών, δημιουργία σταθμών (όπως ο Διεθνής Διαστημικός Σταθμός) και συλλογή ορυκτών πόρων για έρευνες. Εμπορικές δραστηριότητες των κρατών που συμβάλλουν στην παραγωγή χρήματος από τους πόρους αυτούς, απαγορεύεται αυστηρά (UNOOSA, 1979). Οι μη επιστημονικές δραστηριότητες και κυρίως η

εμπορική χρήση και εκμετάλλευση των σεληνιακών πόρων ρυθμίζεται από το άρθρο 11 της συμφωνίας σύμφωνα με το οποίο οι φυσικοί της πόροι ορίζονται ως «κοινή κληρονομιά της ανθρωπότητας» (UNOOSA, 1979). Το άρθρο αυτό φέρνει μεγάλες αντιθέσεις στο πως πρέπει να λειτουργεί η «κοινή κληρονομιά της ανθρωπότητας». Διαφωνούν για το πως πρέπει να μοιράζονται οι πόροι (όχι ισάξια), πως πρέπει να λαμβάνονται οι αποφάσεις της περιοχής της Σελήνης και του διαστήματος γενικότερα και εάν οι ανεπτυγμένες χώρες πρέπει να βοηθούν τις αναπτυσσόμενες χώρες με την τεχνολογία που διαθέτουν για να μπορέσουν και αυτές να δραστηριοποιηθούν (Tronchetti, 2013).

Το να συμφωνήσουν τα κράτη με αυτή την συνθήκη, θα τους δεσμεύσει να ακολουθήσουν τους κανόνες της εξερεύνησης και της χρήσης των πόρων της Σελήνης. Το ενδιαφέρον για την χρήση και την εξερεύνηση της Σελήνης, «χάθηκε» με την πρώτη επανδρωμένη προσγείωση σε αυτήν, καθώς τα κράτη θεώρησαν πως δεν είχαν να αντλήσουν κάτι από εκεί. (Tronchetti, 2013). Επομένως, όταν ήρθε η στιγμή της υπογραφής της Συνθήκης, τα κράτη από την μια δεν ήθελαν να δώσουν μεγάλη βάση, από την άλλη όμως είχαν επιφυλάξεις για μελλοντικές ενέργειες, όπως ακριβώς έγινε τα τελευταία χρόνια που επανέκτησε πάλι το ενδιαφέρον.

Συμπεράσματα

Νομικές αναλύσεις για το διάστημα είχαν γίνει αρκετά χρόνια πριν από την πρώτη εκτόξευση, ωστόσο οι πρώτες συνθήκες υπογράφηκαν την ίδια περίοδο που ξεκίνησε η διαστημική αυτή δραστηριότητα. Οι κανόνες που υπάρχουν είναι αυστηροί αλλά μη δεσμευτικοί ιδίως στην περίπτωση της συνθήκης εγγραφής και παρακολούθησης αντικειμένων, καθώς υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις εσκεμμένης αποφυγής δήλωσής τους με σκοπό να μην αναλάβουν τα κράτη ευθύνες για δικά τους αντικείμενα.

Κεφάλαιο 4: Προσέγγιση στο πρόβλημα των διαστημικών υπολειμμάτων και εύρεση λύσεων αντιμετώπισης του

Εισαγωγή

Έχοντας ορίσει τον νομικό πλαίσιο του διαστήματος, το αμέσως επόμενο στάδιο είναι η προσέγγιση στο πρόβλημα με σκοπό να βρεθούν τρόποι αντιμετώπισής του. Το πρόβλημα αυτό πλέον μεταβιβάζεται σε έναν άλλο σημαντικό τομέα που αφορά την οικονομική ενίσχυση. Για να παρακινηθούν τα κράτη που δραστηριοποιούνται στο διάστημα να καθαρίσουν τα υπολείμματα τους, πρέπει να τους δοθεί κάποιο κίνητρο κι αν μη τι άλλο, οικονομικό. Παράλληλα σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η εξέλιξη της τεχνολογίας στην απομάκρυνση των διαστημικών συντριμμιών και καθαρισμό του διαστήματος, μέσω κατασκευής ρομπότ και άλλων τεχνολογικών επιτευγμάτων.

4.1 Τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος των διαστημικών υπολειμμάτων

Η πρώτη επίσημη αναφορά για τα διαστημικά υπολείμματα έγινε από την NASA το 1981. Η μελέτη της παρουσιάζεται με τίτλο «Orbital Debris». Αναφέρεται πως «η συνεχής παραγωγή διαστημικών υπολειμμάτων θα οδηγήσει την πιθανότητα συγκρούσεων σε πολύ υψηλά επίπεδα μέσα στην επόμενη δεκαετία» (Space System Committee, 2022).

Υπάρχουν πολλά προβλήματα με τα διαστημικά υπολείμματα που υπάρχουν στο διάστημα. Η συνεχής εκτόξευση πυραύλων και η αμέλεια καθαρισμού των ήδη υπαρχόντων συντριμμιών στο διάστημα σε συνδυασμό φυσικά με το υψηλό κόστος για την υλοποίηση αυτού του έργου ίσως μια μέρα οδηγήσουν στην αδυναμία εισόδου στο διάστημα τόσο από επανδρωμένα σκάφη, όσο και από πυραύλους και δορυφόρους (Pelton, 2013).

Παρά το γεγονός ότι δεν είναι πολλές οι χώρες που δραστηριοποιούνται αρκετά στον χώρο του διαστήματος, ο μεγαλύτερος αριθμός διαστημικών συντριμμιών και υπολειμμάτων προκαλείται από τις τρεις μεγάλες δυνάμεις, Ηνωμένες Πολιτείες, Ρωσία και Κίνα. Εικασίες έχουν γίνει για την πρόοδο σε αυτό το πρόβλημα αλλά δυστυχώς στην πράξη το πρόβλημα επιδεινώνεται. Ωστόσο, γίνονται συνεχώς

προσπάθειες εύρεσης νέων τρόπων αντιμετώπισης της κατάστασης και με όσο το δυνατόν χαμηλότερα κόστη (Pelton, 2013). Κάποιοι από αυτούς είναι:

- Έλεγχοι προεκτόξευσης πυραύλων – δορυφόρων
- Αλλαγές στον τρόπο λειτουργίας των διαστημικών σκαφών για να διασφαλιστεί η επιστροφή τους στη Γη. Αυτό περιλαμβάνει την διασφάλιση της απελευθέρωσης τυχόν επιβλαβών αερίων πριν επανέλθουν και την μη χρήση πυρηνικής ενέργειας για δορυφόρους που θα επιστρέψουν στην Γη (προστατεύοντας έτσι τόσο τον χώρο του διαστήματος, όσο και τον πλανήτη μας)
- Νέες τεχνολογίες (ρομπότ – σκάφη) που βοηθούν στον καθαρισμό των συντριμμιών από το διάστημα ή αποτρέπουν την σύγκρουση μεταξύ μεγάλων αντικειμένων που δημιουργούν άλλες χιλιάδες μικρότερα και παράλληλα προστατεύουν διαστημόπλοια, σταθμούς και δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά. Αυτές οι τεχνολογίες θα αναπτυχθούν παρακάτω.
- Νέοι ρυθμιστικοί κανόνες και συμφωνίες που γίνονται για την αντιμετώπιση του προβλήματος
- Νέες διαδικασίες και μηχανισμοί όπως για παράδειγμα ένα κοινό ταμείο στο οποίο θα συνεισφέρουν όλες οι χώρες (ανάλογα με την δραστηριότητα τους στο διάστημα) με σκοπό την αξιοποίηση τους για τεχνολογίες υψηλού κόστους που θα αναφερθούν και παρακάτω.

Προτού παρθούν αυτά τα μέτρα όμως, πρέπει να εφαρμοστούν κάποιοι κανόνες υπόψιν. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το γεγονός ότι οι χώρες δεν έχουν κάποια ποινή για την μόλυνση που προκαλούν στο διάστημα, παρά μόνο για το αν κάνει ζημιά σε ιδιοκτησία άλλης χώρας (πχ μέρος δικών της συντριμμιών συγκρούσει με δορυφόρο άλλης χώρας), τα κράτη δεν έχουν ιδιαίτερο κίνητρο να σταματήσουν να οξύνουν το πρόβλημα, μη απομακρύνοντας τα συντρίμια τους από το διάστημα.

4.2 Παγκόσμιο ταμείο και οικονομικά κίνητρα για την απομάκρυνση των συντριμμιών

Οι άνθρωποι έχουν βρει διάφορους τρόπους για να λύσουν το πρόβλημα των διαστημικών συντριμμιών. «Αυτό που λείπει από τις περισσότερες διαπραγματεύσεις είναι τα οικονομικά μέσα για την αντιμετώπιση και τα οικονομικά κίνητρα για την διόρθωση του προβλήματος» (Pelton, 2015). Μια πολύ καλή λύση θα ήταν η ύπαρξη μιας συμφωνίας μεταξύ όλων των χωρών (παρέμβαση του ΟΗΕ), μέσω της οποίας θα συμβάλαν όλοι οικονομικά (ανάλογα με την διαστημική δραστηριότητα της κάθε χώρας, καθώς αναπτυσσόμενες χώρες με χαμηλή συμμετοχή στο διάστημα δεν μπορούν να επιβαρύνονται το ίδιο με υψηλά ανεπτυγμένες χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Κίνα και η Ρωσία (Pelton, 2015). Τα χρήματα αυτά που ουσιαστικά θα διαθέσουν οι χώρες ανάλογα με τις διαστημικές τους αποστολές, θα αξιοποιηθούν από τις εταιρίες που αναλαμβάνουν έργα και τρόπους απομάκρυνσης παλιών και ανενεργών δορυφόρων – πυραύλων και συντριμμιών διαφόρων μεγεθών.

Τα κόστη ασφάλισης των δορυφόρων που καλύπτουν την ζωής του από την στιγμή της εκτόξευσης μέχρι και την στιγμή που παύουν να χρησιμοποιούνται ή καταστρέφονται, θεωρείται ότι είναι αρκετά και πως ένα μέρος τους θα μπορούσε να διατεθεί για την οικονομική ενίσχυση του ταμείου που αφορά την δημιουργία νέων τεχνολογιών για τον καθαρισμό των υπολειμμάτων. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την σταδιακή απομάκρυνση των αντικειμένων πράγμα που θα μειώσει τον αριθμό συγκρούσεων των δορυφόρων τα επόμενα χρόνια (Pelton, 2015). Ταυτόχρονα θα βοηθήσει στον καθαρισμό του διαστήματος και στην μείωση του κινδύνου μόνιμης ζημιάς στον χώρο (Pelton, A Global Fund).

Το ταμείο αυτό εναλλακτικά θα μπορούσε επίσης να «ανταμείβει» τις χώρες με δυο τρόπους. Σε περιπτώσεις εκτοξεύσεων δορυφόρων που δεν αφήνουν υπολείμματα μπορούν να λαμβάνουν ένα οικονομικό ποσό. Αντίστοιχα, χώρες οι οποίες θα διατηρήσουν σε τροχιά τους δορυφόρους τους και κατά το τέλος της ζωής τους θα τους αποσύρουν από την τροχιά της Γης, χωρίς να δημιουργήσουν υπολείμματα, ή να καθαρίσουν από το διάστημα όσα προκύψουν θα ανταμείβονται ανάλογα. Αυτό θα ενθαρρύνει τις χώρες να δίνουν μεγαλύτερη σημασία στα αντικείμενα που εκτοξεύουν, στον καθαρισμό των συντριμμιών τους και στην συμβολή για την δημιουργία τεχνολογίας καθαρισμού του διαστήματος (Pelton, 2015).. Αυτή η «διαδικασία»

πιθανότατα να είναι πιο γρήγορη και οικονομική από το να ψάχνουν τρόπους καθαρισμού του διαστήματος με νέες τεχνολογίες.

Το παραπάνω χρηματοοικονομικό μοντέλο θα λύσει άμεσα και το πρόβλημα δημιουργίας νέων συνθηκών τις οποίες μπορεί και να μην υπογράψουν οι χώρες. Αν ξεκινούσαν σταδιακά κάποιες χώρες να ασχολούνται με τον καθαρισμό των προσωπικών τους αντικειμένων ακόμα και με οικονομικό κίνητρο, θα ωθούσε και τις υπόλοιπες χώρες (Pelton, 2015). Επιπλέον αν αυτό το μοντέλο περνούσε στο δίκαιο του διαστήματος ως νόμος, θα διασφάλιζε την ύπαρξη χρήματος για την ενίσχυση των χωρών και ταυτόχρονα τον καθαρισμό του διαστήματος.

4.3 Τεχνολογική προσέγγιση για την αντιμετώπιση του προβλήματος

Τα υπολείμματα που «περιπλανιούνται» στο διάστημα όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κατηγοριοποιούνται με βάση το υλικό τους και έπειτα με το μέγεθός τους. Στην περίπτωση μικρών αντικειμένων (10 εκατοστών και κάτω) ο τρόπος καθαρισμού του διαστήματος είναι σίγουρα πιο δύσκολος λόγω του πλήθους τους, αλλά απαιτεί απλούστερη χρήση τεχνολογίας. Δυστυχώς όμως, πολλά από αυτά τα αντικείμενα δεν είναι δηλωμένα στην λίστα και είναι δύσκολο να ανιχνευτούν.

Γενικότερα, μεγάλες συγκρούσεις στο διάστημα (δηλαδή είτε μεταξύ μεγάλων αντικειμένων, είτε μεταξύ δορυφόρων) γίνεται σχεδόν κάθε 10 χρόνια. Κάθε χώρα είναι υπεύθυνη για τα συντρίμια που αφήνει πίσω σε συγκρούσεις και πολλοί θεωρούν πως η επένδυση στον καθαρισμό του διαστήματος και στην ταυτόχρονη μείωση της εκτόξευσης των πυραύλων (για μερικά χρόνια), θα βοηθήσει στο πρόβλημα και θα αποταμιευθούν χρήματα. Η εκτόξευση πυραύλων μπορεί να απαιτήσει σε ορισμένες περιπτώσεις περισσότερα χρήματα από την χρήση κάποιας τεχνολογίας για συλλογή συντριμμιών. Επιπλέον το μοναδικό επίτευγμα σε αυτή την περίπτωση είναι απλά ο περιορισμός δημιουργίας νέων υπολειμμάτων. Τα ήδη υπάρχοντα στον χώρο του διαστήματος δεν θα καθαριστούν και το πρόβλημα θα παραμείνει.

Ελιγμός δορυφόρων

Η μετακίνηση δορυφόρων αρχικά θα ήταν μια πολύ καλή λύση για την αποφυγή των συγκρούσεων με διαστημικά υπολείμματα, η διαδικασία όμως αυτή είναι πολύ κοστοβόρα. Έστω τώρα ότι το κόστος είναι χαμηλό και ότι ενέργειες ελιγμών

δορυφόρων μπορούν να γίνουν εύκολα. Ακόμα και να πετύχει αυτό, και να αποφευχθεί η σύγκρουση, υπάρχει κίνδυνος να συγκρουστεί με κάποιο άλλο αντικείμενο το οποίο είτε δεν είχε προβλεφθεί λόγω κακών υπολογισμών, είτε δεν ήταν αναμενόμενο ότι θα βρεθεί στην τροχιά του δορυφόρου γιατί δεν υπήρχε στην επίσημη λίστα. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρειαστεί διαδοχικά να πραγματοποιήσει ελιγμούς και άλλη εταιρία προκειμένου να προστατέψει τον δικό της δορυφόρο λόγω κακών εκτιμήσεων από τους προηγούμενους (Pelton, 2015). Πρόκειται λοιπόν για μια καλή εναλλακτική που θα βοηθήσει στην σταθεροποίηση του όγκου των υπολειμμάτων στο διάστημα για αρχή, αλλά το κόστος αυτής της διαδικασίας είναι μεγάλο. Η συμβολή του παγκόσμιου ταμείου που αναφέρεται στο κεφάλαιο 4.2, επανέρχεται και πάλι.

4.3.1 Προγράμματα τροχιακής αποκατάστασης και καθαρισμού των διαστημικών υπολειμμάτων

Υπάρχουν πολλά προγράμματα που είτε εκτελούνται είτε προσπαθούν να υλοποιηθούν από διάφορες χώρες τα οποία προσπαθούν να συμβάλλουν στον καθαρισμό των διαστημικών υπολειμμάτων. Ορισμένα από αυτά επίσης, αποσκοπούν στην επιδιόρθωση και συντήρηση δορυφόρων που είτε έχουν καταστραφεί, είτε απλά έχουν υποστεί κάποια βλάβη, αλλά παραμένουν χρήσιμοι, για να μην καταλήξουν «άχρηστα» τροχιακά αντικείμενα. Αυτά τα προγράμματα μπορεί επίσης να είναι ακόμα και κυβερνητικά, ή κι από ιδιωτικές εταιρίες οι οποίες χρηματοδοτούνται από τα κράτη. Αυτό συνεπάγεται, διαφορετικοί στόχοι και φυσικά διαφορετικό κόστος για το καθένα. Ήδη κάποια από αυτά που βρίσκονται σε εξέλιξη, δοκιμάζονται μέσα από πειράματα στην Γη και εξετάζουν διάφορους τρόπους για να μπορέσει να λυθεί το πρόβλημα των διαστημικών συντριμμιών (Pelton, 2015). Παράλληλα εξετάζονται και τεχνολογικοί τρόποι με τους οποίους αλλάζει η διαδρομή και η τροχιά των δορυφόρων στο διάστημα για να αποφευχθεί η συντριβή με άλλα αντικείμενα. Δυστυχώς μέχρι στιγμής, τέτοιες προσπάθειες μπορεί να κοστίσουν πολλά περισσότερα εκατομμύρια από τεχνολογίες καθαρισμού του διαστήματος.

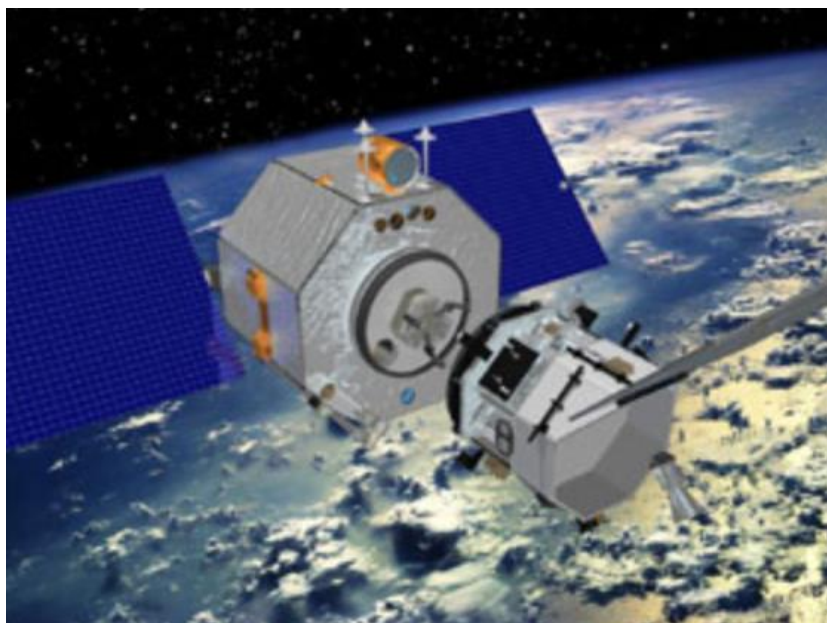
Ήδη μεγάλες «διαστημικές δυνάμεις» - ΗΠΑ και Γερμανία, έχουν αναπτύξει υψηλής τεχνολογίας ρομπότ, τα οποία έχουν την δυνατότητα και με μεγάλη ακρίβεια μάλιστα, να προσεγγίσουν αντικείμενα στο διάστημα (δορυφόρους με βλάβη), να προσκολληθούν πάνω τους και να επιδιορθώσουν τυχόν προβλήματα (Pelton, 2015).

Σε δεύτερο στάδιο μπορούν και να μετακινήσουν αυτούς τους δορυφόρους για να τους προστατέψουν από πιθανές συγκρούσεις.

Τροχιακή Εξπρές Διαστημική Αποστολή (Orbital Express Space Operations Mission)

Πρόκειται για ένα πρόγραμμα που ξεκίνησε στις 8 Μαρτίου 2008 και περιλαμβάνει 2 διαστημόπλοια, το μεγάλο ASTRO (1.000κιλά και διάμετρο σχεδόν 2 μέτρα) και το μικρότερο NextSat (225 κιλά και διάμετρο 1μέτρο), εκ των οποίων το ένα δουλεύει σαν βοηθός και το άλλο εξετάζει τον σχεδιασμό των μελλοντικών διαστημοπλοίων στο διάστημα για να μπορούν να συντηρούνται ενώ βρίσκονται σε τροχιά (Pelton, 2015). Σκοπός του προγράμματος είναι η ασφαλής προσέγγιση αντικειμένων και περισυλλογής τους και η συντήρηση δορυφόρων στο διάστημα για την αποφυγή εκτόξευσης νέων που πιθανότατα μια μέρα να δημιουργήσουν νέα συντρίμια (Pelton, 2015).. Πρόκειται για το δεύτερο πειραματικό πρόγραμμα προσπάθειας συνεργασίας δυο δορυφόρων στο διάστημα, καθώς η πρώτη προσπάθεια έγινε από την Ιαπωνία κοντά στο 1990. Το κόστος αυτής της αποστολής ήταν κοντά στα 300 εκατομμύρια δολάρια. Η αποστολή Orbital Express παρά τις δυσκολίες της, ήταν μια επιτυχημένη αποστολή η οποία απέδειξε πως μπορούν να παραλειφθούν τα τεχνολογικά και οικονομικά εμπόδια. Το πρόγραμμα διήρκεσε συνολικά 4μήνες (Friend, 2008).

Εικόνα 4 Orbital Express. Astro και NextSat



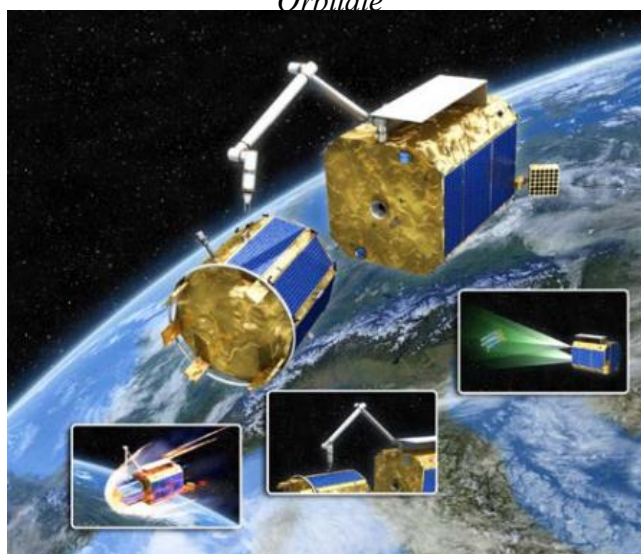
ΠΗΓΗ: (DARPA, 2008)

Αποστολή Deutsche Orbitale

Πρόκειται για μια αποστολή της γερμανικής διαστημικής υπηρεσίας που έχει ανατεθεί στην Spacetechnik (γερμανική εταιρία). Το πρόγραμμα αυτό είναι παρόμοιο με αυτό των ΗΠΑ (Orbital Express). Αποτελείται από δυο διαστημόπλοια και αυτή η αποστολή, τον “Client” (βοηθός) και τον “Servicer” που εξυπηρετεί τις λειτουργίες της αποστολής και η επικοινωνία και των δυο με την Γη, γίνεται ανα πάσα στιγμή (Pelton, 2015). Ο “Servicer”, θα εντοπίζει διαστημόπλοια μη λειτουργικά ή με βλάβη, θα τα προσεγγίζει και θα τα επισκευάζει, θα εφοδιάζει με καύσιμα πιθανότατα και θα τα επαναφέρει σε λειτουργία, για να αποφευχθεί άλλο ένα κατεστραμμένο αντικείμενο στο διάστημα. Σκοπός και αυτής της αποστολής δηλαδή είναι η διόρθωση σκαφών και δορυφόρων στο διάστημα. Σε περίπτωση που δεν επιτευχθεί ο στόχος, δηλαδή να έρθει και πάλι σε λειτουργία, το ρομπότ τραβάει των δορυφόρο πίσω στην Γη. Πλέον, τον έλεγχο του δορυφόρου που χρειάζεται επισκευή, τον έχει ανθρώπινο χέρι. Μετά τις απαραίτητες ενέργειες, στέλνεται πάλι πίσω στο διάστημα (Pelton, 2015).

Η ακριβής ημερομηνία της αποστολής και της εκτόξευσης των Client και Servicer δεν έχει οριστεί ακόμα. Η γερμανική εταιρία είναι πεπεισμένη πως η τεχνολογία της θα αποδείξει πολλά στον χώρο του διαστήματος. «Θα επαληθεύσει τεχνικές συντήρησης, επισκευής και ανεφοδιασμού των δορυφόρων και θα διερευνήσει τεχνικές απομάκρυνσης μη λειτουργικών δορυφόρων και διαστημικών υπολειμμάτων» (Wolf, 2010).

Εικόνα 5 Συλλογή μη λειτουργικού δορυφόρου μέσω του προγράμματος Deutsche Orbitale



ΠΗΓΗ: (WOLF, 2010)

Σκάφη περισυλλογής και καταστροφής διαστημικών αντικειμένων

Η κατασκευή ειδικών διαστημικών σκαφών για την καταστροφή μικρών αντικειμένων είναι μια κίνηση που θα «φέρει καρπούς». Τα σκάφη αυτά μπορεί να φέρουν μεγάλες μετωπικές περιοχές για να αυξάνουν τις πιθανότητες εσκεμμένης σύγκρουσης με τα αντικείμενα και από εκεί και μετά αν πρόκειται για πολύ μικρά αντικείμενα θα διαλύονται. Αν πρόκειται για αντικείμενα 5-10 εκατοστά για παράδειγμα, τα σκάφη αυτά μπορούν να φέρουν κάποιο υλικό περιμετρικά το οποίο θα συμβάλει στην απορρόφηση του αντικειμένου όταν έρθει σε επαφή με την επιφάνεια του σκάφους (περίπτωση Sticky Foam που θα μελετηθεί παρακάτω) (Kaplan*, 2008). Αυτό το σκάφος φυσικά, δεν θα είναι ούτε επανδρωμένο και σκοπός είναι να μην είναι ούτε κατευθυνόμενο, αλλά τα συντρίμια να κατευθύνονται σε αυτό.

Για αρχή, ο πιο σημαντικός χώρος του διαστήματος που πρέπει να καθαριστεί από τα συντρίμια είναι ο LEO, μεταξύ 800 και 1100 χιλιομέτρων από την Γη όπου ο όγκος του χώρου είναι 202 δισεκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα. Πρωταρχικός στόχος δεν είναι ο καθαρισμός όλου του χώρου αλλά η μείωση των συντριμμιών που θα συμβάλει στην μείωση των συγκρούσεων. Όπως και οι δορυφόροι, έτσι και αυτά τα σκάφη έχουν διάρκεια ζωής. Έστω λοιπόν ότι η μέση ζωή τους είναι 10 έτη. Για να μπορέσει να κρατηθεί απλά υπό έλεγχο το πρόβλημα, χωρίς να μειωθούν ιδιαίτερα τα υπολείμματα, θα χρειαστούν χιλιάδες τέτοια σκάφη. Εδώ επανέρχεται και πάλι το οικονομικό πρόβλημα για τον καθαρισμό του διαστήματος, όμως το κόστος μη μείωσης του, μακροχρόνια θεωρείται πολύ μεγαλύτερο.

Επαναχρησιμοποιούμενοι Δορυφόροι

Εναλλακτικά, η τεχνολογία που έχουμε σήμερα στα χέρια μας, μπορεί να επιτρέψει σε έναν δορυφόρο να αποτελείται από επαναχρησιμοποιούμενα μέρη. Δυο μεγάλα μειονεκτήματα σε αυτή την περίπτωση είναι το βάρος του (με αποτέλεσμα να χρειάζεται περισσότερο χρόνο να βρεθεί στο τροχιακό υψόμετρο που πρέπει) και το κόστος του καθώς θα χρειαστεί υλικό που να αντέχει τις υψηλές θερμοκρασίες (κατά την περίοδο που θα επιστρέφει στην Γη) ή ακόμα και κομμάτια που θα βοηθούν στον έλεγχο της πτήσης του. Από την άλλη πλευρά όμως, η οικονομική απόσβεση του θα γίνεται πολύ γρήγορα.

Χρήση λέιζερ

Η επέμβαση της τεχνολογίας και σε αυτή την περίπτωση είναι καίρια. Η χρήση ειδικών λέιζερ και ενεργειακών συστημάτων από την επιφάνεια της Γης, θα μπορέσει να αποτελέσει μια προσωρινή λύση για το διάστημα και να προστατέψει το περιβάλλον του, τους δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά και τον Διεθνή Διαστημικό που έχει απειληθεί αρκετές φορές. Τα λέιζερ κατά την χρήση τους, στέλνουν ενέργεια η οποία ασκεί δύναμη σε ένα διαστημικό αντικείμενο άμεσα χωρίς να έρχεται σε φυσική επαφή με το αντικείμενο. Σκοπός τους είναι είτε να το μετακινήσουν (την τροχιά του) ή ακόμα και να το στείλουν προσωρινά σε υψηλότερα τροχιακά επίπεδα στα οποία δεν συναντάται μεγάλος αριθμός υπολειμμάτων για να δημιουργηθούν κίνδυνοι σύγκρουσης. Επιπλέον μπορούν να το ασκήσουν δύναμη και να αποκτήσει κατεύθυνση προς την Γη, έτσι ώστε όταν μπει στην ατμόσφαιρα να καταστραφεί μόνο του. Η χρήση του επίγειου λέιζερ (ground based laser), προτάθηκε σαν ιδέα στο έργο της NASA, το Orion (Claude Phipps, 1996). Σύμφωνα με την ανάλυση κόστους και συγκριτικά με άλλες μεθόδους απομάκρυνσης διαστημικών συντριμμιών, η χρήση επίγειου λέιζερ είναι μια οικονομική λύση (για μικρά αντικείμενα μέχρι 10 εκατοστά), παρά το γεγονός ότι πολλοί επιστήμονες κατακρίνουν αυτή την μέθοδο γιατί θεωρούν ότι μπορεί να προκαλέσει άθελα ζημιά σε δορυφόρους.

Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι απλός και αποτελείται από μερικά στάδια. Αρχικά, μέσω της χρήσης ραντάρ, εντοπίζεται το αντικείμενο στο διάστημα και κλειδώνεται η θέση του. Επειδή πρόκειται για αντικείμενα μικρού μεγέθους που κινούνται με πολύ μεγάλες ταχύτητες στην τροχιά της Γης, παρακολουθούνται συνήθως για αρκετή ώρα για να στοχεύσουν τα τηλεσκόπια που εστιάζει το λέιζερ και εν συνέχεια να μπορέσει να ξεκινήσει η διαδικασία που στέλνει την ενέργεια που χρειάζεται για το αντικείμενο σηματοδοτώντας με ακρίβεια (Campbell, 2013)..

Όσων αφορά όμως τα λέιζερ, μπορεί να υπάρχουν και αυτά που βρίσκονται στην τροχιά και όχι στην επιφάνεια της. Στην περίπτωση αυτή, το λέιζερ μπορεί να βρίσκεται σε οποιοδήποτε σημείο θέλει και να «παίρνει» ευνοϊκές γωνίες έτσι ώστε κατά την χρήση του, να στέλνει τα αντικείμενα προς τα κάτω για να μουν στην ατμόσφαιρα της Γης και να καταστραφούν από τις υψηλές θερμοκρασίες (Campbell, 2013). Αυτό συνεπάγεται ασταμάτητη χρήση του λέιζερ για τον καθαρισμό του διαστήματος από συντρίμια, καθώς οι αποστάσεις είναι μικρές οι γωνίες

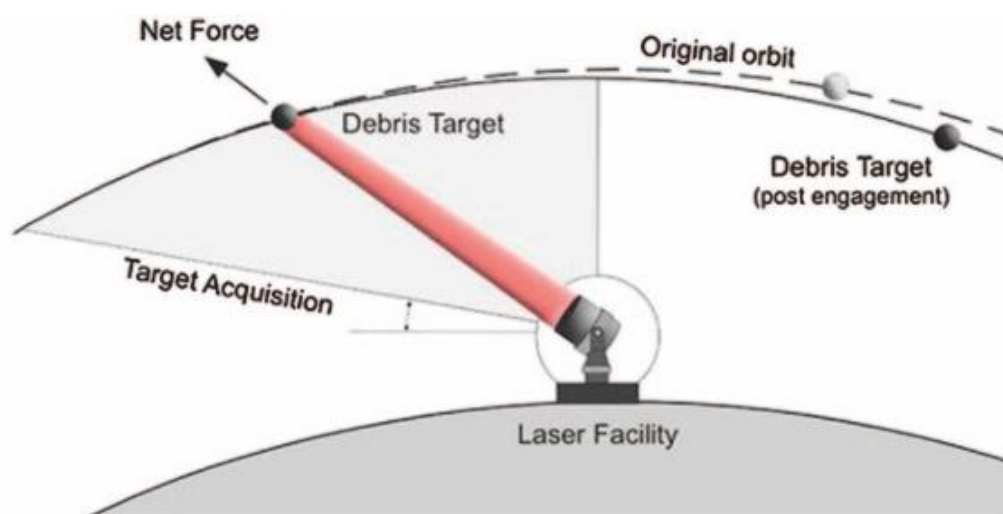
προσαρμόζονται εύκολα και επομένως θα μπορεί να «πυροβολεί» χωρίς να χάνει χρόνο για να κλειδώνει την θέση όπως στην περίπτωση του επίγειου λέιζερ.

Στην αναφορά Orion της NASA (1996) διατυπώθηκε ότι, η χρήση λέιζερ μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική για την αποφυγή συγκρούσεων στο διάστημα από την αποστολή σκαφών για τον καθαρισμό του χώρου για την περίπτωση μικρών αντικειμένων, διαφορετικά, μεγάλα αντικείμενα αν δεν καταστραφούν στην ατμόσφαιρα της Γης και φτάσουν στην επιφάνεια μπορεί να προκαλέσουν ζημιά.

Για άλλη μια φορά όμως το πρόβλημα μεταβιβάζεται στην οικονομική ενίσχυση. Η λειτουργία ενός λέιζερ και ειδικά αυτού που θα βρίσκεται στο διάστημα και όχι στην επιφάνεια της Γης, απαιτεί ενέργεια και φυσικά συντήρηση, συνεπώς μεγάλα έξοδα. Εικάζεται ότι σε μερικά χρόνια θα έχει επιτευχθεί η λειτουργία τους με πολύ χαμηλότερα κόστη και θα μπορούν να ανιχνεύουν και να συμβάλλουν στην συνεχή καταστροφή διαστημικών συντριμμιών (Lowndes, 2024).

Ένα ακόμα πρόβλημα που συναντά αυτή η μέθοδος, αφορά το δίκαιο του διαστήματος. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω στο αντίστοιχο κεφάλαιο, ένα κράτος δεν έχει το δικαίωμα να αγγίξει κάποιο αντικείμενο το οποίο δεν εκτοξεύτηκε από αυτή. Ακόμα και μια ιδιωτική εταιρία της Αμερικής να αναπτύξει μια αποτελεσματική μέθοδο χρήσης λέιζερ, δεν θα έχει την δυνατότητα να την χρησιμοποιήσει για να μετακινήσει έναν Γερμανικό δορυφόρο (έως ότου το επιτρέψει η νομοθεσία).

Εικόνα 6 Διαδικασία εκτροπής αντικειμένων μέσω λέιζερ για την αποφυγή σύγκρουσης



ΠΗΓΗ: (Pelton, 2013)

Αποστολή Ρομπότ Εφοδιασμού της NASA (NASA Robotic Refueling Mission)

Η ρομποτική αυτή αποστολή της NASA ξεκίνησε μέσα στο 2009 και ολοκληρώθηκε με την εκτόξευση του στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό το 2011. Το μηχάνημα - ρομπότ αυτό ζυγίζει γύρω στα 250κιλά. Περιλαμβάνει πολλά εργαλεία όπως θερμικές κουβέρτες, καπάκια βαλβίδες, καύσιμα κ.α. τα οποία χρησιμοποιούνται για την επισκευή και συντήρηση κυρίως δορυφόρων στο διάστημα, είτε ενεργών είτε ανενεργών (Pelton, 2015). Περιλαμβάνει περίπου 1,7 λίτρα αιθανόλης και αποδεικνύει την δυνατότητα μεταφοράς υγρού στο διάστημα. Πρόκειται για την πρώτη ρομποτική αποστολή στο διάστημα η οποία απέδειξε το πόσο επιτυχής και με ακρίβεια μπορεί να γίνει η συντήρηση δορυφόρων στο διάστημα με εξ αποστάσεως έλεγχο. Στο έργο αυτό συνέβαλε και το канаδέζικης κατασκευής ρομπότ “DEXTRE” το οποίο αυτή την στιγμή βρίσκεται στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό (NASA, 2013).. Το ρομπότ αυτό θα μπορούσε εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί και για την συλλογή ανενεργών δορυφόρων και να τους οδηγήσει εκτός τροχιάς της Γης, οι οποίοι είτε δεν επισκευάζονται, είτε δεν σκοπεύουν τα κράτη που τους εκτόξευσαν να προβούν σε τέτοιες ενέργειες (Pelton, 2015). Η αποστολή αυτή ήταν πιο οικονομική από την προηγούμενη της NASA (Orbital Express Space Operations Mission) και μπορούσε να εκτελέσει περισσότερες επισκευές και συντηρήσεις δορυφόρων.

Εικόνα 7 Τοποθέτηση του RRM στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό



Πηγή: (NASA, 2011)

Πρόγραμμα Phoenix από την DARPA

Όπως τα προηγούμενα προγράμματα – αποστολές, έτσι και αυτό, ασχολείται με την κατασκευή ρομπότ το οποίο θα είναι ικανό να διορθώσει – επισκευάσει δορυφόρους στο διάστημα. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα στο οποίο συμμετέχει η Υπηρεσία Προηγμένων Ερευνητικών Προγραμμάτων (DARPA) και το Ναυτικό Ερευνητικό Εργαστήριο των ΗΠΑ (NRL). Σκοπός του ρομπότ αυτού είναι να μετακινεί αντικείμενα στο διάστημα για την αποφυγή συγκρούσεων και δημιουργία νέων συντριμμιών και να διορθώνει προβλήματα σε δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά ή ακόμα και να τους αναβαθμίζει (Henshaw, 2014). Είναι σχεδιασμένο να εκτελεί αποστολές ακόμα και στην γεωσύγχρονη τροχιά της γης (GEO), σχεδόν 36.000 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης. Θέλουν να στοχεύσουν επίσης και στην δυνατότητα του να εγκαθιστά συστήματα που θα μπορούν να εντοπίζουν ζημιές μέσω του τηλεσκοπίου Hubble.

Το πρόγραμμα αυτό πέρα από τη συντήρηση και συλλογή κατεστραμμένων δορυφόρων, ασχολείται και με τον σχεδιασμό τεχνολογικά πιο εξελιγμένων δορυφόρων. Πολλοί επιστήμονες πιστεύουν ότι ένα εναλλακτικό σενάριο το οποίο ίσως επιτευχθεί κάποια μέρα είναι η συλλογή εξαρτημάτων από ανενεργούς δορυφόρους που βρίσκονται στο διάστημα και η χρήση τους για την επισκευή ή ακόμα και κατασκευή νέων (Pelton, 2015). Αυτός είναι ένας πολύ καλός τρόπος για τον καθαρισμό του διαστήματος από αντικείμενα δορυφόρων τα οποία θα μπορέσουν να ανακυκλωθούν, να επαναχρησιμοποιηθούν και να εξοικονομηθούν χρήματα. Τα χρήματα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν για την επένδυση σε τεχνολογίες καθαρισμού του διαστήματος.

Εικόνα 8 Τεχνολογία της DARPA για την χρήση εξαρτημάτων απο ανενεργούς δορυφόρους

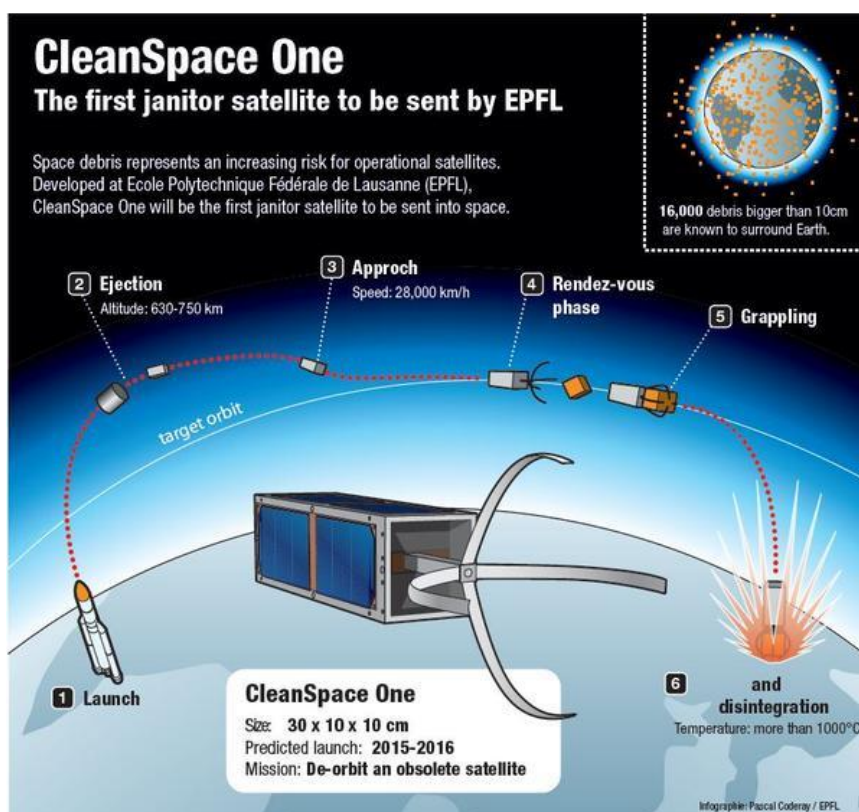


ΠΗΓΗ:
(DARPA,
2014)

Clear Space One

Η αποστολή Clear Space One είναι μια αποστολή απομάκρυνσης – εκκαθάρισης του διαστήματος από συντρίμια. Πρόκειται για ένα έργο του Ελβετικού Διαστημικού Κέντρου σε συνεργασία με την Πολυτεχνική Σχολή της Λοζάνης (Pelton, 2015). Το έργο ξεκίνησε το 2009 και η αποστολή της εκτόξευσής του ολοκληρώθηκε αρκετά χρόνια αργότερα. Στα τεχνικά θέματα, το ρομπότ αυτό αποτελείται από τέσσερεις ρομποτικούς «βραχύνες» και ζυγίζει κοντά στα 113 κιλά. Κόστισε συνολικά 86 εκατομμύρια ευρώ. Το Ελβετικό Διαστημικό Κέντρο τονίζει πως η ασφάλεια και η καθαριότητα του διαστήματος βρίσκεται στο χέρι του κάθε κράτους, αν καθαρίζουν τα υπολείμματα που αφήνουν στο διάστημα. Με τα σημερινά δεδομένα, υπάρχουν τουλάχιστον 22.000 αντικείμενα μεγαλύτερα των 10 εκατοστών στο διάστημα (τα οποία είναι πιο καίρια για να καθαριστούν). Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διαδικασία που θα ακολουθήσει το ρομπότ της αποστολής Clean Space One το οποίο θα εκπληρώσει την πρώτη του προσπάθεια κατά προσέγγιση, μέσα στο 2026.

Εικόνα 9 Clean Space One: Η Ελβετική αποστολή για να λύσει το πρόβλημα των διαστημικών συντριμμιών



ΠΗΓΗ: (EPFL Space Center, 2009)

ConeXpress Orbital Life Extension Vehicle (Όχημα επέκτασης ζωής των δορυφόρων)

Η μέση ζωή ενός δορυφόρου τηλεπικοινωνίας είναι 10 με 15 χρόνια. Έπειτα ο δορυφόρος αφότου παύει να λειτουργεί παραμένει στην τροχιά της Γης έως ότου συγκρουστεί με κάποιο αντικείμενο και διαλυθεί ή με την πάροδο πάρα πολλών χρόνων ίσως καταφέρει να βγει εκτός τροχιάς και καταστραφεί καθώς εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της Γης. Το πρόβλημα όμως είναι το γεγονός ότι αυτός ο δορυφόρος εξακολουθεί να περιλαμβάνει λειτουργικά του μέρη τα οποία δεν αξιοποιούνται και οδηγούν σε περιττή σπατάλη χρημάτων στην κατασκευή νέων δορυφόρων (Doug C., 2006). Μπορεί η εκμετάλλευση αυτών των μερών του δορυφόρου να είναι δύσκολη, η επέκταση όμως του προσδόκιμου ζωής των δορυφόρων μέσω του ConeXpress ίσως είναι εφικτή (Doug C., 2006).

Πρόκειται για ένα ειδικό διαστημόπλοιο το οποίο αποσκοπεί στη «υποστήριξη» των δορυφόρων καθώς προσκολλάται πάνω σε αυτούς, τους προωθεί και τους καθοδηγεί με αποτέλεσμα να παραμένει ενεργός ή ακόμα και να τον μετακινεί σε περίπτωση που βρίσκεται σε λάθος τροχιακό σημείο. Πρόκειται για ένα πρωτότυπο πρότζεκτ από την Orbital Recovery Limited του Ηνωμένου Βασιλείου (Doug C., 2006).

Το ConeXpress Orbital Life Vehicle (CX-OLEV) βοηθάει ουσιαστικά στην επέκταση του προσδόκιμου ζωής του δορυφόρου στον οποίο θα προσκολληθεί (έως και 12 χρόνια επιπλέον), ή απλά διορθώνει τις συντεταγμένες του σε περίπτωση που βρίσκεται σε λάθος σημείο στο διάστημα από αυτό που ορίστηκε. Αυτό μπορεί να το πετύχει ακόμα και με δορυφόρους που δεν είναι σχεδιασμένα για να συνδέονται με εξωτερικά «αντικείμενα». Η συντήρηση και η επέκταση του ορίου ζωής των δορυφόρων είναι ένα ζήτημα που απασχολεί την NASA εδώ και 60 χρόνια. Η Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία έκανε μελέτες για να καταφέρει να υλοποιήσει μια τέτοια ιδέα από το 1990. Η πρώτη επιτυχημένη προσπάθεια έγινε από μια γερμανοϊαπωνική εταιρία 10 σχεδόν χρόνια αργότερα, φτάνοντας στο σήμερα στην περίπτωση του CX-OLEV (Agency, 2006, σ. 56).

Η εκτόξευσή του πραγματοποιείται μέσω του πυραύλου Ariane-5 που του επιτρέπει να κάνει ακόμα και αποστολές σε υψηλά (GEO) υψόμετρα της τροχιάς της Γης. Η πλατφόρμα του CX-OLEV κατασκευάζεται στην Ολλανδία και θα ζυγίζει 1400κιλά μαζί με τον πύραυλο εκτόξευσης. Θα έχει κωνικό σχήμα και ηλιακούς

συλλέκτες με άνοιγμα 15μέτρων που θα παράγουν 4kW. Αφότου εκτοξευθεί και αποκολληθεί από τον πύραυλο, ανοίγουν οι συλλέκτες και ξεκινάει το ταξίδι του για το GEO, το οποίο μπορεί να διαρκέσει και 6 μήνες. (Doug C., 2006). Η εικόνα του στο τελικό στάδιο θυμίζει έναν κλασικό δορυφόρο επικοινωνίας.

Εικόνα 10 Η στιγμή που ο CX OLEV ετοιμάζεται για προσκόλληση με



ΠΗΓΗ: (Doug C., 2006)

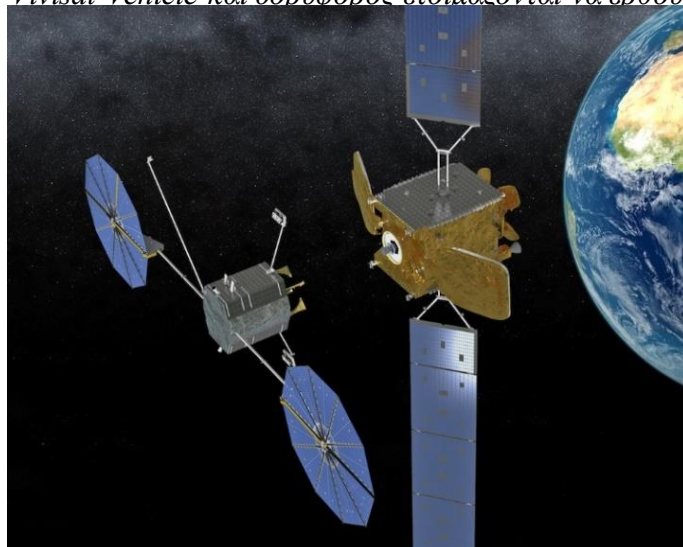
Vivisat Mission Extension Vehicle

Πρόκειται για μια αποστολή η οποία δεν διαφέρει πολύ από αυτή του CX-OLEV που αναπτύχθηκε παραπάνω. Και σε αυτή την περίπτωση σκοπός του «οχήματος» που εκτοξεύεται στο διάστημα είναι να βοηθήσει τους δορυφόρους να παραμείνουν σε λειτουργία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και να απαλλαγούν από παλιούς μη λειτουργικούς δορυφόρους που «περιπλανιούνται» στο διάστημα. Η εταιρία ισχυρίζεται ότι σε σχέση με άλλα προγράμματα, στο συγκεκριμένο, υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης με περισσότερο από έναν δορυφόρους και με χαμηλότερο κόστος (Pelton, 2015). Αντίστοιχα και εδώ προσκολλάται με δορυφόρους που δεν έχουν καύσιμα λειτουργίας ή έχουν χάσει την κατεύθυνση τους.

Το πρότζεκτ αυτό ξεκίνησε με την συνεργασία των Διαστημικών Δυνάμεων των Ηνωμένων Πολιτειών και της ATK Space Systems. Η πρώτη ήταν η πηγή χρηματοδότησης και η δεύτερη για την τεχνική ανάπτυξη. Δυστυχώς η συμφωνία που κάναν εξ αρχής άλλαξε, καθώς άλλαξαν τα πλάνα του προγράμματος και η ATK ζήτηση επιπλέον χρήματα (πέρα από τα αρχικά 3 εκατομμύρια). Χρειαζόταν λοιπόν πλέον νέους χρηματοδότες οι οποίοι μέσω συμβολαίου ήθελαν να διασφαλίσουν ότι θα επιτευχθεί η ανάπτυξη του προγράμματος. Εν τέλει οι δυο πλευρές δεν τα βρήκαν μεταξύ τους και κατέφυγαν σε δικαστήρια. Προέκυψαν επόμενοι χρηματοδότες του

προγράμματος, παρόλα αυτά καμία συμφωνία δεν επικυρωποιήθηκε και το πρότζεκτ παρέμεινε στην «σκιά» από το 2012 μέχρι και σήμερα (Foust, 2016).

Εικόνα 11 Vivisat Vehicle και δορυφόρος ετοιμάζονται να έρθουν σε επαφή



ΠΗΓΗ: (Foust, 2016)

McDonald Dettwiler Associates's Space Infrastructure Servicing (SIS) Vehicle

Το όχημα MDA Space Infrastructure Servicing (SIS) είναι ένα ειδικό ρομπότ που μπορεί να κάνει διαφορετικές εργασίες στο διάστημα. Παρόμοιο μοντέλο συντήρησης – επιδιόρθωσης δορυφόρων όπως και τα παραπάνω, το SIS Vehicle συμβάλλει στην προστασία του διαστημικού χώρου από την εκτόξευση αχρείαστων δορυφόρων ενώ μπορούν να συντηρηθούν αρκετοί από τους υπάρχοντες (Pelton, 2015). Βασίζεται σε άλλα ρομπότ που έχει φτιάξει στο παρελθόν η εταιρία για την NASA και την Καναδική Διαστημική Υπηρεσία καθώς και για το Υπουργείο Άμυνας. Περιλαμβάνει έναν ειδικό βραχίονα ο οποίος ασχολείται με την επισκευή δορυφόρων, κεραιών ή ακόμα και ηλιακούς συλλέκτες. Το σημαντικότερο για το πρόβλημα του διαστήματος, είναι ότι μπορεί επίσης και να καθαρίσει τον χώρο από μικρά διαστημικά συντρίμια (Pelton, 2015). Η Intelsat (εταιρία που προσφέρει δορυφορικές υπηρεσίες) έδειξε ενδιαφέρον για την τεχνολογία της MAD αλλά δυστυχώς δεν μπόρεσαν να καταλήξουν σε συμφωνία οι δυο πλευρές.

Αργότερα η SES σύναψε συμφωνία με την SIS για την χρήση του ρομπότ τους προκειμένου να εφοδιάσει με καύσιμα δικούς της δορυφόρους. Η SES είναι μια από τις μεγαλύτερες εταιρίες ιδιοκτησίας και χειρισμού δορυφόρων στο διάστημα. Κατέχει σχεδόν 70 δορυφόρους σε τροχιές MEO και GEO. Όταν το πρόγραμμα υλοποιηθεί, η SES θα βάλει σε λειτουργία το όχημα για να κάνει συντήρηση τους δορυφόρους της.

Στο παρελθόν ακύρωσε για οικονομικούς λόγους συμφωνία με την DARPA για το όχημα Phoenix.

Εικόνα 12 Προσομοιωμένη εικόνα του SIS



ΠΗΓΗ: (Krebs, 2017)

Electro Dynamic Debris Eliminator (EDDE)

Τελευταίο τεχνολογικό πρότζεκτ που θα αναλυθεί είναι το Electro Dynamic Debris Eliminator το οποίο υποστηρίζεται από την Star-Tech Inc. Η τεχνολογία του δεν έχει καμία σχέση με αυτή των προηγούμενων περιπτώσεων. Πρόκειται για την χρήση ενός μεγάλου καλωδίου πολλών χιλιομέτρων το οποίο στην άκρη του θα έχει ένα μεγάλο δίκτυο για να μαζεύει τα συντρίμια. Χρησιμοποιεί ηλιακούς συλλέκτες και το καλώδιο αυτό το οποίο «κατευθύνει» τον EDDE καθώς αντιδρά στο μαγνητικό πεδίο της Γης. Ο καθαρισμός αφορά κυρίως τα συντρίμια που βρίσκονται σε επίπεδα χαμηλής τροχιάς LEO, αλλά δεν αποκλείεται να καταφέρει να φτάσει ακόμα και σε υψόμετρα έως και 2.000 χιλιομέτρων και να καθαρίσει τον χώρο του διαστήματος. Αυτό που επίσης ξεχωρίζει τον EDDE από τις παραπάνω τεχνολογίες, πέρα από τον τρόπο τροφοδοσίας του, είναι και η ταχύτητα του στο διάστημα καθώς μπορεί να ανέβει υψόμετρο έως και 200 χιλιόμετρα και να μετακινηθεί $1,5^\circ$ την ημέρα και να τις διατηρήσει. Έχει δηλαδή την δυνατότητα να ολοκληρώνει εργασία με κάποιο αντικείμενο και να προχωράει γρήγορα στο επόμενο (J. Pearson, 2010).

Ο τρόπος λειτουργίας του είναι απλός. Με την χρήση ειδικών τηλεσκοπίων γίνεται ο εντοπισμός του αντικειμένου που στοχεύει ο EDDE να περισυλλέξει. Αφότου εντοπιστεί και το «πιάσει» το μαζεύει μαζί με άλλα σε ειδικό δίκτυο και το απομακρύνει όσο είναι δυνατόν, ειδικά άμα βρίσκεται κοντά στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό. Σε άλλες περιπτώσεις «εκτροχιάζει» αντικείμενα με σκοπό να τα φέρει πίσω στην Γη με ασφαλή τρόπο (J. Pearson, 2010). Θεωρητικά και με βάση τις δυνατότητες του EDDE, τα στατιστικά λένε ότι 12 τέτοια οχήματα θα μπορούσαν σχεδόν να καθαρίσουν το διάστημα από τα συντρίμια μέσα σε 7 χρόνια. Συγκριτικά με άλλα προγράμματα, η υλοποίηση αυτού δεν αποσκοπεί μόνο στην μείωση των συντριμμιών στο διάστημα, αλλά στον ολικό καθαρισμό του.

Εικόνα 13 Προσομοιωμένη εικόνα του EDDE



ΠΗΓΗ: (Andrew T., 2017)

Σύστημα Επιτήρησης Διαστήματος της Πολεμικής Αεροπορίας – Air Force Space Surveillance System (AFSSS)

Όλα τα παραπάνω προγράμματα που είτε μείναν απλά σαν ιδέα γιατί δεν ενδιαφέρθηκε καμία εταιρία να τα χρηματοδοτήσει, είτε βρίσκονται σε εξέλιξη, χρειάζονται κάποιον «προσανατολισμό» για την περισυλλογή των αντικειμένων με την οποία προβλέπεται να ασχοληθούν. Η επέμβαση της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ σε αυτή την περίπτωση είναι σημαντική, γιατί αυτή κρατάει δεδομένα επιτήρησης του διαστήματος, δηλαδή λίστα με τα αντικείμενα στον χώρο (Pelton, 2015). Χρησιμοποιεί ραντάρ υψηλής συχνότητας (AFSSS) από το 1961 το οποίο βελτιώνεται συνεχώς και από το 2018 το S band το οποίο έχει μέγιστη εμβέλεια έως και 400 χιλιόμετρα. Μέχρι και το 1980 παρακολουθούσε τουλάχιστον 5.500 διαστημικά αντικείμενα. Σήμερα,

μετά από τόσες χιλιάδες εκτοξεύσεις δορυφόρων και πυραύλων στο διάστημα ασχολείται με την παρακολούθηση σχεδόν 22.000 αντικειμένων (Pelton, 2015)..

Το σύστημα επιτήρησης του Διαστήματος της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ βοηθά στην εύρεση και παρακολούθηση αντικειμένων στο διάστημα . Μέσω της τεχνολογίας που διαθέτει, αναγνωρίζει την επικινδυνότητα του αντικειμένου, ανάλογα με το μέγεθος και την κίνηση της τροχιάς του, ενώ παράλληλα ασχολείται και με την παρακολούθηση του καιρού στο διάστημα. Αυτό το σύστημα είναι επίσης σημαντικό για τον έλεγχο λειτουργίας του διαστημικού εξοπλισμού των χωρών και την προειδοποίηση για πιθανούς κινδύνους – επιθέσεις (Pelton, 2015). Πέρα από τις εγκαταστάσεις της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ, συμβολή στο έργο της παρακολούθησης των αντικειμένων έχουν και άλλες μεγάλες δυνάμεις όπως η Ρωσία και η Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA). Το 2014, ανακοινώθηκε συμφωνία με την Αυστραλία για την χρήση τοποθεσίας της για παρακολούθηση αντικειμένων με την χρήση λέιζερ και οπτικών συστημάτων (Pelton, 2015, σ. 28). Η Electro Optic Systems Pty Ltd θα αναλάμβανε την εκτέλεση του προγράμματος.

Τα δεδομένα επιτήρησης στο διάστημα αφορούν καταλόγους οι οποίοι περιλαμβάνουν όλα τα διαστημικά αντικείμενα και παρακολουθούν τις τροχιές του καθενός, ενώ επίσης μπορούν να κάνουν και προβλέψεις. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω πρόκειται για πληροφορίες τις οποίες διαχειρίζεται ο στρατός και είναι συνήθως απόρρητες και δεν θέλει να τις μοιραστεί. Η πολεμική αεροπορία των ΗΠΑ έχει μοιραστεί τέτοιες πληροφορίες στο παρελθόν σχετικά με διαστημικά αντικείμενα (Pelton, 2015). Πέρα από τον στρατό όμως, υπάρχει και απροθυμία των χωρών να μοιράζεται δικές της πληροφορίες που αφορά τους δορυφόρους έτσι ώστε σε περίπτωση σύγκρουσης μη προσδιορισμένων αντικειμένων στο διάστημα, να μην μπορούν να δοθούν ευθύνες εφόσον δεν φαίνεται σε ποιον ανήκει. Η επιτροπή από πλευράς της μπορεί να εφαρμόσει μέτρο μείωσης των τελών εγγραφής αντικειμένων στο διάστημα για τις χώρες που συνδράμουν περισσότερο. Από την πλευρά του στρατού, είναι πολύ δύσκολη η «βοήθεια» παρά το γεγονός ότι πρόκειται για ένα παγκόσμιο κοινό πρόβλημα. Από την πλευρά των χωρών όμως, πιθανότατα να μπορέσει να τις παροτρύνει να μοιραστούν περισσότερες πληροφορίες για τα αντικείμενά τους στο διάστημα. Πρόκειται για ένα σημαντικό μέτρο το οποίο θα βοηθήσει στην μείωση των συγκρούσεων στο διάστημα, είτε αφορά δορυφόρους είτε

συντρίμμια είτε άλλα αντικείμενα και συνεπώς θα σταματήσει να επιδεινώνει την ήδη κρίσιμη κατάσταση (Wang, 2016).

Solar Sail Devices - Ηλιακά Πανιά

Τα ηλιακά πανιά κατασκευάζονται από μια μεγάλη μεμβράνη η οποία καλύπτει την δομή του σκάφους (McInnes, 1999). Έχει μήκος 25 μέτρα και συνολικό βάρος 3 κιλά. Μοιάζει με ένα μεγάλο λεπτό φύλλο το οποίο μπορεί να τοποθετηθεί σε έναν δορυφόρο. Όταν ο δορυφόρος αυτός πάψει να λειτουργεί το ηλιακό πανί μπορεί να «τεθεί σε ισχύ» και να τον μετακινήσει σε πολύ μεγάλο υψόμετρο, πάνω από το GEO χρησιμοποιώντας την πίεση από το ηλιακό φως. Η διαφορά του με ένα ρομπότ από τις παραπάνω αποστολές, είναι ότι δεν χρειάζεται καύσιμο και μπορεί να συνεχίσει το έργο του μέχρι να φθαρεί το ίδιο το πανί. Πρόκειται για μια καθαρή και οικολογική και οικονομική πηγή ενέργειας, εφόσον το φως του ηλίου είναι απεριόριστο (McIneed, 1999). Από την μια, κάποια στιγμή ο δορυφόρος ο οποίος έχει μετατραπεί σε άχρηστο αντικείμενο και όχι ακόμα σε συντρίμμι, θα παραμείνει για εκατοντάδες χρόνια, πολλά χιλιόμετρα πάνω από την Γη, χωρίς να αποτελέσει πρόβλημα σύγκρουσης με κάποιο άλλο αντικείμενο, από την άλλη όμως, εάν δεν διαλυθεί σε αυτό το υψόμετρο, θα επιστρέψει και πάλι στην χαμηλή τροχιά της Γης (Ioannis G., 2019). Εάν το πανί δεν φθαρεί, προτείνεται η αποσύνδεση του από τον δορυφόρο έτσι ώστε να συνεχίσει να καταλαμβάνει μόνο του τροχιά που θα εξακολουθεί να είναι χιλιάδες χιλιόμετρα από την Γη. Θεωρητικά, εάν μετά από τόσα χρόνια έχει καθαρίσει ο χώρος του διαστήματος, αντικείμενα σαν και αυτό που θα προκύψουν και πάλι, δεν θα αποτελούν πρόβλημα. Πρόκειται δηλαδή ίσως για μια προσωρινή αλλά μακροχρόνια λύση στο πρόβλημα.

Εικόνα 14 Προσομοίωση Ηλιακού Πανιού από Βίντεο της NASA



ΠΗΓΗ: (NASA, 2011)

Sticky Foam “Spiderwebs”

Πρόκειται για ένα πρότζεκτ της Ρωσικής ερευνητικής ομάδας “StartRocket”. Ιδρύθηκε από τον Vlad Sitnikov και έγινε ευρέως γνωστή το 2018 όταν πρότεινε την ένταξη διαφημίσεων στο διάστημα για να μπορούμε να τις βλέπουμε με γυμνό μάτι το βράδυ. Πρόκειται για μια ιδέα που δεν έχει αρεστή από τον κόσμο. Ο Vlad όμως δεν έμεινε εκεί. Ο ίδιος κι όλες τόνισε πως «όταν μιλάμε για σκουπίδια στην Γη, έτσι θα πρέπει να μιλάμε και για σκουπίδια στην τροχιά της καθώς η τροχιά είναι και αυτή ένα μέρος του πλανήτη μας». Αναφέρθηκε επίσης και στην SpaceX του Elon Musk «η οποία θέλει να στείλει δεκάδες δορυφόρους στο διάστημα, αλλά όταν πάνε να λειτουργούν, κάποιος πρέπει να καθαρίσει τα υπολείμματά τους» (Carter, 2020).

Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια των συντριμμιών, τόσο περισσότερο αυξάνεται η αντίσταση τους με αποτέλεσμα να μην μπορούν να αναπτύξουν πολύ μεγάλες ταχύτητες στην τροχιά της Γης. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα να μπορέσουν τα συντρίμια να έρθουν στην ατμόσφαιρα της Γης και να καούν γρηγορότερα. Η δοκιμή αυτής της τεχνολογίας ήρθε για πρώτη φορά από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία αλλά λόγω ανησυχιών δεν υλοποιήθηκε ποτέ. Από την StartRocket, θεωρείται επίσης πως χρειάζονται κι’ άλλα δεδομένα προκειμένου να μπορέσουν να γίνουν πειράματα με τους δορυφόρους (Carter, 2020).

Το Sticky Foam – Test Foam Sat (TFS) θέλουν να έχει την μορφή ενός βαρελιού με κινητήρα και θα φέρνει εξωτερική μορφή «αράχνης» φτιαγμένη από αφρό, με συνολικό βάρος 5κιλά, 89.000\$ κόστος κατασκευής και σχεδόν άλλα τόσα για την εκτόξευσή του (θα ακολουθεί αποστολή εκτόξευσης πυραύλων – δορυφόρων και όχι ανεξάρτητα) (Carter, 2020). Καθώς θα περιφέρεται στο διάστημα και έρχεται σε επαφή με μικρά αντικείμενα, αυτά θα «κολλάνε» πάνω του. Η εταιρία εγγυάται ότι μέσα σε 5 χρόνια θα μπορέσει να μαζέψει 50 κιλά υπολειμμάτων. Αν το πρότζεκτ αυτό είναι επιτυχές, η εταιρία σκοπεύει να μπει στην δεύτερη φάση κατασκευάζοντας ισχυρότερο ανεξάρτητο δορυφόρο Foam Debris Catcher (FDC) μεγαλύτερου μεγέθους και κόστους το οποίο όταν βρεθεί στο τελικό του στάδιο στο διάστημα, θα βγάζει νήματα αφρού γύρω του και θα ακολουθεί την ίδια διαδικασία με το TFS, αλλά θα έχει την δυνατότητα να μαζεύει πολύ περισσότερα κιλά διαστημικών υπολειμμάτων (Carter, 2020). Ο ιδρυτής της StartRocket, Vlad Sitnikov, δεν έχει κάποια πρόταση χρηματοδότησης του έργου της εταιρίας του το οποίο βρίσκεται υπό ανάπτυξη. Είναι όμως πεπεισμένος ότι

θα ενισχύσει ο κόσμος σε αυτό το έργο, ενώ παράλληλα προτιμάει να μην συνεργαστεί με άλλες διαστημικές υπηρεσίες (Carter, 2020).

Εικόνα 15 Ψηφιακή Απεικόνιση του FDC



ΠΗΓΗ: (Carter, 2020)

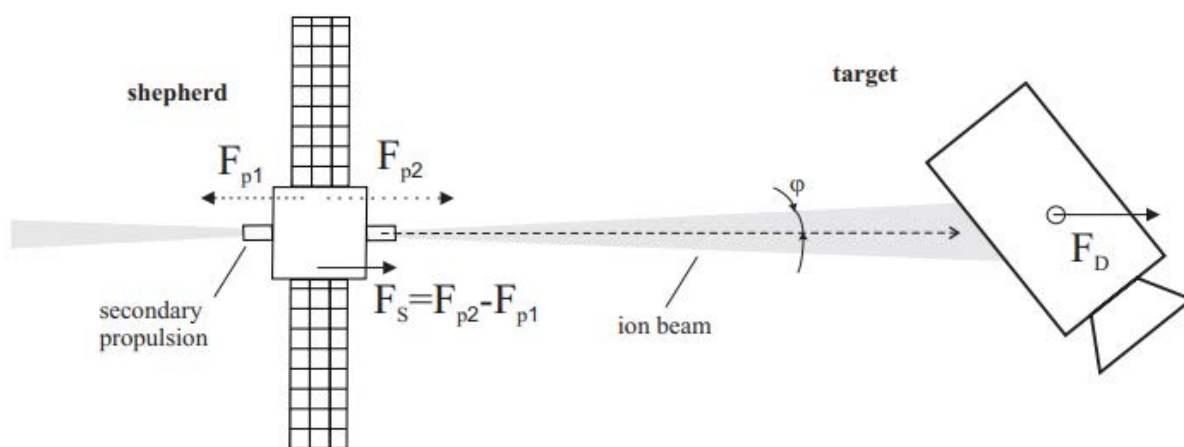
Δέσμες Ιόντων (Ion Beam)

Σε αυτή την περίπτωση, ο δορυφόρος διαθέτει δυο κινητήρες. Ο ένας εκτοξεύει δέσμες ιόντων (ταχύτατα κινούμενα σωματίδια) προς ένα διαστημικό αντικείμενο για να το μετακινήσει. Ο δεύτερος εξίσου σημαντικός βοηθάει τον δορυφόρο να διατηρεί την θέση του κατά την διαδικασία απομάκρυνσης αντικειμένων καθώς κατά την εκτόξευση της δέσμης ασκείται πίεση προς τον ίδιο τον δορυφόρο. Οι προωθητές του πρώτου κινητήρα χρησιμοποιούν βαριά ιόντα με υψηλά επίπεδα ενέργειας γεγονός που σημαίνει ότι η πίεση που μεταφέρουν όταν χτυπάν ένα αντικείμενο είναι μεγάλη και το μέρος της ενέργειας και της ορμής τους μπορεί να βλάψει τον δορυφόρο (Claudio B., 2011).

Για να βεβαιωθεί η μη σύγκρουση μεταξύ του δορυφόρου και του αντικειμένου που επιδιώκει να μετακινήσει, το IBS κρατάει μια σταθερή απόσταση μεταξύ 5 και 10 μέτρων, η οποία επιτρέπει στον τρόπο που «στέλνεται» το πλάσμα να είναι προβλέψιμος και να μετρηθεί με ασφάλεια η δύναμη που χρειάζεται να ασκηθεί στα αντικείμενα που καθαρίζει (Claudio B., 2011). Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διαδικασία κατά την οποία οι δέσμες ιόντων ασκούν δύναμη στο αντικείμενο – στόχο. Αυτό δέχεται μια δύναμη F_D που προέρχεται από την δέσμη ιόντων από τον πρώτο κινητήρα του δορυφόρου. Η δύναμη αυτή σχετίζεται με αυτή που ασκείται ταυτόχρονα

στον δορυφόρο και ισούται με F_{p1} . Για να μην απομακρυνθεί όμως ο δορυφόρος από το αντικείμενο (και εφόσον κρατάει μια απόσταση 5-10 μέτρων που αναφέρθηκε παραπάνω), η δύναμη αντίδρασης F_{p1} αντισταθμίζεται από τον δεύτερο δορυφόρο με δύναμη F_{p2} . Τελικά στον δορυφόρο ασκούνται δυο δυνάμεις, μια για τις δέσμες και μια για την σταθερότητα της θέσης του με συνολική δύναμη $F_s = F_{p2} - F_{p1}$ (Claudio B., 2011).

Διάγραμμα 3 Απομάκρυνση αντικειμένων με την χρήση δεσμών ιόντων και οι δυνάμεις που ασκούνται κατά την διαδικασία αυτή.



ΠΗΓΗ: (Claudio B., 2011).

Συμπεράσματα

Η αντιμετώπιση του προβλήματος των διαστημικών συντριμμιών είναι μια ιδιαίτερη περίπτωση η οποία δυστυχώς θα έπρεπε να είχε ληφθεί σοβαρά νωρίτερα. Παρόλα αυτά γίνονται προσπάθειες χρήσης τεχνολογικών μέσων για την επίτευξη του στόχου. Η ρομποτική τεχνολογία που αποτελεί το μέλλον μας για πολλούς επιστήμονες, φαίνεται πως αποτελεί και το μέλλον του διαστήματος. Δυστυχώς όμως οι τρόποι ώθησης των κρατών να απομακρύνουν τα υπολείμματα τους, αλλά και υλοποίηση όλων των παραπάνω προγραμμάτων απαιτεί μεγάλη χρηματοδότηση. Το χρήμα λοιπόν έχει έμμεση σχέση με τον καθαρισμό του χώρου του διαστήματος.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Η εξερεύνηση και η χρήση του διαστήματος που ξεκίνησαν από τον περασμένο αιώνα, άλλαξαν ριζικά την ζωή μας. Οι χιλιάδες εκτοξεύσεις είτε επιτυχημένες, είτε όχι, ήταν αυτές που οδήγησαν την επιστήμη του διαστήματος στο σήμερα. Μεγάλες εταιρίες όπως η Space X, η Blue Origin η Boeing και άλλες φέρνουν συνεχώς νέα διαστημικά πρότζεκτ τα οποία μέσω της κατάλληλης στήριξης κυρίως από τα κράτη τους αλλάζουν συνεχώς τα δεδομένα του διαστήματος. Η ενεργή αυτή όμως δραστηριότητα θέτει συνεχώς σε κίνδυνο τον χώρο του διαστήματος. Η εξέλιξη της τεχνολογίας αποσκοπεί στην διευκόλυνση της ζωής μας και γενικότερα στο καλύτερο βιοτικό επίπεδο. Από την άλλη όμως, αυτή η εξέλιξη επιφέρει πολλούς κινδύνους για το περιβάλλον. Έτσι και στο διάστημα, οι χιλιάδες εκτοξεύσεις γεμίζουν τον χώρο με αντικείμενα τα οποία μετά το πέρας της λειτουργίας τους γίνονται άχρηστα και επικίνδυνα. Οι δορυφόροι που παύουν να λειτουργούν και δεν συλλέγονται, συγκρούονται μεταξύ τους ή με άλλα αντικείμενα και δημιουργείται το πρόβλημα των διαστημικών συντριμμιών. Αυτά χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή και το μέγεθός τους. Ο ρυθμός καθαρισμού του διαστήματος είναι πολύ μικρότερος από τον ρυθμό των εκτοξεύσεων καθώς οι τόνοι υπολειμμάτων είναι χιλιάδες και οι συλλογή των άχρηστων αντικειμένων είναι πολύ δύσκολη πλέον. Από τις συγκρούσεις των αντικειμένων δημιουργούνται συνεχώς νέα συντρίμια τα οποία λόγω των ταχυτήτων που αναπτύσσουν στην τροχιά της Γης, δημιουργούν αυτόν τον φαύλο κύκλο. Πέρα από τον κίνδυνο νέων συντριμμιών, οι αστροναύτες που ταξιδεύουν εκεί έρχονται κι αυτοί αντιμέτωποι με τον κίνδυνο σύγκρουσης του σκάφους τους με κάποιο αντικείμενο η οποία μπορεί να είναι κρίσιμη για την σωματική τους ακεραιότητα. Οι κατευθυντήριες γραμμές για την προστασία του διαστήματος, τον περιορισμό των συντριμμιών και τον καθαρισμό του χώρου είναι ελλιπείς. Τα κράτη που δραστηριοποιούνται σε αυτό, δεν έχουν κίνητρο να ασχοληθούν με τον καθαρισμό των δικών τους αντικειμένων εφόσον δεν έχουν κάποιο κέρδους και φυσικά δεν έρχονται αντιμέτωπα με καμία ποινή. Το μόνο που τους περιορίζει είναι η χρήση ειδικών όπλων και η επίθεση σε αντικείμενα άλλων χωρών, το οποίο οδηγεί σε άλλα στρατιωτικά ζητήματα. Ακόμα και οι λίγες προσπάθειες που γίνονται για την απομάκρυνση συντριμμιών από το διάστημα με την χρήση προηγμένης τεχνολογίας θεωρούνται αδύνατες λόγω των δαπανών τους. Η θεωρία του Κέσλερ ίσως δεν μπορέσει να

διαψευστεί καθώς η πρόσβαση στο διάστημα γίνει αδύνατη για εκατοντάδες χρόνια έως ότου γίνει εκκαθάριση του χώρου. Τα διαστημικά συντρίμια θα κυριαρχούν στον χώρο και κάθε νέα εκτόξευση θα είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα συγκρουστεί με κάποιο αντικείμενο στο διάστημα. Δυο παράγοντες είναι αυτοί που καθορίζουν το μέλλον του διαστήματος. Ο ένας αφορά το διαστημικό δίκαιο το οποίο είναι πολύ «επικεκτός» απέναντι στις χώρες εκτόξευσης οι οποίες πολλές φορές αρνούνται να υπογράψουν κάποια συνθήκη η οποία φοβούνται ότι θα περιορίσει δικές τους μελλοντικές ενέργειες στο διάστημα. Ο άλλος αφορά το οικονομικό ζήτημα. Εδώ και δυο δεκαετίες περίπου, δεν είναι λίγες οι εταιρίες που εισάγουν νέα ρομποτικά προγράμματα για τον καθαρισμό του διαστήματος. Αυτά μπορεί να αφορούν ενίσχυση – θωράκιση δορυφόρων, επισκευές και συντηρήσεις τους, ή ακόμα και άμεσης απομάκρυνσης διαστημικών συντριμμιών. Κάποια από αυτά βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της υλοποίησης ενώ άλλα θα μπορούσαν να είχαν ολοκληρωθεί εάν δέχονταν χρηματοδότηση. Δυστυχώς η έκταση που έχει πάρει το πρόβλημα των διαστημικών συντριμμιών καθιστά την έγκαιρη λήψη μέτρων αντιμετώπισής του. Για την ώρα, η τεχνολογία που παρέχεται είναι αρκετά κοστοβόρα και η αδυναμία εύρεσης επενδυτών για την χρηματοδότηση αποστολών απομάκρυνσης αντικειμένων από το διάστημα δεν δίνει πολλά περιθώρια. Είναι πολύ πιθανό σε μερικά χρόνια το διάστημα να πάψει να είναι κοινός πόρος και η ιδιωτικοποίηση του ίσως είναι η μόνη ελπίδα για να μπορέσει να προστατευτεί το περιβάλλον του.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Department, Statista Research, (2023), “Number of active satellites from 1957 to 2022”, Statista Research Department

Pelton, Joseph N. (2013), “Space Debris and Other Threats from Outer Space”, Springer

Pelton, Joseph N. (2015), “New Solutions for the Space Debris Problem”, Springer Cham

Jasani, Bhupendra (1987), “Space Weapons and International Security”, A SIPRI Publication

Stares, Paul B. (1985), “The Militarization of Space: U.S. Policy”, Cornell University Press

Taylor, Michael W. (2007), “Trashing the solar system one planet at a time: earth’s orbital debris problem”, Fall

Garrett, Hardin. (1968), “The Tragedy of the Commons The population problem has no technical solution; it requires a fundamental extension in morality”, American Association for the Advancement of Science

Thomas, Malthus. (1798), “An essay on the Principle of Population”, Oxford World’s Classic

Stoller, P.L. (1995), “Protecting the white continent: is the Antarctic protocol mere words or real action?”, Arizona Journal of International and Comparative Law

Arvanitidis, P. , Almyriotou A., (2021) “The commons institution of Antarctica: a roadmap to governance of mankind resources”, Emerald Publishing Limited

Porras, D.A. (2006), “The ‘common heritage’ of outer space: equal benefits for most of mankind”, California Western International Law Journal

Coffey, S. (2009), “Establishing a legal framework for property rights to natural resources in outer space”, Case Western Reserve Journal of International Law

Gunnar Leinberg, (1989), “Orbital Space Debris”, Journal of Law and Technology

Trapp, Timothy Justin, (2013), “Taking up space by any other means: coming to terms with the nonappropriation article of the outer space treaty”, Law Review

Shenyan Chen, (2011), “The Space Debris Problem”, The Johns Hopkins University Press

Παπαδοπούλου, Αναστασία (2014), “Διαστημικά Υπολείμματα και Ζητήματα Ευθύνης στο Διεθνές Δίκαιο”, Θεσσαλονίκη, σ. 22

Hollingsworth, Gabrielle, (2013), “Space Junk: Why the United Nations must step in to save access to space”, Law Review

Oswald, M., S. Stabroth, and C. Wiedemann. 2006. “Upgrade of the MASTER Model.” European Space Agency MASTER 2005 Debris Environment.

Agency, European Space, (2023), “Number of Space debris objects by size”, ESA

Baker, Howard A., (1989), “Space Debris: Law and Policy in the United States”, Law review

BBC, (2012), “ISS crew take to escape capsules in space junk alert, NASA

Kimberly Segal, (2011), “NASA monitoring space junk near International Space Station”, CNN

Liou, J.-C., (2011), “An active debris removal parametric study for LEO”, COSPAR publication

Chen, Shenyan, (2011), “The Space Debris Problem”. The Johns Hopkins University Press

Beihang University, “Technical Research on Space Debris and Other Risks to Spacecraft and Satellites”, (2006-2009), “MacArthur Foundation.”

Mandl, Vladamir, (1932), “Pioneers of Space Law”, J. Bensheimer, Mannheim, 1st Edition, Nijhoff, Leiden,

Tronchetti, Fabio, (2013), “Fundamentals of Space Law and Policy”, Springer New York, NY

UNCOPUOS, (1959), “International Co-operation in the Peaceful Uses of Outer Space”, UNOOSA

Kopal V., (1996), “United Nations and the progressive development of international space law”, Brill | Nijhoff

UNCOPUOS, (1961), “1721 (XVI). “International co-operation in the peaceful uses of outer space”, UNOOSA

UNCOPUOS, (1963), “Declaration of Legal Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space”, UNOOSA

Stephan Hobe, Bernhard Schmidt-Tedd, Kai-Uwe Schrogl, Gerardine Meishan Goh, (2009), “Cologne commentary on space law. Vol. 1, Outer space treaty”, Carl Heymanns Verlag

F.G. von der Dunk, (2008), “A sleeping beauty awakens: the 1968 Rescue Agreement after forty years”, 34 Journal of Space Law

F.G. von der Dunk, (2006), “Space for tourism? Legal aspects of private spaceflight for tourist purposes”, American Institute for Aeronautics and Astronautics

UNCOPUOS, (2014), “Committee on the Peaceful Use Of Outer Space, “ Status of International Agreements relating to activities in outer space”, UNOOSA

Wang, Ting, (2016), “A Liability and Insurance Regime for Space Debris”, Taylor & Francis

Marietta Edit Benkoe, Kai-Uwe Schrogl, (2005), “Space Law: Current Problems and Perspectives for Future Regulation” Eleven International Publishing

Παναγιωτόπουλος, Χαράλαμπος, (2015), “Ευθύνη απο διαστημικά συντρίμια”, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Limperis, Peter T, (1998), “Orbital Debris and the spacefaring nations: international law methods for prevention and reduction of debris, and liability regimes for damage caused by debris”, Arizona Journal of International & Comparative Law

UNCOPUOS, (1979), “Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies”, UNOOSA

SPACE SYSTEMS COMMITTEE, (2022), “IAF SPACE SYSTEMS TECHNICAL COMMITTEE”, IAF

Friend, Robert B., (2008), “Orbital Express Program Summary and Mission Overview”, The Boeing Company, Advanced Network & Space Systems

Wolf, T , Reintsema, D , Sommer, B., (2010), “MISSION DEOS – PROOFING THE CAPABILITIES OF GERMAN’S SPACE ROBOTIC”, European Space Agency

Kaplan*, Marshall H., (2009), “AIAA SPACE 2009 Conference & Exposition”, Aerospace Research Central

Claude R. Phipps, Kevin L. Baker, Stephen B. Libby, Duane A. Liedahl, Scot S. Olivier, Lyn D. Pleasance, Alexander Rubenchik, James E. Trebes, E. Victor George, Bogdan Marcovici, James P. Reilly, Michael T. Valley, (2012), “Removing orbital debris with lasers”, Elsevier Ltd

Campbell, J. W., (2013), “Project ORION: Orbital Debris Removal Using Ground-Based Sensors and Lasers”, Nasa Technical Reports Server

Lowndes C., (2024), “Space trash lasers, explained”, Vox

National Aeronautics and Space Administration, (2013), “Robotic Refueling Mission”, NASA

NASA, (2011), “Robotic Refueling Mission (RRM)”, NASA

Carl Glen Henshaw, (2014), “The DARPA Phoenix Spacecraft Servicing Program: Overview and Plans for Risk Reduction”, Naval Center for Space Technology

DARPA, (2014), “Phoenix (Archived)”, Defense Advanced Research Projects Agency

EPFL Space Center, (2009), “CLEANSPACE ONE”, Espace

Doug Caswell, (2006), “ConeXpress Orbital Life Extension Vehicle”, European Space Agency

Foust, Jeff, (2016), “U.S. Space sues Orbital ATK over ViviSat venture”, Space News

Krebs, Gunter D, (2017), “SIS Servicing Vehicle (RSGS), Gunter’s Space Page

J. Pearson, J. Carroll, E. Levin, (2010), “Active Debris Removal: EDDE, the ElectroDynamic Debris Eliminator”, Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference

Andrew Tarantola, (2017), “The robots that will sweep Earth's skies”, European Space Agency

McInnes, Colin R., (1999), “Solar Sailing: Technology, Dynamics and Mission Applications”, Springer Praxis Books

Ioannis Gkolias, Camilla Colombo, (2019), “Towards a sustainable exploitation of the geosynchronous orbital region”, Springer Science + Business Media

NASA, (2011) , “Solar Sail Demonstrator”, NASA

Carter J., (2020), “We’ll Clean-Up Space Junk Using Sticky Foam ‘Spiderwebs’ In Orbit, Says Russian Space Startup”, Forbes