ePublishing

Open Schools Journal for Open Science

Vol 6, No 1 (2023)

Open Schools Journal for Open Science - Special Issue -Πρακτικά του «3ου Μαθητικού Συνεδρίου Έρευνας και Επιστήμης»

ΤΑ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΤΗΝ ΠΛΑΝΗΤΙΚΗ ΜΑΣ 'ΓΕΙΤΟΝΙΑ'

petros emmanouilidis, Μυρτώ Μακμίλλαν , Κωσταντίνος Καμούδης

doi: 10.12681/osj.32067

Copyright © 2023, petros emmanouilidis, Μυρτώ Μακμίλλαν , Κωσταντίνος Καμούδης

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0.

To cite this article:

emmanouilidis, petros, Μακμίλλαν M., & Καμούδης K. (2023). ΤΑ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΤΗΝ ΠΛΑΝΗΤΙΚΗ ΜΑΣ 'ΓΕΙΤΟΝΙΑ'. *Open Schools Journal for Open Science*, *6*(1). https://doi.org/10.12681/osj.32067

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 04/03/2026 17:30:45

https://epublishing.ekt.gr | **e-Publisher:** EKT | **Downloaded at:** 04/03/2026 17:30:45

ΤΑ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΣΤΗΝ ΠΛΑΝΗΤΙΚΗ ΜΑΣ 'ΓΕΙΤΟΝΙΑ'

Εμμανουηλίδης Πέτρος[1], Καμούδης Κωνσταντίνος[2],

Μακμίλλαν Μυρτώ - Τζένη[3]

[1] Λύκειο Κολλεγίου Αθηνών, [2] Λύκειο Κολλεγίου Αθηνών,

[3] Λύκειο Κολλεγίου Αθηνών, [4] Λύκειο Κολλεγίου Αθηνών

petrosem04@gmail.com, k.kamoudis@gmail.com,

mytzema04@gmail.com

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Αρβανίτης Κωνσταντίνος[1], Ραφιός Ξενοφών[2]

[1] Φυσικός, [1] Λύκειο Κολλεγίου Αθηνών, [2] Φυσικός, [2] Λύκειο Κολλεγίου Αθηνών

karvanitis@haef.gr, xrafios@haef.gr

Περίληψη

Από τη δεκαετία του 1950, υπολείμματα ή εξαρτήματα ανενεργών δορυφόρων ή διαστημόπλοιων που εκπλήρωσαν την αρχική τους αποστολή ή άλλα υλικά συνδεόμενα με διαστημικές αποστολές κινούνται στην τροχιά της Γης. Τα αντικείμενα αυτά, γνωστά σήμερα ως «διαστημικά απόβλητα» ("space debris"), δημιουργούν ένα νοητό πλέγμα γύρω από τον πλανήτη μας, ενώ ταυτόχρονα, λόγω των υψηλών ταχυτήτων που αναπτύσσουν, θέτουν σε κίνδυνο τους ενεργούς δορυφόρους. Η διαχείρισή τους αποτελεί επείγουσα ανάγκη. Τίθεται το ερώτημα: «Ποιες είναι οι πρακτικές που η επιστημονική κοινότητα πρέπει να υιοθετήσει, προκειμένου να περιοριστούν, κατά το δυνατόν, τα διαστημικά απόβλητα;». Η απάντηση θα δοθεί μέσα από την παρουσίαση των πρακτικών που ήδη εφαρμόζονται αλλά και των πρωτοβουλιών που βρίσκονται έως πρότινος σε πειραματικό στάδιο. Ελπίζουμε ότι, μέσα από την εργασία αυτή, θα προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα όχι μόνο για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της περισυλλογής των διαστημικών καταλοίπων, αλλά και τη δεοντολογία που πρέπει να διέπει εφεξής τις χώρες που δραστηριοποιούνται στο διάστημα.

Λέξεις κλειδιά: Αστρονομία, Διαστημικά Απόβλητα, Προστασία ή και Επισκευή Δορυφόρων, Low Earth Orbit (LEO), Ηθική του Διαστήματος

Ορισμός Διαστημικών Αποβλήτων

Διαστημικά απόβλητα ("space debris") ονομάζονται όλα τα αντικείμενα που κινούνται στην τροχιά της Γης και δεν εξυπηρετούν πλέον κανέναν σκοπό ή λειτουργία. Σε αυτά περιλαμβάνονται, κατά κανόνα, υπολείμματα ή εξαρτήματα ανενεργών δορυφόρων ή διαστημόπλοιων, καθώς και άλλα υλικά συνδεόμενα με διαστημικές αποστολές, όπως φλούδες μπογιάς, σχοινιά και άλλα. Υπάρχουν, βεβαίως, και κάποια αντικείμενα που διέφυγαν του ελέγχου των αστροναυτών, κατά τη διάρκεια διαστημικών περιπάτων, όπως, ένα γάντι του Edward White, μέλους του Gemini 4, το 1965.

Παρ' όλο που ανθρωπογενή τροχιακά συντρίμμια έκαναν την εμφάνισή τους ήδη από το 1957, χρονιά εκτόξευσης του πρώτου δορυφόρου «Sputnik 1», η επιστημονική κοινότητα δεν έχει ακόμη καταλήξει σε έναν καθολικώς αποδεκτό ορισμό του 'διαστημικού αποβλήτου'. Ένας λόγος είναι ότι οι μετεωρίτες άλλοτε συμπεριλαμβάνονται και άλλοτε εξαιρούνται από τα 'διαστημικά απόβλητα'. Η κυριότερη όμως αιτία είναι ότι δεν υπάρχει συμφωνία ως προς τη στιγμή «θανάτου» ενός δορυφόρου ή διαστημοπλοίου. Άραγε ένα διαστημικό όχημα μπορεί να θεωρηθεί ως 'διαστημικό απόβλητο', όταν σταματά να μεταδίδει πληροφορίες; Ή όταν τα καύσιμά του έχουν εξαντληθεί; Μήπως τελικά ο ολοκληρωτικός «θάνατος» ενός διαστημικού σκάφους επέρχεται όταν αρχίζει να διαλύεται; Αν ναι, τότε πώς καθορίζεται πόσο μικρά πρέπει να είναι τα θραύσματα και ποιο μέρος του διαστημικού οχήματος περιέχει τον «εγκέφαλο»; Είναι, λοιπόν, επιτακτική η ανάγκη να υπάρξει μία ομοφωνία μεταξύ των κρατών σχετικά με το πότε τα διαστημικά αντικείμενα μεταπίπτουν από ενεργά σε ανενεργά.

Μετεωροειδή και Σχετιζόμενες Δραστηριότητες

Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, η NASA δημιούργησε το πρόγραμμα μετεωροειδών ταυτόχρονα με την έναρξη του διαστημικού της προγράμματος. Το Διαστημικό Κέντρο Johnson, το Διαστημικό Κέντρο Πτήσεων Marshall, το Ερευνητικό Κέντρο Ames, το Κέντρο Διαστημικών Πτήσεων Goddard και το Ερευνητικό Κέντρο Langley έθεσαν σε εφαρμογή αυτόνομα προγράμματα μετεωροειδών με σκοπό να ερμηνευτεί η επικινδυνότητα κατά την σύγκρουση μετεωροειδών με διαστημικά σκάφη.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, στις έρευνες χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλο βαθμό οπτικές κάμερες, αλλά και ραντάρ από το έδαφος, ενώ πραγματοποιήθηκε μία σειρά πειραμάτων που εξέταζαν τις ζημιές που έφερε εξοπλισμός ο οποίος ερχόταν σε επαφή με διαστημικά συντρίμμια και ύστερα επανασυλλεγόταν. Ερευνήθηκε, ακόμα, πλήθος δειγμάτων διαπλανητικών σωματιδίων στρατοσφαιρικής σκόνης με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της φύσης των μετεωροειδών. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970, ένα εκ των συμπερασμάτων της έρευνας ήταν ότι ο κίνδυνος μετεωροειδών κοντά στη Γη, δηλαδή σε απόσταση λιγότερη των 2.000 χιλιομέτρων είναι ιδιαίτερα αυξημένος.

Μέσα στα επόμενα χρόνια, οι Ηνωμένες Πολιτείες ξεκίνησαν νέες μελέτες που, αυτή τη φορά, σκόπευαν να αποσαφηνίσουν την εξέλιξη των κομητών και των αστεροειδών και, ιστορικά, τις μεταβολές στο ηλιακό σύστημα.

Πολύ σημαντικός υπήρξε ο επαναπροσανατολισμός διαστημικών σκαφών με σκοπό την ελαχιστοποίηση ζημιών σε σημαντικές επιφάνειές τους, ύστερα από ειδοποίηση που δέχτηκε η NASA στις 27 Ιουλίου 1993 ότι θα ακολουθούσε καταιγίδα μετεωριτών στις 12 Αυγούστου 1993. Συνολικά, τουλάχιστον δύο αποτυχίες διαστημικών σκαφών πιθανόν προκλήθηκαν λόγω αυξημένης δραστηριότητας μετεωριτών, παρόλο που τα μοντέλα απορρίπτουν κάτι τέτοιο.

Αριθμός και Μέγεθος Διαστημικών Αποβλήτων

Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία του Γραφείου Διαστημικών Αποβλήτων της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος ('European Space Agency'), που βρίσκεται υπό την αιγίδα του Ευρωπαϊκού Διαστημικού Κέντρου Επιχειρήσεων ('European Space Operations Centre'), ο αριθμός των διαστημικών αποβλήτων ανέρχεται περίπου στα 22.300. Υπάρχουν, παρόλα αυτά, πολλά διαστημικά απόβλητα που είναι επί του παρόντος μη ανιχνεύσιμα. Τελικά, όπως εκτιμάται από στατιστικά μοντέλα, τα διαστημικά απόβλητα μεγαλύτερα των 10 εκατοστών είναι 34.000, μεταξύ του ενός και των δέκα εκατοστών είναι 900.000 και αυτά μεταξύ του ενός χιλιοστόμετρου και του ενός εκατοστού είναι 128.000.000.

Οι Επιπτώσεις των Διαστημικών Αποβλήτων

Τι κινδύνους εγκυμονούν, όμως, τα διαστημικά απόβλητα; Τα τελευταία περιστρέφονται γύρω από τη Γη με ταχύτητα που κυμαίνεται από 6 έως 8 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο, δηλαδή αγγίζουν έως και τα 28.000 χιλιόμετρα την ώρα. Λόγω των υψηλών ταχυτήτων που αναπτύσσουν, η σύγκρουση με διαστημικό απόβλητο ενδέχεται να καταστεί αιτία σημαντικών φθορών σε ενεργούς δορυφόρους ή διαστημόπλοια. Ενδεικτικά αναφέρονται η διάρρηξη του περιβλήματος των διαστημικών οχημάτων, η πρόκληση αποσυμπίεσης, αλλά και ο θάνατος αστροναυτών. Ευτυχώς, μέχρι στιγμής, δεν έχουν υπάρξει καταστροφικές συνέπειες από μία τέτοιου είδους πρόσκρουση. Βέβαια, περιστασιακά έχουν σημειωθεί φθορές, όπως το 2006, όταν ένα διαστημικό απόβλητο, διαμέτρου μικρότερης του ενός εκατοστού, συγκρούστηκε με τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό, αφαιρώντας ένα θραύσμα από ένα ιδιαίτερα ενισχυμένο παράθυρό του.

Η Κρισιμότητα της Κατάστασης

Ήδη από το 1973, οι δικηγόροι Paul Dembling και Swadesh Kalsi, με ειδίκευση στο Δίκαιο του Διαστήματος, υποστήριζαν ότι βρισκόμαστε στο κατώφλι μίας μη αντιστρέψιμης κατάστασης, αναφορικά με τα διαστημικά απόβλητα. Λίγα χρόνια αργότερα, οι επιστήμονες Burton Cour - Palais και Donald Kessler, που είχαν ασχοληθεί παλαιότερα με τον κίνδυνο της σύγκρουσης σκαφών με μετεωρίτες, προέβλεψαν ένα τρομαχτικό μέλλον εάν το ζήτημα των διαστημικών αποβλήτων δε διαχειρίζονταν σύντομα. Το 1978, αναπτύχτηκε μία θεωρία από κοινού των ιδίων, βάσει της οποίας η μεγάλη συγκέντρωση διαστημικών καταλοίπων στην τροχιά χαμηλού ύψους ('low earth orbit') θα μπορούσε να οδηγήσει σε αλυσιδωτές συγκρούσεις, με αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση των τροχιακών συντριμμιών. Η πραγματοποίηση του παραπάνω σεναρίου, του λεγόμενου Συνδρόμου Κέσσλερ, θα σήμαινε

πως οι διαστημικές αποστολές θα καθίσταντο ιδιαίτερα επικίνδυνες για πολλές γενεές, με αποτέλεσμα την παύση αποστολών από τη Γη για την εξερεύνηση του διαστήματος.

Ακόμα και χωρίς νέες εκτοξεύσεις ή και μεγάλες εκρήξεις, τα διαστημικά απόβλητα που βρίσκονται σε τροχιά χαμηλού ύψους είναι ήδη πολυάριθμα και, δυστυχώς, θα συνεχίσουν να πολλαπλασιάζονται ανά τους αιώνες. Αυτό συμβαίνει επειδή, εφόσον κινούνται ανεξέλεγκτα, η σύγκρουση μεταξύ τους είναι αναπόφευκτη και, άρα, θα προκύπτουν συνεχώς νέα τροχιακά συντρίμμια, μικρότερου μεγέθους. Επομένως, αντί να διακόψουμε τις μελλοντικές εκτοξεύσεις, θα ήταν προτιμητέο να επικεντρωθούμε στις λύσεις που έχουν προταθεί ως 'αντίμετρα' στη διαστημική ρύπανση. Άλλωστε, η εξερεύνηση του διαστήματος έχει αποτελέσει αφορμή για την ανάπτυξη ποικίλων εφαρμογών της Ιατρικής (βλ. μαγνητική τομογραφία και τεχνητά μέλη), έχει διευκολύνει την επικοινωνία και την πλοήγηση, έχει συμβάλλει στην πρόγνωση του καιρού και εν γένει στη βελτίωση της ποιότητας της ανθρώπινης ζωής.

Τρόποι Αντιμετώπισης του Προβλήματος

Η Εθνική Διαστημική Πολιτική του 1988 του Προέδρου Reagan αναφέρεται στις δραστηριότητες με σκοπό την ελαχιστοποίηση της δημιουργίας διαστημικών συντριμμιών, λαμβάνοντας υπ' όψη τους τομείς της πολιτικής, της νομικής, τεχνικού χαρακτήρα, όπως της κατασκευής διαστημικού εξοπλισμού, και της οικονομίας για τον καθορισμό προτύπων.

Συνολικά, η δημιουργία σκουπιδιών κυμαινόταν στα 150 θραύσματα ετησίως από το 1964 και έως το 1984, ενώ με την εφαρμογή των προτύπων μειώθηκαν στο ήμισυ μέχρι και τις αρχές του 21^{ου} αιώνα. Βέβαια, ήδη από την δεκαετία του 1990, γινόταν αντιληπτό το γεγονός ότι η παρουσία ελεύθερων αντικειμένων μπορεί να προκαλέσει την δημιουργία ακόμη περισσότερων θραυσμάτων έπειτα από συγκρούσεις.

Η συλλογή διαστημικών σκουπιδιών συμπεριλαμβάνει χρήση δικτυών για μικρότερα μεγέθη και καμάκια για μεγαλύτερα μεγέθη, συσκευές ενίσχυσης της έλξης και ηλιακά πανιά. Παρατίθενται παρακάτω οι σημαντικότερες πρωτοβουλίες:

Πρόγραμμα Orbital Express

Πρόγραμμα των NASA και DAPRA (Defense Advanced Research Project Agency) του 2007 που αφορούσε δύο διαστημόπλοια, το ASTRO και το μικρότερο NEXTSat. Σκοπός του προγράμματος ήταν η δημιουργία πρωτότυπων διαστημοπλοίων ικανών αυτοματοποιημένης συντήρησης σε τροχιά. Το ASTRO έχει μήκος 2 μέτρων, μάζα χιλίων κιλών και φέρει ένα ρομποτικό μέλος ικανό προσκόλλησης σε άλλα αεροσκάφη με σκοπό την επιδιόρθωση και ανατροφοδότησή τους. Το NEXTSat, το σκάφος «στόχος» του ASTRO, έχει διάμετρο ενός μέτρου και βάρος των 225 κιλών. Ο σχεδιασμός, κατασκευή και εκτόξευση των δύο αεροσκαφών είχε κόστος των 300 εκατομμυρίων δολαρίων.

Αποστολή DEOS (Deutsche Orbitale Servicing)

Παρόμοια με το Orbital Express Program, αυτή η αποστολή της Γερμανικής Υπηρεσίας Διαστήματος, DLR, αφορά δύο αεροσκάφη, Phase A και Phase B, τα οποία φέρουν τους ρόλους «ανεφοδιαστή» και «πελάτη» αντίστοιχα. Το αεροσκάφος A προσκολλάται στο αεροσκάφος B εν τροχιά και πραγματοποιεί τις απαραίτητες επιδιορθώσεις, θέτοντάς το, ταυτόχρονα, σε σωστή τροχιά. Σε περίπτωση που η παραπάνω διαδικασία δεν είναι

επιτυχής, το αεροσκάφος Α εκτροχιάζει το Β και τον εαυτό του, αποτρέποντας την μετατροπή του Β σε ανεξέλεγκτο διαστημικό απόβλητο.

Πρόγραμμα Robotic Refueling Module (RRM)

Πρόγραμμα της NASA που αφορά την ανάπτυξη μιας ρομποτικής μονάδας επιδιόρθωσης και ανεφοδιασμού διαστημοπλοίων. Ο σχεδιασμός της αποστολής ξεκίνησε το 2009 και πραγματοποιήθηκε μεταφορά της μονάδας το 2011 στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό με το διαστημικό λεωφορείο Atlantis. Η μονάδα έχει σχήμα κύβου ακμής περίπου 1 μέτρου και βάρους 250 κιλών. Η μονάδα φέρει πλήθος εργαλείων για επιδιορθώσεις διαστημοπλοίων και είναι, επίσης, συμβατή με παλαιότερα διαστημόπλοια που δεν υποστηρίζουν συστήματα εν κινήσει ανατροφοδότησης. Γενικώς, η μονάδα μπορεί να φέρει εις πέρας επιτυχώς πολλές περίπλοκες διαδικασίες, σύμφωνα με εντολές που λαμβάνει από την Γη, χάρει στην χρήση του εξελιγμένου ρομποτικού εργαλείου DEXTRE. Συνδέοντας το DEXTRE με την μονάδα RRM, το ρομπότ μπορεί να κάνει χρήση των εργαλείων στην μονάδα, ακολουθώντας πάντοτε οδηγίες από κάποια βάση, και να ολοκληρώσει διαδικασίες όπως μετακίνηση και χειρισμό καλωδίων, απομάκρυνση προστατευτικών καλυμμάτων και χρήση ειδικών βαλβίδων για την ανατροφοδότηση του σκάφους με καύσιμα. Το κόστος αυτής της αποστολής σε σχέση με το πρόγραμμα Orbital Express ήταν μικρότερο, ενώ η απόδοσή της μεγαλύτερη.

Phoenix Program της DARPA

Μια επέκταση του προγράμματος Orbital Express της DARPA, το οποίο αφορά την ανατροφοδότηση και επισκευή διαστημοπλοίων σε γεωσύγχρονη τροχιά – περίπου 36.000 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης. Το πρόγραμμα σκοπεύει στην χρήση τμημάτων μη λειτουργικών δορυφόρων σε τροχιά ως ανταλλακτικά για λειτουργικούς δορυφόρους. Χρησιμοποιώντας δορυφορικές μονάδες «Satlets», μικρές μονάδες των 7 κιλών που έχουν όλες τις λειτουργίες ενός δορυφόρου, το πρόγραμμα Phoenix σχεδιάζει την συλλογή και επαναχρησιμοποίηση τμημάτων κατεστραμμένων δορυφόρων. Η τακτική αυτή, όμως, αναμένεται να δημιουργήσει αρκετά νομικά ζητήματα περί ιδιοκτησίας στο διάστημα.

Πείραμα Raven

Επέκταση της αποστολής RRM, το πείραμα Raven εξετάζει συστήματα διαστημοπλοίων για αυτόματη πλοήγηση και προσκόλληση σε δορυφόρους για ανατροφοδότηση. Το σύστημα θα συμπεριλαμβάνει την αλληλεπίδραση με κάθε είδους δορυφόρο. Για το πείραμα χρησιμοποιείται το ρομπότ DEXTRE πάνω στο διαστημόπλοιο STP-H5 το οποίο θα αποχωρήσει από τον διεθνή διαστημικό σταθμό. Στόχος είναι η βελτίωση αισθητήρων ή λογισμικού με σκοπό την δημιουργία πλήρως αυτοματοποιημένων διαστημοπλοίων ανατροφοδότησης εν τροχιά.

CleanSpace One

Πρόγραμμα του Ελβετικού Διαστημικού Κέντρου (SSC), το οποίο γεννήθηκε από την πρωτοβουλία φοιτητή για την εκτόξευση ενός μικρού κυβικού δορυφόρου για την καταγραφή ορισμένων επιστημονικών μετρήσεων, μια αποστολή την οποία εκπλήρωσε το 2009. Το 2012, ο καθηγητής και διευθυντής του SSC, Volker Gass πρότεινε την δημιουργία ενός νέου δορυφόρου για τον εντοπισμό και εκτροχιασμό του κυβικού δορυφόρου, πρόταση που οδήγησε στην αρχή του προγράμματος CleanSpace One. Το διαστημόπλοιο είναι ένας δορυφόρος 3 βασικών τμημάτων, μήκους 30 εκατοστών, του οποίου η εκτόξευση θα γίνει το 2025. Σκοπός του δορυφόρου θα είναι να παγιδεύσει τον στόχο του μέσω μιας δαγκάνας και

να εκτροχιάσει τον εαυτό του, μαζί με τον παγιδευμένο δορυφόρο. Λόγω υψηλών θερμοκρασιών κατά την πτώση, αναμένεται ο δορυφόρος και ο στόχος του να αποτεφρωθούν πλήρως.

Electro Dynamic Debris Eliminator (EDDE)

Μακροχρόνιο πρόγραμμα της Star-Tech Inc. Το EDDE αποσκοπεί στην δημιουργία ενός δορυφόρου που μέσω της χρήσης μεγάλων πανιών θα εκτροχιάζει διαστημικά απόβλητα σε χαμηλές τροχιές. Το EDDE θα φέρει επίσης ένα καλώδιο μήκους μερικών χιλιομέτρων που, κινούμενο μέσα από το μαγνητικό πεδίο της Γης θα παράγει αρκετή ηλεκτρική ενέργεια για να κρατά το EDDE σε λειτουργία. Σε σχέση με άλλα συστήματα, το EDDE έχει ξεκάθαρα πλεονέκτημα καθώς εκτροχιάζει πολλά απόβλητα ταυτόχρονα, χρησιμοποιώντας μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, το μαγνητικό πεδίο της Γης, για την λειτουργία του. Το πρόγραμμα, όμως, δεν έχει ελεγχθεί με πειράματα, καθώς ακόμη βρίσκεται σε στάδιο σχεδιασμού.

Επίγεια συστήματα

Μια βασική προσέγγιση όσον αφορά επίγεια συστήματα είναι η δημιουργία λέιζερ ή συστημάτων εκπομπής σωματιδίων τα οποία, στοχεύοντας ένα διαστημικό απόβλητο που πρόκειται να συγκρουστεί, προκαλούν μια μικρή αλλαγή στην τροχιακή του ταχύτητα, αποτρέποντας, έτσι, την σύγκρουσή του. Βέβαια, η αποφυγή συγκρούσεων δεν είναι η μόνη επιλογή, καθώς η τοποθέτηση ενός τέτοιου συστήματος στον διεθνή διαστημικό σταθμό θα επέτρεπε τον πλήρη εκτροχιασμό διαστημικών αποβλήτων σε χαμηλές τροχιές.

Παθητικά συστήματα εκτροχιασμού

Μια συνηθισμένη και τεχνολογικά εφικτή ιδέα είναι η ενσωμάτωση ειδικών συστημάτων σε δορυφόρους χαμηλών τροχιών για την επιδείνωση της ατμοσφαιρικής τριβής μετά τον «θάνατο» του δορυφόρου. Τέτοια συστήματα περιλαμβάνουν φουσκωτά μπαλόνια, φουσκωτές μεμβράνες, ηλιακά πανιά ή, ακόμη, και ιοντικούς ή χημικούς προωθητήρες. Προκαλώντας περισσότερη τριβή, τέτοια συστήματα μπορούν να εκτροχιάσουν μη λειτουργικούς δορυφόρους συντομότερα, μειώνοντας, έτσι, την ποσότητα διαστημικών σκουπιδιών. Τέτοια συστήματα είναι αυτήν την στιγμή εφικτά, με παράδειγμα το προϊόν της ιταλικής D-Orbit, ένα σύστημα προωθητήρα και κέντρου ελέγχου που, λειτουργώντας ανεξάρτητα από τον δορυφόρο, ενεργοποιείται και εκτροχιάζει το όχημα μετά από ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα.

Συγκολλητικά υλικά

Επίσης πιθανή είναι η κατασκευή ενός δορυφόρου ικανού εκτόξευσης ειδικών διαστελλόμενων ουσιών πάνω σε κοντινά απόβλητα. Τέτοιες ουσίες θα κολλούν πάνω στα απόβλητα, αυξάνοντας ατμοσφαιρική τριβή και προκαλώντας πρόωρο εκτροχιασμό. Μια παρόμοια ιδέα αφορά την απελευθέρωση αερίων που παρομοίως αυξάνουν την ατμοσφαιρική τριβή. Για τις παραπάνω ιδέες, αν και οι ίδιες έχουν προσομοιωθεί, δεν έχουν γίνει τα κατάλληλα πειράματα για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητά τους. Επιπλέον, αυτές οι λύσεις αφορούν μόνο μικρούς δορυφόρους σε χαμηλές τροχιές.

Το Νομικό Πλαίσιο

Στη συνέχεια, οφείλουμε να εξετάσουμε εάν η αφαίρεση των διαστημικών αποβλήτων είναι μία νόμιμη διαδικασία, βάσει του ισχύοντος Διεθνούς Διαστημικού Δικαίου. Ποιος δικαιούται, δηλαδή, να γίνει «ρακοσυλλέκτης» του Διαστήματος;

Σύμφωνα με τη Συνθήκη του Ο.Η.Ε. για το Εξώτερο Διάστημα, το κράτος εκτόξευσης ενός διαστημικού οχήματος διατηρεί 'τη δικαιοδοσία και τον έλεγχο' αυτού του σκάφους αλλά και όλων των υπολειμμάτων του, καθ' όλη την παραμονή του στο διάστημα ή σε κάποιο ουράνιο σώμα. Μάλιστα, η μεταφορά της δικαιοδοσίας ή του ελέγχου ενός διαστημικού οχήματος σε άλλον οργανισμό δεν επιτρέπεται, ανεξάρτητα από το εάν αυτό είναι λειτουργικό ή όχι. Εάν, δηλαδή, ένας οργανισμός επιχειρήσει να περισυλλέξει διαστημικά απόβλητα, των οποίων δεν είναι ο ιδιοκτήτης, θεωρείται ότι παρανομεί.

Επί του παρόντος, μία επιχείρηση τύπου 'Active Debris Removal' μπορεί να θεωρηθεί νόμιμη μόνο στην περίπτωση που ζητηθεί άδεια για την αφαίρεση ενός τροχιακού συντριμμιού από τον ιδιοκτήτη του και δοθεί, τελικώς, η συγκατάθεση. Αυτή όμως η διαδικασία είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα ή και ανέφικτη, όταν ένα όχημα δεν δύναται να αναγνωριστεί λόγω αλλοίωσης των χαρακτηριστικών του με την πάροδο του χρόνου. Για την αποφυγή μελλοντικών συγκρούσεων αλλά και τον περιορισμό της συμφόρησης του διαστημικού χώρου, πρέπει να αναπτυχθούν ορισμένες προϋποθέσεις για τις οποίες να εξαιρείται η αρχή της 'μόνιμης δικαιοδοσίας και ελέγχου'.

Άλλες ερωτήσεις που τίθενται είναι τα ακόλουθα: Σε ποια διαστημικά απόβλητα πρέπει να δοθεί προτεραιότητα περισυλλογής; Με ποια κριτήρια θα καθορίζεται αυτή η σειρά; Μπορεί ένα κράτος να υποστηρίξει ότι κάποιο όχημα είναι πιο επικίνδυνο από το δικό του για τα ενεργά διαστημόπλοια ή δορυφόρους; Όλα αυτά τα ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα. Αναμφίβολα, μπροστά στις προκλήσεις των καιρών, πρέπει να επικαιροποιηθεί η Διεθνής Σύμβαση του 1967.

Δυστυχώς, η περισυλλογή τροχιακών συντριμμιών, αν και είναι αναγκαία, πραγματοποιείται αποκλειστικά εντός του πλαισίου μη δεσμευτικών συμφωνιών. Έτσι, βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας, ένας κυβερνητικός ή εμπορικός οργανισμός (π.χ. N.A.S.A και SpaceX αντίστοιχα) δεν υποχρεούται να περισυλλέξει τα απόβλητα διαστημικών του οχημάτων. Αυτά συσσωρεύονται, χωρίς να εντοπίζεται υπαίτιος.

Στρατιωτικοποίηση του Διαστήματος

Η ανάγκη της αφαίρεσης των διαστημικών αποβλήτων, εάν δεν απαγορεύεται, ενδέχεται να ευνοήσει τη χρήση των διαστημικών όπλων. Τέτοιου είδους εξοπλισμό έχουν χρησιμοποιήσει, επί του παρόντος, οι Η.Π.Α., η Ρωσία, η Κίνα και η Ινδία, ώστε να επιδείξουν τα προηγμένα αντι-δορυφορικά τους συστήματα.

Ωστόσο, οι πολεμικές επιχειρήσεις συμβάλλουν στην κατακόρυφη αύξηση του αριθμού των διαστημικών αποβλήτων. Τρανό παράδειγμα ο κινέζικων συμφερόντων πύραυλος FENGYUN 1C, ο οποίος το 2007 συγκρούστηκε εσκεμμένα με δορυφόρο, δημιουργώντας το μεγαλύτερο «σύννεφο» τροχιακών συντριμμιών έως σήμερα. Σύμφωνα με το Κέντρο Διαστημικών Προτύπων και Καινοτομίας, τα υπολείμματα του FENGYUN 1C θα παραμείνουν σε τροχιά για τουλάχιστον έναν αιώνα.

Η Συνθήκη του Ο.Η.Ε. για το Εξώτερο Διάστημα ορίζει ότι η χρήση «στρατιωτικού εξοπλισμού για επιστημονική έρευνα ή για άλλους ειρηνικούς σκοπούς» (Άρθ. 6, παρ. 4) επιτρέπεται, ενώ η χρήση κάθε είδους διαστημικών όπλων απαγορεύεται. Δηλαδή, εάν εξαιρεθούν λοιπά νομικά ζητήματα, η περισυλλογή των διαστημικών καταλοίπων είναι νόμιμη, ενώ η τοποθέτηση και η ανάπτυξη διαστημικών όπλων είναι παράνομη. Όμως, αναμφίβολα, υπάρχει μία ιδιαίτερα λεπτή γραμμή που διαχωρίζει τις επιχειρήσεις Active Debris Removal από τις αντι-δορυφορικές δοκιμές, καθώς και οι δύο απαιτούν συστήματα εντοπισμού και αιχμαλώτισης αντικειμένων. Η διττή φύση των συγκεκριμένων τεχνολογιών ενδέχεται να οδηγήσει σε ένα είδος 'συγκαλυμμένης στρατιωτικοποίησης'. Εάν δεν προβλεφθούν αυστηρές ποινές για τους παραβάτες του Διεθνούς Διαστημικού Δικαίου, ελλοχεύει ο κίνδυνος της οριστικής μετατροπής του διαστήματος σε πεδίο μάχης.

Πολιτιστική Αξία Διαστημικών Αποβλήτων

Το ζήτημα των διαστημικών αποβλήτων πρέπει να προσεγγιστεί και από την πλευρά της προστιθέμενης πολιτιστικής αξίας που αυτά ενδέχεται να αποκτήσουν μετά από κάποια χρόνια. Ο κλάδος της 'Αρχαιολογίας του Διαστήματος' προτείνει, μεταξύ άλλων, την επιστροφή ορισμένων διαστημικών οχημάτων στη Γη και την έκθεσή τους σε μουσεία. Έτσι, τα άξια για διάσωση διαστημικά απόβλητα θα γίνουν προσβάσιμα στο ευρύ κοινό, αλλά και θα αποτελούν πηγή έμπνευσης για τους νεαρούς ερευνητές. Αντικείμενα, όπως οι δορυφόροι Vanguard 1 και Syncom 3, που ήταν από τους πρώτους που εγκατέλειψαν επιτυχώς τον πλανήτη μας, σηματοδοτώντας την 'αυγή' της Διαστημικής Εποχής, συγκαταλέγονται αναμφίβολα στα πιο σημαντικά της ανθρώπινης ιστορίας.

Βιβλιογραφία

Gorman, A., 2019. *Dr Space Junk vs The Universe (no eurospan/IPG)*. Sydney: NewSouth Publishing.

Froehlich, A., 2019. *Space security and legal aspects of active debris removal*. Switzerland: Springer Nature Switzerland.

National Research Council (U. S.), 2011. *Limiting Future Collision Risk to Spacecraft: An Assessment of NASA's Meteoroid and Orbital Debris Programs*. Washington, DC: National Academies Press.

Nasa.gov. 2021. *Experiment Details*. [online] Διαδικτυακή πρόσβαση: <https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/explorer/Investigation.html?#id=7350> [Ημερομηνία ανάκτησης 2 Φεβρουαρίου 2021].

NASA. 2021. *Space Debris*. [online] Διαδικτυακή πρόσβαση: <https://www.nasa.gov/centers/hq/library/find/bibliographies/space_debris> [Ημερομηνία ανάκτησης 2 Φεβρουαρίου 2021].

Pelton, J., 2015. *New Solutions for the Space Debris Problem*. Cham: Springer International Publishing.

Vasile, M., Minisci, E., Summerer, L. and McGinty, P., 2018. *Stardust Final Conference*. Springer International Publishing.

Wei-Haas, M., 2019. Space junk is a huge problem—and it’s only getting bigger. *National Geographic*, [online] Διαδικτυακή πρόσβαση: <https://www.nationalgeographic.com/science/space/reference/space-junk/> [Ημερομηνία ανάκτησης 27 Ιανουαρίου 2021].