



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σχολή Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας & Εφαρμοσμένων
Οικονομικών

Τμήμα Γεωγραφίας

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου»

**Α΄ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών Κινδύνων
και Καταστροφών**

Τίτλος Εργασίας: Κίνδυνοι και Καταστροφές εξωγήινης προέλευσης

Διπλωματική Εργασία

Όνομα φοιτήτριας: Ευτυχία Τζώρτζη



ΑΘΗΝΑ, 2021



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**Σχολή Περιβάλλοντος, Γεωγραφίας & Εφαρμοσμένων
Οικονομικών**

Τμήμα Γεωγραφίας

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου»

**Α΄ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών Κινδύνων
και Καταστροφών**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καρύμπαλης Ευθύμιος (Επιβλέπων)

Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Μπάλιας Γιώργος

Αναπληρωτής καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Παρχαρίδης Ισαάκ

Καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1)** Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2)** Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την στήριξη τους και τη βοήθεια τους μέχρι το τέλος της μεταπτυχιακής μου μελέτης.

Πίνακας Περιεχομένων

Κατάλογος εικόνων.....8

Κατάλογος πινάκων.....8

Κατάλογος σχημάτων	9
Περίληψη.....	10
Abstract	12
Εισαγωγή.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΞΩΓΗΙΝΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ.....	14
1.1. Μετεωρίτες.....	14
1.1.1. Σύσταση και ταξινόμηση των Μετεωριτών	15
1.1.2. Προέλευση των Μετεωριτών	17
1.1.3. Οι Αστεροειδείς ως Γονικά Σώματα Μετεωριτών.....	19
1.1.4. Οι Κομήτες ως Γονικά Σώματα Μετεωριτών	20
1.1.5. Άλλες πηγές.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΕΙΣ.....	25
2.1. Συχνότητα πτώσης και μέγεθος μετεωριτών.....	25
2.2. Ταχύτητα και απελευθέρωση ενέργειας των εισερχόμενων εξωγήινης προέλευσης αντικειμένων.....	27
2.3. Επιφάνειες κρατήρων.....	31
2.4. Η μηχανική του Κρατήρα Πρόσκρουσης	32
2.5. Προσκρούσεις εξωγήινων αντικειμένων και μαζικές εξαφανίσεις	34
2.6. Περιφερειακά και παγκόσμια αποτελέσματα.....	35
2.7. Γεωλογικό Αρχείο Μαζικής Εξάλειψης	36
2.8. Ιστορικό προσκρούσεων	40
2.8.1. Ατμοσφαιρικές εκρήξεις.....	40
2.8.1.1. Tunguska, 1908	41
2.8.1.2. Chelyabinsk, 2013	41
2.8.1.3. Σχηματισμός γυαλιού στην έρημο της Λιβύης.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ NEOs.....	42
3.1. Δυνητικά επικίνδυνα NEOs	42

3.2. Κλίμακες κινδύνου NEOs	43
3.2.1. Κλίμακα Τορίνο	43
3.2.2. Κλίμακα Palermo	45
3.3. Κίνδυνος πρόσκρουσης NEOs	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ NEOs	49
4.1. Κατηγοριοποίηση απειλής	49
4.2. Επιλογές απόκρισης	50
4.2.1. Χρόνος απόκρισης	50
4.2.2. Διαστημικές αποκρίσεις	51
4.2.3. Αποκρίσεις σε μια ενδεχόμενη σύγκρουση από τη Γη.....	57
4.2.4. Βραχυπρόθεσμα καταφύγια	58
4.2.5. Μακροπρόθεσμα καταφύγια	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	59
5.1. Γαλαξιακή Κοσμική Ακτινοβολία (ΓΚΑ).....	59
5.2. Ηλιακά Ενεργειακά Σωματίδια (ΗΕΣ).....	60
5.3. Παγιδευμένη ακτινοβολία	61
5.4. Δευτερογενής ακτινοβολία	62
5.5. Κίνδυνοι από τη διαστημική ακτινοβολία.....	62
5.6. Αντιμετώπιση κοσμικής ακτινοβολίας.....	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο: ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	65
6.1. Κίνδυνοι για την υγεία	66
6.2. Διαχείριση Ηλιακής Ακτινοβολίας (ΔΗΑ).....	68
6.3. Διαχείριση ΗΑ από το διάστημα	69
6.4. Διαχείριση ΗΑ από τη στρατόσφαιρα	70
6.5. Διαχείριση ΗΑ στα νέφη	70
6.6. Διαχείριση ΗΑ στην επιφάνεια της Γης	71
6.7. Πιθανές συνέπειες από τις προσπάθειες ΔΗΑ	71

6.8. Ζητήματα διακυβέρνησης.....	73
6.9. Ηθικά ζητήματα στη διαχείριση ΗΑ.....	74
Συμπεράσματα	75
Βιβλιογραφία.....	77

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1: Ο κομήτης Hale-Bopp πάνω από την Πάτρα (Πηγή : https://www.patrasevents.gr/article/369080-o-komitis-pou-prin-apo-21-xronia-perase-apo-ton-ourano-tis-patras	22
Εικόνα 2: Ο κομήτης Neowise στην τελευταία διαστημική του επίσκεψη (Πηγή εινόνας https://skycenter.arizona.edu/news/2020/07/great-comet-2020-neowise	23
Εικόνα 3: Barringer Crater, Meteor Crater, Northern Arizona, USA ΠΗΓΗ: www.fossweb.com	28
Εικόνα 4: Λίμνες Clearwater στο εθνικό πάρκο Κεμπέκ στον Καναδά πηγή https://www.newsbeast.gr/world/arthro/669240/ta-sfodrotera-htupimata-meteoriton-tis-istorias	29
Εικόνα 5: Λίμνες Ζερέλια πηγή https://northmeteo.gr/oi-didymes-limnes-zerelia-dimioyrgithikan-meta-apo-ptosi-meteoriti-photos/	30
Εικόνα 6: Κρατήρας Chicxulub – Μεξικό (πηγή https://www.newsbeast.gr/world/arthro/669240/ta-sfodrotera-htupimata-meteoriton-tis-istorias)	31
Εικόνα 7: Ο κρατήρας Manicouagan στον Καναδά είναι ορατός στο κέντρο της εικόνας. Η δομή κρούσης σχηματίζει μια κυκλική λίμνη και φαίνεται από τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό. (Πηγή: nasa.gov)	34
Εικόνα 8: Καταγεγραμμένες ατμοσφαιρικές εκρήξεις αστεροειδών μεταξύ 1994 και 2013. Η περίπτωση του Chelyabinsk είναι ο μεγάλος, πορτοκαλί δείκτης στη βόρεια Ρωσία (https://www.jpl.nasa.gov/news/new-map-shows-frequency-of-small-asteroid-impacts-provides-clues-on-larger-asteroid-population)	41

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Κατηγορίες NEOs (Πηγή: cneos.jpl.nasa.gov)	20
Πίνακας 2: Κλίμακα Torino (Πηγή: cambridge.com)	45

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1: Χάρτης του εσωτερικού ηλιακού συστήματος με την αστεροειδής ζώνη (λευκές κουκκίδες) και συγκεντρώσεις αστεροειδών σε τροχιά του Δία (πράσινες και κόκκινες κουκκίδες). (Πηγή: astronomy.com).....	18
Σχήμα 2: Αναλογία κατεστραμμένης περιοχής από τον κομήτη στην Tunguska (Πηγή: earthsci.org)	24
Σχήμα 3: Μέσος χρόνος ανάμεσα σε κάθε σύγκρουση με τη Γη (σε χρόνια) (Πηγή: jpl.nasa.org)	26
Σχήμα 4: Τοποθεσία του κρατήρα Chixchulub (Πηγή: atlasobscura.com).....	39
Σχήμα 5: Κλίμακα Τορίνο (Πηγή: sciencedirect.com).....	44
Σχήμα 6: Ανθρώπινος πληθυσμός 2015 (Πηγή: http://www.fao.org/3/a0310e/A0310E10.htm).....	48
Σχήμα 7: Στρατηγικές απόκρισης για την αποφυγή πρόσκρουσης NEO με τη Γη (Πηγή: Peter et al., 2004).....	53
Σχήμα 8: Διαστημικές αποκρίσεις ως συνάρτηση του χρόνου απόκρισης και του μεγέθους του NEO (Πηγή: Peter et al., 2004).....	54

Περίληψη

Όλα τα αντικείμενα που πλησιάζουν αρκετά τη Γη συχνά αναφέρονται ως Near Earth Objects (NEOs), δηλαδή αντικείμενα που περνούν κοντά από τη Γη. Αυτά τα αντικείμενα έχουν ασταθείς τροχιές επειδή βρίσκονται κάτω από την επιρροή της βαρύτητας τόσο της Γης όσο και της βαρύτητας του Άρη. Η πηγή αυτών των αντικειμένων είναι πιθανώς η ζώνη αστεροειδών. Λέγεται από τους ειδικούς ότι τέτοια αντικείμενα μπορεί να ήταν η αιτία για κάποιες μαζικές εξαφανίσεις στο παρελθόν (π.χ. εξαφάνιση δεινόσαυρων). Το αντίκτυπο που θα είχε η πρόσκρουση ενός τέτοιου αντικειμένου στη Γη, θα ήταν καταστροφικό. Υπάρχουν και σύγχρονα παραδείγματα (μικρής κλίμακας) τα οποία προξένησαν καταστροφές στη Γη. Για την ανίχνευση αυτών των απειλών, οι επιστήμονες χρησιμοποιούν κάποιες κλίμακες ταξινόμησης (κλίμακες Τορίνο και Παλέρμο). Η αντιμετώπιση αυτών των απειλών έχει απασχολήσει πολύ τους επιστήμονες και τους παγκόσμιους ηγέτες. Δεν υπάρχει όμως κάποια εμπειρία μιας πρόσκρουσης ενός αντικειμένου μεγάλης διαμέτρου, ικανού να προκαλέσει παγκόσμια καταστροφή. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο γίνονται πολλές έρευνες, μελέτες και προσομοιώσεις για την αντιμετώπιση μιας τέτοιας απειλής. Τα σενάρια είναι πολλά και πρέπει να εξεταστούν όλα. Το μόνο βέβαιο είναι ότι για να αποτραπεί ή να ξεπεραστεί η καταστροφή μιας πρόσκρουσης ενός εξωγήινου αντικειμένου, είναι απαραίτητη η συνεργασία και η αλληλεγγύη σε παγκόσμιο επίπεδο. Πέρα όμως από τα NEOs, υπάρχει και η απειλή της

εξωγήινης ακτινοβολίας. Πρόκειται για την κοσμική ακτινοβολία και την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Η κοσμική ακτινοβολία δεν επηρεάζει την πλειονότητα των ανθρώπων, παρά μόνο τους αστροναύτες και το διαστημικό εξοπλισμό. Η ηλιακή ακτινοβολία όμως μπορεί δυνητικά να απειλήσει σε μεγάλο βαθμό την ανθρωπότητα, κυρίως με την πρόκληση κλιματικών αλλαγών.

Λέξεις κλειδιά: Μετεωρίτης, αστεροειδής, κομήτης, κοσμική ακτινοβολία, ηλιακή ακτινοβολία

Abstract

All objects that are close enough to Earth are often referred to as Near Earth Objects (NEOs). These objects have unstable orbits because they are under the gravitational influence of both Earth and Mars. The source of these objects is probably the asteroid belt. Experts say that such objects may have been the cause of some mass extinctions in the past (e.g. dinosaurs). The impact that such an object would have on Earth would be devastating. There are also modern (small-scale) examples that have caused disasters on Earth. To detect these threats, scientists use some classification scales (the Torino and Palermo scales). Dealing with these threats has preoccupied scientists and world leaders. But there is no experience of a collision of a large-diameter object capable of causing global catastrophe. This is why many researches, studies and simulations are done to deal with such a threat. There are many scenarios and all must be considered. The only thing that is certain is that in order to prevent or overcome the destruction of an impact of an alien object, cooperation and solidarity at the global level is necessary. But beyond the NEOs, there is the threat of extraterrestrial radiation. These are cosmic rays and ultraviolet solar radiation. Cosmic radiation does not affect most people, except astronauts and space equipment. But solar radiation can potentially threaten humanity to a great extent, especially by causing climate change.

Keywords: Meteorite, asteroid, comet, cosmic radiation, solar radiation

Εισαγωγή

Οι ειδικοί υποστηρίζουν πως οι μαζικές εξαφανίσεις ειδών χλωρίδας και πανίδας στη Γη, που έλαβαν χώρα κατά το γεωλογικό παρελθόν, πιθανόν να οφείλονται σε εξωγήινους παράγοντες, αν και η δήλωση αυτή δεν είναι επιστημονικά τεκμηριωμένη. Οι καταστροφές εξωγήινης προέλευσης όμως, δεν ανήκουν στη σφαίρα της επιστημονικής φαντασίας. Υπάρχουν μαρτυρίες αλλά και αποδείξεις πως έχουν υπάρξει προσκρούσεις εξωγήινων αντικειμένων οι οποίες έχουν προκαλέσει καταστροφές και απώλειες ανθρώπινων ζώων. Στην παρούσα εργασία περιγράφονται και αναλύονται αυτοί οι κίνδυνοι.

Δεν είναι όμως μόνο τα αντικείμενα εξωγήινης προέλευσης τα οποία απειλούν τον άνθρωπο. Η διαστημική ακτινοβολία φέρει και αυτή επιζήμιες επιπτώσεις. Η διαστημική ακτινοβολία χωρίζεται σε δύο είδη: την κοσμική ακτινοβολία, η οποία απειλεί κυρίως τους αστροναύτες και το διαστημικό εξοπλισμό και η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει κλιματικές αλλαγές με αύξηση της θερμοκρασίας.

Η ηλιακή ακτινοβολία, σε αντίθεση με τη διαστημική ακτινοβολία, μπορεί να έχει πιο άμεσες επιδράσεις στο γήινο περιβάλλον. Οι κίνδυνοι της ηλιακής ακτινοβολίας για τον άνθρωπο είναι λίγο πολύ γνωστές, γι' αυτό και δεν θα γίνει εκτενής αναφορά σε αυτές. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η κλιματική αλλαγή που μπορεί να επιφέρει με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Καταστροφές πολλών κατηγοριών προκαλούνται και έχουν επιπτώσεις τόσο στο φυσικό όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Η εργασία αυτή θα ασχοληθεί με τις καταστροφές και τους επικείμενους κινδύνους από εξωγήινες πηγές προέλευσης. Θα μελετηθούν οι εξωγήινοι κίνδυνοι από την πτώση μετεωριτών, αστεροειδή αντικείμενα και κομήτες, την ακτινοβολία από το διάστημα καθώς και την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Επίσης θα παρατεθούν παραδείγματα από ήδη καταγεγραμμένες καταστροφές και εξερεύνηση μηχανισμών πρόβλεψης και παρακολούθησης διαστημικών αντικειμένων για την αποφυγή πτώσης τους και δημιουργίας καταστροφών τοπικής και μεγαλύτερης εμβέλειας. Τέλος, θα γίνει η προσπάθεια αποτίμησης των ευρημάτων και η εκτίμηση της τρωτότητας των επιστημονικών μηχανισμών για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστροφών εξωγήινης προέλευσης.

Η παρούσα εργασία χωρίζεται σε 6 Κεφάλαια. Στο 1ο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα εξωγήινης προέλευσης αντικείμενα. Στο 2ο Κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία της πρόσκρουσης των NEOs. Στο 3ο Κεφάλαιο αναφέρονται τα επικίνδυνα NEOs και στο 4ο Κεφάλαιο οι τρόποι αντιμετώπισής τους. Στο 5ο Κεφάλαιο γίνεται λόγος για τη διαστημική ακτινοβολία και στο 6ο Κεφάλαιο για την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Η εργασία ολοκληρώνεται με κάποια συμπεράσματα και κάποιες προτάσεις για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που αναφέρονται στο παρόν υλικό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΞΩΓΗΙΝΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

1.1. Μετεωρίτες

Οι **μετεωρίτες** (meteors) είναι λαμπερά θραύσματα πετρωμάτων που προέρχονται από έξω από τη Γη και καίγονται και λάμπουν όταν εισέρχονται στην ατμόσφαιρα της Γης. Είναι γνωστά και ως "αστέρια που πέφτουν". Μερικοί μετεωρίτες, ιδιαίτερα οι μεγάλοι σε μέγεθος, όταν εισέλθουν στην ατμόσφαιρα διασπώνται σε μικρότερα σωματίδια (meteorite), αλλά τα περισσότερα είναι μικρά αντικείμενα που καίγονται εντελώς στην ατμόσφαιρα (Binzel et al., 2002; Brown et al., 2002; Morbidelli et al., 2002).

Στην αγγλική γλώσσα υπάρχει διαχωρισμός ανάμεσα στον όρο "meteor" και τον όρο "meteorite", όπου ο δεύτερος χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα μικρότερο κομμάτι βράχου-πετρώματος από το διάστημα που χτυπά την επιφάνεια της Γης.

Το **μετεωροειδές** (meteoroid) είναι ένας μετεωρίτης πριν φτάσει στην επιφάνεια της Γης (Binzel et al., 2002; Brown et al., 2002; Morbidelli et al., 2002).

Η **Βροχή Μετεωριτών** (Meteor Shower) είναι η πτώση πολλών μετεωριτών ταυτόχρονα (Brown et al., 2002).

Σε όλη την ιστορία έχουν αναφερθεί στερεά πετρώδη αντικείμενα που πέφτουν από τον ουρανό, αλλά η επιστημονική κοινότητα δεν αναγνώρισε την εξωγήινη προέλευση των

μετεωριτών μέχρι το 1700. Στην πρόσφατη ιστορία μετεωρίτες έχουν χτυπήσει ακόμη και ανθρώπους:

1938 - Ένας μικρός μετεωρίτης έπεσε στη στέγη ενός γκαράζ στο Ιλινόις

1954 - Ένας μετεωρίτης 5 κιλών έπεσε και διαπέρασε την οροφή ενός σπιτιού στην Αλαμπάμα.

1992 - Ένας μικρός μετεωρίτης κατέστρεψε ένα αυτοκίνητο κοντά στη Νέα Υόρκη.

2003 - Ένας μετεωρίτης 20 κιλών έπεσε σε ένα διώροφο σπίτι στο κέντρο της Νέας Ορλεάνης

2003 - Μια βροχή μετεωριτών κατέστρεψε πολλά σπίτια και τραυμάτισε 20 άτομα στην Ινδία (Nelson, 2018).

Θραύσματα μετεωριτών έχουν βρεθεί σε όλη την επιφάνεια της Γης, αν και τα περισσότερα έχουν εντοπιστεί στην Ανταρκτική. Σίγουρα υπάρχουν πολλοί ανά τον κόσμο, απλά στην Ανταρκτική αναγνωρίζονται εύκολα καθώς βρίσκονται στη χιονισμένη επιφάνεια της ή στον πάγο (Zhao et al., 2011; Kalabanov et al., 2018).

Η πτώση των μετεωριτών στην επιφάνεια της Γης είναι μέρος της συνεχιζόμενης διαδικασίας αύξησης της σκόνης και των βράχων του διαστήματος. Όταν αυτά τα εξωγήινα προέλευσης θραύσματα βράχου πλησιάζουν αρκετά στη Γη προσελκύονται από τη βαρύτητά της, με αποτέλεσμα να πέφτουν στην επιφάνειά της με πολύ μικρότερες διαστάσεις από αυτές που αρχικά είχαν πριν εισέλθουν στη γήινη ατμόσφαιρα. (Binzel et al., 2002; Brown et al., 2002; Morbidelli et al., 2002).

1.1.1. Σύσταση και ταξινόμηση των Μετεωριτών

Οι μετεωρίτες μπορούν να ταξινομηθούν γενικά σε τρεις τύπους:

1. Πετρώδεις (Stones) - Οι πετρώδεις μετεωρίτες μοιάζουν με βράχους που έχουν ίδια χαρακτηριστικά με τα ανάλογα πετρώδη υλικά που συναντώνται πάνω και μέσα στη Γη. Είναι ο πιο κοινός τύπος μετεωρίτη, αν και επειδή μοιάζουν με γήινα πετρώματα, συχνά δεν αναγνωρίζονται ως μετεωρίτες, εκτός αν κάποιος δει πραγματικά την πτώση τους. Οι πετρώδεις

μετεωρίτες αποτελούνται κυρίως από τα ορυκτά ολιβίνη και πυροξένιο. Μερικοί μετεωρίτες έχουν σύνθεση που είναι περίπου ισοδύναμη με το γήινο μανδύα (Zhao et al., 2011; Kalabanov et al., 2018). Αναγνωρίζονται δύο τύποι:

- Χονδρίτες (Chondrites). Οι Χονδρίτες είναι ο πιο κοινός τύπος πετρώδους μετεωρίτη. Αποτελούνται από κράματα ολιβίνης, πυροξενίου και σιδήρου - νικελίου τα οποία είναι μαγνητικά. Πρόκειται για μικρές στρογγυλές σφαίρες, που ονομάζονται χόνδροι (chondrules), (αποτελούμενα κυρίως από ορυκτά ολιβίνη και πυροξένιο). Φαίνεται ότι έχουν σχηματιστεί από ταχεία τήξη ακολουθούμενη από ταχεία ψύξη κατά την πρώιμη ιστορία του ηλιακού συστήματος. Οι περισσότεροι Χονδρίτες έχουν ηλικία, που έχει προσδιοριστεί με μεθόδους ραδιοχρονολόγησης, περίπου 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια. (Zhao et al., 2011; Kalabanov et al., 2018).

- Αχονδρίτες (Achondrites). Οι αχονδρίτες αποτελούνται από τα ίδια μέταλλα με τους χονδρίτες, αλλά δεν έχουν χόνδρους. Φαίνεται ότι έχουν θερμανθεί, λιώσει και ανακρυσταλλωθεί έτσι που οι χόνδροι δεν είναι πλέον παρόντες. Οι περισσότεροι αχονδρίτες μοιάζουν με πύρινα πετρώματα. (Zhao et al., 2011; Kalabanov et al., 2018).

2. Σιδηρομετεωρίτες - Οι μετεωρίτες σιδήρου ή σιδηρομετεωρίτες αποτελούνται από κράματα σιδήρου και νικελίου. Είναι εύκολα αναγνωρίσιμοι επειδή έχουν πολύ υψηλότερη πυκνότητα από τους φυσιολογικούς βράχους. Έτσι, οι περισσότεροι μετεωρίτες που έχουν βρεθεί από τον γενικό πληθυσμό είναι μετεωρίτες σιδήρου. Όλοι είναι μαγνητικοί. Όταν κόβονται και γυαλίζονται, οι μετεωρίτες σιδήρου δείχνουν μια ξεχωριστή υφή που ονομάζεται σχέδιο (pattern) Widmanstätten. Αυτό το σχέδιο προκύπτει από αργή ψύξη ενός κάποτε θερμού στερεού υλικού. Η έρευνα δείχνει ότι μια τέτοια αργή ψύξη συνέβη στον πυρήνα ενός πολύ μεγαλύτερου σώματος που έχει διασπαστεί σε μικρότερα κομμάτια. Οι μετεωρίτες σιδήρου δίνουν μια ιδέα για τη σύνθεση του πυρήνα της Γης. (Zhao et al., 2011; Kalabanov et al., 2018).

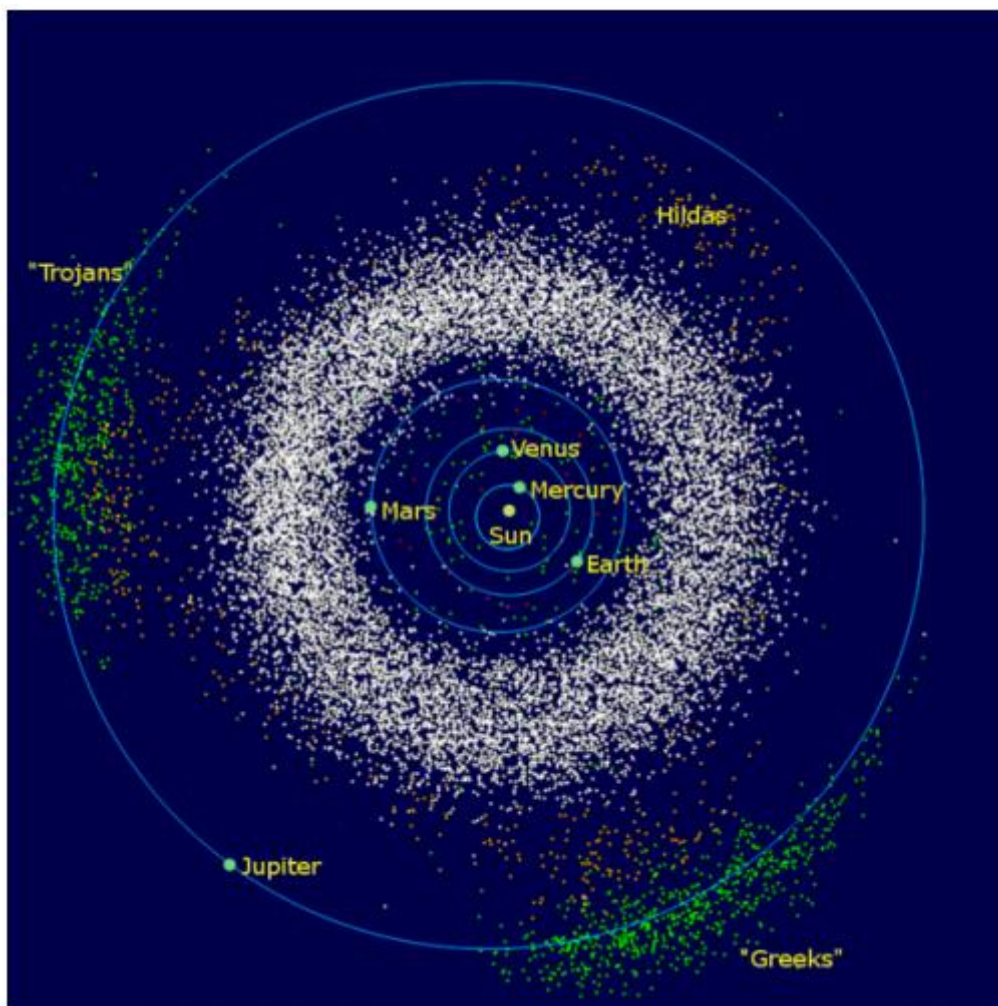
3. Πετρώδεις - Σιδερένιοι (Stony Irons) - Οι μετεωρίτες πετρώδους σιδήρου αποτελούνται από ένα μείγμα από πετρώδες πυριτικό υλικό και σίδηρο. Ορισμένοι εμφανίζουν πυριτικά άλατα ενσωματωμένα σε μια μήτρα από κράμα σιδήρου-νικελίου. Άλλοι εμφανίζονται ως ένα λατυποπαγές (breccia), όπου θραύσματα από πετρώδες και σιδερένιο υλικό έχουν συσσωματωθεί μαζί ύστερα από θερμικές ή χημικές αντιδράσεις (Zhao et al., 2011; Kalabanov et al., 2018).

1.1.2. Προέλευση των Μετεωριτών

Οι περισσότεροι μετεωρίτες φαίνεται να είναι θραύσματα μεγαλύτερων σωμάτων που ονομάζονται γονικά σώματα (parent bodies). Αυτά θα μπορούσαν να ήταν μικροί πλανήτες ή μεγάλοι αστεροειδείς που ήταν μέρος του αρχικού ηλιακού συστήματος. Τα αρχέγονα βραχώδη υπολείμματα που περίσσεψαν από το σχηματισμό του Ηλιακού μας συστήματος πριν από περίπου 4,6 εκατ.χρόνια ονομάζονται **αστεροειδείς**. Οι περισσότεροι αστεροειδείς σχηματίστηκαν κοντά στον Ήλιο, εκεί δηλαδή όπου η θερμοκρασία ήταν αρκετά υψηλή και τα διάφορα πτητικά αέρια δεν μπορούσαν να σταθεροποιηθούν σε πάγους. Για αυτό οι αστεροειδείς απαρτίζονται κυρίως από πετρώματα και μέταλλα. Πολλοί αστεροειδείς, ωστόσο, έχουν δεσμεύσει και νερό στο εσωτερικό τους. Με μεγέθη που κυμαίνονται από λίγα μέτρα μέχρι το ένα τέταρτο περίπου της διαμέτρου της Σελήνης, οι περισσότεροι αστεροειδείς έχουν ανώμαλο σχήμα, αφού η μάζα τους δεν είναι αρκετά μεγάλη, ώστε η ίδια τους η βαρύτητα να τους προσδώσει σφαιρικό σχήμα. (Δεληβοριάς,Α, 2017)

Οι **αστεροειδείς** είναι μικρά βραχώδη σώματα με ακανόνιστα σχήματα που έχουν κρατήρα. Περίπου 4.000 από αυτούς τους αστεροειδείς έχουν ταξινομηθεί επίσημα και τα τροχιακά τους μονοπάτια είναι γνωστά. Μόλις ταξινομηθούν, τους δίνεται ένα όνομα. Οι περισσότεροι αστεροειδείς έχουν μέγεθος από λίγα χιλιόμετρα έως μερικές δεκάδες χιλιόμετρα. Μερικοί είναι μεγαλύτεροι. Ο αστεροειδής Ceres, το μεγαλύτερο γνωστό, έχει διάμετρο περίπου 1000 km, ή περίπου το μέγεθος της πολιτείας του Τέξας (Pravec et al., 2002; Brophy et al., 2012).

Αρκετές χιλιάδες αστεροειδείς με διάμετρο πάνω από ένα χιλιόμετρο έχουν ανακαλυφθεί, και σίγουρα υπάρχουν εκατομμύρια. Οι περισσότεροι αστεροειδείς, ειδικά οι μεγαλύτερων διαστάσεων, βρίσκονται στην **αστεροειδή ζώνη**. Η αστεροειδής ζώνη βρίσκεται ανάμεσα στις τροχιές του Άρη και του Δία. Αποτελείται από ένα σμήνος περίπου 100.000 αντικειμένων που ονομάζονται αστεροειδείς (Bottke et al., 2005; Hsieh & Jewitt, 2006). Ο παρακάτω χάρτης δείχνει το εσωτερικό του ηλιακού συστήματος με την αστεροειδή ζώνη (που απεικονίζεται με λευκές κουκκίδες) και τις συγκεντρώσεις αστεροειδών σε τροχιά του Δία (πράσινες και κόκκινες κουκκίδες).



Σχήμα 3: Χάρτης του εσωτερικού ηλιακού συστήματος με την αστεροειδής ζώνη (λευκές κουκκίδες) και συγκεντρώσεις αστεροειδών σε τροχιά του Δία (πράσινες και κόκκινες κουκκίδες). (Πηγή: astronomy.com)

Οι αστεροειδείς είναι είτε κατάλοιπα ενός πλανήτη που σχηματίστηκε στην περιοχή μεταξύ του Άρη και του Δία, αλλά αργότερα διαλύθηκε από σύγκρουση με άλλο πλανητικό σώμα, είτε είναι θραύσματα που απέτυχαν να συσσωρευτούν ώστε να αποτελέσουν έναν πλανήτη. Η τελευταία διαπίστωση είναι πιο πιθανή επειδή η συνολική μάζα των αστεροειδών είναι μικρότερη από τη Σελήνη. Φαίνεται ότι μερικοί από τους αστεροειδείς είναι αρκετά μεγάλοι για να έχουν υποστεί εσωτερική διαφοροποίηση. Η διαφοροποίηση είναι μια διαδικασία που σχηματίζει στρωματοποίηση σε ένα πλανητικό σώμα (π.χ. η Γη έχει διαφοροποιηθεί σε πυρήνα, μανδύα και φλοιό). Εάν αυτοί οι μεγαλύτεροι αστεροειδείς υπέστησαν πράγματι διαφοροποίηση, τότε αυτό θα μπορούσε να εξηγήσει την προέλευση των διαφόρων τύπων μετεωριτών. Λόγω των σχημάτων των αστεροειδών φαίνεται επίσης ότι ορισμένοι από αυτούς έχουν υποστεί διάσπαση μετά από συγκρούσεις με άλλους αστεροειδείς. Τέτοιες συγκρούσεις θα

μπορούσαν να έχουν προκαλέσει τα μεγαλύτερα σώματα για να χωριστούν στα μικρότερα αντικείμενα που παρατηρούνται ως μετεωρίτες (Pravec et al., 2002; Brophy et al., 2012).

1.1.3. Οι Αστεροειδείς ως Γονικά Σώματα Μετεωριτών

Πολλά στοιχεία δείχνουν ότι οι αστεροειδείς θα μπορούσαν να είναι τα γονικά σώματα των μετεωριτών δηλαδή ότι οι μετεωρίτες προέρχονται από αστεροειδή. Οι μεγαλύτεροι θα μπορούσαν να διαφοροποιηθούν σε πυρήνα, μανδύα και φλοιό. Η διάσπαση αυτών των μεγάλων σωμάτων θα έκανε τότε δύο πράγματα:

- Πρώτον, τα θραύσματα θα εξηγούσαν τους διάφορους τύπους μετεωριτών που βρέθηκαν στη Γη. Δηλαδή, οι πέτρες αντιπροσωπεύουν το μανδύα και το φλοιό του αρχικού γονικού σώματος, τα σίδηρα αντιπροσωπεύουν τους πυρήνες, και τα πετρώδη σίδηρα αντιπροσωπεύουν το όριο μεταξύ του πυρήνα και του μανδύα των γονικών σωμάτων (Pravec et al., 2002; Brophy et al., 2012).

- Δεύτερον, οι συγκρούσεις που προκάλεσαν τη διάσπαση θα μπορούσαν να στείλουν τα θραύσματα σε τροχιές που διασχίζουν τη Γη. Μερικοί από τους αστεροειδείς έχουν τροχιές που τους φέρνουν κοντά στη Γη. Αυτά ονομάζονται αντικείμενα Amor. Ορισμένα έχουν τροχιακά μονοπάτια που διασχίζουν την τροχιακή διαδρομή της Γης. Αυτά ονομάζονται αστεροειδείς που διασχίζουν τη Γη ή αντικείμενα Apollo. Όλα τα αντικείμενα που πλησιάζουν αρκετά τη Γη συχνά αναφέρονται ως Near Earth Objects (NEOs), δηλαδή αντικείμενα που περνούν κοντά από τη Γη. Περίπου 150 NEOs με διάμετρο μεταξύ 1 και 8 km είναι γνωστοί, αλλά αυτό είναι ένα μόνο μικρό κλάσμα του συνολικού αριθμού. (Bottke et al., 2005; Hsieh & Jewitt, 2006). Μέχρι τον Μάιο του 2014 είχαν ανακαλυφθεί 11.107 NEO, 860 εκ των οποίων είναι αστεροειδείς διαμέτρου 1 km ή μεγαλύτεροι. (Δεληβοριάς, 2014) Πολλά NEOs κάποια στιγμή θα συγκρουστούν με τη Γη. Αυτά τα αντικείμενα έχουν ασταθείς τροχιές επειδή βρίσκονται κάτω από τη βαρυτική επιρροή τόσο της Γης όσο και του πλανήτη Άρη. Η πηγή αυτών των αντικειμένων είναι πιθανώς η ζώνη αστεροειδών (Bottke et al., 2005; Hsieh & Jewitt, 2006).

Ο πίνακας που ακολουθεί είναι πολύ διαφωτιστικός όσον αφορά την κατηγοριοποίηση των NEOs. Για να γίνει πιο κατανοητός πρέπει να αναφερθεί ο όρος AU: Astronomical Unit: αστρονομική μονάδα μέτρησης μήκους. Ένα AU ισούται με 149,597,871 km.

Group	Definition	Description
NECs	$q < 1.3 \text{ au}$ $P < 200 \text{ years}$	Near-Earth Comets
NEAs	$q < 1.3 \text{ au}$	Near-Earth Asteroids
Atiras	$a < 1.0 \text{ au}$ $Q < 0.983 \text{ au}$	NEAs whose orbits are contained entirely with the orbit of the Earth (named after asteroid 163693 Atira).
Atens	$a < 1.0 \text{ au}$ $Q > 0.983 \text{ au}$	Earth-crossing NEAs with semi-major axes smaller than Earth's (named after asteroid 2062 Aten).
Apollos	$a > 1.0 \text{ au}$ $q < 1.017 \text{ au}$	Earth-crossing NEAs with semi-major axes larger than Earth's (named after asteroid 1862 Apollo).
Amors	$a > 1.0 \text{ au}$ $1.017 < q < 1.3 \text{ au}$	Earth-approaching NEAs with orbits exterior to Earth's but interior to Mars' (named after asteroid 1221 Amor).
PHAs	$MOID \leq 0.05 \text{ au}$ $H \leq 22.0$	Potentially Hazardous Asteroids: NEAs whose Minimum Orbit Intersection Distance (MOID) with the Earth is 0.05 au or less and whose absolute magnitude (H) is 22.0 or brighter.

Πίνακας 2: Κατηγορίες NEOs (Πηγή: cneos.jpl.nasa.gov)

1.1.4. Οι Κομήτες ως Γονικά Σώματα Μετεωριτών

Ο κομήτης είναι ένα σώμα που περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο με μια εκκεντρική τροχιά. Αυτές οι τροχιές δεν είναι κυκλικές όπως εκείνες των πλανητών και δεν είναι απαραίτητα μέσα στο ίδιο επίπεδο με τους πλανήτες. Οι περισσότεροι κομήτες έχουν ελλειπτικές τροχιές που τους στέλνουν στις άκρες ή και εκτός του ηλιακού σύστημα και πίσω προς μια πιο κοντινή προσέγγιση στον ήλιο. Καθώς πλησιάζει ένας κομήτης τον ήλιο, η ηλιακή ακτινοβολία παράγει αέρια από την εξάτμιση υλικού από την επιφάνεια του κομήτη. Αυτά τα αέρια απομακρύνονται από τον κομήτη και λάμπουν στο φως του ήλιου, δίνοντας έτσι στον κομήτη την ουρά του (Brandt & Chapman, 2004; Mumma & Charnley, 2011; Cochran et al., 2015). Αναμφίβολα, το εντυπωσιακότερο τμήμα ενός κομήτη είναι η ουρά του, που εκτείνεται ακόμη και σε μήκος δεκάδων εκατ. km. Οι ουρές των κομητών, όμως, σχηματίζονται μόνο όταν αυτοί πλησιάζουν τον Ήλιο. Έχοντας ελάχιστη ανακλαστικότητα, οι παγωμένοι πυρήνες των κομητών απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Ήλιου που προσπίπτει πάνω τους και θερμαίνονται, γεγονός που σε συνδυασμό με την πίεση της ηλιακής ακτινοβολίας και τον ηλιακό άνεμο εξαερώνει τα παγωμένα αέρια που εμπεριέχουν. Οι μεγάλες ποσότητες αερίων και σκόνης που απελευθερώνονται κατ' αυτόν τον τρόπο από τον πυρήνα ενός κομήτη, σχηματίζουν γύρω του μία αραιή «ατμόσφαιρα», που ονομάζεται κόμη. (Δεληβοριάς, Α., 2017)

Ενώ η εξωτερική επιφάνεια των κομητών φαίνεται να αποτελείται από παγωμένο υλικό όπως το νερό και στερεά διοξειδίου του άνθρακα, πιθανότατα περιέχουν έναν πιο βραχώδη πυρήνα. Λόγω της εκκεντρικής τροχιάς, πολλοί κομήτες τελικά διασχίζουν την τροχιά της Γης. Πολλοί βροχές μετεωριτών μπορούν να προκληθούν στη Γη εξαιτίας ενός διασπασμένου κομήτη που διασχίζει την τροχιά της. (Brandt & Chapman, 2004; Mumma & Charnley, 2011; Cochran et al., 2015)

Οι κομήτες χωρίζονται σε δύο τύπους, με βάση το σχήμα της τροχιάς τους και με βάση το πόσο καιρό χρειάζονται για να ολοκληρώσουν την τροχιά τους γύρω από τον ήλιο. Κομήτες μικρής περιόδου, όπως οι κομήτες Encke και Halley, οι οποίοι ολοκληρώνουν την τροχιά τους γύρω από τον Ήλιο σε περίπου 200 χρόνια. Ωστόσο, οι περισσότεροι κομήτες μικρής περιόδου έχουν τροχιακές περιόδους λίγων χρόνων και ταξιδεύουν σε μικρές, σχεδόν κυκλικές τροχιές όπως αυτές των πλανητών και των αστεροειδών. (Cochran et al., 2015).

Ο γνωστότερος κομήτης ο οποίος έχει κάνει την επίσκεψη του στη Γη είναι ο κομήτης του Χάλεϋ, με περίοδο περίπου 75 χρόνια, που σημαίνει ότι το επόμενο ραντεβού μαζί του υπολογίζεται για το 2061. Το 1986, μάλιστα, στο τελευταίο πέρασμά του από την διαστημική γειτονιά της Γης, ένας στόλος πέντε διαστημοσυσκευών, 2 Σοβιετικών, 2 Ιαπωνικών και 1 Ευρωπαϊκής, προσπάθησαν να του αποσπάσουν από κοντά τα μυστικά που κρύβει. Η Ευρωπαϊκή διαστημοσυσκευή Giotto, ειδικότερα, κατάφερε να τον προσεγγίσει σε απόσταση «μόλις» 600 km. Αυτή, φυσικά δεν ήταν η μοναδική αποστολή για την μελέτη ενός κομήτη. Η διαστημοσυσκευή Stardust, για παράδειγμα, εκτοξεύθηκε τον Φεβρουάριο του 1999, προκειμένου να συλλέξει και να μεταφέρει στη Γη σωματίδια από τον κομήτη Wild-2, καθώς και σωματίδια μεσοαστρικής σκόνης. Η αποστολή ήταν επιτυχής και η διαστημοσυσκευή επέστρεψε από το διαστημικό της ραντεβού με τον κομήτη, απελευθερώνοντας τον Ιανουάριο του 2006 μία κάψουλα, η οποία μετέφερε στη Γη για πρώτη φορά τέτοιου είδους υλικό. Η διαστημοσυσκευή Deep Impact της NASA, από την άλλη, εκτοξεύθηκε τον Ιανουάριο του 2005, προκειμένου να μελετήσει την εσωτερική σύσταση του κομήτη Tempel-1. Για τον σκοπό αυτό εξαπέλυσε μια βολίδα προς τον κομήτη τον Ιούλιο του 2005 και ανέλυσε τα υλικά του που εκτινάχθηκαν στο διάστημα. Η πρόσκρουση της βολίδας στην επιφάνεια του κομήτη σχημάτισε έναν κρατήρα, ενώ η μετέπειτα ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι ο Tempel-1 εμπεριείχε περισσότερη σκόνη και λιγότερο πάγο απ' αυτόν που περίμεναν οι αστρονόμοι. (Δεληβοριάς,Α,2017)

Επίσης, η Rosetta ήταν μια θεμελιώδης αποστολή του προγράμματος ESA Horizon 2000. Ξεκίνησε τον Μάρτιο του 2004, έφτασε στον τελικό προορισμό της, τον κομήτη 67P/Churyumov-Gerasimenko (CG), τον Αύγουστο του 2014 και τέθηκε σε τροχιά γύρω από αυτόν. Κατά τη διάρκεια της 10χρονης κρουαζιέρας της στον κομήτη, η Rosetta παρατήρησε πολλαπλούς στόχους, συμπεριλαμβανομένων κοντινών συναντήσεων με τους αστεροειδείς Steins και Lutetia, και έγινε η πρώτη αποστολή της Ευρώπης που συνάντησε αυτά τα πρωτόγονα αντικείμενα. (Planetary and Space Science journal,2017)

Οι πρώτες μετρήσεις από το όργανο μικροκυμάτων για το Rosetta Orbiter, MIRO, έδειξαν ότι ο κομήτης εκπέμπει υδρατμούς στο διάστημα με περίπου 300 χιλιοστόλιτρα το δευτερόλεπτο. Εν τω μεταξύ, το ορατό και υπέρυθρο φασματόμετρο θερμικής απεικόνισης, VIRTIS, μέτρησε τη μέση θερμοκρασία του κομήτη στους -70°C , υποδεικνύοντας ότι η επιφάνεια είναι κυρίως σκοτεινή και σκονισμένη παρά καθαρή και παγωμένη. Στη συνέχεια, εκπληκτικές εικόνες που λήφθηκαν από απόσταση περίπου 12.000 χιλιομέτρων άρχισαν να αποκαλύπτουν ότι ο πυρήνας περιλαμβάνει δύο ξεχωριστά τμήματα που ενώνονται με ένα «λαιμό», δίνοντάς του μια όψη σαν πάπια.(ESA,2014)

Οι κομήτες μεγάλης διάρκειας, όπως ο κομήτης Hale-Bopp, που παρατηρήθηκε το 1997, μπορούν να ολοκληρώσουν την τροχιά τους σε χιλιάδες χρόνια, και έχουν πολύ επιμήκεις τροχιές που φτάνουν πολύ πιο πέρα από τον Πλούτωνα. Στην παρακάτω εικόνα, που τραβήχτηκε το βράδυ της 30ης Μαρτίου το 1997 από το φωτογράφο Γιώργο Τσιμισιμή, αποτυπώνεται ο κομήτης αυτός πάνω από την περιοχή της Πάτρας.



Εικόνα 1: Ο κομήτης Hale-Bopp πάνω από την Πάτρα (Πηγή :<https://www.patrasevents.gr/article/369080-o-komitis-pou-prin-apo-21-xronia-perase-apo-ton-ourano-tis-patras>)

Στις 27 Μαρτίου του έτους 2020 ανακαλύφθηκε από το Υπέρυθρο Τηλεσκόπιο WISE, ο κομήτης NEOWISE (ή με την επίσημη ονομασία του C / 2020 F3) και έχει γίνει η συζήτηση στο μεγαλύτερο μέρος του βόρειου ημισφαιρίου καθώς έχει φτάσει στο σημείο να είναι ορατός στον νυχτερινό ουρανό με γυμνό μάτι. Το NEOWISE είναι ο λαμπρότερος κομήτης ακόμα και από τον κομήτη Hale-Bopp το 1997 και, όπως και αυτός, ο NEOWISE είναι ένας κομήτης μακράς περιόδου και δεν θα επισκεφθεί τη Γη για τα επόμενα 6.700 χρόνια. Παρακάτω φαίνεται η εικόνα του κομήτη αυτού όπως παρατηρήθηκε τον Ιούλιο 2020 από το φωτογράφο Bettymaya Foott. (The university of Arisona,2020)

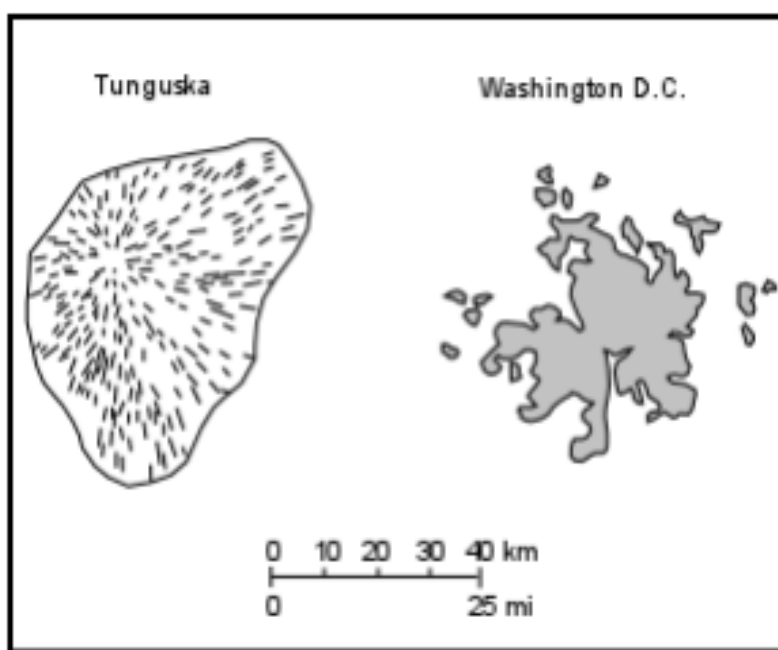


Εικόνα 2 : Ο κομήτης Neowise στην τελευταία διαστημική του επίσκεψη (Πηγή εικόνας <https://skycenter.arizona.edu/news/2020/07/great-comet-2020-neowise>)

Έχει υποστηριχθεί, τόσο για θεωρητικούς λόγους όσο και από παρατηρήσεις των τροχιών των κομητών μακράς περιόδου, ότι ολόκληρο το ηλιακό σύστημα στην πραγματικότητα περιβάλλεται από ένα τεράστιο νέφος που περιέχει δισεκατομμύρια κομήτες (το Oort Cloud), σε απόσταση περίπου 50.000 AU. Από εκεί, οι κομήτες μπορεί περιστασιακά να δεχτούν σύγκρουση (ίσως μετεωρίτες που περνούν) και να εισέλθουν σε τροχιές στο εσωτερικό ηλιακό σύστημα προς τον Ήλιο. Μια παρόμοια συσσώρευση μικρών παγωμένων αντικειμένων, η ζώνη

Κυίπερ, μπορεί να υπάρχει πέρα από την τροχιά του Ποσειδώνα και μπορεί στην πραγματικότητα να είναι η πηγή των κομητών μικρής περιόδου που εισέρχονται στο ηλιακό σύστημα (Mumma & Charnley, 2011; Cochran et al., 2015).

Η σύγκρουση ενός κομματιού ενός κομήτη πιστεύεται ότι έλαβε χώρα στην Tunguska, μια περιοχή της Σιβηρίας το 1908. Η έκρηξη ισοδυναμούσε με το μέγεθος μιας πυρηνικής βόμβας 15 μεγατόνων. Χτύπησε τα δέντρα σε μια περιοχή περίπου 850 τετραγωνικών μιλίων, αλλά δεν άφησε κάποιο κρατήρα. Αν και εξακολουθεί να είναι αμφιλεγόμενο, η γενική συναίνεση μεταξύ των επιστημόνων είναι ότι το κομμάτι ενός κομήτη με διάμετρο περίπου 20 έως 60 μέτρων πιθανόν εξερράγη στην ατμόσφαιρα της Γης, ακριβώς πάνω από την επιφάνειά της. Ένα παρόμοιο γεγονός αν συνέβαινε σε μια μεγάλη πόλη, θα ήταν καταστροφικό. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η αναλογία της περιοχής που έπληξε ο κομήτης συγκριτικά με την πόλη της Ουάσινγκτον των ΗΠΑ. (Napier & Asher, 2009).



Σχήμα 4: Αναλογία κατεστραμμένης περιοχής από τον κομήτη στην Tunguska (Πηγή: earthsci.org)

1.1.5. Άλλες πηγές

Ενώ η αστεροειδής ζώνη μοιάζει με την πιο πιθανή πηγή μετεωριτών, ορισμένοι μετεωρίτες φαίνεται να προέρχονται από άλλα μέρη. Μερικοί μετεωρίτες έχουν χημική σύνθεση παρόμοια με δείγματα που συλλέχθηκαν από τη Σελήνη. Άλλοι μετεωρίτες πιστεύεται ότι προήλθαν από τον πλανήτη Άρη. Αυτοί οι τύποι μετεωριτών θα μπορούσαν να προέρχονται από

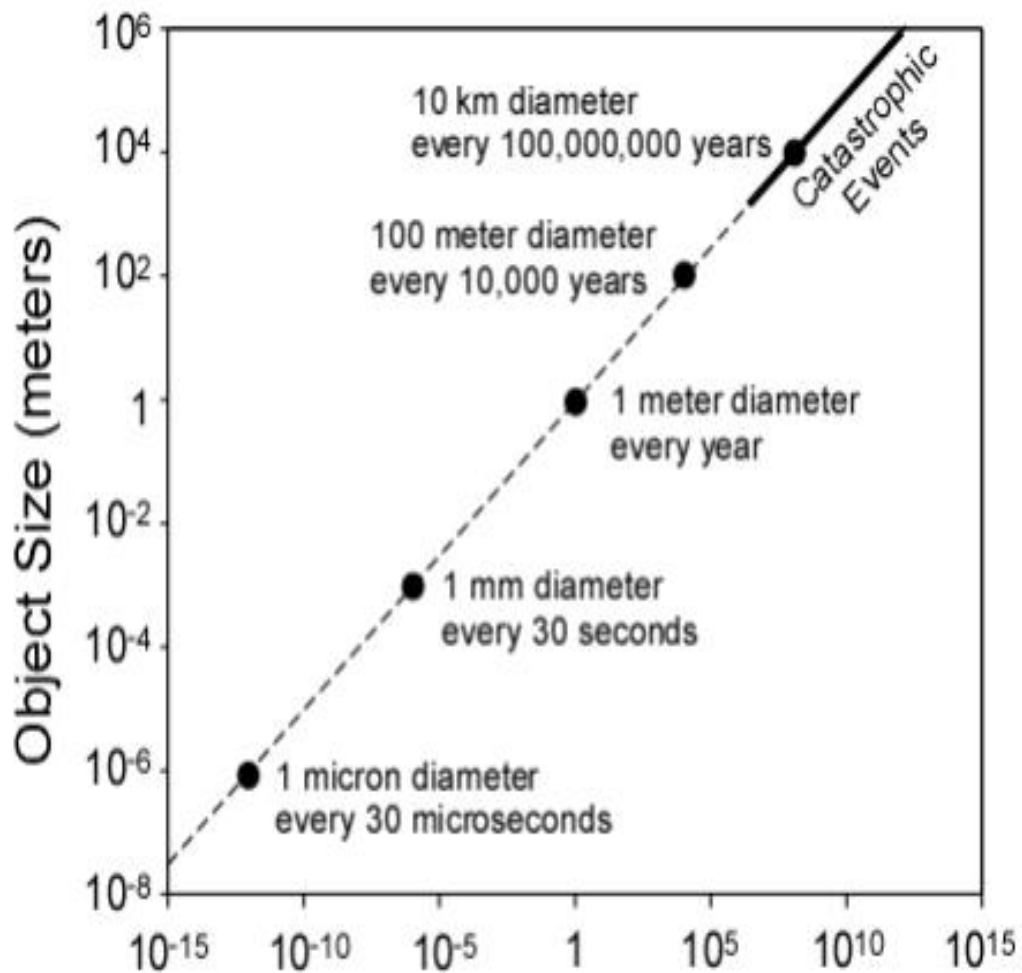
τη Σελήνη ή τον Άρη μετά από συγκρούσεις με άλλους αστεροειδείς ή από τον Άρη, μετά από ηφαιστειακές εκρήξεις (Bottke et al., 2005; Hsieh & Jewitt, 2006).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΠΡΟΣΚΡΟΥΣΕΙΣ

Όταν ένα μεγάλο αντικείμενο προσκρούει στην επιφάνεια της Γης, ο βράχος στο σημείο της πρόσκρουσης διασπάται και παραμορφώνεται και μερικά από αυτά τα κομμάτια εξοστρακίζονται προς την ατμόσφαιρα, για να πέσουν τελικά πάλι στην επιφάνεια της Γης. Αυτό οδηγεί στο μετασχηματισμό της επιφάνειας σε σχήμα μπολ με ανυψωμένο χείλος, που ονομάζεται **Κρατήρας Πρόσκρουσης** (Impact Crater). Το μέγεθος του κρατήρα πρόσκρουσης εξαρτάται από παράγοντες όπως το μέγεθος και την ταχύτητα του αντικειμένου και τη γωνία με την οποία χτυπά την επιφάνεια της Γης (Silber et al., 2009; Brown et al., 2002).

2.1. Συχνότητα πτώσης και μέγεθος μετεωριτών

Η μετεωρική συχνότητα (meteorite flux) είναι η συνολική μάζα εξωγήινων αντικειμένων που προσβάλλουν τη Γη. Αυτό είναι επί του παρόντος περίπου 10^7 έως 10^9 kg / έτος. Μεγάλο μέρος αυτού του υλικού είναι αντικείμενα μεγέθους σκόνης που ονομάζονται μικρομετεωρίτες (micrometeorites). Η συχνότητα με την οποία οι μετεωρίτες διαφόρων μεγεθών χτυπούν τη Γη εξαρτάται από το μέγεθός τους (Daniels et al., 2004; Melosh & Collins, 2005; McNeil et al., 2001), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3: Μέσος χρόνος ανάμεσα σε κάθε σύγκρουση με τη Γη (σε χρόνια) και αναλογία μεγέθους αντικειμένων (Πηγή: jpl.nasa.org)

Τόνοι μικρομετεωριτών χτυπούν τη Γη κάθε μέρα. Λόγω του μικρού τους μεγέθους, συνήθως δεν καίγονται όταν εισέρχονται στην ατμόσφαιρα της Γης, αλλά αντίθετα εγκαθίστανται πέφτοντας αργά στην επιφάνεια. Οι μετεωρίτες με διάμετρο περίπου 1 mm χτυπούν τη Γη περίπου κάθε 30 δευτερόλεπτα. Καθώς μπαίνουν οι μετεωρίτες στην ατμόσφαιρα της Γης, η τριβή του περάσματος μέσα από την ατμόσφαιρα παράγει αρκετή θερμότητα για την τήξη ή εξατμισμό των αντικειμένων (Daniels et al., 2004; Melosh & Collins, 2005; McNeil et al., 2001).

Οι μετεωρίτες μεγαλύτερων μεγεθών χτυπούν τη Γη λιγότερο συχνά. Εάν έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από περίπου 2 ή 3 cm, λιώνουν ή εξατμίζονται μόνο εν μέρει κατά τη διέλευση μέσα από την ατμόσφαιρα, και έτσι προσκρούουν στην επιφάνεια της Γης (Daniels et al., 2004; Melosh & Collins, 2005; McNeil et al., 2001)

Αντικείμενα με μεγέθη μεγαλύτερα από 1 km θεωρείται ότι επιφέρουν συνέπειες που θα ήταν καταστροφικές, επειδή η επίδραση ενός τέτοιου αντικειμένου θα προκαλούσε αρνητικές επιπτώσεις σε παγκόσμια κλίμακα. Τέτοιοι μετεωρίτες χτυπούν τη Γη σχετικά σπάνια - ένα αντικείμενο μεγέθους 1 χλμ προσκρούει στη Γη μία φορά κάθε ένα εκατομμύριο χρόνια και αντικείμενα μεγέθους 10 χιλιομέτρων περίπου μία φορά κάθε 100 εκατομμύρια χρόνια (Daniels et al., 2004; Melosh & Collins, 2005).

2.2. Ταχύτητα και απελευθέρωση ενέργειας των εισερχόμενων εξωγήινης προέλευσης αντικειμένων

Οι ταχύτητες στις οποίες οι μικροί μετεωρίτες έχουν προσκρούσει στη Γη κυμαίνονται από 4 έως 40 km / sec. Τα μεγαλύτερα αντικείμενα δεν θα επιβραδύνονταν σε μεγάλο βαθμό από την τριβή που σχετίζεται με τη διέλευση τους από την ατμόσφαιρα, και έτσι η πρόσκρουση τους στη Γη θα συνέβαινε με μεγάλη ταχύτητα. Οι υπολογισμοί δείχνουν ότι ένας μετεωρίτης με διάμετρο 30 m, βάρους περίπου 300.000 τόνων, ταξιδεύοντας με ταχύτητα 15 km / sec, θα απελευθέρωνε ενέργεια ισοδύναμη με περίπου 20 εκατομμύρια τόνους TNT (Silber et al., 2009; Brown et al., 2002).

Ο εντυπωσιακός κρατήρας Barringer στην Αμερική, για παράδειγμα, δημιουργήθηκε πριν από 50.000 χρόνια, από την πτώση ενός αστεροειδούς, διαμέτρου 60 m και βάρους 300.000 τόνων, ο οποίος μετατόπισε 175 εκατ. τόνους επιφανειακά πετρώματα, σχηματίζοντας κρατήρα 1,2 km και βάθους 170 m. Η ενέργεια που απελευθερώθηκε ήταν αντίστοιχη με αυτήν μίας πυρηνικής βόμβας και εξαέρωσε τα πάντα στην ευρύτερη περιοχή της πρόσκρουσης. Το κύμα κρούσης που δημιουργήθηκε, προκάλεσε ανέμους με ταχύτητες μεγαλύτερες των 1.000 km/h σε ακτίνα 3–5 km από το σημείο της πρόσκρουσης, ενώ σύμφωνα με τις σχετικές εκτιμήσεις, η χλωρίδα της περιοχής ισοπεδώθηκε σε μία επιφάνεια 800–1.500 km². (Osinski et al., 2015, Δεληβοριάς,Α, 2017)

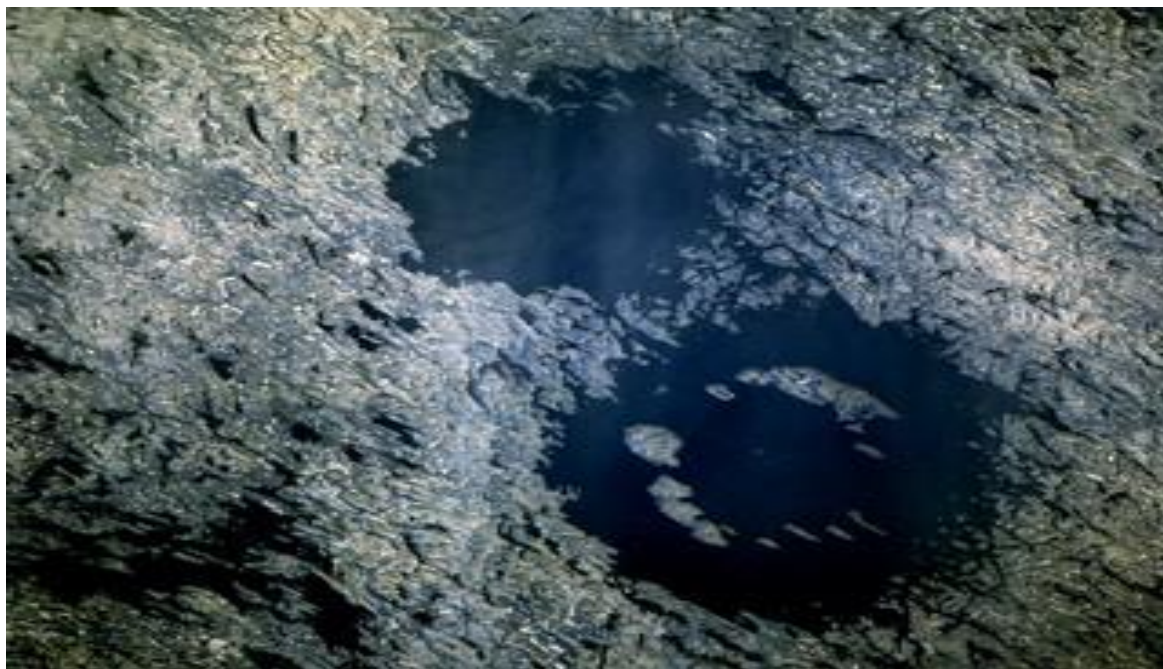


Εικόνα 3: Barringer Crater, Meteor Crater, Northern Arizona, USA ΠΗΓΗ: www.fossweb.com

Εάν ένας αστεροειδής μεγέθους και σύστασης όμοιο με αυτόν που δημιούργησε τον κρατήρα Barringer είχε χτυπήσει μία σύγχρονη πόλη, θα είχε προκαλέσει τεράστιες καταστροφές. Πολύ πιο πρόσφατα, στις 30 Ιουνίου 1908, το θραύσμα ενός κομήτη εξερράγη σε ύψος 6–10 km πάνω από την τούνδρα της Σιβηρίας, ισοπεδώνοντας περισσότερα από 2.000 km² δάσους. Στον πλανήτη Γη, όμως, έχουν εντοπιστεί και κρατήρες πρόσκρουσης μεγάλου μεγέθους, καθώς και πολύ μεγαλύτερης ηλικίας, όπως ο κρατήρας Sudbury στον Καναδά και ο κρατήρας Vredefort στη Νότιο Αφρική, οι οποίοι σχηματίστηκαν πριν από περίπου 2 δισ. έτη, ενώ εκτιμάται ότι η αρχική τους διάμετρος έφτανε τα 250 και 300 km αντιστοίχως. (Δεληβοριάς.Α, 2017)

Ένας αστεροειδής διαχωρίστηκε στα δυο μπαίνοντας στη γήινη ατμόσφαιρα κάπου 290 εκατομμύρια χρόνια πριν, δημιουργώντας δύο κολοσσιαίους κρατήρες στην ανατολική ακτή του Κόλπου Hudson στον Καναδά των ΗΠΑ. Έκτοτε βέβαια, τόσο η διάβρωση του εδάφους όσο και οι παγετώνες έχουν φθίρει το μεγαλύτερο τμήμα των αρχικών κρατήρων, ό,τι απέμεινε ωστόσο παραείναι εντυπωσιακό. Η μεγάλη λίμνη έχει πλέον διάμετρο 32 χιλιομέτρων και η μικρότερη αγγίζει τα 22 χιλιόμετρα, ένα μικρό ποσοστό δηλαδή του αρχικού τους μεγέθους. Οι λίμνες αυτές

οι οποίες βρίσκονται στο εθνικό πάρκο του Κεμπέκ πήραν την ονομασία Λίμνες Clearwater. (Newbeast δημοσιογραφική ιστοσελίδα, Ενότητα ΚΟΣΜΟΣ, 27/04/2014)



Εικόνα 4: Λίμνες Clearwater στο εθνικό πάρκο Κεμπέκ στον Καναδά πηγή
<https://www.newsbeast.gr/world/arthro/669240/ta-sfodrotera-htupimata-meteoriton-tis-istorias>

Επιπλέον, πριν από 10 χιλιάδες περίπου χρόνια, ένας μετεωρίτης προσέκρουσε στη Γη και δημιούργησε δυο δίδυμους κρατήρες. Το μοναδικό αυτό φαινόμενο στην Ελλάδα στάθηκε αφορμή για να δημιουργηθούν οι λίμνες Ζερέλια. Με απόσταση 250 μέτρων η μια από την άλλη, βρίσκονται 4 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της πόλης του Αλμυρού στη Θεσσαλία. Λίγα μέτρα από τις λίμνες βρίσκεται ένα μικρός λόφος, στον οποίο εντοπίστηκε προϊστορικός οικισμός, που κατοικήθηκε μέχρι και την εποχή του Χαλκού. Πέρα από το αρχαιολογικό ενδιαφέρον και την μετεωριτική τους προέλευση, οι λίμνες αυτές αποτελούν φιλόξενο περιβάλλον για πολλά είδη πτηνών όπως οι λευκοί πελαργοί, οι πρασινοκέφαλες πάπιες και οι νερόκοτες. Η μεγαλύτερη λίμνη έχει διάμετρο 250 μέτρα και βάθος περίπου 8, ενώ η μικρότερη έχει διάμετρο 150 μέτρα και βάθος περίπου 6 μέτρων και ο πυθμένας έχει σχήμα πιάτου. (Northmeteo.gr, 21/08/2020)



Εικόνα 5: Λίμνες Ζερέλια πηγή <https://northmeteo.gr/oi-didymes-limnes-zerelia-dimioyrgithikan-meta-apo-ptosi-meteoriti-photos/>

Η ποσότητα ενέργειας που απελευθερώνεται από την κρούση εξαρτάται από το μέγεθος του σώματος κρούσης και της ταχύτητάς του:

$$E = \frac{1}{2} MV^2$$

όπου E = Ενέργεια, M = Μάζα (εξαρτάται από το μέγεθος και την πυκνότητα του αντικειμένου) και V = Ταχύτητα

Μια πρόσκρουση όπως αυτή που έπληξε τη χερσόνησο Γιουκατάν στο Μεξικό περίπου 65 εκατομμύρια χρόνια πριν, υπολογίζεται ότι ήταν υπεύθυνη για την εξαφάνιση των δεινόσαυρων και πολλών άλλων ειδών. Επίσης, δημιούργησε τον Κρατήρα Chicxulub,

διαμέτρου 180 km και απελευθέρωσε ενέργεια ισοδύναμη με περίπου 100 εκατομμύρια μεγατόνους TNT (Sever, 2004).

Για σύγκριση, η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για τη δημιουργία ενός πυρηνικού χειμώνα (nuclear winter) στη Γη ως αποτέλεσμα ενός πυρηνικού πολέμου είναι περίπου 8.000 μεγατόνοι, και το ισοδύναμο ενέργειας του παγκόσμιου πυρηνικού οπλοστασίου είναι περίπου 60.000 μεγατόνοι (Daniels et al., 2004; Melosh & Collins, 2005).



Εικόνα 6: Κρατήρας Chicxulub – Μεξικό (πηγή <https://www.newsbeast.gr/world/arthro/669240/ta-sfodrotera-htupimata-meteoriton-tis-istorias>)

2.3. Επιφάνειες κρατήρων

Κοιτάζοντας την επιφάνεια της Σελήνης, εντυπωσιάζεται κανείς από το γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος των χαρακτηριστικών της διαμορφώνονται από κρατήρες πρόσκρουσης. Η Γη υπόκειται σε διαμορφώσεις περισσότερες από δύο φορές το μέγεθος των γεγονότων που επηρεάζουν τη Σελήνη λόγω του μεγαλύτερου μεγέθους της και της μεγαλύτερης βαρύτητας. Ωστόσο, η Γη δεν δείχνει να έχει τα χαρακτηριστικά επιφάνειας όπως η Σελήνη. Ο λόγος για αυτό είναι ότι η επιφάνεια της Γης αλλάζει συνεχώς λόγω φυσικών διεργασιών όπως:

- η διάβρωση

- οι καιρικές συνθήκες
- ο τεκτονισμός
- καθιζήσεις και
- η ηφαιστειακή δραστηριότητα (Mittlefehldt et al., 2005; Newsom et al., 2013).

Έτσι, οι μόνοι κρατήρες που είναι εμφανείς στη Γη είναι είτε πολύ νέοι, πολύ μεγάλοι, ή εμφανίστηκαν σε σταθερές ηπειρωτικές περιοχές που δεν υπόκεινται σε έντονες διαδικασίες τροποποίησης της επιφάνειας. Επί του παρόντος, έχουν εντοπιστεί περίπου 200 επίγειες δομές επιπτώσεων από κρατήρες, με το ποσοστό ανακάλυψης νέων δομών στο εύρος των 3-5 ετησίως. (Mittlefehldt et al., 2005; Newsom et al., 2013)

2.4. Η μηχανική του Κρατήρα Πρόσκρουσης

Όταν ένα μεγάλο εξωγήινο αντικείμενο εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της Γης, το πρώτο πράγμα που θα συμβεί είναι να συμπίεσει την ατμόσφαιρα, στέλνοντας ένα κύμα σοκ μέσω του αέρα. Η θερμότητα που θα δημιουργηθεί λόγω της τριβής θα προκαλέσει θέρμανση και λάμψη στο αντικείμενο. Η τήξη και η ομοιόμορφη εξάτμιση των εξωτερικών μερών του αντικειμένου θα ξεκινήσει, αλλά εάν το αντικείμενο είναι αρκετά μεγάλο, το στερεό υλικό θα παραμείνει όταν θα προσκρούσει στην επιφάνεια της Γης (Mittlefehldt et al., 2005; Newsom et al., 2013).

Οι επιπτώσεις μεγάλων μετεωριτών δεν έχουν ποτέ παρατηρηθεί από τους ανθρώπους. Η περισσότερη λοιπόν γνώση σχετικά με το τί πρέπει να γίνει στη συνέχεια προέρχονται από κλιμακωτά πειράματα. Όπως το στερεό αντικείμενο προσκρούει με τη Γη, θα συμπίεσει τους βράχους για να σχηματίσει κρατήρα. Επίσης θα εξοστρακιστούν κάποια κομμάτια από το αντικείμενο που έχει διασπαστεί (λόγω της σύγκρουσης) και σκόνη για να αποβληθεί στην ατμόσφαιρα. Αυτά τα υλικά ονομάζονται πυροκλαστικά πετρώματα (ejecta). Η πρόσκρουση θα στείλει ένα κύμα σοκ στα πετρώματα τα οποία βρίσκονται μέσα στη Γη, και οι βράχοι θα συνθλιβούν σε μικρά θραύσματα για να σχηματίσουν ένα λατυποπαγές. Μερικά από τα πυροκλαστικά πετρώματα θα έχουν πολύ υψηλή θερμοκρασία για να εξατμιστούν και η θερμότητα που θα παραχθεί από την πρόσκρουση θα μπορούσε να είναι αρκετά υψηλή ώστε να λειώσει το βράχο στην περιοχή της κρούσης. (Silber et al., 2009; Brown et al., 2002).

Το κύμα σοκ που εισέρχεται στη Γη, θα μετατραπεί πρώτα ως κύμα συμπίεσης (Pwave), αλλά μετά το πέρασμα του συμπιεστικού κύματος, ένα κύμα διαστολής (κύμα σπανιότητας) θα κινηθεί προς την επιφάνεια. Αυτό θα προκαλέσει την επιφάνεια του κρατήρα να ανυψωθεί και μπορεί επίσης να λυγίσει το βράχο γύρω από το χείλος του κρατήρα προς τα πάνω. Μπορεί επίσης να προκύψει ρήγμα στα βράχια γύρω από τον κρατήρα, προκαλώντας την διεύρυνση του κρατήρα. (Mittlefehldt et al., 2005; Newsom et al., 2013).

Τα πυροκλαστικά πετρώματα τελικά θα πέσουν ξανά στην επιφάνεια της Γης σχηματίζοντας μια ‘κουβέρτα’ πυροκλαστικών πετρωμάτων (ejacta blanket) που έχει μεγάλο πάχος κοντά στο χείλος του κρατήρα και αραιώνεται καθώς πηγαίνει προς τα έξω από τον κρατήρα. Τα πετρώματα κάτω από τον κρατήρα που δεν έλιωσαν από την πρόσκρουση θα σπάσουν σε πολλά σημεία. Όλα αυτά θα συμβούν σε ένα διάστημα 1 με 2 λεπτά. (Mittlefehldt et al., 2005; Newsom et al., 2013)

Οι προσκρούσεις στην επιφάνεια της Γης γίνονται όταν το εισερχόμενο αντικείμενο έχει μέγεθος μεγαλύτερο από 50 m. Αξιοσημείωτα παραδείγματα είναι ο Κρατήρας Barringer στις ΗΠΑ ή το Manicouagan στον Καναδά (παρακάτω εικόνα). Στην πραγματικότητα, αυτές οι μεγάλες δομές είναι ορατές από το διάστημα, κάτι το οποίο μαρτυρεί την τεράστια ενέργεια που μπορεί να απελευθερωθεί κατά τη διάρκεια μιας πρόσκρουσης. (Mittlefehldt et al., 2005; Newsom et al., 2013).



Εικόνα 7: Ο κρατήρας Manicouagan στον Καναδά είναι ορατός στο κέντρο της εικόνας. Η δομή κρούσης σχηματίζει μια κυκλική λίμνη και φαίνεται από τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό. (Πηγή: nasa.gov)

Ενώ τα περισσότερα χαρακτηριστικά πρόσκρουσης εξαφανίζονται στην επιφάνεια της Γης λόγω διαβρωτικών διεργασιών, η κοινή εμφάνιση προσκρούσεων αστεροειδών είναι ορατή στη Σελήνη, όπου η επιφάνεια καλύπτεται με κρατήρες επειδή δεν υπάρχει κάποια προστασία και απουσιάζουν οι διαβρωτικές διαδικασίες, οι οποίες διατηρούν τον κρατήρα. Η συνειδητοποίηση ότι οι προσκρούσεις αστεροειδών είναι στην πραγματικότητα ένα κοινό φυσικό φαινόμενο, αποτελεί ένα πρόσθετο κίνητρο για τη μελέτη τους και τις πιθανές συνέπειές τους για την ανθρωπότητα. (EDEIS, 2006).

2.5. Προσκρούσεις εξωγήινων αντικειμένων και μαζικές εξαφανίσεις

Εκτιμάται ότι η πρόσκρουση ενός διαστημικού αντικειμένου με μέγεθος μεγαλύτερο από περίπου 1 km θα γίνει αισθητή σε ολόκληρη την επιφάνεια της Γης. Μικρότερα αντικείμενα θα καταστρέψουν σίγουρα το οικοσύστημα κοντά στο σημείο της πρόσκρουσης, όπως ακριβώς

γίνεται και με τις επιπτώσεις μιας ηφαιστειακής έκρηξης. Μεγαλύτερες όμως προσκρούσεις θα μπορούσαν να έχουν επίδραση σε παγκόσμιο επίπεδο στη ζωή του πλανήτη Γη. Στη συνέχεια θα εξεταστούν οι πιθανές επιπτώσεις μιας πρόσκρουσης και, στη συνέχεια, θα συζητηθεί το πώς οι επιπτώσεις μπορεί να είχαν οδηγήσει σε μαζική εξαφάνιση ειδών στη Γη στο παρελθόν. (Silber et al., 2009).

2.6. Περιφερειακά και παγκόσμια αποτελέσματα

Όπως ειπώθηκε ήδη, οι άνθρωποι δεν γνωρίζουν από πρώτο χέρι ποιες είναι οι επιπτώσεις από την πρόσκρουση ενός μεγάλου μετεωρίτη (μεγέθους > 1 km) ή κομήτη. Ωστόσο, μπορούν να γίνουν υπολογισμοί και να διεξαχθούν κλιμακωτά πειράματα για την εκτίμηση των επιπτώσεων (Silber et al., 2009; Brown et al., 2002). Στη συνέχεια θα περιγραφούν οι άμεσες συνέπειες μετά από μια πρόσκρουση μετεωριτών:

1. Μεγάλης κλίμακας σεισμός - έως και 13 βαθμούς της κλίμακας Richter, και μεγάλος αριθμός μετασεισμών (Silber et al., 2009; Brown et al., 2002).

2. Οι μεγάλες ποσότητες σκόνης στην ατμόσφαιρα θα εμποδίσουν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία που καταλήγει στη Γη. Η σκόνη μπορεί να χρειαστεί μήνες για να αποτεθεί στην επιφάνεια της Γης. Εν τω μεταξύ, η Γη θα ήταν σε κατάσταση συνεχούς σκότους, και η θερμοκρασία του αέρα θα έπεφτε παγκοσμίως, δημιουργώντας συνθήκες μόνιμου χειμώνα. Ένα παρόμοιο αποτέλεσμα έχει διατυπωθεί ως το επακόλουθο ενός πυρηνικού πολέμου (που ονομάζεται πυρηνικός χειμώνας). Η εμπόδιση της ηλιακής ακτινοβολίας θα μειώσει επίσης την ικανότητα των φωτοσυνθετικών οργανισμών, όπως τα φυτά. Δεδομένου ότι οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί είναι η βάση της τροφικής αλυσίδας, αυτό θα διαταράξει σοβαρά όλα τα οικοσυστήματα (Silber et al., 2009; Brown et al., 2002).

3. Μεγάλης κλίμακας πυρκαγιές λόγω της ακτινοβολίας από τη μπάλα φωτιάς καθώς το αντικείμενο περνά στην ατμόσφαιρα. Ο καπνός από αυτές τις πυρκαγιές θα μπλοκάρει περαιτέρω την ηλιακή ακτινοβολία για να ενισχύσει το ψυκτικό αποτέλεσμα και να διαταράξει περαιτέρω τη φωτοσύνθεση (Silber et al., 2009; Brown et al., 2002).

4. Εάν η πρόσκρουση συμβεί στους ωκεανούς, θα δημιουργούσε ένα μεγάλο νέφος ατμού από την ξαφνική εξάτμιση του θαλασσινού νερού. Αυτοί οι υδρατμοί και το CO_2 θα

παραμείνουν στην ατμόσφαιρα πολύ μετά την απόθεση της σκόνης. Και τα δύο αυτά αέρια είναι αέρια θερμοκηπίου τα οποία συγκρατούν την ηλιακή ακτινοβολία και δημιουργούν ένα φαινόμενο θέρμανσης. Έτσι, μετά την αρχική παγκόσμια ψύξη, η ατμόσφαιρα θα υποστεί υπερθέρμανση για πολλά χρόνια μετά την πρόσκρουση (Silber et al., 2009; Brown et al., 2002).

5. Ο αντίκτυπος στους ωκεανούς, επίσης, θα δημιουργούσε τεράστια τσουνάμι. Η μπροστινή άκρη ενός αντικειμένου 10 χιλιομέτρων θα χτυπούσε στο βυθό των ωκεανών πριν η πίσω πλευρά του αντικειμένου φτάσει στη στάθμη της θάλασσας. Εκτιμάται ότι το τσουνάμι που θα δημιουργούταν μετά από μια τέτοια πρόσκρουση, θα είχε ύψος από 1 έως 3 χλμ.. Το τσουνάμι αυτό θα μπορούσε εύκολα να πλημμυρίσει το εσωτερικό των ηπείρων (Silber et al., 2009; Brown et al., 2002).

6. Μεγάλες ποσότητες οξειδίων του αζώτου θα προκύψουν από το συνδυασμό αζώτου και οξυγόνου στην ατμόσφαιρα λόγω του σοκ που προκαλείται από την πρόσκρουση. Αυτά τα οξείδια του αζώτου θα συνδυάζονταν με το νερό στην ατμόσφαιρα για να παράγουν νιτρικό οξύ, το οποίο θα επιστρέψει πίσω στην επιφάνεια της Γης ως όξινη βροχή, με αποτέλεσμα την όξυνση των επιφανειακών υδάτων (Silber et al., 2009; Brown et al., 2002).

2.7. Γεωλογικό Αρχείο Μαζικής Εξάλειψης

Είναι από καιρό γνωστό ότι η εξαφάνιση μεγάλου αριθμού οικογενειών ή ειδών οργανισμών έχει καταγραφεί σε συγκεκριμένες στιγμές στην ιστορία του πλανήτη. Μεταξύ των μηχανισμών που έχουν προταθεί που προκάλεσαν αυτές τις μαζικές εξαφανίσεις είναι:

- οι μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις
- οι αλλαγές στις κλιματολογικές συνθήκες
- οι αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας και μεταγενέστερα,
- οι μετεωρίτες (Tanner et al., 2004; Chernoff, 2008; Baláz et al., 2020).

Ενώ η θεωρία των επιπτώσεων, από τη πτώση μετεωριτών, των μαζικών εξαφανίσεων έχει γίνει αποδεκτή από πολλούς επιστήμονες για συγκεκριμένα γεγονότα εξαφάνισης, εξακολουθεί να υπάρχει σημαντική διαμάχη μεταξύ της επιστημονικής κοινότητας για τη θεωρία

αυτή. (Tanner et al., 2004). Η παρούσα εργασία δέχεται την πιθανότητα ότι ένα μεγάλο εξωγήινο αντικείμενο ευθύνεται τουλάχιστον για μερικά από τα γεγονότα μαζικής εξαφάνισης, όπως σίγουρα φαίνεται πιθανό, δεδομένης της επίδρασης που θα μπορούσε να έχει μια πρόσκρουση, όπως συζητήθηκε παραπάνω.

Σημαντικά γεγονότα εξαφάνισης σημειώθηκαν στις παρακάτω περιόδους:

- Στο τέλος της περιόδου του Τριτογενούς (Tertiary Period), 1.6 εκατομμύρια χρόνια πριν (Tanner et al., 2004).

- Στο τέλος της κρητιδικής περιόδου (Cretaceous Period), όπου σηματοδοτείται το όριο μεταξύ της Κρητιδικής και τριτογενούς περιόδου, 65 εκατομμύρια χρόνια πριν. (Οι γεωλόγοι χρησιμοποιούν το γράμμα K το οποίο αντιπροσωπεύει την κρητιδική περίοδο και το γράμμα T για την τριτογενή περίοδο. Ως εκ τούτου, αυτό το όριο ονομάζεται συνήθως το Όριο K-T) (Tanner et al., 2004).

- Στο τέλος της περιόδου του Τριαδικού (Triassic Period), 208 εκατομμύρια χρόνια πριν (Tanner et al., 2004).

- Στο τέλος της περιόδου του Περμιού (Permian Period), 245 εκατομμύρια χρόνια πριν (εκτιμάται ότι πάνω από το 96% των ειδών εξαφανίστηκε εκείνη την εποχή) (Tanner et al., 2004).

- Στο τέλος της περιόδου του Δεβονίου (Devonian Period), 360 εκατομμύρια χρόνια πριν (Tanner et al., 2004).

- Στο τέλος της περιόδου του Ορδοβίσιου (Ordovician Period), 438 εκατομμύρια χρόνια πριν (Tanner et al., 2004).

- Στο τέλος της περιόδου του Κάμβριου (Cambrian Period), 505 εκατομμύρια χρόνια πριν (Tanner et al., 2004).

Η μαζική εξαφάνιση στο τέλος της Μεσοζωικής Εποχής, δηλαδή στο όριο του Κρητιδικού - Τριτογενούς (συχνά αποκαλούμενο όριο K-T) πριν από 65 εκατομμύρια χρόνια, έχει πολλά στοιχεία τα οποία υποδεικνύουν μια πρόσκρουση με ένα εξωγήινο αντικείμενο. Αυτό το γεγονός είχε ως αποτέλεσμα την εξαφάνιση άνω του 50% των ειδών που ζούσαν εκείνη την εποχή, συμπεριλαμβανομένων των δεινοσαύρων. Το 1978 μια ομάδα επιστημόνων με

επικεφαλής τον Walter Alvarez του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια στο Μπέρκλεϋ, κατάφερε να εντοπίσει το όριο K-T με ακρίβεια σε στρώματα ασβεστόλιθων κοντά στο Gubbio της Ιταλίας. Στο όριο βρήκαν ένα λεπτό στρώμα πηλού. Η χημική ανάλυση του αργίλου αποκάλυψε ότι περιέχει ασυνήθιστα υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης του σπάνιου στοιχείου Iridium (Ir). Το Ir έχει εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις στα περισσότερα πετρώματα στο φλοιό της Γης, ωστόσο, φτάνει σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις στους μετεωρίτες. Η μόνη άλλη πιθανή πηγή υψηλών συγκεντρώσεων Ir είναι βασαλτικά μάγματα. Τα επόμενα χρόνια, το όριο K-T βρέθηκε σε πολλές άλλες τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο, και βρέθηκε επίσης ένα λεπτό στρώμα πηλού με υψηλές συγκεντρώσεις Ir. Αν και μια μεγάλη έκρηξη βασαλτικού μάγματος δεν μπορούσε να αποκλειστεί άμεσα ως η πηγή της υψηλής συγκέντρωσης του Ir, άλλα στοιχεία άρχισαν να συσσωρεύονται τα οποία υποδείκνυαν ότι η πρόσκρουση από κάποιο εξωγήινο αντικείμενο ήταν υπεύθυνο και για τα λεπτά στρώματα πηλού και για τις υψηλές συγκεντρώσεις Ir (Keller et al., 2004; Eldredge, 1999). Μεταξύ των στοιχείων που βρέθηκαν σε διαφορετικές περιοχές όπου εκτίθεται το όριο K-T είναι:

- Τα στρώματα πηλού σε ορισμένες περιοχές έχουν μεγάλο ποσοστό μαύρου άνθρακα που θα μπορούσε να έχει προέλθει από την αιθάλη που παράγεται από τις πυρκαγιές που προκαλούνται από μια πρόσκρουση (Keller et al., 2004; Eldredge, 1999).

- Μερικά από τα στρώματα πηλού περιέχουν κόκκους χαλαζία με κρυσταλλική δομή που αποδεικνύει ότι ο χαλαζίας υπέστη σοβαρή πίεση από ένα μεγάλο σοκ (Keller et al., 2004; Eldredge, 1999).

- Σε μερικά στρώματα πηλού βρίσκονται μικροσκοπικοί κόκκοι του ορυκτού στιβίτη (stishovite). Ο στιβίτης είναι μια πολύ συμπιεσμένη μορφή του SiO_2 που δεν συναντάται στην επιφάνεια της Γης, εκτός από κάποιες γνωστές τοποθεσίες με μετεωρίτη. Το ορυκτό μπορεί να παραχθεί μόνο ως αποτέλεσμα εξαιρετικά υψηλής πίεσης που προκαλείται από μια πρόσκρουση (Keller et al., 2004; Eldredge, 1999).

- Άλλα στρώματα πηλού περιέχουν μικροσκοπικά σφαιρικά σταγονίδια γυαλιού, που ονομάζονται σφαιρίδια (spherules). Το γυαλί δεν αποτελεί στοιχείο βάσης ως προς τη σύνθεση, αλλά θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει σταγονίδια τήξης που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια μιας πρόσκρουσης (Keller et al., 2004; Eldredge, 1999).

Τη στιγμή αυτών των ανακαλύψεων, δεν υπήρχε κάποια γνωστή δομή επιπτώσεων στη Γη με ηλικία 65 εκατομμυρίων ετών. Αυτό δεν είναι κάτι παράξενο, καθώς το 71% της

επιφάνειας της Γης καλύπτεται από νερό, και είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητο (Tanner et al., 2004; Chernoff, 2008; Baláz et al., 2020). Όμως, στα τέλη της δεκαετίας του 1980 η προσοχή άρχισε να επικεντρώνεται σε έναν θαμμένο χώρο όπου έγινε πρόσκρουση κοντά στην άκρη της χερσονήσου Γιουκατάν, στο Μεξικό. Εκεί, οι γεωλόγοι πετρελαίου έσκαψαν μέσα από τα στρώματα και βρήκαν λιωμένη πέτρα η οποία οφειλόταν σε πρόσκρουση (Poron et al., 2011).

Περαιτέρω γεωφυσικές μελέτες αποκάλυψαν μια κυκλική δομή με περίπου 180 χλμ διάμετρο. Η ραδιομετρική χρονολόγηση αποκαλύπτει ότι η δομή, που ονομάζεται Κρατήρας Chicxulub, σχηματίστηκε περίπου 65 εκατομμύρια χρόνια πριν. (Poron et al., 2011).

Αν και ο ίδιος ο κρατήρας είναι τώρα γεμάτος και θαμμένος από νεότερους βράχους, η γεώτρηση σε όλο τον Κόλπο του Μεξικού αποκάλυψε την παρουσία χαλαζία, γυάλινων σφαιριδίων και αιθάλης με την ίδια ηλικία με τον κρατήρα. Το μέγεθος του κρατήρα υποδηλώνει ότι το αντικείμενο που το παρήγαγε ήταν περίπου 10 χιλιόμετρα σε διάμετρο (Poron et al., 2011). Η παρακάτω εικόνα δείχνει το σημείο όπου βρίσκεται ο κρατήρας Chicxulub στο Μεξικό.



Σχήμα 4: Τοποθεσία του κρατήρα Chicxulub (Πηγή: atlasobscura.com)

Ενώ υπάρχει ακόμα κάποια συζήτηση μεταξύ γεωλόγων και παλαιοβιολόγων ως προς το εάν ή όχι οι εξαφανίσεις που σημειώθηκαν στο όριο K-T προκλήθηκαν από την επίδραση του αντικειμένου που δημιούργησε τον Κρατήρα Chicxulub, είναι ξεκάθαρο ότι είχε αντίκτυπο πριν από 65 εκατομμύρια χρόνια, και ότι πιθανώς είχε επιπτώσεις που ήταν παγκόσμιας κλίμακας. (Popov et al., 2011).

2.8. Ιστορικό προσκρούσεων

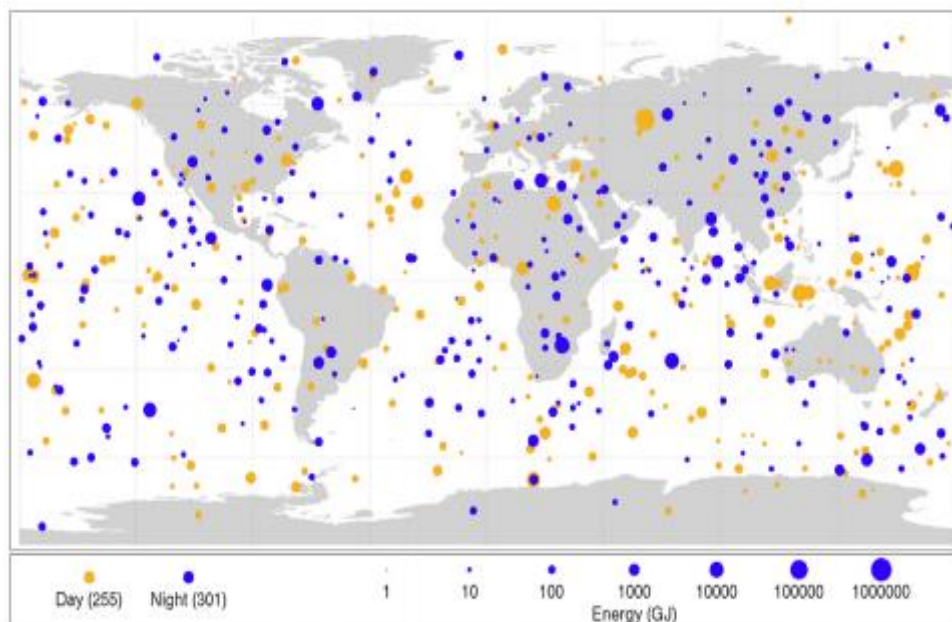
Η Γη έχει πλούσιο ιστορικό προσκρούσεων, αλλά πολλά χαρακτηριστικά πρόσκρουσης είναι δύσκολο να εντοπιστούν γιατί φυσικές διεργασίες όπως η διάβρωση, ο τεκτονισμός και η επίδραση του καιρού και της βλάστησης διαμορφώνει συνεχώς την επιφάνεια της Γης. Ωστόσο, ένα σημαντικό ιστορικό από προηγούμενες συγκρούσεις υπάρχουν και παρουσιάζεται σε αυτήν την ενότητα (Boslough and Crawford, 2008).

Επί του παρόντος, οι αστεροειδείς συγκρούονται συχνά με τη Γη καθημερινά και αυτές οι συγκρούσεις ανέρχεται σε περίπου 100 τόνους υλικού από αστεροειδείς που πέφτουν καθημερινά στη Γη (Plane, 2012). Φυσικά, η πλειονότητα αυτών των συγκρούσεων είναι με τα πολλά περισσότερα μικρά σωματίδια και αυτά παράγουν μόνο ένα μικρό μετεωρίτη, επίσης γνωστό ως ένα αστέρι που πέφτει (shooting star). Ωστόσο, οι μεγαλύτεροι αστεροειδείς απελευθερώνουν περισσότερη ενέργεια και εκρήγνυνται στον αέρα προκαλώντας ένα φαινόμενο που ονομάζεται ατμοσφαιρική έκρηξη (airburst). (Boslough and Crawford, 2008).

2.8.1. Ατμοσφαιρικές εκρήξεις

Οι ατμοσφαιρικές εκρήξεις συμβαίνουν πολλές φορές το χρόνο και η απόδειξη της έκρηξης τους καταγράφεται από ένα παγκόσμιο δίκτυο μικροφώνων υπερήχου που είχαν αρχικά εγκατασταθεί για την επιβολή της συνθήκης της απαγόρευσης των πυρηνικών δοκιμών (Silber et al., 2009). Η παρακάτω εικόνα δείχνει τις θέσεις αυτών των υψηλής ενέργειας εκρήξεων από αστεροειδή κατά την περίοδο μεταξύ του 1994 και 2013. Τα δεδομένα δείχνουν ότι δύο φορές το χρόνο αστεροειδείς εκρήγνυνται στην ατμόσφαιρα της Γης με ένα ισοδύναμο ενέργειας με τη Βόμβα της Χιροσίμα. Αξιοσημείωτες περιπτώσεις εκρήξεων αέρα είναι η περίπτωση της

Tunguska το 1908, του Chelyabinsk το 2013 και το φαινόμενο σχηματισμού γυαλιού της Λυβικής ερήμου (Robertson & Mathias, 2017; Svetsov et al., 2017). Η παρακάτω εικόνα δείχνει τις καταγεγραμμένες ατμοσφαιρικές εκρήξεις αστεροειδών μεταξύ 1994 και 2013. Η περίπτωση του Chelyabinsk είναι ο μεγάλος, πορτοκαλί δείκτης στη βόρεια Ρωσία.



Εικόνα 8: Καταγεγραμμένες ατμοσφαιρικές εκρήξεις αστεροειδών μεταξύ 1994 και 2013. Η περίπτωση του Chelyabinsk είναι ο μεγάλος, πορτοκαλί δείκτης στη βόρεια Ρωσία (<https://www.jpl.nasa.gov/news/new-map-shows-frequency-of-small-asteroid-impacts-provides-clues-on-larger-asteroid-population>)

2.8.1.1. Tunguska, 1908

Στις 30 Ιουνίου 1908, ένας αστεροειδής με διάμετρο περίπου 50 m εισήλθε στην ατμόσφαιρα πάνω από τη Σιβηρία στη Ρωσία (Brown et al., 2002; Boslough & Crawford, 2008). Άρχισε να διαλύεται πριν πέσει στο έδαφος δημιουργώντας ένα καυτό κύμα που έφτασε στην επιφάνεια. Η έκρηξη μετέφερε αρκετή ενέργεια για να κάψει και να ισοπεδώσει 2000 km² του δάσους της περιοχής (Boslough and Crawford, 2008). Αυτή η περιοχή της Γης είναι αραιοκατοικημένη και, ως εκ τούτου, δεν αναφέρθηκαν θύματα.

2.8.1.2. Chelyabinsk, 2013

Στις 09:20 τοπική ώρα στις 15 Φεβρουαρίου 2013, ένας αστεροειδής εξερράγη σε υψόμετρο περίπου 30 χλμ και περίπου 50 χλμ. από την πόλη Chelyabinsk στη Ρωσία (Popova et

al., 2013). Η έκρηξη είχε εκτιμώμενη ισοδύναμη απόδοση ενέργειας 470 ktTNT. Ήταν αρκετά ισχυρή για να σπάσει τα παράθυρα στο Chelyabinsk τραυματίζοντας περίπου 1500 άτομα. Θραύσματα από τον αστεροειδή των 20 μέτρων έπεσαν στο έδαφος από τα οποία πολλά αργότερα ανακτήθηκαν. Το περιστατικό καταγράφηκε επαρκώς επειδή είναι κοινό για τα αυτοκίνητα σε αυτήν την περιοχή να διαθέτουν κάμερες στο ταμπλό, οι οποίες κατέγραψαν το συμβάν.

2.8.1.3. Σχηματισμός γυαλιού στην έρημο της Λιβύης

Σε μια έκταση 6500 km² στην έρημο της Λιβύης, η άμμος έλιωσε και μετατράπηκε σε γυαλί περίπου 29 εκατομμύρια χρόνια πριν και η πιθανή αιτία για αυτό το φαινόμενο είναι μια υψηλή ατμοσφαιρική έκρηξη. Η ατμοσφαιρική έκρηξη δημιούργησε πλάσμα με θερμοκρασία περίπου 5000 Kelvin που έπεσε στο έδαφος και μετέτρεψε την άμμο σε γυαλί. Ένα παρόμοιο αλλά μεγαλύτερο γεγονός (σε έκταση 690.000 km²) υπάρχει υποψία ότι συνέβη πάνω από την περιοχή Muong-Nong στη Νοτιοανατολική Ασία (Boslough and Crawford, 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΝΕΟs

3.1. Δυνητικά επικίνδυνα ΝΕΟs

Τα εξωγήινα αντικείμενα ταξινομούνται ως δυνητικά επικίνδυνα όταν η ελάχιστη απόσταση διασταύρωσης τροχιάς (ΕΑΔΤ) είναι μικρότερη από 0,05 AU, το οποίο αντιστοιχεί σε περίπου 20 φορές την απόσταση από τη Γη έως τη Σελήνη και αυτή είναι απαραίτητη προϋπόθεση για πιθανή μελλοντική σύγκρουση με τη Γη. Επιπλέον, το μέγεθος του αντικειμένου πρέπει να είναι τουλάχιστον 140 μέτρα. Το όριο μεγέθους των 140 μέτρων προέρχεται από την εντολή του Κογκρέσου των ΗΠΑ το 1992, όταν ανταποκρίθηκε στην έκθεση έρευνας του Spaceguard Survey που έδωσε εντολή στη NASA να ανακαλύψει το 90% αυτών των αντικειμένων έως το 2012 (Morrison, 1992). Αυτός ο στόχος δεν επετεύχθη εγκαίρως λόγω ανεπαρκούς χρηματοδότησης. Σε κάθε περίπτωση, μια νέα έρευνα (Boslough & Crawford, 2008) και τα γεγονότα στο Chelyabinsk δείχνουν ότι θα μπορούσε να είναι λογικό να επαναπροσδιοριστεί το μέγεθος του αντικειμένου - στόχου σε χαμηλότερο όριο λόγω των σημαντικών κινδύνων που μπορούν να αποτελέσουν αυτά τα μικρότερα αντικείμενα για τον

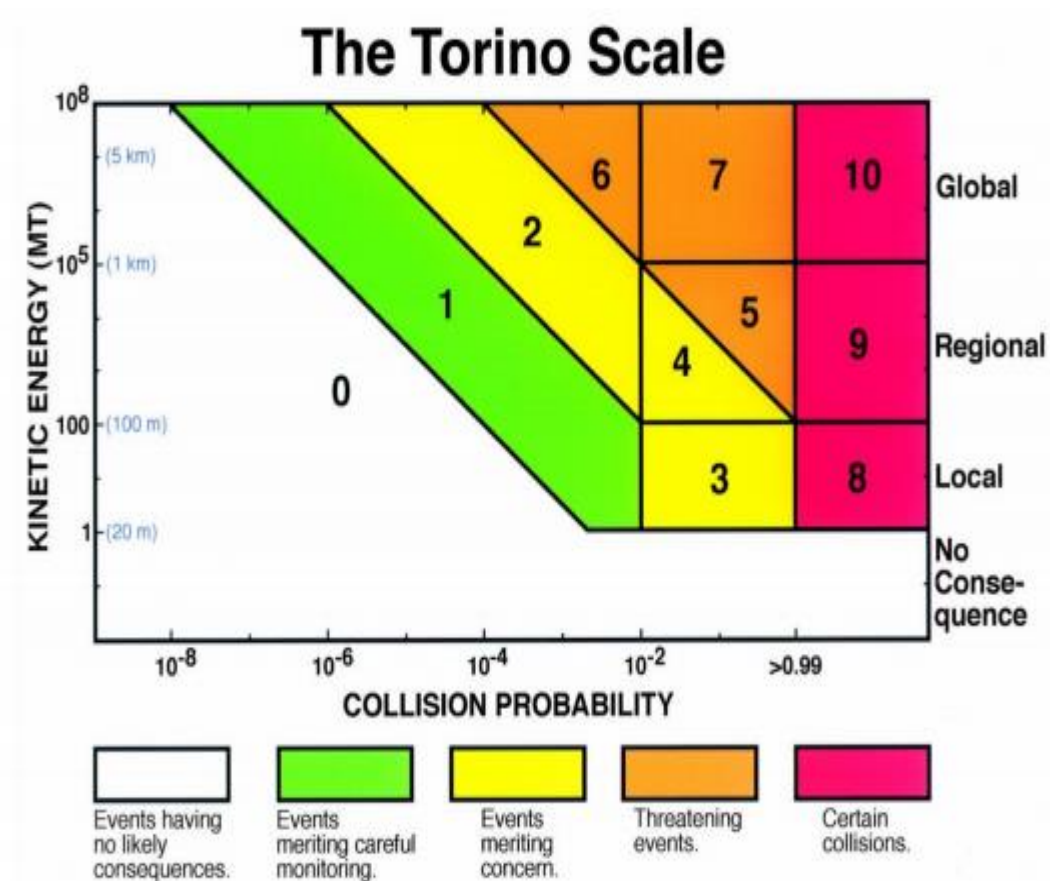
ανθρώπινο πληθυσμό (όπως φαίνεται από τις περιπτώσεις στην Tunguska, το Chelyabinsk). (Boslough, 2015).

3.2. Κλίμακες κινδύνου NEOs

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό του επιπέδου κινδύνου των ανακαλυφθέντων αντικειμένων με πιθανότητα σύγκρουσης με τη Γη στο μέλλον, χρησιμοποιούνται σήμερα δύο κλίμακες κινδύνου. Η κλίμακα Τορίνο έχει ως στόχο να επικοινωνεί τα επίπεδα κινδύνου στο ευρύ κοινό, ενώ η κλίμακα του Palermo εστιάζεται στο εξειδικευμένο κοινό. Και οι δύο κλίμακες βασίζονται στην κινητική ενέργεια της σύγκρουσης όσον αφορά τις συνέπειες, καθώς και την πιθανότητα των επιπτώσεων για τα πιθανά γεγονότα. Οι βαθμολογίες της κλίμακας Τορίνο και Παλέρμο είναι αφηρημένοι αριθμοί που επιτρέπουν ποιοτικές δηλώσεις απειλών σε σχέση με άλλα γεγονότα τα οποία έχουν αντίκτυπο, αλλά έχουν περιορισμένη αξία σε απόλυτους όρους, καθώς δεν περιγράφουν τις πραγματικές συνέπειες των επιπτώσεων. Στη συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση των δύο κλιμάκων.

3.2.1. Κλίμακα Τορίνο

Η κλίμακα Torino εισήχθη από τον Binzel (2000) και στοχεύει στην επικοινωνία της απειλής μέσω μιας απλής κλίμακας έντεκα σημείων στο ευρύ κοινό. Η πιθανότητα πρόσκρουσης και η κινητική ενέργεια καθορίζουν το επίπεδο απειλής της κλίμακας Τορίνο ενός δεδομένου αστεροειδούς σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα. Ένα αντικείμενο χαμηλής πιθανότητας πρόσκρουσης με τη Γη με χαμηλή κινητική ενέργεια λαμβάνει βαθμολογία μηδέν, ενώ ένα αντικείμενο υψηλής πιθανότητας πρόσκρουσης με υψηλή κινητική ενέργεια βαθμολογείται έως και με βαθμό δέκα.



Σχήμα 5: Κλίμακα Τορίνο (Πηγή: sciencedirect.com)

Ο αστεροειδής Apophis κατέχει το ρεκόρ έχοντας την υψηλότερη βαθμολογία κλίμακας Τορίνο με βαθμολογία 4 το 2004, αλλά στη συνέχεια αναθεωρήθηκε στο 0 όταν έγιναν διαθέσιμες κάποιες νέες παρατηρήσεις. (Bierhaus, 2017).

Η κλίμακα Torino δεν λαμβάνει υπόψη ιδιότητες των αστεροειδών όπως το υλικό από το οποίο αποτελούνται και την πυκνότητα του υλικού, τη γωνία πρόσκρουσης, την τοποθεσία της πρόσκρουσης και τον πληθυσμό που ενδέχεται να κινδυνεύει. Λαμβάνοντας υπόψιν αυτά, η κλίμακα Torino αντιπροσωπεύει μια γρήγορη μέθοδο για μια γενική κατανόηση του επιπέδου κινδύνου από την πτώση ενός δεδομένου αντικειμένου. (Binzel, 2000). Ο παρακάτω πίνακας δείχνει μια άλλη εκδοχή της κλίμακας Torino.

No Hazard	0	The likelihood of collision is zero, or is so low as to be effectively zero. Also applies to small objects such as meteors and bolides that burn up in the atmosphere as well as infrequent meteorite falls that rarely cause damage.
Normal	1	A routine discovery in which a pass near the Earth is predicted that poses no unusual level of danger. Current calculations show the chance of collision is extremely unlikely with no cause for public attention or public concern. New telescopic observations very likely will lead to re-assignment to Level 0.
Meriting Attention by Astronomers	2	A discovery, which may become routine with expanded searches, of an object making a somewhat close but not highly unusual pass near the Earth. While meriting attention by astronomers, there is no cause for public attention or public concern as an actual collision is very unlikely. New telescopic observations very likely will lead to re-assignment to Level 0.
	3	A close encounter, meriting attention by astronomers. Current calculations give a 1% or greater chance of collision capable of localized destruction. Most likely, new telescopic observations will lead to re-assignment to Level 0. Attention by the public and by public officials is merited if the encounter is less than a decade away.
	4	A close encounter, meriting attention by astronomers. Current calculations give a 1% or greater chance of collision capable of regional devastation. Most likely, new telescopic observations will lead to re-assignment to Level 0. Attention by the public and by public officials is merited if the encounter is less than a decade away.
Threatening	5	A close encounter posing a serious, but still uncertain threat of regional devastation. Critical attention by astronomers is needed to determine conclusively whether or not a collision will occur. If the encounter is less than a decade away, governmental contingency planning may be warranted.
	6	A close encounter by a large object posing a serious, but still uncertain threat of a global catastrophe. Critical attention by astronomers is needed to determine conclusively whether or not a collision will occur. If the encounter is less than three decades away, governmental contingency planning may be warranted.
	7	A very close encounter by a large object, which if occurring this century, poses an unprecedented but still uncertain threat of a global catastrophe. For such a threat in this century, international contingency planning is warranted, especially to determine urgently and conclusively whether or not a collision will occur.
Certain Collisions	8	A collision is certain, capable of causing localized destruction for an impact over land or possibly a tsunami if close offshore. Such events occur on average between once per 50 years and once per several 1000 years.
	9	A collision is certain, capable of causing unprecedented regional devastation for a land impact or the threat of a major tsunami for an ocean impact. Such events occur on average between once per 10,000 years and once per 100,000 years.
	10	A collision is certain, capable of causing a global climatic catastrophe that may threaten the future of civilization as we know it, whether impacting land or ocean. Such events occur on average once per 100,000 years, or less often.

Πίνακας 2: Κλίμακα Torino (Πηγή: cambridge.com)

3.2.2. Κλίμακα Palermo

Η κλίμακα Palermo προτάθηκε από τους Chesley et al. (2002) και αποτελεί μια συνεχή βαθμολογία κινδύνου σε αντίθεση με τα 11 διαφορετικά επίπεδα που χρησιμοποιούνται από την κλίμακα Torino. Επιπλέον, για να επηρεάσει την πιθανότητα και την ενέργεια που εκλείεται κατά την πρόσκρουση, η κλίμακα του Palermo λαμβάνει επίσης υπόψη το χρόνο μέχρι την πιθανή σύγκρουση και τη στατιστική απειλή να χτυπηθεί από παρόμοιο μέγεθος (ή μεγαλύτερο) αντικείμενο στο ίδιο χρονικό πλαίσιο. Με άλλα λόγια, η κλίμακα Palermo δείχνει το πόσο

σημαντική είναι η απειλή του παρατηρούμενου αντικειμένου συγκριτικά με το στατιστικό υπόβαθρο της απειλής. Αυτός ο παράγοντας σύγκρισης εκφράζεται ως ο λογάριθμος με βάση το δέκα και μπορεί συνεπώς να πάρει αρνητικές ή θετικές τιμές (Sánchez-Lozano & Fernández-Martínez, 2016). Η μαθηματική έκφραση της κλίμακας Palermo είναι η εξής:

$$S_P = \log_{10} \frac{P}{f_b \Delta t}$$

όπου το S_P είναι η βαθμολογία Palermo, το P είναι η πιθανότητα πρόσκρουσης, το Δt είναι ο χρόνος παράδοσης σε χρόνια, και f_b είναι η συχνότητα κρούσης ενός αντικειμένου παρόμοιας ή μεγαλύτερης ενέργειας κρούσης. Η συχνότητα αντίκτυπου φόντου f_b ετησίως προσεγγίστηκε ως:

$$f_b = \frac{3}{100} E^{-4/5}$$

Σε αυτήν την εξίσωση, το E είναι η κινητική ενέργεια σε megatons ισοδύναμου TNT (1 Mt TNT = $4,2 \times 10^{15}$ J) (Bailey et al., 2010).

Οι τυπικές τιμές κλίμακας Palermo βρίσκονται στο διάστημα $[-2, 2]$ και η τιμή -2 σημαίνει ότι το συγκεκριμένο αντικείμενο ενέχει κίνδυνο 100 φορές μικρότερο από τον αυθαίρετο αντίκτυπο του πληθυσμού υποβάθρου, ενώ η βαθμολογία $+2$ σημαίνει 100 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο. Έως σήμερα, ο αστεροειδής Apophis έχει λάβει την υψηλότερη βαθμολογία στην κλίμακα Palermo με τιμή 1,10 που αντιπροσωπεύει κίνδυνο που είναι 12,6 φορές υψηλότερος από τον κίνδυνο υποβάθρου. Οι επακόλουθες μετρήσεις, όμως, μείωσαν την πιθανότητα πρόσκρουσης και ο Apophis έλαβε μια, σημαντικά, χαμηλότερη βαθμολογία (Bailey et al., 2010).

3.3. Κίνδυνος πρόσκρουσης NEOs

Και οι δύο κλίμακες, Τορίνο και Παλέρμο, βασίζονται στην κινητική ενέργεια της πιθανότητας σύγκρουσης ως σημαντική παράμετρος που προσδιορίζει το επίπεδο κινδύνου. Ωστόσο, αυτοί οι παράμετροι δεν χρησιμοποιούν όλες τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες αμέσως μετά την ανακάλυψη ενός νέου αντικειμένου, όπως την πιθανή τοποθεσία της πρόσκρουσης και τις συνθήκες πρόσκρουσης (γωνία, ταχύτητα) (Sánchez-Lozano & Fernández-Martínez, 2016).

Η έννοια του κινδύνου ισχύει για ένα ευρύ φάσμα θεμάτων (π.χ. χρηματοδότηση, ασφάλιση, πολιτική και λήψη αποφάσεων). Ο κίνδυνος για ένα δεδομένο παράγοντα, που ορίζεται ως η αναμενόμενη απώλεια, είναι προϊόν τριών παραγόντων:

- πιθανότητα - η πιθανότητα να λάβει χώρα ένα συμβάν
- έκθεση - η αξία που διακυβεύεται (ή εκτίθεται)
- ευπάθεια - το τμήμα της εκτεθειμένης τιμής που επηρεάζεται εάν λάβει χώρα το συμβάν ((Sánchez-Lozano & Fernández-Martínez, 2016; Bailey et al., 2010; Chapman, 2004).

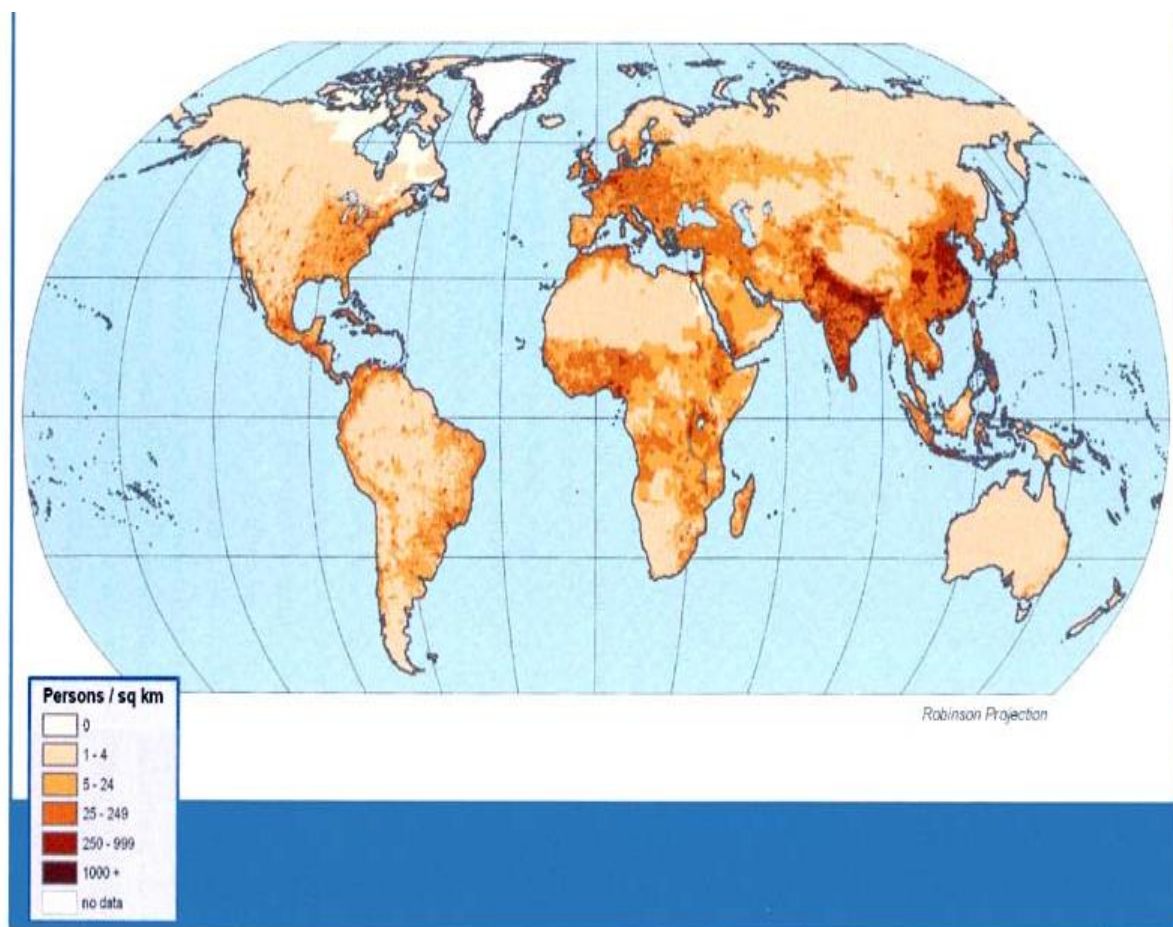
Εδώ, ο κίνδυνος πρόσκρουσης ενός NEO είναι δεκτός στη διατύπωση κινδύνου και μπορεί να εκφραστεί με τον ακόλουθο μαθηματικό τύπο:

$$R = P \times \Psi \times V (S)$$

όπου τα στοιχεία είναι η πιθανότητα κινδύνου (P), έκθεση στον κίνδυνο (Ψ) και η ευπάθεια στον κίνδυνο (V) ως συνάρτηση της σοβαρότητας του κινδύνου (S) (Bailey et al., 2010).

Πιθανότητα. Ο όρος πιθανότητα στην εξίσωση κινδύνου αντιπροσωπεύει την πιθανότητα πρόσκρουσης ενός NEO και αυτή η τιμή μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας την εκτίμηση της τροχιάς υπό εξέταση των αβεβαιοτήτων παρατήρησης (Chapman, 2004).

Έκθεση. Για να εκτιμηθεί ο όρος έκθεση, χρησιμοποιείται η παγκόσμια κατανομή του ανθρώπινου πληθυσμού. Ο παρακάτω χάρτης δείχνει τον παγκόσμιο πληθυσμό όπως εκτιμήθηκε για το έτος 2015, με ανάλυση περίπου $4,6 \times 4,6 \text{ km}^2$ (CIESIN et al., 2005).



Σχήμα 6: Ανθρώπινος πληθυσμός 2015 (Πηγή: <http://www.fao.org/3/a0310e/A0310E10.htm>)

Ευπάθεια. Τέλος, ο όρος ευπάθεια περιγράφει την ευπάθεια του πληθυσμού στις επιπτώσεις μιας πρόσκρουσης που προκαλείται από ένα NEO. Για το σκοπό αυτό, ο αντίκτυπος προσομοιώνεται σε κάθε πιθανή τοποθεσία πρόσκρουσης, καθορίζεται από την κατανομή πιθανότητας πρόσκρουσης και τα αποτελέσματα των επιπτώσεων δίνονται στον πληθυσμό εντός εμβέλεια αυτής της ζώνης πρόσκρουσης. Η σοβαρότητα των επιπτώσεων ελαττώνεται με την απόσταση και ο ευάλωτος πληθυσμός που υπολογίζεται στον κίνδυνο μπορεί να αναγνωριστεί μέσω της διάδοσης αυτών των επιπτώσεων. (Cheng et al., 2015).

Η έννοια του κινδύνου είναι κατάλληλη για την επικοινωνία των απειλών από NEOs επειδή, μέσω της μονάδας των αναμενόμενων θυμάτων, η απειλή καθίσταται συγκρίσιμη με άλλες φυσικές καταστροφές, και επομένως, διευκολύνει την ευθυγράμμιση των πρωτοκόλλων αντιμετώπισης καταστροφών με εκείνα που υπάρχουν για άλλες φυσικές καταστροφές. Η

διεθνής κοινότητα, εκπροσωπούμενη από τη Συμβουλευτική Ομάδα Προγραμματισμού Διαστημικής Αποστολής (Bauer et al., 2014), καταρτίζει πρωτόκολλα απόκρισης για να απαντήσει και να αντιμετωπίσει μια απειλή NEO σε διεθνές επίπεδο. Για να δημιουργηθεί ένα τέτοιο πρωτόκολλο, πρέπει να καθοριστούν τα όρια κινδύνου που ενεργοποιούν δράσεις απόκρισης όπως εστίαση σε δυνατότητες παρατήρησης στο αντικείμενο, αποστολή ομάδας χαρακτηρισμού, εκκένωση της πληγείσας περιοχής ή έναρξη μιας αποστολής εκτροπής. Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει κατώτερες τιμές κινδύνου σε σύγκριση με άλλες φυσικές καταστροφές και μπορεί έτσι να παρέχει ένα μέσο ποσοτικοποίησης των κατάλληλων πόρων που θα διατεθούν ως απάντηση στον κίνδυνο των NEOs. Η χρήση του κινδύνου ως μέτρου απειλής καθιστά επίσης το NEO μια απειλή πιο προσιτή στο ευρύ κοινό παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες (όπως π.χ. αναμενόμενα θύματα) Τέλος, υιοθετώντας την έννοια του κινδύνου για να περιγραφεί ο κίνδυνος από NEOs, το εργαλείο που πρέπει να αναπτυχθεί θα επιτρέψει επίσης την έρευνα σχετικά με τη φύση των επιπτώσεων, καθώς πρέπει να μοντελοποιήσει τις επιπτώσεις σε λεπτομερές επίπεδο, όσον αφορά την επίδρασή τους στον πληθυσμό (Cheng et al., 2015; Chapman, 2003; Izzo et al., 2005).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ NEOs

4.1. Κατηγοριοποίηση απειλής

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις στις οποίες ένα NEO μπορεί να απειλήσει τη Γη. Τα σώματα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με πολλές παραμέτρους:

- Χρόνος προειδοποίησης.
- Μέγεθος και μάζα NEO.
- Τροχιακές παράμετροι NEO.
- Τοποθεσία πρόσκρουσης.
- Βεβαιότητα πρόσκρουσης.
- Τροχιακή τάξη NEO (π.χ. Aten, Apollo, Amor, trans-neptunian, κομήτες).

- Σύνθεση NEO (Izzo et al., 2005).

Έχει προταθεί ότι η κύρια παράμετρος είναι ο χρόνος προειδοποίησης και αμέσως μετά το μέγεθος του NEO. Η ικανότητα δημιουργίας ή καταστροφής του NEO είναι μια άλλη σημαντική παράμετρος του προβλήματος. (Izzo et al., 2005)

4.2. Επιλογές απόκρισης

4.2.1. Χρόνος απόκρισης

Η στρατηγική απόκρισης στην πρόσκρουση ενός NEO μπορεί να χωριστεί σε τρία μέρη: εκτροπή, καταστροφή και προστασία. Πρέπει να σημειωθεί ότι το θέμα της εκτροπής ή της καταστροφής ενός NEO στο διάστημα εξακολουθεί να βρίσκεται σε θεωρητικό επίπεδο αν και έχουν γίνει πολλές μελέτες για να δείξουν το εφικτό του εγχειρήματος. Η ιδέα της εκτροπής είναι να αλλάξει την τροχιά του NEO προκειμένου να αποφευχθεί η σύγκρουσή του με τη Γη. Η καταστροφή του NEO προτείνεται γενικά όταν απομένει σχετικά πολύ λίγος χρόνος μέχρι την πρόσκρουση (εβδομάδες ή μήνες). (Bailey et al., 2010; Chapman, 2004; Farnocchia et al., 2016)

Ο χρόνος της απόκρισης είναι στην πραγματικότητα ζωτικής σημασίας κατά τη διαδικασία απόφασης της απόκρισης. Εάν υπάρχει χρόνος για απόκριση, υπάρχει η δυνατότητα μιας διαστημικής απόκρισης, εάν όχι, η μόνη λύση είναι η εκκένωση της τοποθεσίας πρόσκρουσης. Προκειμένου να ληφθεί η σωστή απόφαση, προτείνεται η διάκριση των παρακάτω 3 σταδίων:

- Ο «χρόνος προετοιμασίας» ξεκινά από την ανίχνευση του απειλητικού NEO μέχρι την έναρξη της απόφασης αναχαίτισης.
- Ο «χρόνος ταξιδιού» είναι ο χρόνος που απαιτείται για τον πύραυλο για να φτάσει στο NEO και να λειτουργήσει.
- Ο «χρόνος δράσης» είναι ο χρόνος που απομένει από τη στιγμή που τεθεί σε λειτουργία ο αναχαιτιστής, μέχρι την προβλεπόμενη πρόσκρουσή του με το NEO (Cheng et al., 2015; Chapman, 2003; Izzo et al., 2005).

Από την ώρα προειδοποίησης και την τροχιακή περίοδο του NEO, είναι δυνατόν να δοθεί μια πρόχειρη εκτίμηση του χρόνου προετοιμασίας, του χρόνου ταξιδιού και του χρόνου δράσης. Εάν υπάρχει πολύς χρόνος για προετοιμασίας και η τροχιά του NEO είναι προσβάσιμη, μια ειδική αποστολή (ή πιθανώς πολλαπλές αποστολές) μπορεί να πάει και να αξιολογήσει το NEO, με στόχο την αύξηση των γνώσεων για το απειλητικό σώμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, αυτές οι αποστολές θα ήταν αρκετά παρόμοιες με τις πολλές προσομοιώσεις που έχουν ήδη γίνει ή έχουν προταθεί. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις, οι επανδρωμένες αποστολές θα πρέπει να ληφθούν υπόψη δεδομένου ότι η ανθρώπινη παρουσία σε / πάνω στο NEO προσφέρει υψηλότερη προσαρμοστικότητα, και επομένως μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα αποστολής (Chapman, 2003).

4.2.2. Διαστημικές αποκρίσεις

Έχουν προταθεί πολλές στρατηγικές απόκρισης στη βιβλιογραφία. Μερικές από αυτές μπορούν να βρεθούν στην έρευνα που έκανε ο Gritzner (1997). Μέχρι στιγμής, οι κύριες στρατηγικές απόκρισης είναι οι εξής:

- Κινητική εκτροπή: Ένα μεγάλο διαστημικό σκάφος αποστέλλεται για να συγκρουσθεί με το NEO χρησιμοποιώντας μόνο κινητική ενέργεια, έτσι ώστε να γίνει εκτροπή της πορείας του (Cheng et al., 2015).

- Πυρηνική εκτροπή: Οι πυρηνικές εκρήξεις πυροδοτούνται σε απόσταση, στην επιφάνεια ή μετά τη διείσδυση, προκαλώντας την εκτροπή του NEO με τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας (Gennery, 2004).

- Πυρηνική καταστροφή: Σε ορισμένες περιπτώσεις, η έκρηξη μπορεί να προκαλέσει τη μερική ή ακόμα και την ολική διάσπαση του NEO (Baum, 2019).

- Mass driver: Εάν υπάρχει αρκετός χρόνος δράσης, μπορεί να είναι δυνατή η προσγείωση μιας συσκευής η οποία θα αποσπούσε ανά τακτά χρονικά διαστήματα μέρος της ύλης από το NEO και συνεπώς, τελικά θα προκαλούσε την εκτροπή της πορείας του (Olds, 2007).

- Πρόσκρουση τύπου μπιλιάρδου: Αυτή η επιλογή αφορά την εκτροπή ενός μικρού αστεροειδούς, βάζοντάς τον σε μια πορεία σύγκρουσης με το NEO που απειλεί τη Γη (Cheng et al., 2015).

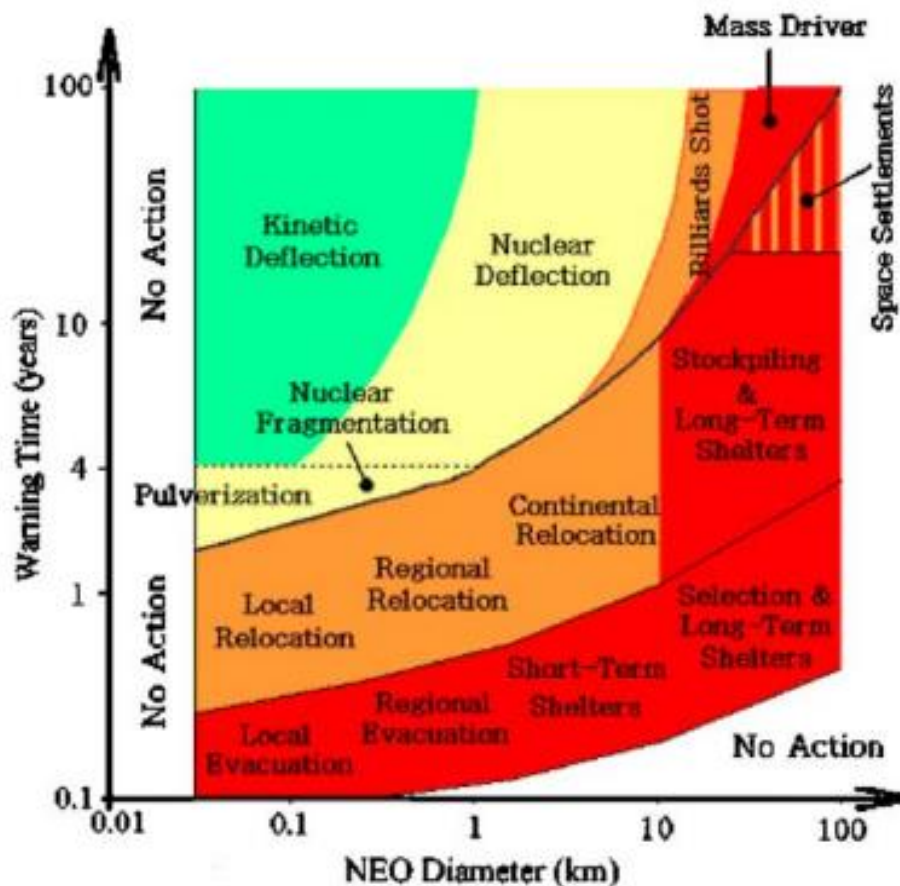
Η επιλογή της καλύτερης απόκρισης εξαρτάται από το διαθέσιμο χρόνο για δράση και τη διάμετρο του NEO (Bailey et al., 2010; Chapman, 2004; Farnocchia et al., 2016).

Η ενέργεια που απαιτείται για την εκτροπή ή την καταστροφή του NEO είναι μια βασική παράμετρος της απόκρισης. Μερικά επιπλέον cm / s είναι αρκετά για να επηρεάσουν την πορεία σύγκρουσης ενός NEO με τη Γη, υπό τον όρο ότι ο εντοπισμός του έχει γίνει αρκετά χρόνια πριν από την προβλεπόμενη πρόσκρουση. Τα χημικά εκρηκτικά όπως το TNT δεν λαμβάνονται υπόψη λόγω της χαμηλής τους αποδοτικότητας. Η πυρηνική επιλογή είναι η μόνη λύση που μπορεί να έχει αποτέλεσμα στην εκτροπή ή καταστροφή ενός μεγάλου NEO εάν ο χρόνος δράσης είναι περιορισμένος. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η χρήση αυτών των πυρηνικών όπλων για την εκτροπή ή την καταστροφή ενός απειλητικού NEO απαιτεί σημαντικές τροποποιήσεις των διεθνών νόμων. (Cheng et al., 2015).

Οι επιπτώσεις μιας μεγάλης έκρηξης κοντά σε ένα NEO δεν εξαρτώνται μόνο από τη μάζα αλλά και από τη σύνθεση και δομή του NEO (εάν το NEO είναι σωρός από ερείπια, η εκτροπή του μπορεί να είναι ανέφικτη). Σε περιπτώσεις όπου είναι επιθυμητή η εκτροπή, οι πυρηνικές εκρήξεις δεν πρέπει να πυροδοτούνται πολύ κοντά στο NEO για να αποφευχθεί η διάσπασή του. (Izzo et al., 2005)

Η επιλογή mass driver απαιτεί τουλάχιστον 10 χρόνια ώστε η δράση να είναι αποτελεσματική και απαιτεί επίσης πολύ χρόνο ανάπτυξης, δεδομένου ότι μια τέτοια τεχνολογία δεν υπάρχει ακόμα. Όταν τα NEO είναι πολύ μεγάλα για πυρηνική καταστροφή ή εκτροπή, η επιλογή της εκτροπής τύπου μπιλιάρδου είναι θεωρητικά δυνατή, αλλά παραμένει αβέβαιη όσον αφορά την ακρίβεια και τεχνική αποτελεσματικότητα. (Cheng et al., 2015)

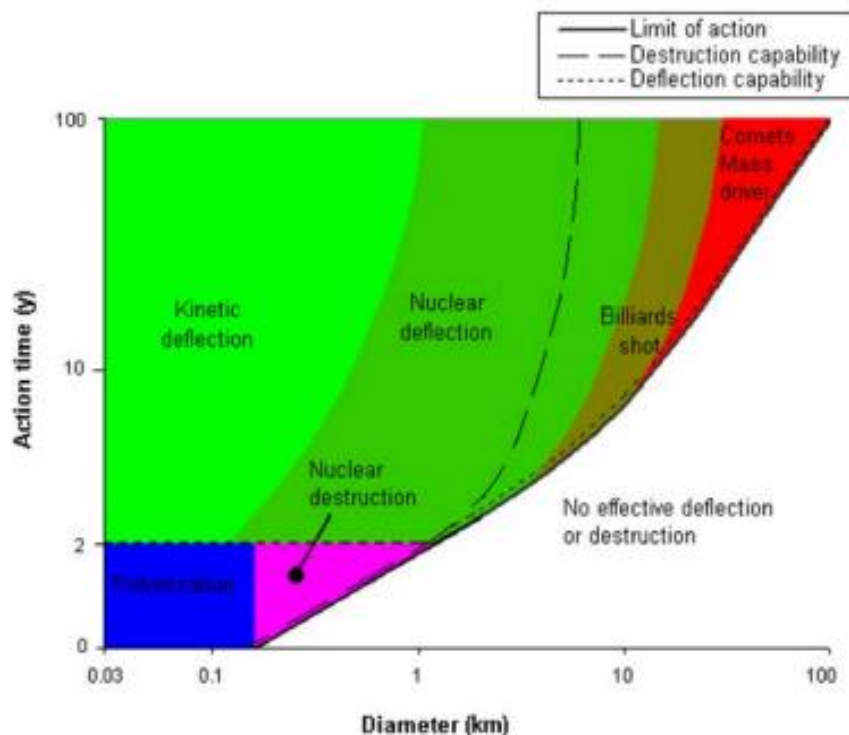
Το παρακάτω σχήμα εμφανίζει τις διαφορετικές στρατηγικές απόκρισης σε απειλή NEO. Η καμπύλη που χωρίζει το επάνω και το κάτω μέρος αυτού του γραφήματος αντιπροσωπεύει το όριο στις διαστημικές αποκρίσεις. Κάτω από αυτήν την καμπύλη, υπάρχει πολύ λίγος χρόνος για την πραγματοποίηση μιας αποτελεσματικής εκτροπής ή καταστροφής. Κάτω από αυτήν την καμπύλη, μόνο οι αποκρίσεις στη Γη όπως η εκκένωση και τα καταφύγια είναι οι λύσεις. Οι διαφορετικές περιοχές στο γράφημα υποδεικνύουν τις κατάλληλες αποκρίσεις. (Bailey et al., 2010; Chapman, 2004; Farnocchia et al., 2016)



Σχήμα 7: Στρατηγικές απόκρισης για την αποφυγή πρόσκρουσης NEO με τη Γη (Πηγή: Peter et al., 2004)

Μία από τις βασικές έννοιες είναι η δυνατότητα εκτροπής / καταστροφής του NEO. Προκειμένου να απλοποιηθεί το πρόβλημα, έχουν γίνει μερικές απλές υποθέσεις όπως η ανάγκη για τουλάχιστον 2 χρόνια προετοιμασίας οποιασδήποτε διαστημικής αποστολής και παρόμοιας λύσης για την αντιμετώπιση ενός NEO. Υπάρχουν πιθανά ελλείμματα μεταξύ των πιθανών αποκρίσεων και ορισμένες από τις υποθέσεις που έχουν γίνει μπορεί να είναι ακατάλληλες για κάποιο συγκεκριμένο απειλητικό σενάριο. Για παράδειγμα, εάν το NEO είναι κομήτης μεγάλης περιόδου, μπορεί να είναι αδύνατος ο έγκαιρος εντοπισμός του NEO, καθιστώντας την στρατηγική αποδόμησης ανέφικτη. (Charman, 2003)

Για αποκρίσεις στο διάστημα, η βασική παράμετρος δεν είναι ο χρόνος προειδοποίησης, αλλά ο χρόνος απόκρισης (όπως αναφέρθηκε παραπάνω) ως συνάρτηση του χρόνου προειδοποίησης και της τροχιάς. Το παρακάτω γράφημα δείχνει τις διαστημικές αποκρίσεις ως συνάρτηση του χρόνου απόκρισης και του μεγέθους του NEO (Izzo et al., 2005).



Σχήμα 8: Διαστημικές αποκρίσεις ως συνάρτηση του χρόνου απόκρισης και του μεγέθους του NEO (Πηγή: Peter et al., 2004)

Προκειμένου να στεφθεί με επιτυχία η οποιαδήποτε προσπάθεια αναχαίτισης ενός αστεροειδούς, θα πρέπει το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τον εντοπισμό του μέχρι την προβλεπόμενη σύγκρουσή του με τον πλανήτη Γη να είναι αρκετά μεγάλο, ώστε να υπάρχει επαρκής χρόνος αντίδρασης. Οι περισσότεροι επιστήμονες προτείνουν σχετικά «ήπιες» μεθόδους αναχαίτισης, οι οποίες δεν βασίζονται τόσο στην βίαιη καταστροφή ενός επικίνδυνου αστεροειδούς, αλλά στην τεχνητή μεταβολή της τροχιάς του σε βάθος χρόνου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν η αποστολή μίας διαστημοσυσκευής σε τροχιά γύρω από κάποιον αστεροειδή, που θα μεταβάλει σε βάθος χρόνου την τροχιά του, απλά και μόνο με την βαρυτική της έλξη, τον χρωματισμό της επιφάνειάς του με ειδική ανακλαστική ή απορροφητική μπογιά, προκειμένου να μεταβληθεί η πίεση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας του Ήλιου ή ακόμη και τη χρήση ειδικών κατόπτρων, τα οποία, εστιάζοντας τις ακτίνες του Ήλιου πάνω στον αστεροειδή, θα ατμοποιήσουν ποσότητα από την ύλη του. (Δεληβοριάς,Α,2017)

Τέλος, μία άλλη μέθοδος αναχαίτισης αστεροειδούς είναι η στόχευσή του με μία βολίδα, η πρόσκρουση της οποίας στην επιφάνειά του μπορεί να μεταβάλει την ταχύτητα και την

τροχιά του, ακριβώς όσο χρειάζεται, προκειμένου να εκτραπεί από την αρχική του πορεία. Το κατά πόσο αυτό είναι εφικτό αποτελεί τον στόχο μίας προτεινόμενης αποστολής, που θα υλοποιηθεί το 2023. Πρόκειται για την αποστολή AIDA (Asteroid Impact and Deflection Assessment), στόχος της οποίας είναι να μελετήσει αυτό ακριβώς το σενάριο αντιμετώπισης ενός επικίνδυνου αστεροειδούς και να διαπιστώσει εάν θα μπορούσε όντως να μεταβληθεί η τροχιά του με την πρόσκρουση μίας διαστημοσυσκευής-βολίδας. Τα συνολικά αποτελέσματα από την αποστολή θα πρέπει να παρέχει μια βάση για τον σχεδιασμό τυχόν μελλοντικών πλανητικών αμυντικών στρατηγικών, προσφέροντας εικόνα για το είδος της δύναμης που απαιτείται για τη μετατόπιση της τροχιάς οποιουδήποτε εισερχόμενου αστεροειδούς και καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο θα μπορούσε να εφαρμοστεί η τεχνική εάν προκύψει πρόσκρουση με τη Γη. (ESA, Δεληβοριάς,Α,2017)

Συστηματική μελέτη της Ζώνης των Αστεροειδών δεν έχει πραγματοποιηθεί στον βαθμό που θα ήθελαν οι αστρονόμοι. Το Pioneer 10 ήταν η πρώτη διαστημοσυσκευή που κατάφερε να διασχίσει τη Ζώνη Αστεροειδών τον Ιούλιο του 1972, κάτι που επαναλήφθηκε τα επόμενα χρόνια με τις αποστολές των Pioneer 11 (1973), Voyager 1 και 2 (1977) και Ulysses (1990). Αργότερα, αρχής γενομένης με την αποστολή Galileo, που ανακάλυψε τον πρώτο δορυφόρο να περιφέρεται γύρω από έναν αστεροειδή, οι διαστημοσυσκευές NEAR, Cassini, Stardust, New Horizons και Rosetta κατάφεραν να φωτογραφίσουν συγκεκριμένους αστεροειδείς, προτού συνεχίσουν το ταξίδι τους για τις επιμέρους αποστολές τους. (Δεληβοριάς,Α,2017)

Μέχρι στιγμής, όμως, μόλις 3 διαστημικές αποστολές έχουν υλοποιηθεί με αποκλειστικό στόχο την αναλυτική μελέτη κάποιου αστεροειδούς: οι αποστολές NEAR, Hayabusha και DAWN. Η διαστημοσυσκευή NEAR της NASA εκτοξεύθηκε το 1996 με προορισμό τον αστεροειδή Έρως, που ανήκει στην οικογένεια των NEO. Σύμφωνα με τον σχεδιασμό της αποστολής, η διαστημοσυσκευή κατάφερε να τεθεί σε τροχιά γύρω από τον αστεροειδή, ενώ προσεδαφίστηκε στην επιφάνειά του στις 12 Φεβρουαρίου 2001. Η ιαπωνική διαστημοσυσκευή Hayabusa εκτοξεύθηκε τον Μάιο του 2003 με προορισμό τον αστεροειδή Itokawa, στον οποίο και προσεδαφίστηκε τον Νοέμβριο του 2005 σε μία προσπάθεια να συλλέξει υλικό από την επιφάνειά του για περαιτέρω ανάλυση. Δυστυχώς, όμως, το αποσπώμενο ρομποτικό όχημα προσεδάφισης Minerva απέτυχε να προσεδαφιστεί στον στόχο του. Παρά τα μεγάλα προβλήματα που αντιμετώπισε η συγκεκριμένη αποστολή, κατάφερε εντέλει να μεταφέρει πίσω στην Γη κάποια δείγματα από την επιφάνεια του αστεροειδούς τον Ιούνιο του 2010. (Δεληβοριάς,Α,2017)

Όπως, μάλιστα, ευελπιστούν οι αστρονόμοι, η αποστολή Hayabusa 2, που εκτοξεύθηκε το 2014 προς έναν άλλον αστεροειδή, θα έχει μεγαλύτερη επιτυχία. Η τελευταία, μέχρι στιγμής, διαστημική αποστολή με στόχο την μελέτη ενός αστεροειδούς, την συλλογή δειγμάτων από την επιφάνειά του και την επιστροφή τους στην Γη για περαιτέρω ανάλυση, είναι η OSIRIS-REx, που εκτοξεύθηκε στις 8 Σεπτεμβρίου 2016 με προορισμό τον αστεροειδή Bennu. Με μέση διάμετρο σχεδόν 500 m, ο Bennu είναι ένας κοντινός στην Γη αστεροειδής, για τον οποίο έχει υπολογιστεί ότι υπάρχει 0,037% πιθανότητα να προσκρούσει στον πλανήτη μας κάποια στιγμή στο χρονικό διάστημα 2.175-2.196. Αυτή ακριβώς η πολύ μικρή πιθανότητα της σύγκρουσής του με τον πλανήτη μας ήταν και ένας από τους λόγους που επιλέχθηκε για την αναλυτική του μελέτη. Ωστόσο, η σημαντικότερη, μέχρι στιγμής, διαστημική αποστολή προς τη Ζώνη των Αστεροειδών ξεκίνησε στις 27 Σεπτεμβρίου 2007, όταν εκτοξεύθηκε η διαστημοσυσκευή Dawn της NASA, με στόχο την μελέτη των δύο μεγαλύτερων αστεροειδών της Ζώνης: της Δήμητρας και της Εστίας. Σχεδόν 4 χρόνια μετά την εκτόξευσή της, η διαστημοσυσκευή Dawn εισήλθε σε τροχιά γύρω από την Εστία τον Ιούλιο του 2011, όπου παρέμεινε για έναν περίπου χρόνο. Στην συνέχεια κατευθύνθηκε προς τον πλανήτη-νάνο Δήμητρα, εισερχόμενη σε τροχιά γύρω του περίπου 3 χρόνια αργότερα. Εκείνη την στιγμή, το Dawn κατέρριπτε δύο διαστημικά ρεκόρ, καθώς ήταν η πρώτη διαστημοσυσκευή που τέθηκε σε τροχιά γύρω από δύο διαφορετικά ουράνια σώματα του Ηλιακού συστήματος, αλλά και η πρώτη που κατάφερε να τεθεί σε τροχιά γύρω από έναν πλανήτη-νάνο. (Δεληβοριάς,Α,2017)

4.2.3. Αποκρίσεις σε μια ενδεχόμενη σύγκρουση από τη Γη

Οι αποκρίσεις από τη Γη μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες:

- Μετεγκατάσταση του απειλούμενου πληθυσμού.
- Τοποθέτηση σε κατάλληλα καταφύγια.

Οι λεπτομέρειες εξαρτώνται από το επίπεδο καταστροφής που προκαλείται από το ΝΕΟ. Οι δύο περιπτώσεις που εξετάζονται είναι τα βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα καταφύγια. (Bailey et al., 2010; Chapman, 2004; Farnocchia et al., 2016)

Όσον αφορά τη μετεγκατάσταση ενός πληθυσμού που κινδυνεύει, κρίσιμα ζητήματα είναι η σωστή χρήση μέσων επικοινωνίας (ειδικά με τον τρόπο που ο πληθυσμός ενημερώνεται για την απειλή), η διαδικασία εκκένωσης και η παρακολούθηση της διαδικασίας. Η μεγάλης κλίμακας μεταφορά πληθυσμών θα απαιτούσε προκαταρκτικές προσομοιώσεις και διερευνήσεις. Πρέπει να διαχειριστούν όλες οι διαδικασίες εκκένωσης, οι διαδρομές, τα μέσα μεταφοράς, μέσω ξηράς, θάλασσας ή αέρα. Η πολιτιστική κληρονομιά, οι πόροι και οι ζωντανοί οργανισμοί μπορούν να μετεγκατασταθούν εάν υπάρχει αρκετός χρόνος και πόροι. Η υποστήριξη των μετεγκατεστημένων πληθυσμών μπορεί να είναι ασήμαντη ή πολύ περίπλοκη ανάλογα με τον αριθμό των ατόμων (από χιλιάδες έως εκατομμύρια) για μετεγκατάσταση και το χρόνο μετεγκατάστασης (από εβδομάδες σε χρόνια). Επίσης, η κοινωνική σύγκρουση, η οποία θα ήταν αναπόφευκτη, θα πρέπει να αντιμετωπιστεί με μεγάλη προσοχή. (Cheng et al., 2015; Chapman, 2003)

Η επιστροφή των πληθυσμών κοντά στο σημείο πρόσκρουσης του ΝΕΟ μπορεί να απαιτήσει την ανοικοδόμηση μιας ολόκληρης περιοχής. Πρέπει να παρέχονται βασικές ανάγκες για αυτούς που έχουν χάσει τα πάντα. Θα απαιτούνταν διεθνής συνεργασία για την ανασυγκρότηση των πληγέντων χωρών. Μέχρι σήμερα, δεν έχει διεξαχθεί μια τέτοια μελέτη σε βάθος και δεν έχει υιοθετηθεί κάποιο πλαίσιο μετεγκατάστασης. Είναι επομένως σημαντικό να προσδιοριστούν οι κατάλληλες διαδικασίες εκκένωσης σε διεθνές επίπεδο. (Izzo et al., 2005)

4.2.4. Βραχυπρόθεσμα καταφύγια

Η επίδραση ενός μικρού αστεροειδούς (μέγεθος λιγότερο από 1 χλμ) δεν θα προκαλούσε παγκόσμια καταστροφή. Η καταστροφή θα ήταν τοπική και τα καταφύγια θα χρησιμοποιούνταν για 2 εβδομάδες στο μέγιστο. (Chapman, 2003)

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι καταφυγίων: τα δημόσια και τα ιδιωτικά. Αυτά τα δύο είδη βασίζονται κυρίως στην υπάρχουσα τεχνολογία. Το πιο πιθανόν είναι ότι θα γινόταν χρήση των υπαρχόντων καταφυγίων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις όπως οι σταθμοί μετρό, σήραγγες, ορυχεία και φυσικά σπήλαια, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως αυτοσχέδια καταφύγια. Ιδιωτικά καταφύγια θα χτίζονταν στα υπόγεια των σπιτιών ή σε κήπους, όπως θα γινόταν σε περίπτωση πυρηνικού πολέμου ή όπως σε τυφώνες. (Cheng et al., 2015)

4.2.5. Μακροπρόθεσμα καταφύγια

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η πρόσκρουση ενός αστεροειδούς διαμέτρου άνω των 10 km θα προκαλούσε μαζικούς σεισμούς, κύματα έκρηξης υψηλής θερμοκρασίας, τσουνάμι και τεράστιες φωτιές. Μακροπρόθεσμα, ο αντίκτυπος θα άλλαζε τη γήινη ατμόσφαιρα για δεκαετίες ή αιώνες. Ωστόσο, η προκύπτουσα αλλαγή θερμοκρασίας δεν είναι σαφής δεδομένου ότι θα υπάρχει επίσης εκτεταμένο νέφος σκόνης το οποίο θα εμποδίζει το φως του ήλιου. (Cheng et al., 2015; Chapman, 2003; Izzo et al., 2005)

Τα μακροπρόθεσμα καταφύγια πρέπει να είναι σχεδιασμένα για να φιλοξενούν άτομα για 5-10 χρόνια. Θα έχουν δύο κύριους στόχους:

- τη δημιουργία μιας αποικίας ανθρώπων για τη διατήρηση του είδους έως ότου μπορούν να κατοικήσουν ξανά τη Γη και
- τη διατήρηση των βασικών τεχνολογιών, της παγκόσμιας γνώσης και του πολιτισμού έως ότου το γήινο οικοσύστημα γίνει ξανά κατοικήσιμο με κατάλληλες συνθήκες για το ανθρώπινο είδος. (Bailey et al., 2010; Chapman, 2004; Farnocchia et al., 2016)

Αυτά τα καταφύγια θα είναι υπόγειες αποικίες με όλες τις προϋποθέσεις για τη διατήρηση της ζωής. Στην περίπτωση μιας μεγάλης αναπόφευκτης πρόσκρουσης, η ιδέα μιας "Κιβωτού του Νώε" είναι ο μόνος τρόπος για τη διατήρηση της ανθρωπότητας. Παράλληλα,

αναπτύσσονται τεχνολογίες για τη διατήρηση των ανθρώπων στο διάστημα για περισσότερα από 3 χρόνια, μέσα από διάφορες μελέτες για επανδρωμένες αποστολές στον Άρη. Η ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών θα ήταν απαραίτητη για το σχεδιασμό τέτοιων μακροπρόθεσμων καταφυγίων. Θα έπρεπε να τονιστεί ότι τέτοια καταφύγια δεν προβλέπονται να αντέχουν σε άμεσες προσκρούσεις, αλλά να επιβιώσουν μετά τις μεταβαλλόμενες ατμοσφαιρικές και κλιματολογικές συνθήκες σε ολόκληρο τον πλανήτη. (Cheng et al., 2015)

Ως πηγή ενέργειας, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα ορυκτά καύσιμα ή η πυρηνική ενέργεια και θα πρέπει να υπάρχουν μακροπρόθεσμα καταφύγια χτισμένα κοντά σε τοποθεσίες αυτών των πόρων. Επί του παρόντος, προτείνεται (στο πλαίσιο του προγράμματος ESA Aurora), η διερεύνηση πηγών πυρηνικής ενέργειας για χρήση της σε μακροπρόθεσμες αποστολές στον πλανήτη Άρη. Τέτοιες πηγές ενέργειας είναι σχεδιασμένες για 10 χρόνια λειτουργίας. Αυτή λοιπόν η πηγή ενέργειας είναι η τέλεια υποψήφια για τα υπόγεια καταφύγια. Ωστόσο, παρόλο που είναι μια πολύ πιο αποτελεσματική μορφή ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα, οι ισχύοντες διεθνείς νόμοι περιορίζουν την ιδιωτική χρήση και τις εφαρμογές τέτοιων πηγών πυρηνικής ενέργειας. (Chapman, 2003)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο: ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Υπάρχουν τρεις κύριες φυσικές πηγές ακτινοβολίας στο διάστημα στις οποίες μπορεί να εκτεθούν τα διαστημικά σκάφη και οι αστροναύτες: (1) Γαλαξιακή Κοσμική Ακτινοβολία ή ΓΚΑ (Galactic Cosmic Radiation, GCR), (2) Ηλιακά Ενεργειακά Σωματίδια ή ΗΕΣ (Solar Energy Particles, SEPs) και (3) Ενεργειακά σωματίδια παγιδευμένα σε ένα πλανητικό μαγνητικό πεδίο. Οι ανώμαλες κοσμικές ακτίνες (cosmic rays) φαίνεται ότι δεν αποτελούν κίνδυνο. Μια επιπλέον σημαντική πηγή ακτινοβολίας είναι τα δευτερεύοντα νετρόνια. (Wilson et al., 2004; Maurer et al., 2008)

5.1. Γαλαξιακή Κοσμική Ακτινοβολία (ΓΚΑ)

Οι γαλαξιακές κοσμικές ακτίνες είναι πολύ ενεργητικοί πυρήνες (κυρίως στην περιοχή από 100 MeV ανά πυρήνα έως 10 GeV ανά πυρήνα) που πιστεύεται ότι επιταχύνονται μετά από τα σοκ που προκαλούνται από εκρήξεις σουπερνόβα. Η ΓΚΑ αποτελείται κυρίως από πρωτόνια,

από τα οποία τα άλφα (He πυρήνες) είναι τα περισσότερα. Υπάρχουν επίσης ίχνη βαρύτερων πυρήνων όπως άνθρακας, οξυγόνο και σίδηρος. Αν και τα υψηλά ενεργειακά σωματίδια Z (HZE) είναι μόνο ένα μικρό κλάσμα του πληθυσμού της ΓΚΑ, υπάρχει ανησυχία επειδή είναι πολύ ιονίζοντα και οι βιολογικές τους επιπτώσεις είναι αβέβαιες. Μόλις η ΓΚΑ εισέλθει στο ηλιακό σύστημα, οι ροές της διαμορφώνονται από τον ηλιακό άνεμο και το ελικοσφαιρικό μαγνητικό πεδίο, έτσι ώστε να υπάρχει περιοδικότητα 11 ετών στην ένταση της ΓΚΑ. Έχουν παρατηρηθεί επίσης περιοδικότητες 27 ημερών και 22 ετών στη ροή ΓΚΑ. Επιπλέον, πρόσφατες αναλύσεις δεδομένων πυρήνα πάγου αποκάλυψαν μακροπρόθεσμες διακυμάνσεις στην ένταση ΓΚΑ, κάτι που υποδηλώνει ότι η παρούσα ένταση μπορεί να είναι ανώμαλα χαμηλή. (Moeller et al., 2017; Rahmanifard et al., 2020)

5.2. Ηλιακά Ενεργειακά Σωματίδια (HEΣ)

Τα HEΣ παράγονται τόσο από ηλιακές εκλάμψεις όσο και από κραδασμούς που προκαλούνται από γρήγορες εκτοξεύσεις μάζας (Coronal Mass Ejection, CME). Ενώ ασήμαντα γεγονότα μπορούν να συμβούν οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια του ηλιακού κύκλου, τα μεγαλύτερα συμβάντα HEΣ συμβαίνουν συχνότερα κατά τη διάρκεια περιόδων αυξημένης ηλιακής δραστηριότητας. Τα «χειρότερα» γεγονότα HEΣ συνέβησαν τον Φεβρουάριο 1956, τον Αύγουστο του 1972 και τον Σεπτέμβριο του 1989. Τέτοια γεγονότα φαίνεται να είναι σχετικά ασυνήθιστα στη σημερινή εποχή, αλλά μπορεί να έχουν συμβεί με αισθητά μεγαλύτερη συχνότητα στο παρελθόν. Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, το πιο ισχυρό συμβάν HE που ήταν γνωστό μέχρι σήμερα συνέβη το 1859, με εκτιμώμενη ροή πρωτονίων $> 30 \text{ MeV}$ $18,8 \times 10^9 \text{ cm}^2$ (McCracken et al., 2001).

Το μαγνητικό πεδίο της Γης προστατεύει από τη ΓΚΑ και τα HEΣ, αν και όχι σε τέλειο βαθμό. Το πεδίο στις πολικές περιοχές είναι ανοιχτό τόσο σε ΓΚΑ όσο και σε HEΣ. Κατά τη διάρκεια έντονων μαγνητικών καταιγίδων, η περιοχή της ανοιχτής ροής επεκτείνεται, επιτρέποντας την πρόσβαση στα HEΣ σε χαμηλότερα ύψη. Οι ΓΚΑ με επαρκή ακαμψία προσκρούουν στην ατμόσφαιρα σε μεσαία και χαμηλά γεωγραφικά πλάτη καθώς και στους πόλους. Ωστόσο, εκτός της μαγνητόσφαιρας, κατά τη διαπλανητική πτήση και στις επιφάνειες της Σελήνης ή του Άρη, και τα δύο είδη ακτινοβολίας θα παρουσιάσουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο για τους αστροναύτες (Roussos et al., 2018).

Ενώ η ΓΚΑ είναι η κυρίαρχη πηγή ακτινοβολίας στην οποία θα εκτεθούν οι αστροναύτες σε σεληνιακές ή διαπλανητικές αποστολές, το υπόβαθρο της ΓΚΑ και η διαμόρφωσή της από την ηλιακή δραστηριότητα και το διαπλανητικό μαγνητικό πεδίο (Interplanetary Magnetic Field, IMF) είναι σχετικά αρκετά κατανοητά και προβλέψιμα. Τα κύρια άγνωστα σε αυτήν την περίπτωση είναι τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης σωματιδίων ΗΖΕ με προστατευτικά υλικά και ανθρώπινο ιστό. Αντίθετα, τα γεγονότα ΗΕΣ είναι παροδικά, είναι πολύ μεταβλητά στη σύνθεση, την ένταση, τα φάσματα και το χρονικό προφίλ, και έτσι είναι δύσκολο να προβλεφθούν (Roussos et al., 2018). Παρά τις εξελίξεις στη γνώση και την κατανόηση των συμβάντων ΗΕΣ που γίνονται χάρη στα δεδομένα Advanced Composition Explorer (ACE) και Ulysses, παραμένουν ορισμένα βασικά ερωτήματα σχετικά με την επιτάχυνση, τη διάδοση των ΗΕΣ και τις φυσικές συνθήκες (π.χ. πληθυσμοί σπόρων, διαμόρφωση IMF, ταχύτητα σοκ και γεωμετρία). Η απάντηση σε αυτές τις ερωτήσεις είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη μιας προγνωστικής ικανότητας χρήσιμης για επιχειρησιακούς σκοπούς (Reames, 2013).

5.3. Παγιδευμένη ακτινοβολία

Όλοι οι μαγνητισμένοι πλανήτες έχουν πληθυσμούς πολύ ενεργητικών σωματιδίων που παγιδεύονται στα πλανητικά μαγνητικά πεδία. Οι πιο διεξοδικά μελετημένοι από αυτούς τους παγιδευμένους πληθυσμούς είναι οι ζώνες ακτινοβολίας της Γης (οι ζώνες Van Allen) και οι ζώνες ακτινοβολίας του Δία. Η περιοχή της παγιδευμένης ακτινοβολίας στη μαγνητόσφαιρα της Γης αποτελείται από ενεργητικά πρωτόνια, ηλεκτρόνια και βαριά ιόντα οργανωμένα σε δύο ζώνες, μια σχετικά σταθερή εσωτερική ζώνη η οποία αποτελείται κυρίως από πρωτόνια και μια εξαιρετικά μεταβλητή εξωτερική ζώνη που αποτελείται κυρίως από ηλεκτρόνια. Οι ενέργειες κυμαίνονται από ~ 100 keV έως > 400 MeV για πρωτόνια και από 10s keV έως > 10 MeV για ηλεκτρόνια. Οι επανδρωμένες αποστολές στο διάστημα μεταφέρονται σε χαμηλή τροχιά της Γης, σε υψόμετρα κάτω από την εσωτερική ζώνη. Ωστόσο, οι αστροναύτες που ξεκινούν ή επιστρέφουν από ταξίδια στη Σελήνη ή τον Άρη θα πρέπει να περάσουν από τις ζώνες Van Allen και θα εκτεθούν για σύντομες περιόδους σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας (Maurer et al., 2008).

5.4. Δευτερογενής ακτινοβολία

Οι ΓΚΑ και τα ΗΕΣ που προσκρούουν στην ατμόσφαιρα ή την επιφάνεια ενός πλανήτη ή δορυφόρου παράγουν δευτερογενή ακτινοβολία, συμπεριλαμβανομένων των ενεργητικών νετρονίων, τα οποία μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στο επιφανειακό περιβάλλον ακτινοβολίας στο οποίο θα εκτεθούν οι αστροναύτες. Μελέτες μοντελοποίησης του περιβάλλοντος ακτινοβολίας στην επιφάνεια του Άρη (π.χ. Clowdsley et al., 2001; Wilson et al., 2004) έδειξαν ότι, εκτός από τα φάσματα και τη ροή των πρωτογενών σωματιδίων, οι παράγοντες που καθορίζουν την ένταση της παραγόμενης δευτερεύουσας ακτινοβολίας είναι η πυκνότητα της ατμόσφαιρας και η σύνθεση της επιφάνειας, με υψηλότερη απόδοση νετρονίων από τον ξηρό regolith από ότι από regolith καλυμμένο με κατεψυγμένο CO₂ ή πάγο νερού. Απαιτείται ο χαρακτηρισμός του επιφανειακού περιβάλλοντος ακτινοβολίας μέσω μετρήσεων άμεσης επαφής με το αντικείμενο για την επικύρωση των κωδικών μεταφοράς που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες μελέτες (Clowdsley et al., 2001; Wilson et al., 2004).

5.5. Κίνδυνοι από τη διαστημική ακτινοβολία

Η NASA υποχρεούται από τη νομοθεσία να περιορίσει την έκθεση στην ακτινοβολία στους ανθρώπους στο διάστημα και να εφαρμόσει τα κατάλληλα μέτρα άμβλυνσης του κινδύνου, προκειμένου να διασφαλίσει ότι οι άνθρωποι μπορούν να ζήσουν και να εργαστούν με ασφάλεια στο περιβάλλον της διαστημικής ακτινοβολίας, οπουδήποτε, οποτεδήποτε. Σε αυτό το πλαίσιο, «με ασφάλεια» σημαίνει ότι δεν γίνεται υπέρβαση των αποδεκτών κινδύνων κατά τη διάρκεια της ζωής των μελών του πληρώματος, όπου οι «αποδεκτοί κίνδυνοι» περιλαμβάνουν όρια στις συνέπειες μετά την αποστολή και στις πολλαπλές εκπομπές ακτινοβολίας (π.χ. υπερβολικός κίνδυνος καρκίνου κατά τη διάρκεια ζωής) (Ramasamy et al., 2013; Miroshnichenko, 2003; Cucinotta et al., 2014; Little et al., 2009).

Οι κίνδυνοι που συνδέονται με την έκθεση σε ακτινοβολία δεν μπορούν να μετρηθούν άμεσα. Αυτό που μετριέται ή υπολογίζεται είναι ένα σύνολο φυσικών δεδομένων που χαρακτηρίζουν το πεδίο ακτινοβολίας. Υπάρχουν σημαντικές αβεβαιότητες στη σχέση μεταξύ των φυσικών ποσοτήτων και του κινδύνου. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες πληροφορίες φυσικής είναι η απορροφούμενη δόση, D. Η απορροφούμενη δόση ορίζεται ως ενέργεια που αποτίθεται ανά μονάδα μάζας στον ανθρώπινο ιστό, σε μικροσκοπικό επίπεδο αρκετά μικρό ώστε να παραμελήσει την παραμόρφωση του πεδίου από το περιβάλλον υλικό, αλλά αρκετά

μεγάλο για να παραμελήσει την επίδραση των στατιστικών διακυμάνσεων στην εναπόθεση ενέργειας. Ωστόσο, σε πολλές κοινές καταστάσεις ακτινοβολίας, η διαφορά μεταξύ της απορροφούμενης δόσης που λαμβάνεται με τη χρήση ισχύος διακοπής και της απορροφούμενης δόσης που διορθώνεται για τοπική απόθεση και ενεργειακές διακυμάνσεις δεν είναι σημαντική. Αναλογικά όργανα («δοσίμετρα») με υπολογισμένες διορθώσεις γενικά παρέχουν επαρκή εκτίμηση της δόσης ακτινοβολίας (Ramasamy et al., 2013; Cucinotta et al., 2014).

Η δόση μπορεί επίσης να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας μετρημένα ή υπολογισμένα χαρακτηριστικά του πεδίου ακτινοβολίας. Υπό αυτήν την έννοια, όλες οι φυσικές μετρήσεις και τα μοντέλα που προορίζονται να παρέχουν στοιχεία για εκτιμήσεις κινδύνου αναφέρονται ευρέως ως δοσιμετρία (dosimetry) (Ramasamy et al., 2013; Cucinotta et al., 2014).

Η μικροσκοπική φύση της εναπόθεσης ενέργειας καθίσταται σημαντική στην περίπτωση των βαρέων φορτισμένων σωματιδίων, δεδομένου ότι η δόση κοντά στην τροχιά σωματιδίων μπορεί να είναι αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες από τη μέση δόση σε έναν ολόκληρο κυτταρικό ή κυτταρικό πυρήνα, και η ίδια δόση παρέχεται από διαφορετικούς τύπους ακτινοβολίας που μπορούν με τη σειρά τους να οδηγήσουν σε διαφορετικές βιολογικές επιπτώσεις. Για τέτοιους τύπους ακτινοβολίας, η δόση σταθμίζεται με έναν κατάλληλο παράγοντα που αντικατοπτρίζει τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα του τύπου ακτινοβολίας, για παράδειγμα, βαριά φορτισμένα σωματίδια ή νετρόνια. Ο περιοριστικός κίνδυνος είναι συχνά η θνησιμότητα από καρκίνο. Στην περίπτωση αυτή, ο συντελεστής στάθμισης ορίζεται από ρυθμιστικούς οργανισμούς και αναφέρεται ως συντελεστής ποιότητας. Άλλοι συντελεστές στάθμισης χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της δόσης από διαφορετικούς τύπους ακτινοβολίας, τον κίνδυνο σε διαφορετικά όργανα και διορθώσεις για διάφορους άλλους παράγοντες που εμπλέκονται στον υπολογισμό του κινδύνου σε κοινή κλίμακα ανάλογη του κινδύνου (Ramasamy et al., 2013; Cucinotta et al., 2014).

Αυτά τα δεδομένα στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του κινδύνου. Ο κίνδυνος είναι μια στοχαστική μεταβλητή, που αντιστοιχεί σε κατανομή πιθανότητας παρακολούθησης όλων των σημαντικών επιπτώσεων στην υγεία που προκύπτουν από την έκθεση σε ακτινοβολία στο διάστημα. Τέτοιες εκτιμήσεις κινδύνου βασίζονται σε μοντέλα βιολογικών αποκρίσεων σε διαφορετικά επίπεδα οργάνωσης του συστήματος. Τα τρέχοντα μοντέλα βασίζονται σε παρατηρούμενα ποσοστά θνησιμότητας από καρκίνο σε επιζώντες ατομικής βόμβας, παρέκταση από υψηλή δόση και ρυθμό δόσης σε επαγγελματικές δόσεις και ρυθμούς δόσης μέσω ενός παράγοντα αποτελεσματικότητας δόσης και ρυθμού δόσης. Ενώ στο

παρελθόν έχει δοθεί έμφαση στον κίνδυνο καρκίνου, η παρακάτω λίστα συνοψίζει την πολύ μεγαλύτερη σειρά κινδύνων και πιθανών αποτελεσμάτων που επηρεάζουν την υγεία και την απόδοση των αστροναυτών που πρέπει να ληφθούν υπόψη (Ramasamy et al., 2013; Miroshnichenko, 2003; Cucinotta et al., 2014; Little et al., 2009).

Κίνδυνοι από ακτινοβολία:

1. Νεοπλασίες

- Λευχαιμία
- Καρκίνος

2. Εκφυλιστικές επιπτώσεις ιστών

- Καρδιακές ασθένειες
- Καταρράκτης
- Αναπνευστικά προβλήματα
- Πεπτικά προβλήματα

3. Βλάβες στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ)

- Κινητικές δεξιότητες
- Συμπεριφορά
- Γήρανση

4. Άμεσοι κίνδυνοι

- Θάνατος
- Εμετός / Ναυτία (Cucinotta et al., 2014; Little et al., 2009).

5.6. Αντιμετώπιση κοσμικής ακτινοβολίας

Η προστασία των αστροναυτών από την κοσμική ακτινοβολία βασίζεται στη θωράκιση των σκαφών και τις στολές. Τα διαστημικά σκάφη έχουν ειδική θωράκιση που βοηθά να σταματήσει την κοσμική ακτινοβολία να διεισδύσει στο εσωτερικό του σκάφους. Οι στολές έχουν σχεδιαστεί για να κάνουν το ίδιο ακριβώς πράγμα. Αυτές οι στολές είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τους αστροναύτες που επισκέπτονται τη Σελήνη, τον Άρη ή τους αστεροειδείς (Ayrey & Hewes, 2017).

Παρόλο που υπάρχουν αυτές τις προφυλάξεις, οι επιστήμονες εξακολουθούν να μην είναι σίγουροι για το πόσο η παρατεταμένη έκθεση στην κοσμική ακτινοβολία επηρεάζει τους αστροναύτες και τους κοσμοναύτες. Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι η παρατεταμένη έκθεση σε κοσμική ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει καρκίνο ή καρδιακές παθήσεις. Ωστόσο, σύμφωνα με μια μελέτη του Dvorsky (2019), οι άνθρωποι που έχουν ταξιδέψει στο διάστημα μέχρι στιγμής δεν έχουν περισσότερες πιθανότητες να πεθάνουν από καρκίνο ή καρδιακές παθήσεις από τους ανθρώπους που δεν έχουν ταξιδέψει. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι περισσότεροι αστροναύτες και κοσμοναύτες έχουν ταξιδέψει σε χαμηλή τροχιά της Γης. Εκεί, το μαγνητικό πεδίο της Γης τους προστατεύει ακόμα. Επίσης, οι αστροναύτες και οι κοσμοναύτες συνήθως δεν περνούν περισσότερο από μερικούς διαδοχικούς μήνες στο διάστημα. Ωστόσο, οι επιστήμονες ανησυχούν για το πώς τα μεγαλύτερα ταξίδια βαθύτερα μέσα στο διάστημα θα επηρεάσουν τους ταξιδιώτες του διαστήματος (Ayrey & Hewes, 2017). Για παράδειγμα, πώς θα επηρεάσει η κοσμική ακτινοβολία άτομα που επισκέπτονται τον Άρη; Εκεί που καταλήγουν οι επιστήμονες, είναι ότι πρέπει να αποκτηθεί αρκετή ακόμα γνώση σχετικά με την κοσμική ακτινοβολία για να διαπιστωθούν οι επιπτώσεις στους ανθρώπους. (Dvorsky, 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο: ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Το φως του ήλιου, απαραίτητη προϋπόθεση για τη ζωή, μπορεί να είναι εξαιρετικά επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Η υπερβολική έκθεση στον ήλιο είναι γνωστό ότι σχετίζεται με αυξημένους κινδύνους διαφόρων καρκίνων του δέρματος, καταρράκτη και άλλες ασθένειες των ματιών, καθώς και επιταχυνόμενη γήρανση του δέρματος. Μπορεί να επηρεάζει επίσης αρνητικά την ικανότητα των ανθρώπων να αντιστέκονται στις μολυσματικές ασθένειες, και να θέτει σε κίνδυνο την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων εμβολιασμού (Brenner & Hearing, 2008).

Το φως του ήλιου είναι ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, η οποία διαδίδεται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Όσον αφορά την υγεία, τα πιο σημαντικά μέρη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος του ηλιακού φωτός είναι:

- Η Υπεριώδης Ακτινοβολία (UV) η οποία δεν φαίνεται με το μάτι.
- Το ορατό φως που μας επιτρέπει να βλέπουμε και
- Η Υπέρυθρη Ακτινοβολία, η οποία είναι η κύρια πηγή θερμότητας και είναι επίσης αόρατη (Brenner & Hearing, 2008).

6.1. Κίνδυνοι για την υγεία

Η έκθεση σε αυτά ενέχει ιδιαίτερους κινδύνους για την υγεία:

Δέρμα: Η υπερβολική έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία οδηγεί σε πολλές χρόνιες αλλαγές στο δέρμα. Αυτές περιλαμβάνουν διάφορους καρκίνους του δέρματος από τους οποίους το μελάνωμα είναι το πιο απειλητικό για τη ζωή, αυξημένο αριθμό γραμμομορίων (καλοήθεις ανωμαλίες των μελανοκυττάρων) και μια σειρά άλλων αλλαγών που προκύπτουν από υπεριώδη βλάβη στα κερατινοκύτταρα και τα αιμοφόρα αγγεία. Η υπεριώδης βλάβη στον ινώδη ιστό συχνά περιγράφεται ως "φωτογήρανση" (photoaging). Η φωτογράφιση κάνει τους ανθρώπους να φαίνονται μεγαλύτεροι επειδή το δέρμα τους χάνει τη σφριγηλότητά του, με αποτέλεσμα να χαλαρώνει και να εμφανίζονται ρυτίδες (Ichihashi et al., 2003; Svobodová et al., 2003; Brenner & Hearing, 2008; Elsner et al., 2007).

Ακολουθούν κάποια επιδημιολογικά στοιχεία:

- Το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) εκτιμά ότι εμφανίζονται περισσότερα από 2 εκατομμύρια καρκίνοι του δέρματος χωρίς μελάνωμα και 200.000 κακοήγη μελανώματα παγκοσμίως κάθε χρόνο (Elsner et al., 2007).
- Σε περίπτωση μείωσης 10% του στρατοσφαιρικού όζοντος, θα εμφανίζονταν σε παγκόσμιο επίπεδο επιπλέον 300.000 καρκίνοι χωρίς μελάνωμα και 4.500 καρκίνοι του δέρματος με μελάνωμα (Elsner et al., 2007).

- Οι Καυκάσιοι έχουν μεγαλύτερο κίνδυνο καρκίνου του δέρματος λόγω της σχετικής έλλειψης μελανίνης (Ichihashi et al., 2003; Svobodová et al., 2003; Brenner & Hearing, 2008; Elsner et al., 2007).

- Η παγκόσμια επίπτωση κακοήθους μελανώματος συνεχίζει να αυξάνεται και συνδέεται στενά με τη συχνότητα της ψυχαγωγικής έκθεσης στον ήλιο και με το ιστορικό ηλιακού εγκαύματος (Svobodová et al., 2003).

- Υπάρχουν ενδείξεις ότι ο κίνδυνος μελανώματος σχετίζεται επίσης με διαλείπουσα έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία, ειδικά στην παιδική ηλικία, και στην έκθεση σε ηλιακές λάμπες. Ωστόσο, τα αποτελέσματα για το δεύτερο είναι ακόμη προκαταρκτικά (Svobodová et al., 2003).

Μάτι: Η έκθεση υπεριώδους ακτινοβολίας στο μάτι εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: αντανάκλαση του εδάφους, βαθμός φωτεινότητας στον ουρανό που οδηγεί σε ενεργοποίηση του αντανεκλαστικού στραβισμού, την ποσότητα της ατμοσφαιρικής αντανάκλασης και τη χρήση γυαλιών ηλίου (Parisi et al., 2001; Sliney, 2001).

- Οι οξείες επιδράσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας στο μάτι περιλαμβάνουν την ανάπτυξη φωτοκερατίτιδας και φωτοεπιπεφυκίτιδα. Αν και επώδυνες, είναι αναστρέψιμες, εύκολα προλαμβάνεται από προστατευτικά γυαλιά και δεν έχουν συσχετιστεί με καμία μακροπρόθεσμη ζημία (Parisi et al., 2001).

- Οι χρόνιες επιδράσεις περιλαμβάνουν την πιθανή ανάπτυξη του πτερυγίου (pterygium) (μια λευκή ή μια κρεμώδους χρωματιστής αδιαφανής ανάπτυξης που συνδέεται με τον κερατοειδή), καρκίνο του επιπεφυκότα και καταρράκτη (Parisi et al., 2001).

- Περίπου 20 εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο είναι τυφλοί λόγω καταρράκτη. Από αυτούς, ο ΠΟΥ εκτιμά ότι το 20% μπορεί να οφείλεται στην έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία. Οι ειδικοί πιστεύουν ότι κάθε 1% μείωσης του στρατοσφαιρικού όζοντος θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση 0,5% στα περιστατικά καταρράκτη που προκαλείται από την ηλιακή υπεριώδη ακτινοβολία (Sliney, 2001).

- Η άμεση προβολή του ήλιου και άλλων εξαιρετικά φωτεινών αντικειμένων μπορεί επίσης να επιφέρει σοβαρά ζημιά στο πολύ ευαίσθητο τμήμα του αμφιβληστροειδούς που ονομάζεται κίτρινο σημείο ή βοθρίο. Όταν τα κύτταρα του βοθρίου καταστρέφονται, οι

άνθρωποι δεν μπορούν πλέον να δουν κάτι με λεπτομέρεια. Πρόκειται για σοβαρή βλάβη στην όραση που καθιστά αδύνατη την ανάγνωση, το ράψιμο, την παρακολούθηση τηλεόρασης, αναγνώριση προσώπων, οδήγηση ή οποιαδήποτε εργασία που απαιτεί αναγνώριση των λεπτών λεπτομερειών (Parisi et al., 2001; Sliney, 2001).

Ανοσοποιητικό σύστημα: Η υπεριώδης ακτινοβολία φαίνεται επίσης να μεταβάλλει την ανοσοαπόκριση αλλάζοντας τη δραστηριότητα και κατανομή των κυττάρων που είναι υπεύθυνα για την ενεργοποίηση αυτών των αποκρίσεων. Πολλές μελέτες δείχνουν ότι η έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία σε περιβαλλοντικά επίπεδα καταστέλλει τις ανοσολογικές αντιδράσεις τόσο στα τρωκτικά όσο και στον άνθρωπο. Στα τρωκτικά, αυτή η ανοσοκαταστολή οδηγεί σε ενισχυμένη ευαισθησία σε ορισμένες μολυσματικές ασθένειες που σχετίζονται με το δέρμα και κάποιες συστηματικές λοιμώξεις. Μηχανισμοί που σχετίζονται με την υπεριώδη ανοσοκαταστολή και την άμυνα του ξενιστή που προστατεύει από μολυσματικούς παράγοντες, είναι παρόμοια στα τρωκτικά και τους ανθρώπους. Επομένως, είναι λογικό να γίνει η υπόθεση ότι η έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία μπορεί να ενισχύσει τον κίνδυνο μόλυνσης και μείωσης της αποτελεσματικότητας των εμβολίων στον άνθρωπο. Απαιτείται βέβαια πρόσθετη έρευνα για να τεκμηριωθεί απόλυτα αυτό (Termorshuizen et al., 2002).

Θερμικές επιδράσεις: Η θέρμανση των ιστών στο ανθρώπινο σώμα είναι η κύρια επίδραση της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η υπερβολική υπέρυθρη ακτινοβολία μπορεί να οδηγήσει σε θερμοπληξίες και άλλες παρόμοιες αντιδράσεις ιδιαίτερα σε ηλικιωμένους, άτομα με αναπηρία ή πολύ νεαρά άτομα (Brenner & Hearing, 2008).

6.2. Διαχείριση Ηλιακής Ακτινοβολίας (ΔΗΑ)

Ο όρος γεωμηχανική αναφέρεται σε εσκεμμένους, μεγάλης κλίμακας χειρισμούς του περιβάλλοντος της Γης που έχουν σχεδιαστεί για να αντισταθμίσουν ορισμένες από τις επιβλαβείς συνέπειες της κλιματικής αλλαγής που προκαλείται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η γεωμηχανική περιλαμβάνει δύο πολύ διαφορετικές κατηγορίες προσεγγίσεων: την αφαίρεση διοξειδίου του άνθρακα (ΑΔΑ) και τη διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας (ΔΗΑ) (Castelletto et al., 2013).

Οι προσεγγίσεις ΑΔΑ (αναφέρονται επίσης ως μέθοδοι διαχείρισης εκπομπών CO₂ ή μέθοδοι δέσμευσης άνθρακα) περιλαμβάνουν την απομάκρυνση και τη μακροπρόθεσμη

απομόνωση του ατμοσφαιρικού CO₂ (ή άλλων αερίων) σε δάση, γεωργικά συστήματα ή μέσω άμεσης δέσμευσης αέρα με γεωλογική αποθήκευση. Αυτές οι τεχνικές και οι επιπτώσεις τους συζητούνται στην συνοδευτική έκθεση "Περιορισμός του μεγέθους της μελλοντικής κλιματικής αλλαγής" (NRC, 2010). Δεν υπάρχει συναίνεση σχετικά με το βαθμό στον οποίο ο όρος γεωμηχανική πρέπει να εφαρμόζεται σε διάφορες ευρέως αποδεκτές πρακτικές που απομακρύνουν το CO₂ από την ατμόσφαιρα (π.χ. αναδάσωση) (Castelletto et al., 2013).

Οι προσεγγίσεις ΔΗΑ, το επίκεντρο αυτού του κεφαλαίου, είναι αυτές που έχουν σχεδιαστεί για να αυξάνουν την ανακλαστικότητα της ατμόσφαιρας ή της επιφάνειας της Γης σε μια προσπάθεια να αντισταθμιστούν ορισμένα από τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής που προκαλείται από το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι ΔΗΑ. Αυτή η υποενότητα περιγράφει εν συντομία μερικές από τις προσεγγίσεις που έχουν συζητηθεί στη βιβλιογραφία (Mercer, 2011; Smith & Rasch, 2013) και συνοψίζει εν συντομία τις δυνατότητές τους να μειώσουν τη συνολική ακτινοβολία.

6.3. Διαχείριση ΗΑ από το διάστημα

Έχουν προταθεί ποικίλες επιλογές για την τοποθέτηση τεράστιων δορυφόρων στο διάστημα. Το «Lagrange Point 1» αναφέρεται σε ένα σημείο περίπου 1,5 εκατομμύριο χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης και μεταξύ της Γης και του Ήλιου (Early, 1989). Ωστόσο, για να αντισταθμιστεί η αύξηση των εκπομπών του θερμοκηπίου, περίπου 4.000 τετραγωνικά μίλια (10.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα) επιφάνειας ανακλαστικών μηχανισμών θα πρέπει να κατασκευαστούν και να τεθούν σε τροχιά κάθε χρόνο, για όσο διάστημα οι εκπομπές CO₂ συνεχίζουν να αυξάνονται με ρυθμούς συγκρίσιμους με τους σημερινούς. Λόγω του μεγέθους της ανάπτυξης με βάση το χρόνο που απαιτείται για μια τέτοια επιχείρηση, και το τεράστιο κόστος της τοποθέτησης αντικειμένων σε τροχιά, αυτές οι επιλογές φαίνονται ανέφικτες για την αντιμετώπιση των απειλών που θέτει η κλιματική αλλαγή αυτόν τον αιώνα (Govindasamy and Caldeira, 2000).

6.4. Διαχείριση ΗΑ από τη στρατόσφαιρα

Μία από τις πιο διαδεδομένες επιλογές για τη ΔΗΑ περιλαμβάνει την έγχυση θεικών αερολυμάτων στη στρατόσφαιρα, αν και άλλοι τύποι σωματιδίων θα μπορούσαν ενδεχομένως να εξυπηρετούν την ίδια λειτουργία. Τα σωματίδια μπορούν να αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία πίσω στο διάστημα, αντισταθμίζοντας μέρος της θέρμανσης που σχετίζεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η ποσότητα θείου που θα χρειαζόταν να παρέχεται στη στρατόσφαιρα για να αντισταθμίσει την πίεση της ακτινοβολίας που σχετίζεται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα μπορούσε να παραδοθεί με μια ποικιλία μέσων, συμπεριλαμβανομένων των βλημάτων των αεροσκαφών και του πυροβολικού, με σχετικά μικρό άμεσο κόστος (Lawrence, 2006; Robock et al., 2009).

Δεδομένου ότι θειικά σωματίδια εγχέονται επίσης στη στρατόσφαιρα από ηφαιστειακές εκρήξεις, η ψύξη μετά από πρόσφατες εκρήξεις χρησιμεύει τουλάχιστον ως γενική «απόδειξη της ιδέας» για την προσέγγιση αυτή. Για παράδειγμα, το έτος μετά την έκρηξη του όρους Pinatubo τον Ιούνιο του 1991, οι παγκόσμιες θερμοκρασίες ψύχθηκαν κατά περίπου $0,5^{\circ}\text{C}$ (Trenberth and Dai, 2007). Η κατανόηση της διαδικασίας θα μπορούσε να αναπτυχθεί μέσω δοκιμών μικρής κλίμακας, αλλά η κατανόηση των παγκόσμιων κλιματικών επιπτώσεων θα απαιτούσε είτε την εξάρτηση από μοντέλα, είτε δοκιμές παγκόσμιας κλίμακας και τουλάχιστον το ένα δέκατο του μεγέθους μιας πλήρους ανάπτυξης. Η πλήρης ανάπτυξη θα απαιτούσε μια μακροπρόθεσμη, αδιάλειπτη δέσμευση για συνέχιση της έγχυσης στην κλίμακα δεκάδων κιλών υλικού ανά δευτερόλεπτο σχεδόν συνεχώς. Μια ξαφνική διακοπή μετά από μια παρατεταμένη ανάπτυξη θα μπορούσε να οδηγήσει σε γρήγορες αυξήσεις της θερμοκρασίας για μια περίοδο μερικών ετών, προκαλώντας δυνητικά σοβαρές επιπτώσεις στα οικολογικά και κοινωνικά συστήματα (Matthews and Caldeira, 2007).

6.5. Διαχείριση ΗΑ στα νέφη

Έχουν προταθεί μια σειρά επιλογών για «λεύκανση» των νεφών ή να τα κάνουν πιο ανακλαστικά, αυξάνοντας τον αριθμό των σταγονιδίων νερού εντός αυτών. Η πιο διαδεδομένη πρόταση περιλαμβάνει τη λεύκανση χαμηλών νεφών πάνω από απομακρυσμένα μέρη του ωκεανού με ψεκασμό ψιλού θαλασσινού νερού στον αέρα. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να είναι σε θέση να αντισταθμίσει μέρος ή το μεγαλύτερο μέρος της δύναμης ακτινοβολίας που σχετίζεται με τον διπλασιασμό του ατμοσφαιρικού CO_2 . Η κατανόηση της διαδικασίας που

σχετίζεται με αυτήν την προσέγγιση (π.χ. cloud physics) μπορεί να δοκιμαστεί σε σχετικά μικρές κλίμακες, αν και τέτοιες δοκιμές δεν θα επέτρεπαν την άμεση συναγωγή των κλιματικών συνεπειών της μεγάλης κλίμακας ανάπτυξης (Younes & Muneer, 2007).

Μια άλλη προτεινόμενη προσέγγιση που βασίζεται σε νέφη περιλαμβάνει τη σπορά νεφών υψηλού κύκλου με ετερογενείς πυρήνες πάγου για τη μείωση της κάλυψης τους, ενδεχομένως χρησιμοποιώντας εμπορικά αεροπλάνα (Mitchell & Finnegan, 2009). Αν και αυτή η μέθοδος δεν είναι τεχνικά ένα παράδειγμα ΔΗΑ, θα μπορούσε ενδεχομένως να αυξήσει την ποσότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται στο διάστημα, η οποία θα μπορούσε να δημιουργήσει χαμηλότερες θερμοκρασίες στη Γη (Mitchell & Finnegan, 2009).

6.6. Διαχείριση ΗΑ στην επιφάνεια της Γης

Έχει προταθεί ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη θα μπορούσε να επιβραδυνθεί με τη λεύκανση των οροφών των κτιρίων ώστε να αντανακλούν περισσότερο ηλιακό φως στο διάστημα (Akbari et al., 2009). Υπό ορισμένες συνθήκες, οι πιο λευκές στέγες θα μπορούσαν να μειώσουν το κόστος θέρμανσης και να διατηρήσουν τη Γη δροσερή, αντανακλώντας το φως του ήλιου στο διάστημα. Άλλοι πρότειναν την καλλιέργεια πιο ανακλαστικών φρούτων και λαχανικών (Ridgwell et al., 2009). Και οι δύο προσεγγίσεις, εάν εφαρμοστούν σε παγκόσμια κλίμακα, θα μπορούσαν ενδεχομένως να αποδώσουν ένα μέτριο αποτέλεσμα ψύξης. Μέχρι σήμερα, οι μελέτες δείχνουν περιορισμένο δυναμικό για τέτοιες προσεγγίσεις και η αποτελεσματικότητα και οι περιβαλλοντικές συνέπειες αυτών των προσεγγίσεων δεν έχουν ακόμη μελετηθεί προσεκτικά.

6.7. Πιθανές συνέπειες από τις προσπάθειες ΔΗΑ

Όλες οι προτεινόμενες προσεγγίσεις έχουν την πιθανότητα για ανεπιθύμητες και αρνητικές συνέπειες τόσο για τα περιβαλλοντικά όσο και για τα ανθρώπινα συστήματα. Ενώ το μέγεθος των συνεπειών είναι γενικά ανάλογο με την κλίμακα της διαχείρισης (π.χ. το βάψιμο ενός σπιτιού με λευκό χρώμα θα είχε λιγότερες επιπτώσεις - και θα ήταν πιο εύκολα αναστρέψιμο - από την έγχυση εκατομμυρίων τόνων θείου στη στρατόσφαιρα), υπάρχουν διάφορα ζητήματα που σχετίζονται με την συζήτηση για την αξία ανάπτυξης μεγάλης κλίμακας.

Πρώτον, καμία από τις προσεγγίσεις ΔΗΑ δεν θα εμποδίσει την όξυνση των ωκεανών που σχετίζεται με βελτιωμένα ατμοσφαιρικά επίπεδα CO₂. Δεύτερον, παρά το ενδεχόμενο προσεγγίσεων ΔΗΑ για την αντιστάθμιση της υπερθέρμανσης με μια παγκόσμια κλίμακα, οι τοπικές ανισορροπίες στη δύναμη της ακτινοβολίας θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε περιφερειακές κλιματικές μεταβολές. Οι βραχυπρόθεσμες ηφαιστειακές εκρήξεις δεν είναι ένα καλό άμεσο ανάλογο των μακροπρόθεσμων εξελίξεων, αλλά παρέχουν πολύτιμες δοκιμές της κατανόησης της διαδικασίας και της ικανότητας προσομοίωσης της κλιματικής απόκρισης σε τέτοιες δυνάμεις. Επί του παρόντος, τα κλιματικά μοντέλα υποτιμούν το μέγεθος της παρατηρούμενης παγκόσμιας απόκρισης βροχοπτώσεων στην ηφαιστειακή πίεση του 20ού αιώνα (Hegerl and Solomon, 2009), υποδηλώνοντας ότι αυτά τα μοντέλα ενδέχεται να μην προβλέπουν αξιόπιστα την ταυτόχρονη επίδραση των προσεγγίσεων ΔΗΑ στη θερμοκρασία (Caldeira and Wood, 2008). Ορισμένες μελέτες μοντελοποίησης (Robock et al., 2009) δείχνουν ότι η διανομή θεικού αερολύματος θα μπορούσε να μειώσει τις βροχοπτώσεις στους ασιατικούς και τους αφρικανικούς μουσώνες, επηρεάζοντας έτσι την προμήθεια τροφίμων. Μελέτες παρατήρησης ανέφεραν επίσης ότι και οι δύο ποταμοί του Γάγγη και του Αμαζονίου παρουσίασαν πολύ χαμηλές ροές αμέσως μετά την έκρηξη του όρους Pinatubo (Trenberth and Dai, 2007). Όσον αφορά τις επιλογές που βασίζονται στα νέφη, δεν είναι επίσης σαφές εάν οι αλλαγές στις ιδιότητες των νεφών σε μία περιοχή θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αλλαγές "downwind" στον υδρολογικό κύκλο (Younes & Muneer, 2007).

Για την έγχυση θεικών αερολυμάτων, υπάρχει μια επιπλέον ανησυχία: η πιθανότητα αυξημένων συγκεντρώσεων στρατοσφαιρικών αερολυμάτων να ενισχύσει την ικανότητα του υπολειμματικού χλωρίου που έχει απομείνει από τη χρήση χλωροφθορανθράκων, να καταστρέψει τη στιβάδα του όζοντος, ειδικά τους πρώτους μήνες της άνοιξης. Μια ξαφνική αύξηση στο στρατοσφαιρικό θεικό περίβλημα θα μπορούσε να ενισχύσει έντονα τη χημική απώλεια του στρατοσφαιρικού πολικού όζοντος για αρκετές δεκαετίες, ειδικά στην Αρκτική (Tilmes et al., 2008). Υπάρχουν επίσης ορισμένες ενδείξεις, ωστόσο, ότι η έγχυση θεικού άλατος, διασκορπίζοντας μέρος του ηλιακού φωτός που φτάνει στην επιφάνεια της Γης, θα μπορούσε στην πραγματικότητα να αυξήσει την παραγωγικότητα του οικοσυστήματος και τις αποδόσεις των καλλιεργειών - αυτό θα μπορούσε να διαταράξει τα φυσικά οικοσυστήματα, αλλά να είναι ένα ακούσιο όφελος για τα γεωργικά συστήματα (Lawrence, 2006).

Τέλος, πολλές προσεγγίσεις ΔΗΑ απαιτούν συνεχή παρέμβαση με το κλιματικό σύστημα προκειμένου να αντισταθμιστεί η δύναμη που σχετίζεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε κάποιο σημείο στο μέλλον, εάν εγκαταλειφθεί η γεωμηχανική μετά την ανάπτυξή του, η

προσαρμογή του κλιματικού συστήματος στα συσσωρευμένα αέρια θα μπορούσε να συνεπάγεται θέρμανση της τάξης αρκετών βαθμών Φαρενάιτ ανά δεκαετία, ποσοστό πολύ μεγαλύτερο από όπου εκτιμάται για τον πλανήτη με την απουσία γεωμηχανικής (Matthews and Caldeira, 2007).

6.8. Ζητήματα διακυβέρνησης

Η ανάπτυξη των προσεγγίσεων ΔΗΑ έχει συζητηθεί ως μέσο "αγοράς" χρόνου για την κοινωνία για την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών τρόπων για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, για την αποφυγή της μείωσης των εκπομπών και για την παραγωγή παγκόσμιας ψύξης προκειμένου να αποφευχθεί ή να μειωθεί η ζημιά από μια «κλιματική κατάσταση έκτακτης ανάγκης» (Lane et al., 2007) όπως η κατάρρευση των πάγων, η ταχεία απαέρωση του θερμοκηπίου από την τήξη του permafrost ή άλλες απότομες αλλαγές στο κλίμα. Ανεξάρτητα από την ικανότητα μιας παρέμβασης ΔΗΑ να "αγοράσει" αποτελεσματικά χρόνο ή να αποτρέψει την κρίση, πολλά ζητήματα διακυβέρνησης σχετίζονται με την απόφαση για δοκιμή ή ανάπτυξη συστημάτων ΔΗΑ. Λόγω της παγκόσμιας φύσης της ΔΗΑ και λαμβάνοντας υπόψη ορισμένες από τις πιθανές ακούσιες συνέπειες που συζητήθηκαν προηγουμένως, οι περισσότερες αναλύσεις υποδηλώνουν ότι κάποιο είδος διεθνούς πλαισίου - είτε μια σειρά διμερών είτε παγκόσμιων, πολυμερών συνθηκών - θα χρειαστεί για τη διαχείριση της ΔΗΑ. Επί του παρόντος, δεν υπάρχει ευρέως συμφωνημένο διεθνές κυβερνητικό όργανο ή νομικό ή κανονιστικό πλαίσιο που να διέπει τον έλεγχο ή την ανάπτυξη μεθόδων ΔΗΑ (Virgoe, 2009).

Πρόσφατες διασκέψεις σχετικά με αυτό το θέμα έχουν ασχοληθεί με το πώς μπορεί να αναπτυχθεί ένα τέτοιο πλαίσιο. Το Εργαστήριο του Συμβουλίου για τις Εξωτερικές Σχέσεις για τη Μονομερή Πλανητική Κλίμακα της Τεχνολογίας (Ricke et al., 2008) πρότεινε την εφαρμογή προτύπων όπως «ενθυλάκωση» (ο βαθμός στον οποίο η ΔΗΑ απελευθερώνει υλικό στο περιβάλλον) και «αναστρέψιμη» (η ικανότητα για τον τερματισμό και την αντιστροφή των αποτελεσμάτων της ΔΗΑ), και ένα άλλο πρόσφατο συνέδριο συνέστησε μηχανισμούς εθελοντικής διακυβέρνησης και βασικές αρχές για την καθοδήγηση της μελλοντικής έρευνας γεωμηχανικής, αλλά η διεθνής έγκριση και η επίσημη έγκριση από σχετικές ερευνητικά ιδρύματα και κυβερνήσεις δεν έχουν αναληφθεί. Επειδή ορισμένες ερευνητικές ομάδες μπορεί να είναι έτοιμες να δοκιμάσουν προσεγγίσεις ΔΗΑ στο εγγύς μέλλον, υπάρχει επίσης μια βραχυπρόθεσμη ανάγκη να καθοριστεί τι είδους πειράματα πεδίου θα μπορούσαν να επιτραπούν

βραχυπρόθεσμα ενώ αναπτύσσεται ένα ευρύτερο ρυθμιστικό πλαίσιο. Χωρίς σαφή διεθνή συμφωνία και σχετικά διεθνή και συμπληρωματικά εθνικά ιδρύματα, η πιθανότητα μονομερών δοκιμών ή ανάπτυξης ΔΗΑ αυξάνεται. Αυτή η μονομερής δράση θα μπορούσε ενδεχομένως να οδηγήσει σε διεθνή ένταση, δυσπιστία ή ακόμη και σύγκρουση (Virgoe, 2009), η οποία θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο τη φυσική σκοπιμότητα της ΔΗΑ ή να αυξήσει το οικονομικό κόστος. (Gardiner, 2010)

6.9. Ηθικά ζητήματα στη διαχείριση ΗΑ

Η σκόπιμη αλλαγή του κλίματος, συμπεριλαμβανομένου της ΔΗΑ, εγείρει σημαντικά ζητήματα σχετικά με την ηθική και την ευθύνη. Πρώτα απ' όλα είναι τα ζητήματα των ανισοτήτων τα οποία περιλαμβάνουν την άνιση εκπροσώπηση σε σχετικούς φορείς λήψης αποφάσεων σε σχέση με τα οφέλη και τη δικαιοσύνη, όπου οι μελλοντικές γενιές κληρονομούν τη μακροπρόθεσμη δέσμευση σε συγκεκριμένους τύπους παρεμβάσεων ή αντιμετωπίζουν τις συνέπειες που συνεπάγεται η σταδιακή κατάργηση παρελθοντικών παρεμβάσεων ΔΗΑ (Gardiner, 2010).

Δεύτερον, η εκτίμηση της ΔΗΑ μπορεί να αποτελέσει «ηθικό κίνδυνο», όπου η εστίαση στη ΔΗΑ ως λύση στην κλιματική αλλαγή μπορεί να μειώσει τις προσπάθειες μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ή να προσαρμοστούν στις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής ή να δημιουργήσει μια θεσμική αδράνεια που δεσμεύει ουσιαστικά την ανάπτυξή της (Gardiner, 2010). Τέλος, υπάρχει το ερώτημα σχετικά με την «κατάλληλη» θέση του ανθρώπινου είδους στην παγκόσμια οικολογία και εάν οι ανθρώπινες προσπάθειες ελέγχου του σύνθετου Γήινου συστήματος είναι ζήτημα ύβρης μια επιθυμητή εξέλιξη (Lovelock, 2008).

Τα ζητήματα ηθικής είναι πιθανό να επηρεάσουν την κοινωνική αποδοχή και την πολιτική σκοπιμότητα πλανητικής κλίμακας, εκούσιας χειραγώγησης του κλιματικού συστήματος. Κρίνοντας από την εμπειρία του παρελθόντος με την τοποθέτηση και την ανάπτυξη τεχνολογιών που ενδέχεται να προκαλούν φόβο, αυτά τα ζητήματα μπορεί να κυριαρχήσουν στην πολιτική διαδικασία. Ωστόσο, αν κάτι είναι γνωστό επί του παρόντος, είναι πώς οι πολίτες σε όλες τις χώρες δεν έχουν μια πλήρη κατανόηση για τη ΔΗΑ ή άλλες επιλογές γεωμηχανικής. Άρα, η κατανόηση αυτών των αντιλήψεων μπορεί να είναι κρίσιμα στοιχεία για τις συζητήσεις διακυβέρνησης (Gardiner, 2010).

Συμπεράσματα

Η μεγαλύτερη προσοχή επικεντρώνεται επί του παρόντος στο ζήτημα ανίχνευσης NEO και η απόκριση σε ένα απειλητικό NEO βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά σε τεχνολογικές μελέτες πιθανών διαστημικών στρατηγικών. Ωστόσο, πρέπει να αντιμετωπιστούν προβλήματα όπως η άμβλυνση των επιπτώσεων μιας μεγάλης πρόσκρουσης NEO στη Γη και η προσαρμογή των διεθνών νόμων που σχετίζονται με την επιλογή και τη διαχείριση των αποστολών απόκρισης NEO.

Υπάρχει αξία στην εξέταση των γενικών και ειδικών μέσων απόκρισης (και στο διάστημα και στη Γη) για τη βελτίωση της διεθνούς ετοιμότητας. Το γεγονός ότι έχει υπάρξει μεγάλη συγκέντρωση κυβερνητικών οργανισμών χάραξης πολιτικής και ερευνητών για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, υπογραμμίζει τη σημασία της ανάγκης για έρευνα και διάλογο.

Οι κύριες συστάσεις για τη διεθνή κοινότητα είναι:

- Βελτίωση της ανίχνευσης και του χαρακτηρισμού του πληθυσμού των NEO.
- Πραγματοποίηση δοκιμών πραγματικής τεχνολογίας χρησιμοποιώντας στρατηγικές παρακολούθησης.
- Εξέταση τεχνολογικών, νομικών και οργανωτικών ζητημάτων το συντομότερο δυνατό, προτού η απειλή γίνει πραγματικότητα.
- Τροποποίηση ή δημιουργία νέων διεθνών συνθηκών για να επιτραπεί η εφαρμογή στρατηγικών απόκρισης με πυρηνικά μέσα.
- Εστίαση της προσοχής στο πρόβλημα της παγκόσμιας καταστροφής και τη σκοπιμότητα κατασκευής μακροπρόθεσμων καταφυγίων.
- Να ληφθεί υπόψιν το πρόβλημα της μετεγκατάστασης μεγάλων πληθυσμών.

Η απόκριση πρέπει να αναληφθεί στο πλαίσιο όλων των Εθνών προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το παγκόσμιο πρόβλημα. Εν τω μεταξύ, οι εθνικές κυβερνήσεις θα πρέπει

να συμβάλουν στην προώθηση διεπιστημονικών μελετών των συνεπειών των επιπτώσεων στη Γη. Ο καλύτερος τρόπος για να διασφαλιστεί ότι επιλέγονται οι κατάλληλες επιλογές μετριάσμού ΝΕΟ είναι η παροχή ενός μηχανισμού χαρτογράφησης και ιεράρχησης της διαδικασίας λήψης αποφάσεων με βάση μια λογική επιλογή παραμέτρων και κινδύνων.

Από την άλλη πλευρά, η διαστημική ακτινοβολία, αποτελεί και αυτή απειλή για την ανθρωπότητα. Οι επιδράσεις από τη διαστημική ακτινοβολία όμως περιορίζονται στο διαστημικό περιβάλλον.

Τέλος, το φως του ήλιου, απαραίτητη προϋπόθεση για τη ζωή, μπορεί να είναι εξαιρετικά επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Η υπερβολική έκθεση στον ήλιο είναι γνωστό ότι σχετίζεται με αυξημένους κινδύνους διαφόρων καρκίνων του δέρματος, καταρράκτη και άλλες ασθένειες των ματιών, καθώς και επιταχυνόμενη γήρανση του δέρματος. Μπορεί να επηρεάζει επίσης αρνητικά την ικανότητα των ανθρώπων να αντιστέκονται στις μολυσματικές ασθένειες, και να θέτει σε κίνδυνο την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων εμβολιασμού.

Επομένως, η διαχείριση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί ένα σημαντικό κεφάλαιο στο κομμάτι της αντιμετώπισης επικείμενων καταστροφικών συνεπειών προερχόμενες από εξωγήινες πηγές.

Βιβλιογραφία

- Akbari, H., Menon, S., & Rosenfeld, A. (2009). Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO 2. *Climatic change*, 94(3), 275-286.
- Ayrey, B., & Hewes, L. (2017). Advanced materials used in space suit construction. *The age of plastic: ingenuity and responsibility*, 61-76.
- Bailey, N. J., Swinerd, G. G., Lewis, H. G., & Crowther, R. (2010). Global vulnerability to near-Earth object impact. *Risk Management*, 12(1), 31-53.
- Baláž, M., Tóth, J., Vereš, P., & Jedicke, R. (2020). ASMODEUS meteor simulation tool. *Planetary and Space Science*, 190, 104937.
- Bauer, W., Romberg, O., Wiedemann, C., Drolshagen, G., & Vörsmann, P. (2014). Development of in-situ space debris detector. *Advances in Space Research*, 54(9), 1858-1869.
- Baum, S. D. (2019). Risk–Risk Tradeoff Analysis of Nuclear Explosives for Asteroid Deflection. *Risk analysis*, 39(11), 2427-2442.
- Bierhaus, E. B. (2017). A Torino Scale for Europa and Icy Satellites: A Potential Means for Evaluating the Impact Cratering's Contribution to an Icy Shell's Energy Budget. *Europa Deep Dive 1: Ice-Shell Exchange Processes*, 2048, 7026.
- Binzel, R. P. (2000). The Torino impact hazard scale. *Planetary and Space Science*, 48(4), 297-303.

Binzel, R. P., Lupishko, D. F., Di Martino, M., Whiteley, R. J., & Hahn, G. J. (2002). Physical properties of near-Earth objects. *Asteroids III*, 255(271).

Boslough, M. B. E., & Crawford, D. A. (2008). Low-altitude airbursts and the impact threat. *International Journal of Impact Engineering*, 35(12), 1441-1448.

Boslough, M., Brown, P., & Harris, A. (2015, March). Updated population and risk assessment for airbursts from near-earth objects (NEOs). In *2015 IEEE aerospace conference* (pp. 1-12). IEEE.

Bottke Jr, W. F., Durda, D. D., Nesvorný, D., Jedicke, R., Morbidelli, A., Vokrouhlický, D., & Levison, H. (2005). The fossilized size distribution of the main asteroid belt. *Icarus*, 175(1), 111-140.

Bottke Jr, W. F., Durda, D. D., Nesvorný, D., Jedicke, R., Morbidelli, A., Vokrouhlický, D., & Levison, H. F. (2005). Linking the collisional history of the main asteroid belt to its dynamical excitation and depletion. *Icarus*, 179(1), 63-94.

Brandt, J. C., & Chapman, R. D. (2004). *Introduction to comets*. Cambridge University Press.

Brenner, M., & Hearing, V. J. (2008). The protective role of melanin against UV damage in human skin. *Photochemistry and photobiology*, 84(3), 539-549.

Brophy, J. R., Friedman, L., & Culick, F. (2012, March). Asteroid retrieval feasibility. In *2012 IEEE Aerospace Conference* (pp. 1-16). IEEE.

Brown, P., Spalding, R. E., ReVelle, D. O., Tagliaferri, E., & Worden, S. P. (2002). The flux of small near-Earth objects colliding with the Earth. *Nature*, 420(6913), 294-296.

Caldeira, K., & Wood, L. (2008). Global and Arctic climate engineering: numerical model studies. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366(1882), 4039-4056.

Castelletto, N., Gambolati, G., & Teatini, P. (2013). Geological CO₂ sequestration in multi-compartment reservoirs: Geomechanical challenges. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(5), 2417-2428.

Chapman, C. R. (2003, January). How a near-earth object impact might affect society. In *Commissioned Paper by OECD Global Science Forum for" Workshop on Near Earth Objects: Risks, Policies, and Actions," Frascati, Italy*.

Chapman, C. R. (2004). The hazard of near-Earth asteroid impacts on earth. *Earth and Planetary Science Letters*, 222(1), 1-15.

Cheng, A. F., Atchison, J., Kantsiper, B., Rivkin, A. S., Stickle, A., Reed, C., ... & Ulamec, S. (2015). Asteroid impact and deflection assessment mission. *Acta Astronautica*, 115, 262-269.

Chernoff, F. (2008). International relations, paleontology, and scientific progress: Parallels between democratic peace studies and the meteor impact extinction hypothesis. *International Studies Perspectives*, 9(1), 90-98.

CIESIN, Columbia University, United Nations FAO, and CIAT (2005). Gridded Population of the World, Version 3 (GPWv3): Population Count Grid, Future Estimates.

Cloudsley, M. S., Wilson, J. W., Shinn, J. L., Badavi, F. F., Heinbockel, J. H., & Atwell, W. (2001). *Neutron environment calculations for low Earth orbit* (No. 2001-01-2327). SAE Technical Paper.

Cochran, A. L., Levasseur-Regourd, A. C., Cordiner, M., Hadamcik, E., Lasue, J., Gicquel, A., ... & Kuan, Y. J. (2015). The composition of comets. *Space Science Reviews*, 197(1-4), 9-46.

Cucinotta, F. A., Alp, M., Sulzman, F. M., & Wang, M. (2014). Space radiation risks to the central nervous system. *Life Sciences in Space Research*, 2, 54-69.

Daniels, K. E., Coppock, J. E., & Behringer, R. P. (2004). Dynamics of meteor impacts. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 14(4), S4-S4.

Dvorsky, G. (2019, July 4). *Astronauts aren't dying from space radiation, new research suggests.* Gizmodo.

Early, J. T. (1989). Space-based solar shield to offset greenhouse effect. *Journal of the British Interplanetary Society*, 42, 567-569.

EDEIS, Tsunami Laboratory, and ICMMG SD RAS (2006). Earth Global Impact Features.

Eldredge, N. (1999). Cretaceous meteor showers, the human ecological “niche,” and the sixth extinction. In *Extinctions in near time* (pp. 1-15). Springer, Boston, MA.

Elsner, P., Hölzle, E., Diepgen, T., Grether-Beck, S., Hönigsmann, H., Krutmann, J., ... & Luger, T. (2007). Recommendation: Daily sun protection in the prevention of chronic UV-induced skin damage. *JDDG: Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*, 5(2), 166-173.

ESA, SAFETY & SECURITY, Asteroid Impact & Deflection Assessment (AIDA) collaboration
Access in
https://www.esa.int/Safety_Security/Hera/Asteroid_Impact_Deflection_Assessment_AIDA_collaboration

ESA, (2014), Rosetta arrives at comet destination
https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Rosetta/Rosetta_arrives_at_comet_destination

Farnocchia, D., Chesley, S. R., & Chamberlin, A. B. (2016, October). Scout: orbit analysis and hazard assessment for NEOCP objects. In *AAS/Division for Planetary Sciences Meeting Abstracts# 48* (Vol. 48, pp. 305-03).

Gardiner, S. M. (2010). Ethics and climate change: an introduction. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(1), 54-66.

Gennery, D. (2004, February). Deflecting asteroids by means of standoff nuclear explosions. In *2004 Planetary Defense Conference: Protecting Earth from Asteroids* (p. 1439).

Govindasamy, B., & Caldeira, K. (2000). Geoengineering Earth's radiation balance to mitigate CO₂-induced climate change. *Geophysical Research Letters*, 27(14), 2141-2144.

Gritzner, C. (1997). Analysis of alternative systems for orbit alteration of near-Earth asteroids and comets. *Technical Translation ESA-TT (translation of DLR-FB 96-26)*.

Hegerl, G. C., & Solomon, S. (2009). Risks of climate engineering. *Science*, 325(5943), 955-956.

Hsieh, H. H., & Jewitt, D. (2006). A population of comets in the main asteroid belt. *Science*, 312(5773), 561-563.

Ichihashi, M., Ueda, M., Budiyo, A., Bito, T., Oka, M., Fukunaga, M., ... & Horikawa, T. (2003). UV-induced skin damage. *Toxicology*, 189(1-2), 21-39.

Izzo, D., De Negueruela, C., Ongaro, F., & Walker, R. (2005). Strategies for near Earth object impact hazard mitigation. *Advances in the Astronautical Sciences*, 120, 699-708.

Kalabanov, S., Sherstyukov, O., Karpov, A., & Ishmuratov, R. (2018). Orbital structure of a meteoric complex in a vicinity of the Earth's orbit by Kazan meteor radar. Types of meteor orbits. *Planetary and Space Science*, 161, 84-91.

Keller, G., Adatte, T., Stinnesbeck, W., Rebolledo-Vieyra, M., Fucugauchi, J. U., Kramar, U., & Stüben, D. (2004). Chicxulub impact predates the KT boundary mass extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(11), 3753-3758.

Klein, K. L., & Dalla, S. (2017). Acceleration and propagation of solar energetic particles. *Space Science Reviews*, 212(3), 1107-1136.

Lane, S. N., Tayefi, V., Reid, S. C., Yu, D., & Hardy, R. J. (2007). Interactions between sediment delivery, channel change, climate change and flood risk in a temperate upland environment. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 32(3), 429-446.

Lawrence, M. G. (2006). The geoengineering dilemma: To speak or not to speak. *Climatic Change*, 77(3-4), 245.

Liss, P. S., & Lovelock, J. E. (2008). Climate change: the effect of DMS emissions. *Environmental Chemistry*, 4(6), 377-378.

Little, M. P., Wakeford, R., Tawn, E. J., Bouffler, S. D., & Berrington de Gonzalez, A. (2009). Risks associated with low doses and low dose rates of ionizing radiation: why linearity may be (almost) the best we can do. *Radiology*, 251(1), 6-12.

Matthews, H. D., & Caldeira, K. (2007). Transient climate-carbon simulations of planetary geoengineering. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(24), 9949-9954.

Maurer, R. H., Fraeman, M. E., Martin, M. N., & Roth, D. R. (2008). Harsh Environments: Space Radiation. *Johns Hopkins APL technical digest*, 28(1), 17.

McCracken, K. G., Dreschhoff, G. A. M., Zeller, E. J., Smart, D. F., & Shea, M. A. (2001). Solar cosmic ray events for the period 1561–1994: 1. Identification in polar ice, 1561–1950. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 106(A10), 21585-21598.

McNeil, W. J., Dressler, R. A., & Murad, E. (2001). Impact of a major meteor storm on Earth's ionosphere: A modeling study. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 106(A6), 10447-10465.

Melosh, H. J., & Collins, G. S. (2005). Meteor Crater formed by low-velocity impact. *Nature*, 434(7030), 157-157.

Mercer, A. M., Keith, D. W., & Sharp, J. D. (2011). Public understanding of solar radiation management. *Environmental Research Letters*, 6(4), 044006.

Miroshnichenko, L. (2003). *Radiation hazard in space* (Vol. 297). Springer Science & Business Media.

Mitchell, D. L., & Finnegan, W. (2009). Modification of cirrus clouds to reduce global warming. *Environmental Research Letters*, 4(4), 045102.

Mittlefehldt, D. W., Hörz, F., See, T. H., Scott, E. R., & Mertzman, S. A. (2005). Geochemistry of target rocks, impact-melt particles, and metallic spherules from Meteor Crater, Arizona: Empirical evidence on the impact process. In *Large meteorite impacts III* (Vol. 384, pp. 367-390). Geological Society of America Boulder, CO.

Moeller, R., Raguse, M., Leuko, S., Berger, T., Hellweg, C. E., Fujimori, A., ... & STARLIFE Research Group. (2017). STARLIFE—An international campaign to study the role of galactic cosmic radiation in astrobiological model systems. *Astrobiology*, 17(2), 101-109.

Morbidelli, A., Bottke, W. F., Froeschlé, C., & Michel, P. (2002). Origin and evolution of near-Earth objects. *Asteroids iii*, 409.

Morrison, D. (Ed.). (1992). *The Spaceguard survey: report of the NASA international near-Earth-object detection workshop* (Vol. 107979). NASA.

Mumma, M. J., & Charnley, S. B. (2011). The chemical composition of comets—emerging taxonomies and natal heritage. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 49.

Napier, B., & Asher, D. (2009). The Tunguska impact event and beyond. *Astronomy & Geophysics*, 50(1), 1-18.

National Research Council. (2011). *Limiting the magnitude of future climate change*. National Academies Press.

Nelson, S. A. (2018). Natural Disasters. Tulane University, Dept. Earth & Environmental Sciences. Διαθέσιμο στο: https://www.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/impacts.htm

Newbeast.gr, Τα σφοδρότερα χτυπήματα μετεωριτών της Ιστορίας, δημοσιογραφική ιστοσελίδα, Ενότητα ΚΟΣΜΟΣ, 27/04/2014 access in: <https://www.newsbeast.gr/world/arthro/669240/ta-sfodrotera-htupimata-meteoriton-tis-istorias>

Newsom, H. E., Wright, S. P., Misra, S., & Hagerty, J. J. (2013). Comparison of simple impact craters: A case study of Meteor and Lonar Craters. *Impact cratering: Processes and products*, 271-286.

Northmeteo.gr, 21/08/2020, Οι δίδυμες λίμνες Ζερέλια δημιουργήθηκαν μετά από πτώση μετεωρίτη, Ενότητα Περιβάλλον, access in: <https://northmeteo.gr/oi-didymes-limnes-zerelia-dimioyrgithikan-meta-apo-ptosi-meteoriti-photos/>

Olds, J., Charania, A., & Schaffer, M. G. (2007, March). Multiple mass drivers as an option for asteroid deflection missions. In *2007 Planetary Defense Conference, Washington, DC, Paper (pp. S3-7)*.

Osinski, G. R., Bunch, T. E., Flemming, R. L., Buitenhuis, E., & Wittke, J. H. (2015). Impact melt-and projectile-bearing ejecta at Barringer Crater, Arizona. *Earth and Planetary Science Letters*, 432, 283-292.

Parisi, A. V., Green, A., & Kimlin, M. G. (2001). Diffuse Solar UV Radiation and Implications for Preventing Human Eye Damage. *Photochemistry and photobiology*, 73(2), 135-139.

Peter, N., Barton, A., Robinson, D., & Salotti, J. M. (2004). Charting response options for threatening near-Earth objects. *Acta Astronautica*, 55(3-9), 325-334.

Plane, J. M. C. (2012). Cosmic dust in the earth's atmosphere. *Chemical Society Reviews*, 41(19):6507.

Planetary and Space Science journal, (2017), ROSETTA: How to archive more than 10 years of mission, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032063316301349>

Popov, Y., Romushkevich, R., Korobkov, D., Mayr, S., Bayuk, I., Burkhardt, H., & Wilhelm, H. (2011). Thermal properties of rocks of the borehole Yaxcopoil-1 (Impact Crater Chicxulub, Mexico). *Geophysical Journal International*, 184(2), 729-745.

Popova, O. P., Jenniskens, P., Emel'yanenko, V., Kartashova, A., Biryukov, E., Khaibrakhmanov, S., ... & Chelyabinsk Airburst Consortium. (2013). Chelyabinsk airburst, damage assessment, meteorite recovery, and characterization. *Science*, 342(6162), 1069-1073.

Pravec, P. E. T. R., Harris, A. W., & Michalowski, T. (2002). Asteroid rotations. *Asteroids III*, 113.

Rahmanifard, F., de Wet, W. C., Schwadron, N. A., Owens, M. J., Jordan, A. P., Wilson, J. K., ... & Townsend, L. W. (2020). Galactic cosmic radiation in the interplanetary space through a modern secular minimum. *Space Weather*, 18(9), e2019SW002428.

Ramasamy, V., Sundarajan, M., Paramasivam, K., Meenakshisundaram, V., & Suresh, G. (2013). Assessment of spatial distribution and radiological hazardous nature of radionuclides in high background radiation area, Kerala, India. *Applied Radiation and Isotopes*, 73, 21-31.

Rasch, P. J., Tilmes, S., Turco, R. P., Robock, A., Oman, L., Chen, C. C., ... & Garcia, R. R. (2008). An overview of geoengineering of climate using stratospheric sulphate aerosols. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366(1882), 4007-4037.

Reames, D. V. (2013). The two sources of solar energetic particles. *Space Science Reviews*, 175(1-4), 53-92.

Ricke, K. L., Moreno-Cruz, J. B., & Caldeira, K. (2013). Strategic incentives for climate geoengineering coalitions to exclude broad participation. *Environmental Research Letters*, 8(1), 014021.

Ridgwell, A., Singarayer, J. S., Hetherington, A. M., & Valdes, P. J. (2009). Tackling regional climate change by leaf albedo bio-geoengineering. *Current Biology*, 19(2), 146-150.

Robertson, D. K., & Mathias, D. L. (2017). Effect of yield curves and porous crush on hydrocode simulations of asteroid airburst. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 122(3), 599-613.

Robock, A., Marquardt, A., Kravitz, B., & Stenchikov, G. (2009). Benefits, risks, and costs of stratospheric geoengineering. *Geophysical Research Letters*, 36(19).

Roussos, E., Jackman, C. M., Thomsen, M. F., Kurth, W. S., Badman, S. V., Paranicas, C., ... & Radioti, A. (2018). Solar Energetic Particles (SEP) and Galactic Cosmic Rays (GCR) as tracers of solar wind conditions near Saturn: Event lists and applications. *Icarus*, 300, 47-71.

Rumpf, C. M. (2019). Asteroid Impact Risk Assessment: Rationalizing the Threat. In *Planetary Defense* (pp. 181-203). Springer, Cham.

Sánchez-Lozano, J. M., & Fernández-Martínez, M. (2016). Near-Earth object hazardous impact: A multi-criteria decision making approach. *Scientific reports*, 6(1), 1-10.

Sever, M. (2004). Unraveling the Chicxulub Case. *Geotimes*.

Silber, E. a., ReVelle, D. O., Brown, P. G., and Edwards, W. N. (2009). An estimate of the terrestrial influx of large meteoroids from infrasonic measurements. *Journal of Geophysical Research*, 114(E8):E08006.

Sliney, D. H. (2001). Photoprotection of the eye—UV radiation and sunglasses. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 64(2-3), 166-175.

Smith, S. J., & Rasch, P. J. (2013). The long-term policy context for solar radiation management. *Climatic Change*, 121(3), 487-497.

Svetsov, V. V., Artemieva, N. A., & Shuvalov, V. V. (2017, August). Seismic efficiency of meteor airbursts. In *Doklady Earth Sciences* (Vol. 475, No. 2, pp. 935-938). Pleiades Publishing.

Svobodová, A., Psotová, J., & Walterová, D. (2003). Natural phenolics in the prevention of UV-induced skin damage. A review. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub*, 147(2), 137-145.

Tanner, L. H., Lucas, S. G., & Chapman, M. G. (2004). Assessing the record and causes of Late Triassic extinctions. *Earth-Science Reviews*, 65(1-2), 103-139.

Termorshuizen, F., Garssen, J., Norval, M., Koulu, L., Laihia, J., Leino, L., ... & Van Loveren, H. (2002). A review of studies on the effects of ultraviolet irradiation on the resistance to infections: evidence from rodent infection models and verification by experimental and observational human studies. *International immunopharmacology*, 2(2-3), 263-275.

The university of Arisona,2020, The Great Comet of 2020 (NEOWISE)
<https://skycenter.arizona.edu/news/2020/07/great-comet-2020-neowise>

Trenberth, K. E., & Dai, A. (2007). Effects of Mount Pinatubo volcanic eruption on the hydrological cycle as an analog of geoengineering. *Geophysical Research Letters*, 34(15).

Virgoe, J. (2009). International governance of a possible geoengineering intervention to combat climate change. *Climatic Change*, 95(1), 103-119.

Wilson, J. W., Tripathi, R. K., Qualls, G. D., Cucinotta, F. A., Prael, R. E., Norbury, J. W., ... & Tweed, J. (2004). A space radiation transport method development. *Advances in Space Research*, 34(6), 1319-1327.

Younes, S., & Muneer, T. (2007). Comparison between solar radiation models based on cloud information. *International journal of sustainable energy*, 26(3), 121-147.

Zhao, S., Urbina, J., Dyrud, L., & Seal, R. (2011). Multilayer detection and classification of specular and nonspecular meteor trails. *Radio Science*, 46(06), 1-11.

Δελληβοριάς, Α, (2014), Διαστημικοί Εισβολείς, Πλανητάριο-Αστροπύλη, Ίδρυμα Ευγενίδου, ΑΘΗΝΑ

Δελληβοριάς, Α, (2017), Ταξιδευτές του Ηλιακού συστήματος αστεροειδείς και κομήτες, Οδηγός Παράστασης Ίδρυμα Ευγενίδου, ΑΘΗΝΑ