



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ: ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ,
ΓΛΩΣΣΟΛΟΓΙΑ, ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΣΧΕΣΕΙΣ**

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Διακυβέρνηση, Ανάπτυξη και Ασφάλεια στη Μεσόγειο»

Η εξέλιξη των πυρηνικών όπλων
(The evolution of nuclear weapons)

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία της Ιφιγένειας Δεριζιώτη
Αριθμός Μητρώου: 4332023006

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Σεϊμένης

Μέλη Επιτροπής:
Ιωάννης Στριμπής και Χρήστος Ζιώγας

Ρόδος, Καλαμάτα 2024 – 2025

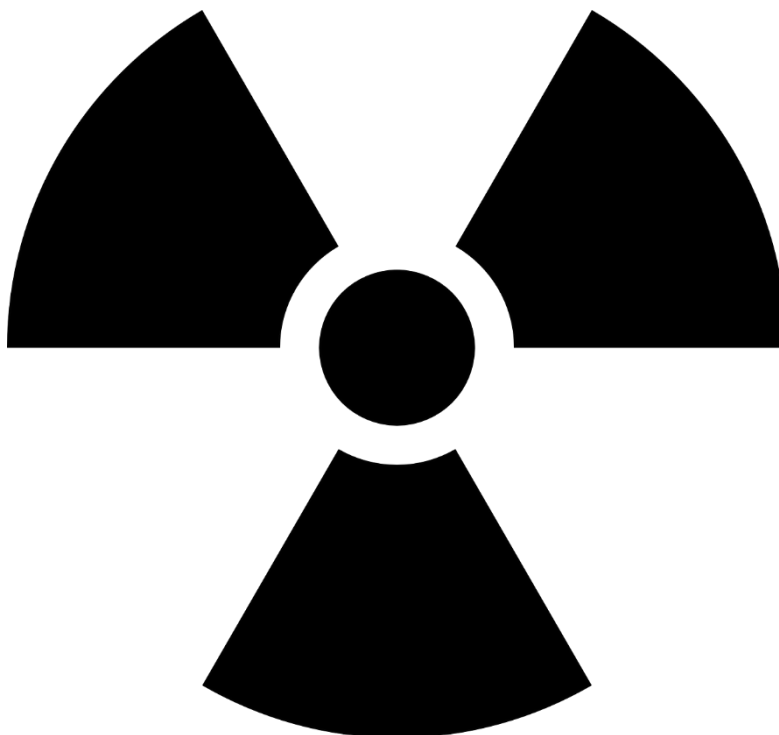
Δήλωση μη λογοκλοπής – Ανάληψης προσωπικής ευθύνης

Δηλώνω υπεύθυνα πως είμαι η συγγραφέας αυτής της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας, η οποία είναι αποτέλεσμα πρωτότυπης έρευνας. Κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων ή ιδεών, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες, δεν γίνεται χρήση πνευματικής ιδιοκτησίας τρίτων δίχως τη χρήση αναφοράς εις αυτών. Βεβαιώνω ότι αυτή η μελέτη διεκπεραιώθηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά για τη συγκεκριμένη Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Αναλαμβάνω την πλήρη ευθύνη των κυρώσεων που έχουν θεσπιστεί σύμφωνα με το Καταστατικό του Ιδρύματος και των οποίων τις συνέπειες δύναμαι να αντιμετωπίσω εάν και εφόσον αποδειχτεί πως το παρόν έγγραφο αποτελεί προϊόν λογοκλοπής¹.

Ιφιγένεια Δεριζιώτη

¹ Υπεύθυνη Δήλωση (άρθρο 8 Ν.1599/1986). Παραχωρήθηκε προς υπογραφή της γράφουσας από τη γραμματεία του ΠΜΣ «Διακυβέρνηση, Ανάπτυξη και Ασφάλεια στη Μεσόγειο». Νοέμβριος 2024.

Αφιερωμένη στον μονάκριβο υιό μου Γεώργιο και
στην Ρωξάνη μου (Roxy) που πλέον βρίσκεται ανάμεσα στα άστρα



Radiation Symbol²

² Το σύμβολο της ιονίζουσας ακτινοβολίας/ ραδιενέργειας. Χρησιμοποιείται προειδοποιητικά ως προς τον κίνδυνο της έκθεσης οπουδήποτε υπάρχει ένδειξη ραδιενέργειας. Συμβολίζει το άτομο και τους τρεις τύπους ιονίζουσας ακτινοβολίας που εκπέμπονται εξ αυτού: την α , την β και την γ . Σχεδιάστηκε για πρώτη φορά το 1946 στο εργαστήριο ακτινοβολίας του Πανεπιστημίου της California στο Berkeley.

Platonova, M. (2024, June 20). *How are universal Ionizing Radiation Symbols used around the world?* International Atomic Energy Agency (IAEA).

<https://www.iaea.org/newscenter/news/how-are-universal-ionizing-radiation-symbols-used-around-the-world>

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, κο. Σεϊμένη Ιωάννη, όπως και τους λοιπούς καθηγητές μου, στο εν λόγω μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών, τον κο. Ντάλη Σωτήριο, τον κο. Μαρή Γεώργιο, τον κο. Σακκά, Ιωάννη, τον κο. Στριμπή Ιωάννη και τον κο. Φούκα Ιωάννη, οι οποίοι μέσω του εκπαιδευτικού επαγγελματισμού που τους χαρακτηρίζει μας καθοδήγησαν, καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης, ώστε να κατανοήσουμε εις βάθος το επιστημονικό πεδίο σπουδών που ακολουθήσαμε. Επιπροσθέτως θα ήθελα να ευχαριστήσω την γραμματέα κα. Μαστρογιάννη Μαρία, η οποία ήταν πάντα στο πλευρό των φοιτητών επιλύοντας όλα τα θέματα που ανέκυπταν, και φυσικά τους συμφοιτητές μου για το όμορφο διάστημα συμπόρευσης και συνεργασίας.

Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής μελέτης είναι να παρουσιάσει, με όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένο, άμεσο και εκλαϊκευμένο τρόπο, την ανάπτυξη και την εξελικτική πορεία των πυρηνικών οπλικών συστημάτων. Η θεματική των κεφαλαίων πραγματεύεται την ανάδειξη των κυριότερων στοιχείων, παραγόντων και μέσων που συνέβαλαν (και συμβάλουν) ως προς την πυρηνική οπλική ολοκλήρωση. Με βάση το προαναφερθέν πλάνο εργασίας, στο εναρκτήριο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικότερες έννοιες της πυρηνικής φυσικής, καθώς και οι σχετικές με την οπλική χρήση πυρηνικές διεργασίες. Ακολούθως, στο δεύτερο και στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση των κυριότερων ραδιενεργών χημικών στοιχείων και του τρόπου λειτουργίας των πυρηνικών αντιδραστήρων, μέσω των οποίων λαμβάνει χώρα η παραγωγή και η ανακύκλωση της πυρηνικής ύλης και ενέργειας. Μετέπειτα, στο τέταρτο και στο πέμπτο κεφάλαιο, παρατίθεται ο εννοιολογικός προσδιορισμός των πυρηνικών όπλων και των βασικότερων εξ αυτών τύπων, καθώς και η παρουσίαση των συστημάτων μεταφοράς και παράδοσης. Εν συνεχεία, στο έκτο και στο έβδομο κεφάλαιο, περιγράφονται τα συστήματα ελέγχου και ασφάλειας των εν λόγω οπλικών συστημάτων, οι επιδράσεις των αναδυόμενων τεχνολογιών επ' αυτών και γίνεται αναφορά στις απόπειρες πυρηνικοποίησης του διαστήματος, αλλά και στις συνθήκες προστασίας που συνήφθησαν ως προς αυτό. Κλείνοντας, στο όγδοο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι επιπτώσεις, που επιφέρει η χρήση των πυρηνικών όπλων, στο περιβάλλον και στον ανθρώπινο οργανισμό.

Abstract

The purpose of this postgraduate study is to present, in the most comprehensive and direct way possible, the development and evolutionary course of nuclear weapons systems. The following chapters highlighting the main elements, factors and means that have contributed to nuclear weapons integration. According to this point of view, the opening chapter presents the most basic concepts of nuclear physics, as well as the nuclear processes relevant to weapons use. Thereupon, in the second and third chapters, the main radioactive chemical elements are presented in addition with the operation of nuclear reactors, through which the production and recycling of nuclear energy and matter takes place. Afterwards, in the fourth and fifth chapters, the conceptual definition of nuclear weapons and their most basic types is presented, additionally with the presentation of their transport and delivery systems. Thereafter, in the sixth and seventh chapters, the control and security systems of these weapons systems are described, plus the effects of emerging technologies on them. Reference is also made to the attempts to nuclearize space, as well as to protection treaties based on the International Space Law. Finally, in the eighth chapter, the effects of the use of nuclear weapons on the environment and the human body are presented.

Σκοπός

Η επιθυμία εκπόνησης της εν λόγω μεταπτυχιακής διατριβής γεννήθηκε κατά την παράδοση του μαθήματος, του Β' εξαμήνου, με διδάσκοντα τον κο. Σεϊμένη Ιωάννη, «Διεθνή καθεστώτα ελέγχου εξοπλισμών στη Μεσόγειο/ Μέση Ανατολή». Μου δημιουργήθηκε η ανάγκη, ως μη γνώστης (ούτε μέσω θεωρίας ούτε μέσω εμπειρίας) του εν λόγω αντικειμένου, να κατανοήσω και να μάθω, όσο βαθύτερα ήταν εφικτό, την φύση και την λειτουργία των πυρηνικών οπλικών συστημάτων καθώς και του απότοκου της επιχειρησιακής τους χρήσης. Η διείσδυση, μέσω ενδελεχούς και απαρασάλευτης μελέτης, σε μια πληθώρα προσβάσιμων βιβλιογραφικών και διαδικτυακών πηγών μου απέφερε μια πρωτόγνωρη πνευματική εμπειρία γνωσιακής έκρηξης!

Καθώς η ανάπτυξη της εν λόγω θεματολογίας έχριζε πολύπλευρης προσέγγισης μιας πληθώρας επιστημονικών πεδίων, όπως λ.χ. της φυσικής, της χημείας, της ιστορίας, των οπλικών συστημάτων, της θεωρίας πολέμου, των διεθνών σχέσεων κ.α. και καθώς η έκταση του κειμένου όφειλε να κυμαίνεται εντός ενός προκαθορισμένου πλαισίου, αγωνίστηκα ώστε, κατανοώντας επαρκώς, εντός περιορισμένου χρονικού διαστήματος, το αντικείμενο της μελέτης μου, να παραδώσω στον αναγνώστη μια εκλαϊκευμένη και εναργής παρουσίαση πλήρους φάσματος. Λόγω των περιορισμών αυτών (χρονικών και ποσοτικών) η παρούσα διπλωματική εργασία, υπό τον τίτλο «Η εξέλιξη των πυρηνικών όπλων», αποτελείται από την θεματική παρουσίαση των κεφαλαίων εκείνων, που θεώρησα πως έχριζαν ανάπτυξης ώστε να προσδώσουν στην δομή της οντολογική πληρότητα.

Σας ευχαριστώ

Έρρωσθε και Ευδαιμονείτε

Λέξεις κλειδιά

Πυρηνικά όπλα
Ραδιολογικά όπλα
Βόμβες σχάσης
Βόμβες σύντηξης
Διεπαιρωτικοί βαλλιστικοί πύραυλοι (ICBM)
Πύραυλοι πλεύσης (Cruise)
Ασφάλεια πυρηνικών όπλων
Πυρηνικοποίηση του διαστήματος
Επιπτώσεις πυρηνικών εκρήξεων
Επιπτώσεις ραδιενέργειας
Ουράνιο (U)
Εκφυλισμένο Ουράνιο (DU)
Πλουτώνιο (Pu)

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	12
Κεφάλαιο 1^ο – Μία εκλαϊκευμένη και σύντομη παρουσίαση της πυρηνικής φυσικής	15
1.1 Κύριες έννοιες	15
1.1.1 Πυρηνική ενέργεια	15
1.1.2 Πυρηνική δύναμη	16
1.1.3 Πυρηνική αντίδραση	16
1.1.4 Ραδιενέργεια	16
1.1.5 Ραδιενεργός διάσπαση	17
1.1.6 Ακτινοβολία	17
1.1.7 Ιόν, ιονισμός και ιονίζουσα ακτινοβολία	18
1.2 Βασική ύλη	19
1.2.1 Υποατομικά σωματίδια	19
1.2.2 Πυρήνες	20
1.2.3 Άτομα	21
1.2.4 Ισότοπα	22
1.2.5 Μόρια	22
1.3 Πυρηνική σχάση	23
1.3.1 Αλυσιδωτή αντίδραση	24
1.3.2 Κρίσιμη μάζα	25
1.4 Πυρηνική σύντηξη	26
Κεφάλαιο 2^ο – Τα βασικά ραδιενεργά χημικά στοιχεία για οπλική χρήση	27
2.1 Ουράνιο (U)	27
2.2 Εκφυλισμένο Ουράνιο (DU)	29
2.3 Πλουτώνιο (Pu)	31
Κεφάλαιο 3^ο – Πυρηνικοί αντιδραστήρες - Παραγωγή και ανακύκλωση της πυρηνικής ύλης και ενέργειας	36
3.1 Μια εισαγωγή	36
3.2 Μία σύντομη παρουσίαση	37
3.3 Δομή και τρόπος λειτουργίας	41
3.4 Η επανάκτηση των ραδιενεργών χημικών στοιχείων	43
Κεφάλαιο 4^ο – Τα πυρηνικά όπλα	45
4.1 Η απαρχή των πυρηνικών όπλων - Το πρόγραμμα Manhattan	45

4.2 Προσδιορισμός των πυρηνικών όπλων	48
4.3 Βασικότεροι τύποι πυρηνικών όπλων	54
4.3.1 Όπλα πυρηνικής σχάσης (Βόμβα σχάσης)	54
4.3.2 Όπλα πυρηνικής σύντηξης (Βόμβα σύντηξης ή Υδρογονοβόμβα ή Θερμοπυρηνική βόμβα)	58
4.3.3 Όπλα νετρονίων (Βόμβα νετρονίων)	61
4.3.4 Συσκευή Διασποράς Ραδιενέργειας («Βρώμικη» βόμβα)	63
4.3.5 «Αλατισμένα» όπλα («Αλατισμένη» βόμβα)	64
Κεφάλαιο 5ο – Συστήματα μεταφοράς και παράδοσης πυρηνικών όπλων	66
5.1 Στρατηγικά αεροσκάφη	68
5.2 Υποβρύχια	70
5.3 Πυραυλικά συστήματα	74
5.3.1 Βαλλιστικοί πύραυλοι	77
5.3.2 Πύραυλοι Cruise	87
5.4 Λοιπά συστήματα μεταφοράς και παράδοσης	92
Κεφάλαιο 6ο – Συστήματα ελέγχου και ασφάλειας των πυρηνικών όπλων	95
6.1 Ορολογία και ορισμοί ατυχημάτων πυρηνικών όπλων	97
6.2 Συστήματα ελέγχου και ασφάλειας	9
6.3 Ασφάλεια στην εποχή της Τεχνητής Νοημοσύνης	103
Κεφάλαιο 7ο – Το πεδίο του διαστήματος	109
7.1 Πυρηνικές απόπειρες στο διάστημα	111
7.2 Συνθήκες προστασίας του διαστήματος	119
Κεφάλαιο 8ο – Πυρηνικές εκρήξεις και επιπτώσεις	125
8.1 Βασικά χαρακτηριστικά πυρηνικών εκρήξεων	125
8.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	129
8.3 Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό	131
Επίλογος	136
Παράρτημα	139
1. Εικόνες	139
2. Διαδραστικοί χάρτες και άλλα	154
3. Επιπλέον πηγές προς μελέτη (e-Books)	155
4. Γλωσσάρια	156
Βιβλιογραφία	157

‘Inter arma enim silent leges’

(Ανάμεσα στα όπλα οι νόμοι σιγούν)

Marcus Tullius Cicero

(Κικέρων)

Εισαγωγή

Είναι γνωστή η φιλοσοφική φράση (γνωμικό) του Ηράκλειτου³ «πόλεμος πάντων μὲν πατήρ ἐστι, πάντων δὲ βασιλεύς, καὶ τοὺς μὲν θεοὺς ἔδειξε τοὺς δὲ ἀνθρώπους, τοὺς μὲν δούλους ἐποίησε τοὺς δὲ ἐλευθέρους», δηλαδή πως ο πόλεμος είναι ο πατέρας όλων, ο βασιλεύς των πάντων, και άλλους τους κατέστησε θεούς και άλλους ανθρώπους, άλλους τους έκανε δούλους κι άλλους ελεύθερους. Σε συγκρουσιακές καταστάσεις, όπου το διακύβευμα της ζωής και της επιβίωσης είναι εκ των ων ουκ άνευ, πλην του αυταπόδεικτου της κυριαρχίας του ολέθρου και του πόνου, αναδύεται, μέσα από τα συντρίμια ως αναγκαιότητα, η ίδια η εξέλιξη του ανθρώπου, των δομών, των αρχών και των ιδεών. Αναπτύσσονται νέα στρατηγικά δόγματα, νέες τακτικές μάχης, νέες οπλικές τεχνολογίες, νέες εθνικές και διεθνείς πολιτικές προσεγγίσεις και συμμαχίες. Ο κίνδυνος του εύθραυστου της ύπαρξης απαιτεί την προσαρμοστικότητα της διάρθρωσης του συνόλου, ως προς την ενίσχυση της ισχύος και της ανθεκτικότητας, επιφέροντας συνεπώς την καινοτομία σε μια πληθώρα τομέων. Επομένως ο Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος (1939-1945) αποτέλεσε τον γεννήτορα των πυρηνικών όπλων, των διηπειρωτικών βαλλιστικών πυραύλων, της κατάκτησης του διαστήματος, αλλά και της ιδέας και των αρχών επί των οποίων ανηγέρθη το οικοδόμημα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενός εκ των επιδραστικότερων περιφερειακών οργανισμών, και της Βορειοατλαντικής Συμμαχίας (NATO - North Atlantic Treaty Organization), η οποία αποτελεί την ηγέτιδα αμυντική συμμαχία της Δύσης.

Στις 8 Μαΐου του 1945⁴ τα συμβατικά όπλα σίγησαν επί της Γηραιάς Ηπείρου, ήχησε όμως στη διαπασών και διατλαντικά η υποταγή της πυρηνικής ενέργειας στην ανθρώπινη βούληση. Κατέστη έτσι το γένος των ανθρώπων συνάμα έρμαιο και δαμαστής του χάους, συντάσσοντας ένα νέο ιστορικό κεφάλαιο, στρατιωτικών ανταγωνισμών και συσχετισμών ισχύος, αυτό του Ψυχρού Πολέμου (1947-1991). Έκτοτε, και καθώς η αέναη πορεία του χρόνου τείνει πάντοτε προς την αναδιαμορφωμένη επανάληψη του ιστορικού πεπερασμένου, τις ψυχροπολεμικές αυτοκρατορίες, του διπολικού συστήματος ΗΠΑ – ΕΣΣΔ, τις διαδέχτηκε ένας πολυπολικός κόσμος νεότευκτων κρατών, η εξάπλωση της τρομοκρατίας, κυρίως εξ ανατολών υπό τη μορφή του ισλαμικού φονταμενταλισμού, και η ισχυροποίηση των μη συστημικών δρώντων. Επιπλέον, συνάμα με την πολιτιστική πρόοδο, ο ανταγωνισμός της ισχύος μετατοπίστηκε στο τεχνολογικό πεδίο, όπου μεταβάλλοντας την φύση της παραδοσιακής στρατηγικής και κυριαρχίας, συντέλεσε στην ανάδειξη νέων δυναμικών μετώπων ανταγωνισμού.

Σε αυτό το σημείο, θα παραλλήλιζα δε την ανάπτυξη της πυρηνικής επιστήμης με τη θεϊκή φωτιά, την οποία δώρισε ο Προμηθέας στους ανθρώπους. Που όμως, παρότι απέκτησαν οι θνητοί άκρατη δύναμη,

³ Ζαφειρόπουλος, Χ. (2008, 14 Μαΐου). *Ηράκλειτος ο Εφέσιος*. Encyclopaedia of the Hellenic World. <http://asiaminor.ehw.gr/Forms/fLemmaBodyExtended.aspx?lemmaID=4460>

⁴ Ευρωπαϊκή Ένωση (χ.χ.). *Η ιστορία της Ευρωπαϊκής Ένωσης - 1945-59*. https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/history-eu/1945-59_el

έχοντας στα χέρια τους τις πυρηνικές διεργασίες του σύμπαντος, που έως τότε συντελούνταν μόνον εντός των άστρων και του Ήλιου, κατέστη συγχρόνως η ανθρωπότητα, ως σαν άλλος Προμηθέας δεσμώτης, δέσμια του ραδιολογικού τρόμου και κινδύνου. Επιπροσθέτως θα παραλλήλιζα την εξέλιξη των τεχνολογιών αιχμής, κυρίως δε των αυτόματων υπολογιστικών συστημάτων της Τεχνητής Νοημοσύνης, με την πάλαι ποτέ ανακάλυψη του τροχού, καθώς αναμένετε να επιφέρουν πληθώρα αλλαγών, σε ποικίλες εκφάνσεις της ζωής του ανθρώπου, ανατρέποντας οτιδήποτε έως σήμερα θεωρείται ως πεπατημένη οδό. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, πως η πυρηνική οπλική επιστήμη και οι πρωτοποριακές τεχνολογίες θα καταστούν ένα ανερχόμενο συγκεραστικό μοντέλο ολοκλήρωσης ισχύος, παρέχοντας μεγαλύτερη αποδοτικότητα ως προς την επίτευξη των επιδιωκόμενων γεωπολιτικών στόχων.

Ωστόσο την «θεϊκή φωτιά» της πυρηνικής ισχύος δεν την απέκτησαν, και ούτε δύναται να την αποκτήσουν, όλοι οι κυρίαρχοι γεωπολιτικοί δρώντες. Σε αυτό συνετέλεσε, και συντελεί, μια σειρά από παράγοντες, όπως είναι κυρίως η πολιτική βούληση, του πυρηνικά εκκολαπτόμενου κράτους, και η εν τοις πράγμασι εθνική οικονομική και βιομηχανική δυνατότητα υλοποίησης της ανάπτυξης πυρηνικού προγράμματος, τόσο για ειρηνική - ενεργειακή χρήση όσο και για οπλική. Συνεπώς μόλις ληφθεί η πολιτική απόφαση, σχετικά με την πυρηνικοποίηση των ενόπλων δυνάμεων και εφόσον η αμυντική βιομηχανία και τα κονδύλια είναι επαρκή, δεν υφίστατο πλέον τεχνολογική δυσχέρεια στην κατασκευή των εν λόγω υποδομών και οπλικών συστημάτων. Συμπληρωματικά χρίζει επισήμανσης πως ο τύπος και η δομή των στρατηγικών πυρηνικών δυνάμεων, όπως είναι λ.χ. ο τύπος των πυρηνικών κεφαλών, το είδος της γόμωσης, ο τύπος των πυραύλων και ο τύπος των λοιπών συστημάτων μεταφοράς και παράδοσης, διαφέρουν αναμεταξύ των πυρηνικών κρατών, και διαμορφώνονται κατά κύριο λόγο με βάση τις γεωπολιτικές προτεραιότητες, όπως λ.χ. τη σκοπιμότητα, ήτοι τον πολιτικό σκοπό, την εθνική υψηλή στρατηγική, την γεωγραφική θέση και την οικονομική ευχέρεια του εκάστοτε πυρηνικού κράτους.

Επιπλέον ο διαχωρισμός μεταξύ τακτικών (θεωρούνται μικρής ισχύος) και στρατηγικών πυρηνικών όπλων (θεωρούνται καίριας ισχύος), ο οποίος βασίζεται στην εκρηκτική ισχύ και στο βεληνεκές του εκάστοτε όπλου, στο είδος του στόχου, καθώς και στα χαρακτηριστικά του πεδίου της μάχης και του αντιπάλου, θεωρείται κατά βάση αυθαίρετος. Η δυσχέρεια επί του συγκεκριμένου διαχωρισμού, ακόμη και της κατάταξης των εν λόγω όπλων σε τακτικά ή στρατηγικά, έγκειται ως προς τις επιπτώσεις που επέρχονται από τη χρήση των πυρηνικών όπλων ανεξαιρέτως τύπου, καθώς και του άμεσου κινδύνου κλιμάκωσης που επιφέρει η όποια χρήση τους, ακόμη και η υπόνοια αυτής⁵. Είθισται όλα τα πυρηνικά όπλα να χαρακτηρίζονται ως στρατηγικά, λόγω της βαρύτητας που προσδίδουν στην εξωτερική πολιτική των πυρηνικών δυνάμεων, δηλαδή δρουν ως πολλαπλασιαστής σκληρής ισχύος, αλλά και

⁵ Θεοφίλου, Α. (1984). Πυρηνικά Όπλα. Αθήνα: Εκδόσεις ΕΠΕΔΙΚΑ. & Σιτίτσας, Θ. (2022, 12 Οκτωβρίου). *Τακτικά και στρατηγικά πυρηνικά όπλα: Ποιες οι διαφορές, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν*. Πτήση. <https://flight.com.gr/tactical-vs-strategic-nuclear-weapons/>

λόγω της ανείπωτης καταστροφής που συνεπάγεται η χρήση τους. Όλες αυτές οι πληροφορίες, σχετικά με την αρχή και την φύση των πυρηνικών όπλων, παρατίθενται αναλυτικότερα εντός των σελίδων της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 1^ο

Μία εκλαϊκευμένη και σύντομη παρουσίαση της πυρηνικής φυσικής⁶

Ο σκοπός του πρώτου κεφαλαίου είναι να εισάγει τον αναγνώστη στις βασικές αρχές της πυρηνικής φυσικής, μέσα από μία σύντομη και απλουστευμένη παρουσίαση. Θεώρησα αναγκαία, ως εναρκτήρια, την παρούσα ενότητα ώστε να γίνει κατανοητή η αρχή της πυρηνικής ενέργειας και συνακολούθως η βαρύνουσα σημασία των πυρηνικών όπλων. Για την ορθότερη ανάπτυξη της διπλωματικής μου εργασίας θα αναφερθώ μόνο στα στοιχεία εκείνα που εξυπηρετούν ως προς την καλύτερη κατανόηση της.

1.1 Κύριες έννοιες

Βασικός κανόνας για την εξέταση και ανάπτυξη ενός θέματος είναι πρωτίστως η κατανόηση του περιεχομένου του, δηλαδή των σημαντικότερων εννοιολογικών του πλαισίων.

1.1.1 Πυρηνική ενέργεια

Ονομάζεται επίσης και ατομική ενέργεια. Είναι η ενέργεια που βρίσκεται μέσα στους ατομικούς πυρήνες και δημιουργείται λόγω των αλληλεπιδράσεων των σωματιδίων που τους αποτελούν. Η ενέργεια αυτή, λόγω του μετασχηματισμού των πυρήνων του ατόμου, εκλύεται σε μεγάλες ποσότητες διαμέσου των πυρηνικών αντιδράσεων της σχάσης και της σύντηξης⁷.

⁶ (Στη συγγραφή του παρόντος κεφαλαίου έχει γίνει εκτενής χρήση των κάτωθι αναγραφόμενων διαδικτυακών πηγών σε συνδυασμό με τις αναγραφόμενες διαδικτυακές πηγές στο εκάστοτε υποκεφάλαιο. Η αναφορά των συγκεκριμένων πηγών σε αυτό το σημείο λαμβάνει χώρα ώστε να μην υπάρχουν πολλαπλές επαναλήψεις αυτών) Μισαηλίδης, Π. *Ραδιοχημεία*. Σημειώσεις μαθημάτων. ΑΠΘ./ ΕΚΠΑ.

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWl> & Neutron Physics Group. Σημειώσεις. Τμήμα Φυσικής. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

<http://nuclear.physics.uoi.gr/classes/notes/> &

Τμήμα Επιστήμης και Μηχανικής Υλικών. Κβαντική Θεωρία της Ύλης. Σύγχρονη Φυσική. 8. *Πυρηνική Φυσική*. http://esperia.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics/lectures/modern_physics9.html#b

(Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη Πυρηνική Φυσική μεταβείτε στο σύνδεσμο κάτωθι)

Αποστολάκης, Α. (1993). *Πυρηνική Φυσική*.

http://jupiter.chem.uoa.gr/thanost/books/Apostolakis_Nuclear_Physics.pdf

⁷ Πυρηνική Ενέργεια. Στο Wikipedia.

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%85%CF%81%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1>

1.1.2 Πυρηνική δύναμη

Είναι η ελκτική δύναμη που ασκείται μεταξύ πολύ κοντινών νουκλεονίων (πρωτονίων και νετρονίων) στον πυρήνα του ατόμου και η οποία είναι υπεύθυνη για την συγκράτησή τους μέσα σε αυτόν, υπερνικώντας την υπάρχουσα ηλεκτροστατική απωστική δύναμη των πρωτονίων. Τα πυρηνικά όπλα έχουν κατασκευαστικά βασιστεί στην εκμετάλλευση αυτής της δύναμης. Ουσιαστικά στην έκλυση της ενέργειας εξ αυτής⁸.

1.1.3 Πυρηνική αντίδραση

Είναι η διαδικασία της μεταβολής της δομής των ατομικών πυρήνων των χημικών στοιχείων, προκαλώντας την δημιουργία νέων πυρήνων και σωματιδίων, δηλαδή οδηγούν σε μεταστοιχείωση του αρχικού χημικού στοιχείου. Η πυρηνικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα είτε μέσα σε ελεγχόμενο περιβάλλον όπως είναι οι πυρηνικοί αντιδραστήρες, είτε σε μη όπως γίνεται με τη χρήση των πυρηνικών όπλων⁹.

1.1.4 Ραδιενέργεια

Από τους πυρήνες ορισμένων χημικών στοιχείων, όταν αυτοί υφίσταντο διάσπαση¹⁰, γίνεται εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ή σωματιδιακής ακτινοβολίας. Ο ρυθμός αυτής της εκπομπής αποκαλείται ραδιενέργεια¹¹ και τα χημικά στοιχεία που την εκπέμπουν ως ραδιενεργά. Η ατομικοί πυρήνες των

⁸ Nuclear Force. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_force

⁹ Nuclear Reaction. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_reaction &
Μισαηλίδης, Π. Ραδιοχημεία, Κεφάλαιο 5, Πυρηνικές Αντιδράσεις. ΑΠΘ./ ΕΚΠΑ.
<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWI>

¹⁰ Αποκαλείται ραδιενεργός διάσπαση.

¹¹ Για την ιστορία, το φαινόμενο της ραδιενέργειας ανακαλύφθηκε το 1896 από το Γάλλο φυσικό Henri Becquerel, όταν παρατήρησε την εκπομπή ακτίνων μεγάλης ενέργειας που εξέπεμπε μια φωσφορίζουσα ένωση Ουρανίου. Αυτή η ενεργειακή εκπομπή ακτίνων ονομάστηκε αρχικώς Ακτίνες Becquerel ή Ακτίνες Ουρανίου. Το 1898 η Marie Curie και ο σύζυγός της Pierre Curie ανακάλυψαν πως το χημικό στοιχείο Ράδιο (Ra, radius στα λατινικά σημαίνει ακτίνα) εκπέμπει αυθόρμητα πολύ μεγάλη ποσότητα ενεργειακών ακτινών, περισσότερο έντονη από την αντίστοιχη εκπομπή του Ουρανίου. Λόγω της τόσο έντονης ακτινοβολίας του χημικού στοιχείου του Ραδίου, η εκπεμπόμενη αυτή ενέργεια πήρε το όνομά του.

ραδιενεργών στοιχείων είναι ασταθείς, δηλαδή δύνανται να υποστούν αυθόρμητη διάσπαση¹². Τα ισότοπα αυτών των ραδιενεργών χημικών στοιχείων, ονομάζονται ραδιοϊσότοπα, είναι και αυτά εξίσου ασταθή, παράγοντας ραδιενέργεια μέσω της διάσπασης¹³.

1.1.5 Ραδιενεργός διάσπαση

Είναι η διαδικασία μεταστοιχείωσης όπου παράγεται ένας νέος πυρήνας, λόγω διάσπασης του αρχικού ασταθούς ραδιενεργού μητρικού πυρήνα, με ταυτόχρονη εκπομπή ακτινοβολίας. Ο νέος θυγατρικός ασταθής ραδιενεργός πυρήνας (ραδιοϊσότοπο) ακολουθεί και αυτός μια σειρά ραδιενεργών διασπάσεων, με ταυτόχρονη εκπομπή ακτινοβολίας, έως ότου καταλήξει ύστερα από πολλές μεταστοιχειώσεις σε ένα σταθερό και μη ραδιενεργό πυρήνα ισότοπου. Η διαδικασία της ραδιενεργού διάσπασης είναι τυχαία, καθώς είναι δύσκολο να προβλεφθεί πότε ένα μεμονωμένο άτομο θα διασπαστεί. Το εάν προκληθεί ραδιενεργός διάσπαση εξαρτάται από τις ιδιότητες και τη δομή του ατομικού πυρήνα¹⁴.

1.1.6 Ακτινοβολία

Είναι ενέργεια υπό τη μορφή σωματιδίων ή κυμάτων που εκπέμπεται από μία πηγή. Προέρχεται από τη μεταβολή που υπέστη μέρος της μάζας του ατομικού πυρήνα λόγω της ραδιενεργής διάσπασης. Αυτή η ενέργεια ονομάζεται πυρηνική ακτινοβολία και εκλύεται από τη διάσπαση των ασταθών ατομικών πυρήνων, από τους οποίους αποτελούνται τα ραδιενεργά χημικά στοιχεία. Η ακτινοβολία διακρίνεται σε τρεις μορφές (ιονίζουσα ακτινοβολία), σε σωματιδίων α (ακτίνες α), σε σωματίδια β (ακτίνες β) και σε ακτινοβολία γ (ακτίνες γ). Οι πυρήνες που εκπέμπουν σωματίδια α και β ,

Οικονόμου, Λ. (1991). *Πυρηνικά όπλα και ανθρώπινος πολιτισμός. Συμβίωση χωρίς μέλλον*. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

¹² Radioactive Decay. In Wikipedia
https://en.wikipedia.org/wiki/Radioactive_decay &
Τμήμα Επιστήμης και Μηχανικής Υλικών. Κβαντική Θεωρία της Ύλης. § 8.b. Ραδιενέργεια. Στο *Σύγχρονη Φυσική. 8. Πυρηνική Φυσική*.
http://esperia.iesl.forth.gr/~kafesaki/Modern-Physics/lectures/modern_physics9.html#b

¹³ Radionuclide. In Wikipedia.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Radionuclide>

¹⁴ Μισαηλίδης, Π. Ραδιοχημεία, Κεφάλαιο 2, Ραδιενεργός διάσπαση. ΑΠΘ./ ΕΚΠΑ.
<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWl> &
Radioactive Decay. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Radioactive_decay

μεταβάλλουν τον ατομικό τους αριθμό και μετατρέπονται σε πυρήνες διαφορετικών στοιχείων. Η ακτινοβολία γ φέρει την περισσότερη ενέργεια σε σύγκριση με τα υπόλοιπα προϊόντα των ραδιενεργών διασπάσεων¹⁵.

1.1.7 Ιόν, ιονισμός και ιονίζουσα ακτινοβολία

- Ιόν είναι το φορτισμένο άτομο ή μόριο (σχετίζεται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που φέρει). Θετικά φορτισμένο είναι άτομο που έχει χάσει ηλεκτρόνια (κατιόν), ενώ αρνητικά φορτισμένο είναι όταν έχει αποκτήσει επιπλέον ηλεκτρόνια (ανιόν)¹⁶.

- Ιονισμός είναι η διαδικασία όπου το άτομο ή το μόριο κερδίζει ή χάνει ηλεκτρόνια και ως εκ τούτου αποκτά αρνητικό ή θετικό ηλεκτρικό φορτίο¹⁷.

- Η ιονίζουσα (ή ιοντίζουσα) ακτινοβολία, συμπεριλαμβάνει και την πυρηνική ακτινοβολία, αποτελείται από υποατομικά σωματίδια ή ηλεκτρομαγνητικά κύματα η ενέργεια των οποίων είναι άνω των 10 eV (electro volt) και η οποία είναι επαρκής ώστε να ιονίσει άτομα ή μόρια μεταβάλλοντας τον αριθμό των ηλεκτρονίων τους. Η ιονίζουσα ακτινοβολία έχει την ικανότητα να διεισδύει στην ύλη (έμβια και άβια) και μπορεί να προέρχεται είτε από φυσική είτε από τεχνητή πηγή. Η έκθεση των έμψυχων οργανισμών σε αυτή προκαλεί βίαιη διάσπαση των χημικών δεσμών, προκαλώντας βιολογικές βλάβες και μεταβολή του DNA. Σε αυτή τη κατηγορία ακτινοβολίας ανήκουν και οι ακτίνες-X (ή ακτίνες Röntgen) οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα της Ιατρικής¹⁸.

¹⁵ Radioactive Decay. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Radioactive_decay

¹⁶ Chemnoesis (2022). *Τα ιόντα*. Τμήμα Χημείας Α.Π.Θ.
<https://chem.noesis.edu.gr/ta-ionta> &
Ion. In Wikipedia.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Ion>

¹⁷ Ionization. In Wikipedia.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Ionization>

¹⁸ ΕΕΑΕ. Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (2023). *Η ιοντίζουσα ακτινοβολία*.
<https://eeae.gr/%CE%BC%CE%B5-%CE%BC%CE%B9%CE%B1-%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%AC/%CE%BC%CE%B1%CE%B8%CE%B1%CE%AF%CE%BD%CE%BF%CF%85%CE%BC%CE%B5-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B9%CF%82-%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B5%CF%82/%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%B6%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B1-%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1> &

Ιατρικός Σύλλογος Πατρών (2020, 20 Ιανουαρίου). *Ενημέρωση και οδηγίες προστασίας από τις ιοντίζουσες και μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες*.
<https://www.ispatras.gr/%CE%B5%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%AD%CF%81%CF%89%CF%83%CE%B7/%CE%B9%CF%83%CF%80/%CE%B5%CE%BD%CE%B7%CE%BC%CE%AD%CF%81%CF%89%CF%83%CF%80>

1.2 Βασική ύλη

Ο κόσμος μας, το σύμπαν με τη γνωστή σε εμάς, αλλά και με την άγνωστη, δομή και ενεργειακή του υπόσταση, είναι ένα πολύπλοκο όλον όπου τα στοιχεία της ύλης αλληλοεπιδρούν ατέρμονα χαρακτηριζόμενα από μια διαρκή κίνηση.

1.2.1 Υποατομικά σωματίδια

Υποατομικά σωματίδια¹⁹ που συναποτελούν τη δομή του ατόμου:

- Πρωτόνιο: Υποατομικό σωματίδιο με θετικό ηλεκτρικό φορτίο (p^+).
- Νετρόνιο²⁰: Υποατομικό σωματίδιο χωρίς ηλεκτρικό φορτίο, ουδέτερο²¹ (n^0).
- Ηλεκτρόνιο: Υποατομικό σωματίδιο με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο (e^-).

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια μαζί αποτελούν τα λεγόμενα νουκλεόνια, δηλαδή τα συστατικά σωματίδια του πυρήνα του ατόμου. Τα χαρακτηρίζει μία διαρκή κίνηση και αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους (όταν δύο νουκλεόνια βρεθούν κοντά έλκονται) μέσω πυρηνικής δύναμης. Οι πυρήνες καθώς είναι θετικά φορτισμένοι (το νετρόνιο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο) έλκουν τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια, τα οποία περιστρέφονται με τροχιακή κίνηση στο εξωτερικό τους, δημιουργώντας κατ'

[F%83%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BF%CE%B4%CE%B7%CE%B3%CE%AF%CE%B5%CF%82-%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%82-%CE%B1%CF%80%CF%8C/ &](https://en.wikipedia.org/wiki/Ionizing_radiation)

Ionizing Radiation. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Ionizing_radiation &

Η επιστήμη που μελετά την επίδραση της ακτινοβολίας στον άνθρωπο καλείται υγειοφυσική. Το μέγεθος της βλάβης που προκαλείται εξαρτάται από το είδος και την ένταση του εκάστοτε είδους ακτινοβολίας, καθώς και τη διάρκεια της έκθεσης του οργανισμού σε αυτή.

Μισαηλίδης, Π. Ραδιοχημεία, Κεφάλαιο 7, Ακτινοπροστασία. ΑΠΘ./ ΕΚΠΑ.

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWI>

¹⁹ Σωματίδια μικρότερα του ατόμου.

²⁰ Το νετρόνιο αποτέλεσε την θρυαλλίδα για την εκμετάλλευση της πυρηνικής ενέργειας, ανακαλύφθηκε το 1932 από τον Άγγλο φυσικό James Chadwick.

American Physic Society (2007, May 1). *May 1932: Chadwick Reports the Discovery of the Neutron*. <https://www.aps.org/apsnews/2007/05/may-1932-chadwick-reports-the-discovery-of-the-neutron>

²¹ Αποκαλείται και ουδετερόνιο.

αυτόν το τρόπο το άτομο. Επιπροσθέτως ο αριθμός των πρωτονίων²² που περιέχονται στο πυρήνα ενός ατόμου (καθορίζει το ηλεκτρικό φορτίο του πυρήνα) αποδίδει και τις χημικές ιδιότητες του εκάστοτε υλικού²³ (καθορίζει το ποιο είναι αυτό το χημικό στοιχείο).

1.2.2 Πυρήνες

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια αποτελούν μαζί τα επονομαζόμενα νουκλεόνια, δηλαδή τα σωματίδια του πυρήνα του ατόμου. Όπως αναφέραμε και άνωθεν αυτά τα σωματίδια έλκονται μεταξύ τους, λόγω της ύπαρξης της πυρηνικής δύναμης και αλληλοπαγιδεύονται, σχηματίζοντας πιο περίπλοκες δομές συσσωματωμάτων σφαιρικού σχήματος, τους πυρήνες. Προσέτι η πυκνότητα της ύλης στον πυρήνα είναι εξαιρετικά μεγάλη λόγω του συνωστισμού αναμεταξύ των σωματιδίων. Στον πυρήνα συμβαίνουν και άλλες ενέργειες όπως η ηλεκτροστατική άπωση μεταξύ των πρωτονίων (όσο περισσότερα τα πρωτόνια τόσο μεγαλύτερη και η άπωση), την οποία η ελκτική δύναμη πρέπει να υπερνικήσει ώστε να υπάρξει αλληλοπαγίδευση των σωματιδίων (πρωτονίων και νετρονίων) για την δημιουργία του πυρήνα, καθώς και η αύξηση της κινητικής ενέργειας²⁴ εξαιτίας του περιορισμένου χώρου που υφίσταται μεταξύ των σωματιδίων μετά την αλληλοπαγίδευσή τους.

Η ενέργεια που φέρει ο πυρήνας καθορίζει την παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας, βασίζοντας στην ιδιότητα αυτή την κατασκευή των πυρηνικών όπλων. Την χαμηλότερη ενέργεια, η οποία επιφέρει και τη μεγαλύτερη σταθερότητα²⁵, την φέρουν οι μεσαίου μεγέθους πυρήνες²⁶, ενώ οι πολύ μικροί και οι πολύ μεγάλοι πυρήνες φέρουν υψηλότερη ενέργεια και άρα καθίσταντο λιγότερο σταθεροί²⁷. Οι

²² Αποκαλείται ατομικός αριθμός (Z) και καθορίζει το χημικό στοιχείο.

²³ Θεοφίλου, 1984.

²⁴ Αποτελεί πεδίο της κβαντικής θεωρίας (κβαντομηχανική) και καλείται αρχή της απροσδιοριστίας. Λόγω της κυματικής φύσης της ύλης, τα σωματίδια κινούνται πάντα, χωρίς να ακινητοποιούνται σε μία συγκεκριμένη θέση και όσο μικρότερη είναι η μάζα τους, σε συνδυασμό με τη σμίκρυνση του χώρου όπου εκτελείται η κίνηση, τόσο πιο έντονη τείνει να γίνεται η κίνηση αυτή αναπτύσσοντας τάσεις διαφυγής. Σε συνδυασμό με την ελκτική δύναμη (λόγω της ισχυρής πυρηνικής δύναμης), επέρχεται ένα είδος εξισορρόπησης των δύο αυτών αντίρροπων δυνάμεων, ερμηνεύοντας κατά αυτό τον τρόπο τη σταθερότητα των ατόμων. Αυτή η υποτιθέμενη σταθερότητα οφείλεται στη αρχή της ελάχιστης ενέργειας, όπου τα σώματα τείνουν να οδηγούνται στη θέση ισορροπίας τους, αποκτώντας ελάχιστη δυναμική ενέργεια (Οικονόμου, 1991).

²⁵ Ο αριθμός των πρωτονίων και των νετρονίων που αποτελούν έναν πυρήνα καθίσταται καθοριστικός για το ποσοστό σταθερότητάς του. Σταθερότεροι είναι οι πυρήνες με σχετικά ισάριθμη αναλογία πρωτονίων και νετρονίων, ενώ όσο περισσότερα νετρόνια έχει ένας πυρήνας τόσο πιο ασταθής καθίσταται (Θεοφίλου, 1984).

²⁶ Στους μεσαίου μεγέθους πυρήνες τα πρωτόνια βρίσκονται κοντά αναμεταξύ τους και καθώς η πυρηνική δύναμη (έλξη) είναι μεγαλύτερη από την απωστική την υπερνικά επιφέροντας μεγαλύτερο ποσοστό ισορροπίας.

²⁷ Τα σωματίδια που βρίσκονται στο εσωτερικό του πυρήνα είναι συνδεδεμένα με ισχυρούς δεσμούς. Στους πολύ μικρούς πυρήνες μεγάλο ποσοστό των σωματιδίων τους βρίσκονται στην επιφάνεια, προκαλώντας μεγαλύτερη αστάθεια. Στους μεγάλους πυρήνες η ηλεκτροστατική άπωση είναι μεγαλύτερη (λόγω της περιεκτικότητας

μεγάλοι ασταθής πυρήνες διασπώνται και μετατρέπονται σε πυρήνες άλλων στοιχείων απελευθερώνοντας πυρηνική ακτινοβολία. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ραδιενεργός διάσπαση (ραδιενέργεια) και προκαλεί τρεις τύπους εκπεμπόμενων σωματιδίων (ή ακτινών/ ακτινοβολιών), τα α (4He , πυρήνες ηλίου-4), τα β (εκπομπή ηλεκτρονίων ή ποζιτρονίων²⁸ μεγάλης ταχύτητας, σχεδόν ίσης με τη ταχύτητα του φωτός) και τα γ (εκπομπή φωτονίων²⁹ μεγάλης ενέργειας)³⁰. Η άνωθεν διαδικασία, της διάσπασης ενός πυρήνα και της μετατροπής του σε πυρήνα άλλου στοιχείου, στη πυρηνική φυσική ονομάζεται μεταστοιχείωση. Η μετατροπή αυτή, είναι εφικτή διαμέσου των πυρηνικών αντιδράσεων, επιφέρει αλλαγή στον αριθμό των πρωτονίων του πυρήνα του ατόμου (του ατομικού του αριθμού) και άρα δημιουργεί ένα νέο στοιχείο με διαφορετικό ατομικό αριθμό³¹.

1.2.3 Άτομα

Το άτομο είναι ένας πυρήνας νουκλεονίων όπου γύρω του κινούνται τροχιακά, λόγω έλξης, ηλεκτρόνια³². Ο κάθε πυρήνας συγκεντρώνει γύρω του έναν αριθμό ηλεκτρονίων που είναι αντίστοιχος με το ηλεκτρικό του φορτίο, δηλαδή ο αριθμός των ηλεκτρονίων τείνει να είναι ισάριθμος με τα πρωτόνια του πυρήνα, σχηματίζοντας ένα ηλεκτρικά ουδέτερο σχηματισμό (το άτομο). Όλη η ύλη στη φύση (έμβια ή άβια) αποτελείται από άτομα. Ο αριθμός των πρωτονίων στον πυρήνα του ατόμου

περισσότερων πρωτονίων) προκαλώντας αύξηση της ενέργειας και συνακολούθως μεγαλύτερη αστάθεια. Η απωστικές αυτές δυνάμεις θέτουν και το μέγιστο επιτρεπτό μέγεθος των πυρήνων. Μόλις φθάσει το μέγιστο επιτρεπτό μέγεθος ο πυρήνας διασπάται ώστε να μειώσει την ολική του ενέργεια προσεγγίζοντας περισσότερο τη θέση ισορροπίας του (Οικονόμου, 1991).

²⁸ Αντισωματίδιο (ίδια μάζα με το σωματίδιο της ύλης που αντιστοιχεί, αλλά με διαφορετικό ηλεκτρικό φορτίο) του ηλεκτρονίου.

Positron. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Positron>

²⁹ Σωματίδια του φωτός, ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αποτελούν φορείς αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης, διαμέσου ενός φορτισμένου σωματιδίου σε ένα άλλο (Οικονόμου, 1991).

³⁰ Πυρηνικά φαινόμενα – Πυρήνας (ενότητα 4, κεφάλαια 10, 11).

http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2226/Fysiki_G-Gymnasiou_html-empl/index10.html

³¹ Διαμέσου της μεταστοιχείωσης είναι εφικτή η δημιουργία τεχνητών χημικών στοιχείων, τα οποία δεν τα βρίσκουμε στη φύση, όπως είναι το Πλουτώνιο (Pu).

Nuclear Transmutation. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_transmutation

³² Το επονομαζόμενο πλανητικό μοντέλο του Ernest Rutherford (1911) έχει επικρατήσει οπτικά όταν μιλάμε για τη δομή του ατόμου. Σήμερα είναι γνωστό πως τα ηλεκτρόνια στα άτομα σχηματίζουν ένα νέφος ηλεκτρονίων γύρω από τον χώρο του πυρήνα.

Σπουρδαλάκης, Α. (2023). Κβαντομηχανική και οι ερμηνείες της (Ενότητα 2). Στο, *Η φυσική πέρα από κοινό μας βλέμμα*. Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Εκπαίδευσης: Από τον Νεύτωνα μέχρι τον Αϊνστάιν. ΕΚΠΑ.

καλείται ατομικός αριθμός (Z) και καθορίζει τη ταυτότητά του, ενώ μαζικός αριθμός (A) είναι ο συνολικός αριθμός των πρωτονίων και των νετρονίων (δηλαδή των νουκλεονίων) στον πυρήνα.

1.2.4 Ισότοπα

Τα ισότοπα είναι παραλλαγές ενός χημικού στοιχείου, όπου οι πυρήνες των ατόμων φέρουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων (που τους προσδίδει ίδιες χημικές ιδιότητες) αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων (τους προσδίδει διαφορετικές ραδιολογικές ιδιότητες) και έτσι διακρίνονται μεταξύ τους. Ο ατομικός αριθμός, που αποτελεί την ατομική ταυτότητα του στοιχείου παραμένει σταθερός, δεν επηρεάζεται από την πρόσθεση ή την αφαίρεση νετρονίων, αλλά αυτή η διαφορετική ποσότητα νετρονίων προσδίδει διαφορετική πυρηνική ταυτότητα. Ως αποτέλεσμα, στη φύση ή τεχνητά, συναντάμε διαφορετικές πυρηνικές μορφές του ίδιου ατόμου, οι οποίες καθορίζονται από τον διαφορετικό αριθμό νετρονίων στο πυρήνα. Τα ισότοπα έχουν ετερογενείς διαδικασίες διάσπασης και διαφορετικό χρόνο ζωής (παραμονής) στη φύση, όσα έχουν εκλείψει τα αναδημιουργούμε στους πυρηνικούς αντιδραστήρες. Για παράδειγμα σήμερα στο φυσικό περιβάλλον δεν συναντάμε κανένα ισότοπο του Πλουτωνίου³³ παρά μόνο εργαστηριακά. Ο μαζικός αριθμός κάθε ισότοπου του προσδίδει και το όνομά του³⁴. Κάθε ισότοπο των χημικών στοιχείων φέρει διαφορετικό δείκτη επικινδυνότητας.

Παραθέτω κάτωθι ένα παράδειγμα των σημαντικότερων ισοτόπων του Πλουτωνίου (Pu):

Pu-239, Pu-238, Pu-242, Pu-241, Pu-240

1.2.5 Μόρια

Μόριο χαρακτηρίζεται το ελάχιστο συστατικό μίας ουσίας (στοιχείου ή ένωσης), όπου διατηρώντας της χημικές ιδιότητες του στοιχείου από το οποίο αποτελείται, δύναται να υπάρξει σε ελεύθερη κατάσταση³⁵. Τα μόρια αποτελούνται από δύο ή περισσότερα άτομα, ίδιων ή διαφορετικών στοιχείων,

³³ Συντέθηκε το 1940 με πρώτο ισότοπο το Pu-238.
Isotopes of Plutonium. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Isotopes_of_plutonium

³⁴ Λιόλιος, Θ. (2009). *Όπλα εκφυλισμένου ουρανίου και ατυχήματα πυρηνικών όπλων*. Ελληνικό Κέντρο Ελέγχου Όπλων. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη.

³⁵ Molecule. In Wikipedia.

τα οποία εξαιτίας της ελκτικής δύναμης, αν και ουδέτερα, αλληλοπαγιδεύονται, με τα ηλεκτρόνια των ατόμων αυτών να εκτίθενται ταυτόχρονα στην έλξη των κοινών τους πυρήνων. Ο αριθμός και η πολυπλοκότητα των μορίων είναι απεριόριστα³⁶.

1.3 Πυρηνική σχάση

Αποτελεί είδος εξώθερμης πυρηνικής αντίδρασης και καλείται η διαδικασία μεταστοιχείωσης όπου ένας ασταθής ατομικός πυρήνας, κυρίως βαρύς πυρήνας, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως μητρικός, διασπάται (διαμέσου ριπών νετρονίων³⁷) σε δύο θυγατρικούς πυρήνες με συγκρίσιμες μάζες και σε παραπροϊόντα σωματίδια (νετρόνια) καθώς και έκλυση ενέργεια (ακτίνες γ). Αυτοί ασταθείς πυρήνες είναι επιρρεπείς σε αυθόρμητες σχάσεις³⁸. Η επεξήγηση της άνωθεν διαδικασίας είναι η εξής, ο μητρικός πυρήνας εξαναγκάζεται σε σχάση όταν δεχτεί τη ριπή νετρονίου³⁹, το οποίο και απορροφάται από αυτόν και τον αναδιατάσσει εσωτερικά. Η εσωτερική αυτή αναδιάταξη ταράζει τον πυρήνα, τον επιμηκύνει, έως ότου αυτός διασπάται σε δύο νέους μικρότερους πυρήνες. Με τη διάσπαση ταυτόχρονα απελευθερώνονται δύο ή περισσότερα ανεξάρτητα νετρόνια και μεγάλα ποσά ενέργειας⁴⁰. Αυτά τα νετρόνια με τη σειρά τους δύνανται να συγκρουστούν με άλλους πυρήνες με τη διαδικασία να επαναλαμβάνεται προκαλώντας νέες σχάσεις. Αυτή η επανάληψη καλείται αλυσιδωτή

<https://en.wikipedia.org/wiki/Molecule>

³⁶ Οικονόμου, 1991.

³⁷ Καθώς είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, χωρίς φορτίο, μπορεί εύκολα να απορροφηθεί από τον πυρήνα του ατόμου και να τον σχάσει. Δεν επηρεάζεται από το ηλεκτροστατικό δυναμικό που οφείλεται στο φορτίο των πρωτονίων (Θεοφίλου, 1984).

³⁸ Υπάρχει και το φαινόμενο της τεχνητής εξαναγκασμένης σχάσης.

³⁹ Το πρώτο νετρόνιο που θα ξεκινήσει τη διαδικασία της αλυσιδωτής αντίδρασης μπορεί να προέρχεται είτε από αυθόρμητη σχάση είτε από τεχνητή ή εξωτερική πυγή (π.χ. πυρηνικός αντιδραστήρας). Σαμψωνίδης, Δ. (2014). Σχάση – Σύντηξη, σ.30.

http://skiathos.physics.auth.gr/atlas/Nuclear_Physics/2014/T2/Sampsonidis/Fission_Fussion.pdf

⁴⁰ Η έκλυση αυτής της μέγιστης ενέργειας μπορεί να εξηγηθεί εάν ακολουθήσουμε την εξίσωση του Α. Einstein, $E=mc^2$, την επονομαζόμενη «Ενέργεια Μάζας Ηρεμίας». Η εξίσωση ανήκει στη Θεωρία της Σχετικότητας, η οποία δηλώνει ότι κάθε σώμα έχει ενέργεια εξαιτίας της μάζας του. Η συνολική μάζα των παραγόντων της σχάσης είναι μικρότερη από τη ποσότητα της μάζας που υπήρχε πριν τη διαδικασία αυτή. Η μάζα που υπολείπεται ισοδυναμεί με την ενέργεια που παράγεται κατά τη διαδικασία της σχάσης.

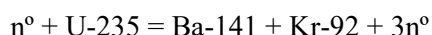
Τσαλακός, Γ. (2005). *Ποιοι και πως κατασκεύασαν την ατομική βόμβα. 60 χρόνια από το βομβαρδισμό της Χιροσίμα και του Ναγκασάκι*.

https://fyskm.schools.ac.cy/archeia/arthra_erevnes_meletes/atomiki_vomva.pdf

αντίδραση⁴¹. Επειδή ο αριθμός των πυρήνων που διασπώνται, σε κάθε επανάληψη της αλυσιδωτής αντίδρασης είναι διπλάσιος κάθε φορά, απελευθερώνεται τεράστια ποσότητα ενέργειας⁴².

Παραθέτω κάτωθι ένα παράδειγμα πυρηνικής σχάσης:

Όταν ένα νετρόνιο συγκρουστεί με πυρήνα U-235 (αποτελεί βαρύ ραδιενεργό ισότοπο) ενσωματώνεται σε αυτόν και τον διασπάει σε ένα πυρήνα Βαρίου-141 (Ba-141), σε ένα πυρήνα Κρυπτού-92 (Kr-92) και σε τρία νετρόνια (n^0)⁴³.



Η τεχνητή πυρηνική σχάση ανακαλύφθηκε στην Εθνικοσοσιαλιστική Γερμανία το 1938, στο ινστιτούτο χημείας Wilhelm Kaiser, από τους Otto Hahn, Lise Meitner και Fritz Strassmann⁴⁴.

1.3.1 Αλυσιδωτή αντίδραση

Η αρχή της αλυσιδωτής αντίδρασης βασίζεται στην ανατροφοδοτούμενη διαδικασία ελευθέρωσης νετρονίων από τη σχάση ενός πυρήνα ραδιενεργού υλικού, τα οποία με τη σειρά τους προκαλούν νέες σχάσεις σε άλλους πυρήνες, παράγοντας κατά αυτό το τρόπο εκθετικά αυξανόμενα ποσά ενέργειας. Ο βασικός παράγοντας διατήρησης της αλυσιδωτής αντίδρασης είναι ο αποτελεσματικός ή μέσος αριθμός νετρονίων που παράγονται από τη διάσπαση⁴⁵. Ένας μεγάλος σχετικά αριθμός αυτών θα προκαλέσει νέες διασπάσεις με επιταχυνόμενο ρυθμό, ενώ ένας μικρός αριθμός παραγόμενων νετρονίων θα επιβραδύνει τις επάλληλες σχάσεις έως ότου η διαδικασία σταματήσει. Ένας ακόμη σημαντικός

⁴¹ Στην διαδικασία της αλυσιδωτής αντίδρασης βασίζονται: α) η λειτουργία της ατομικής βόμβας, καθώς εκλύονται μεγάλα ποσά ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα και β) λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων, διαμέσου της ελεγχόμενης αλυσιδωτής αντίδρασης (μέσω της χρήσης επιβραδυντών νετρονίων). Chain Reaction. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Chain_reaction

⁴² Τσαλακός, 2005.

⁴³ Οικονόμου, 1991.

⁴⁴ U.S Department of Energy (n.d.). The Manhattan Project an interactive history. *The discovery of fission*. https://www.osti.gov/opennet/manhattan-project-history/Events/1890s-1939/discovery_fission.htm

⁴⁵ Ονομάζεται πολλαπλασιαστικός παράγοντας και είναι ο παραγόμενος αριθμός νετρονίων ανά σχάση (Λιόλιος, 2009).

παράγοντας, για τη συντήρηση της αλυσιδωτής αντίδρασης, είναι το ποσοστό της πιθανότητας⁴⁶ που έχουν τα παραγόμενα νετρόνια ώστε να καταφέρουν να απορροφηθούν από τους πυρήνες και να τους σχάσουν. Ο λόγος είναι ότι ένα ποσοστό νετρονίων:

α) Θα διαφύγει από τη μάζα του πυρήνα χωρίς να αλληλεπιδράσει με αυτόν, άρα δεν θα προκληθούν νέες διασπάσεις.

β) Θα απορροφηθεί από τον πυρήνα αλλά δεν θα τον σχάσει. Θα ενσωματωθεί σε αυτόν με ταυτόχρονη εκπομπή ακτινοβολίας γ.

γ) Θα σκεδαστεί έξω από τον πυρήνα είτε χωρίς να του προσδώσει ενέργεια (ελαστική σκέδαση), είτε χάνοντας ενέργεια την οποία λαμβάνει ο πυρήνας (ανελαστική σκέδαση).

Σε ένα υποτιθέμενο περιβάλλον ιδανικών συνθηκών, η διαδικασία της αλυσιδωτής αντίδρασης θα συνεχιζόταν έως εξάντλησης του σχάσιμου υλικού. Εμπράκτως όμως αυτό δεν είναι εφικτό⁴⁷.

1.3.2 Κρίσιμη μάζα

Ένας άλλος καθοριστικός παράγοντας για την επίτευξη και την ανατροφοδότηση της διαδικασίας της σχάσης είναι η ποσότητα της μάζας του πυρήνα. Αυτή η ποσότητα της μάζας θα καθορίσει και τον απαιτούμενο μέσο αριθμό νετρονίων που χρειάζεται ώστε να επιτευχθεί η αλυσιδωτή αντίδραση. Απαιτείται συγκεκριμένη ποσότητα μάζας ώστε να συντηρηθεί η αλυσιδωτή αντίδραση και αυτή η ποσότητα ονομάζεται κρίσιμη μάζα, η οποία είναι υψηλής πυκνότητας. Είναι ουσιαστικά η απαραίτητη ελάχιστη ποσότητα μάζας ώστε να ξεκινήσει η αλυσιδωτή αντίδραση⁴⁸. Μία μάζα μικρότερης ποσότητας, αποκαλείται υποκρίσιμη μάζα, έχει μεγαλύτερες πιθανότητες διαφυγής νετρονίων έξω από τους πυρήνες χωρίς να προκληθεί σχάση. Επομένως υπάρχει μια κρίσιμη μάζα κάτω από την οποία δεν συντηρείται η αλυσιδωτή αντίδραση. Για μάζα μεγαλύτερη της κρίσιμης μάζας, αποκαλείται

⁴⁶ Η σχάση ή μη ενός πυρήνα είναι ένα τυχαίο γεγονός πιθανοτήτων το οποίο λαμβάνει χώρα κατά τη διαδρομή του νετρονίου μέσα στο σχάσιμο υλικό. Η πιθανότητα επίτευξης σχάσης εξαρτάται από την ενέργεια του νετρονίου καθώς και από τη φύση του υλικού μέσα στο οποίο κινείται. Αυτή η συνάρτηση καλείται ενεργός διατομή, δηλαδή ένα σύνολο γεγονότων που οδηγούν στη πιθανότητα να συμβεί μια συγκεκριμένη αντίδραση (Λιόλιος, 2009).

⁴⁷ Λιόλιος, 2009.

⁴⁸ Βερέττας, Μ. (2011). *Τα πυρηνικά. Παγκόσμια ιστορία των πυρηνικών εξοπλισμών, των πυρηνικών εργοστασίων και των πυρηνικών ατυχημάτων*. Ρόδος: Εκδόσεις Βερέττα.

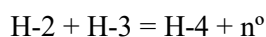
υπερκρίσιμη μάζα, η διαφυγή νετρονίων από τον πυρήνα είναι λιγότερο πιθανή. Σε αυτή τη περίπτωση αρχίζει αυθόρμητα η διαδικασία της αλυσιδωτής αντίδρασης και άρα της σχάσης⁴⁹.

1.4 Πυρηνική σύντηξη

Αποτελεί ένα ακόμη είδος εξώθερμης πυρηνικής αντίδρασης, όπου δύο πυρήνες ελαφρών χημικών στοιχείων συνενώνονται και μεταστοιχειώνονται σε βαρύτερους με ταυτόχρονη απελευθέρωση τεράστιας ποσότητας ενέργειας. Η ενέργεια αυτή είναι η διαφορά που προκύπτει από την ενέργεια συνδέσεως. Κύρια προϋπόθεση για να υλοποιηθεί η διαδικασία της σύντηξης είναι να υπερκεραστεί η ηλεκτροστατική άπωση των πυρήνων. Αυτό επιτελείται προσδίδοντας μεγάλη κινητική ενέργεια, στους υπό σύντηξη πυρήνες, μέσω εξαιρετικά υψηλής θερμοκρασίας.

Παραθέτω κάτωθι ένα παράδειγμα πυρηνικής σύντηξης:

Το Υδρογόνο (H) και τα ισότοπά του, Δευτέριο (D/ H-2) και Τρίτιο (T/ H-3)⁵⁰, αποτελούν ιδανικά χημικά στοιχεία ελαφρών πυρήνων για τη διαδικασία της σύντηξης. Με τη συνένωσή τους θα προκύψει ένας βαρύτερος πυρήνας Ηλίου (He) και ένα νετρόνιο (n⁰). Η απαιτούμενη κινητική ενέργεια, ώστε να ξεπεραστούν οι απωστικές δυνάμεις, καθώς και η εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία, που απαιτείται για τη διαδικασία της σύντηξης, μπορεί να επιτευχθεί με τη συνδρομή της ελεγχόμενης σχάσης⁵¹. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται θερμοπυρηνική αντίδραση⁵².



⁴⁹ Οικονόμου, 1991. & Λιόλιος, 2009.

⁵⁰ Ο πυρήνας του H αποτελείται μόνο από ένα πρωτόνιο, του D αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα νετρόνιο και του T αποτελείται από ένα πρωτόνιο και δύο νετρόνια.

⁵¹ Η ενέργεια που εκλύεται στη σύντηξη είναι τετραπλάσια από την ενέργεια της σχάσης. Συνακολούθως η υδρογονοβόμβα (ή θερμοπυρηνική βόμβα) καθίστατο ισχυρότερη από την ατομική.

⁵² Οικονόμου, 1991.

Κεφάλαιο 2°

Τα βασικά ραδιενεργά χημικά στοιχεία για οπλική χρήση

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά μόνο στα βασικότερα ραδιενεργά στοιχεία, που προκαλούν το φαινόμενο της σχάσης, για χρήση σε πυρηνικά όπλα και πυρομαχικά.

2.1 Ουράνιο (U)

Το Ουράνιο⁵³ είναι η σημαντικότερη πρώτη ύλη για την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας και επομένως των πυρηνικών όπλων. Το φυσικό Ουράνιο⁵⁴ υπάρχει σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στο περιβάλλον και ανακαλύφθηκε το 1789 από τον Γερμανό χημικό Martin Klaproth στο ορυκτό μέταλλευμα του πισσουρανίτη (U_3O_8 ⁵⁵), το οποίο αποτελεί ένα από τα δύο πρωτογενή ορυκτά του Ουρανίου (το άλλο είναι ο ουρανινίτης). Το 1842 απομονώθηκε το μέταλλο του Ουρανίου από τον Γάλλο χημικό Eugène Melchior Péligré και το 1896 ανακαλύφθηκε η ραδιενεργή του ιδιότητα από τον Γάλλο φυσικό Henri Becquerel. Είναι αργυρόλευκο, βαρύ μέταλλο που το χαρακτηρίζει η μεγάλη σκληρότητα και η πυκνότητα μάζας. Ανήκει στην ομάδα των ακτινιδών⁵⁶, αποτελεί ραδιενεργό χημικό στοιχείο και άρα ασταθές όπου ο πυρήνας του τείνει σε αυθόρμητη διάσπαση. Αποτελείται από τα τρία ραδιενεργά ισότοπα το $U-234$ ⁵⁷ (0,0057%), το $U-235$ (0,7196%) και το $U-238$ (99,276%). Από αυτά το $U-238$

⁵³ Τα μεγαλύτερα ανακτίσιμα αποθέματα Ουρανίου βρίσκονται στην Αυστραλία, στο Καζακστάν, στη Νότια Αφρική, στον Καναδά, στις ΗΠΑ, στη Ρωσία, στη Βραζιλία, στη Ναμίμπια και στη Νιγηρία. ΕΚΠΑ. Σημειώσεις Μαθημάτων. Βιβλίο Ραδιοχημείας, καθηγητού Π. Μισαηλίδη, ΑΠΘ. Κεφάλαιο 6, Πυρηνική Ενέργεια. §7. Η πυρηνική ενέργεια και ο κύκλος των πυρηνικών καυσίμων. § 7.4.1 Η εξόρυξη και παραλαβή του ουρανίου.

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWl>

⁵⁴ Την ονομασία την έλαβε από τον πλανήτη Ουρανό που είχε ανακαλυφθεί το 1781.

⁵⁵ Περισσότερο γνωστό ως yellowcake ή pitchblende.

⁵⁶ Στην ομάδα των στοιχείων αυτών ανήκουν τα χημικά στοιχεία που φέρουν ατομικό αριθμό μεταξύ 89 και 103. Τα βαρύτερα από αυτά τα στοιχεία τείνουν να υφίσταντο διάσπαση με αυτόματη σχάση και τα ισότοπα των στοιχείων αυτών δεν είναι σταθερά. Το Ουράνιο ανήκει σε ένα από αυτά τα στοιχεία της ομάδας των ακτινιδίων που συναντάμε στη φύση.

Μισαηλίδης, Π. Ραδιοχημεία, Κεφάλαιο 8, Ακτινίδες, Ραδιενεργά στοιχεία. ΑΠΘ./ ΕΚΠΑ.

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWl>

⁵⁷ Αποτελεί ένα απειροελάχιστο ίχνος.

διασπάται πολύ αργά, με χρόνο ημίσειας ζωής⁵⁸ 4,47 δισεκατομμύρια έτη⁵⁹, περίπου όσο και η ηλικία της Γης, οπότε καθίστατο το λιγότερο ραδιενεργό από όλα (12,4 kBq/g⁶⁰). Ακολουθεί το ισότοπο U-235 με χρόνο ημίσειας ζωής τα 700 εκατομμύρια έτη και καθίστατο περισσότερο ραδιενεργό από το U-238 (80 kBq/g). Τέλος το U-234, αν και αποτελεί απειροελάχιστη ποσότητα, έχει χρόνο ημίσειας ζωής 244.000 χρόνια και είναι το περισσότερο ραδιενεργό από όλα (231 MBq/g)⁶¹. Η ραδιενεργός διάσπαση τόσο του Ουρανίου όσο και των ισοτόπων του προκαλεί εκπομπή κυρίως ακτινοβολίας σωματιδίων-α⁶².

Η χρήση του Ουρανίου είναι διττή⁶³, μέσω ελεγχόμενης διάσπασης⁶⁴, σε πυρηνικούς αντιδραστήρες, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας) και μέσω μη ελεγχόμενης διάσπασης, με τη χρήση των πυρηνικών όπλων, όπου σε ελάχιστο χρόνο απελευθερώνονται πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας. Το βασικό ισότοπο για οπλική χρήση είναι το U-235 καθώς λόγω των χαρακτηριστικών του υφίστατο αυθόρμητη σχάση, διατηρώντας την απαραίτητη αλυσιδωτή αντίδραση. Λόγω όμως της χαμηλής του συγκέντρωσης στο φυσικό Ουράνιο, απαιτείται ο εμπλουτισμός του, δηλαδή η αύξηση της περιεκτικότητας σε U-235 διαμέσου διαχωρισμού από το U-

⁵⁸ Χρόνος ημίσειας ζωής (ή χρόνος υποδιπλασιασμού) καλείται το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ένα ραδιενεργό ισότοπο ώστε να διασπαστεί στο μισό της αρχικής του ραδιενεργής ποσότητας. Δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται ώστε να μειωθεί η ραδιενέργεια στο μισό. Τα ισότοπα που έχουν μικρότερο χρόνο ημίσειας ζωής διασπώνται πιο γρήγορα εκπέμποντας ισχυρότερη ραδιενέργεια.
ΑΠΘ. Τμήμα γεωλογίας. Σημειώσεις θεωρίας. Ραδιενέργεια.
<http://www.geo.auth.gr/106/theory/radioactivity.htm>

⁵⁹ EPA. United States Environmental Protection Agency (2024, February 5). *Radionuclide Basics: Uranium*.
<https://www.epa.gov/radiation/radionuclide-basics-uranium>

⁶⁰ Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI-Système International) το Bq (Becquerel) είναι μονάδα μέτρησης ραδιενέργειας. 1 Bq είναι μία απειροελάχιστη ποσότητα ραδιενέργειας που υφίστατο διάσπαση σε 1 δευτερόλεπτο (DPS-Disintegration Per Second). Δηλαδή κατά μέσο όρο ανά δευτερόλεπτο διασπάται και ένας ραδιενεργός πυρήνας δημιουργώντας μια νέα χημική ουσία.
Ionactive (2022, December 9). *Radioactivity-The Becquerel (Bq)*.
<https://ionactive.co.uk/resource-hub/guidance/radioactivity-the-becquerel-bq>
Τα συνηθέστερα πολλαπλάσια της μονάδας Bq είναι: KBq, MBq και GBq.
CCOHS. (2024, May 10). Radiation quantities and units of ionizing radiation. § *What units are used for measuring radioactivity?*
https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/ionizing.html

⁶¹ World nuclear association (n.d). Uranium and Depleted Uranium. § *The uranium atom*.
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/uranium-and-depleted-uranium>

⁶² Η ακτινοβολία-α είναι στην ουσία διπλά ιονισμένα άτομα του στοιχείου Ήλιο (Οικονόμου, 1991).

⁶³ Κυρίως του ισότοπου U-235, το οποίο αποτελεί το μοναδικό φυσικό σχάσιμο ισότοπο του Ουρανίου και λαμβάνει χρήση σε πυρηνικούς αντιδραστήρες ηλεκτροπαραγωγής και σε πυρηνικά όπλα.

⁶⁴ Προκαλείται αλυσιδωτή αντίδραση.

238. Καθώς όμως τα ισότοπα του Ουρανίου φέρουν τον ίδιο ατομικό αριθμό, ο διαχωρισμός δεν μπορεί να βασιστεί στις χημικές τους ιδιότητες, αλλά στις ραδιολογικές⁶⁵.

Ο εμπλουτισμός λαμβάνει χώρα στους πυρηνικούς αντιδραστήρες. Είναι μία πολυδάπανη και εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία με μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση. Κατά τον εμπλουτισμό παράγονται δύο μείγματα, το εμπλουτισμένο Ουράνιο, όπου υπερτερεί η περιεκτικότητα σε U-235 σε σχέση με το U-238 και το εξαντλημένο⁶⁶ Ουράνιο, το οποίο θεωρείται παραπροϊόν της διαδικασίας εμπλουτισμού, όπου υπερτερεί η περιεκτικότητα σε U-238 σε σχέση με το U-235. Το ισότοπο U-238 είναι περισσότερο ευσταθές από το U-235 και δεν είναι «ευκόλως» σχάσιμο. Όμως το U-238 μέσω ειδικών διεργασιών σε πυρηνικούς αντιδραστήρες μετατροπής μας δίνει το Pu-239, το οποίο είναι κατάλληλο για οπλική χρήση με ρυθμό αυθόρμητης σχάσης υψηλότερο από του U-235.

2.2 Εκφυλισμένο Ουράνιο (DU)

Το εκφυλισμένο Ουράνιο (Depleted Uranium – DU) δημιουργήθηκε, κατά τη χρονική περίοδο του 1940, στα πλαίσια του προγράμματος Manhattan και αποτελεί το παραπροϊόν της διαδικασίας εμπλουτισμού του U-235. Το DU είναι τοξικό και ήπια ραδιενεργό, κατά 60% λιγότερο ραδιενεργό από φυσικό ουράνιο⁶⁷, καθώς εμπεριέχει το ισότοπο U-235 σε αναλογία χαμηλότερη του 0,711%⁶⁸. Συγκεκριμένα το DU είναι ραδιενεργό κατά 14,8 Bq/mg συγκριτικά με το φυσικό Ουράνιο που είναι ραδιενεργό κατά 25,4 Bq/mg⁶⁹. Κύριο ισότοπό του είναι το μη σχάσιμο και λιγότερο ραδιενεργό U-238. Η αναλογία των ισοτόπων του Ουρανίου σε DU για οπλική/ στρατιωτική χρήση είναι: U-234 σε 0,001%, U-235 σε 0,2% και U-238 σε 99,8%⁷⁰. Σύμφωνα με το Αμερικανικό Υπουργείο Άμυνας επιβάλλεται, με βάση τις προδιαγραφές των οπλικών συστημάτων DU, η περιεκτικότητα του ισοτόπου

⁶⁵ Αφορά τις ραδιολογικές ιδιότητες των ισοτόπων του Ουρανίου που τις αποκτούν λόγω της διαφορετικής αναλογίας των νετρονίων τους (Λιόλιος, 2009).

⁶⁶ Καλείται επίσης και απεμπλουτισμένο ή εκφυλισμένο (Depleted Uranium - DU) καθώς και με τις ονομασίες Q-metal, Depletalloy και D-38.

⁶⁷ Canadian Nuclear Safety Commission (2009). Depleted Uranium: The Canadian regulator's perspective. § *What is depleted uranium?*
<https://www.cnsccsn.gc.ca/eng/resources/fact-sheets/depleted-uranium-perspective/>

⁶⁸ United States Nuclear Regulatory Commission (2023, February 15). *Depleted Uranium*.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/depleted-uranium.html>

⁶⁹ IAEA. International Atomic Energy Agency (n.d.). Depleted Uranium. § *Is Du more or less radioactive than natural uranium?*
<https://www.iaea.org/topics/spent-fuel-management/depleted-uranium>

⁷⁰ IAEA. International Atomic Energy Agency (n.d.). Depleted Uranium. § *What is Depleted Uranium (DU)?*
<https://www.iaea.org/topics/spent-fuel-management/depleted-uranium>

U-235 στο DU να είναι μικρότερη από 0,3%. Στην πράξη πράγματι κανένα πυρομαχικό DU των ΗΠΑ δεν ξεπερνάει σε U-235 στο DU το ποσοστό του 0,2% (Λιόλιος, 2009).

Κατά τον εμπλουτισμού του U-235 παράγονται μεγάλα ποσά πυρηνικών αποβλήτων DU που προκαλούν προβλήματα αποθήκευσης και διαχείρισης. Η λύση εξευρέθηκε μέσω της χρήσης αυτού του παραπροϊόντος για την κατασκευή συμβατικών όπλων και πυρομαχικών. Οι φυσικοχημικές του ιδιότητες ανάγουν αυτό το παραπροϊόν σε σημαντική ύλη της αμυντικής βιομηχανίας. Για παράδειγμα δύο βασικές χρήσεις του DU είναι η κατασκευή βλημάτων μεγάλης διατρητικής ικανότητας, η χρήση του ως υλικό θωράκισης αρμάτων, λόγω της μεγάλης του ανθεκτικότητας στα συμβατικά αντιαρματικά βλήματα, καθώς και ως αντισταθμιστικό βάρος σε αεροσκάφη. Οι πρώτες εφαρμογές του DU αναπτύχθηκαν από την Αμερικανική στρατιωτική βιομηχανία στις αρχές της δεκαετίας του 1960, κατά τη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου. Η πρώτη στρατιωτική του χρήση, για λόγους βαλλιστικής, εφαρμόστηκε στην πυρηνική κεφαλή του πυραύλου Davy Crockett⁷¹, ενώ η πρώτη χρήση του, ως διατρητικής ύλης, έγινε στο τετραμεταλλικό κράμα UQuad το οποίο εμπεριείχαν τα βλήματα Delta (APFSDS⁷²) διαμετρήματος 105mm και 120mm (Λιόλιος, 2009).

Εν συνεχεία, στον τομέα των τακτικών όπλων και στα πλαίσια των αντιαρματικών αναγκών του Ψυχρού Πολέμου, η χρήση του DU άρχισε να κερδίζει έδαφος⁷³. Οι λόγοι ήταν η μεγάλη διατρητικότητα που το χαρακτηρίζει, καθώς και η αντοχή στις ακραίες ταχύτητες πυροδότησης των πυροβόλων, που αναπτύσσονται στο εσωτερικό της κάνης. Τηρώντας τις προαναφερθείσες προδιαγραφές, το 1973 αναπτύχθηκε το βλήμα XM774 το οποίο εμπεριείχε το κράμα U-3/4Ti (περιείχε ¼ DU και ¾ Τιτάνιο) αυξάνοντας την καταστροφικότητα του αποτελέσματος βολής. Έκτοτε η χρήση του DU επικράτησε στη κατασκευή αντιαρματικών πυρομαχικών, όπως βλημάτων μεγάλου διαμετρήματος. Μετέπειτα η χρήση του DU εδραιώθηκε στη κατασκευή βλημάτων πυροβόλου μικρότερου διαμετρήματος, όπως τα αντιαρματικά βλήματα 120mm της σειράς M829 που χρησιμοποιήθηκαν από τον Αμερικανικό στρατό στον Πόλεμο του Κόλπου⁷⁴ (Λιόλιος, 2009).

⁷¹ Γνωστό επίσης και ως M28 ή M29 Davy Rocket weapon system. Ήταν ψυχροπολεμικό τακτικό όπλο Αμερικανικής κατασκευής και ένα από τα ελαφρύτερα και μικρότερα πυρηνικά όπλα που κατασκευάστηκαν ποτέ από την Αμερικανική στρατιωτική βιομηχανία. Ξεκίνησε να παράγεται το 1958, έφερε την πυρηνική κεφαλή W54 και εκτόξευε το πυρηνικό βλήμα M388. Αναπτύχθηκε το 1961 κυρίως ως όπλο Ευρωπαϊκού θεάτρου. Η απόσυρσή του από το Ευρωπαϊκό έδαφος ξεκίνησε το 1967 και έως το 1971 είχε αποσυρθεί πλήρως και η τελευταία πυρηνική κεφαλή.

Seelinger, M. (n.d.). *The M28/ M29 Davy Crockett nuclear weapon system*. The army historical foundation. <https://armyhistory.org/the-m28m29-davy-crockett-nuclear-weapon-system/> & Davy Crockett (nuclear device). In Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Davy_Crockett_\(nuclear_device\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Davy_Crockett_(nuclear_device))

⁷² Armor Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot (Διατρητικά βλήματα πτερυγιακής σταθεροποίησης απόρριψης κελύφους). Είναι τύπος πυρομαχικών διάτρησης που χρησιμοποιούνται ως αντιαρματικά. Armour-piercing fin-stabilized discarding sabot. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Armour-piercing_fin-stabilized_discarding_sabot

⁷³ Έναντι της χρήσης Βολφραμίου (W).

⁷⁴ Gulf Link (n.d.). *Development of DU Munitions*.

Τα πυρομαχικά από DU ενέχουν μεγάλο δείκτη θνησιμότητας σε δεύτερο χρόνο καθώς, κατά τη πρόσκρουση με το στόχο, απελευθερώνουν έναν τοξικό συνδυασμό θραυσμάτων και εύφλεκτων αερολυμάτων, μεγάλο ποσοστό των οποίων είναι αναπνεύσιμα (πιθανότατα άνω του 96%⁷⁵). Έχει υπολογιστεί πως περίπου το 10-70% της μάζας του DU, μετά τη πρόσκρουση, μετατρέπεται σε μικροσωματίδια του οξειδίου του Ουρανίου⁷⁶. Η παρατεταμένη χρήση⁷⁷ αυτών των πυρομαχικών από τον Αμερικανικό και Νατοϊκό στρατό, τόσο στο Πόλεμο του Κόλπου (1990-1991) όσο και στους πολέμους της Γιουγκοσλαβίας (1991-2001), λόγω της εκλυόμενης τοξικότητας προξένησε το επονομαζόμενο «Σύνδρομο του Κόλπου» και «Σύνδρομο των Βαλκανίων», όπου μεταξύ άλλων αυξήθηκαν τα περιστατικά καρκίνου και η θνησιμότητα λόγω αυτού⁷⁸.

2.3 Πλουτόνιο (Pu)

Το 1940, στα πλαίσια του προγράμματος Manhattan, στο Κύκλοτρο⁷⁹ του Πανεπιστημίου της California στο Berkley, οι Αμερικανοί φυσικοί Edwin McMillan και Philip Abelson παρατήρησαν τη μετατροπή του ισotόπου του Ουρανίου U-239 (το οποίο παράχθηκε ύστερα από απορρόφηση ενός

https://gulflink.health.mil/du_ii/du_ii_tabe.htm

⁷⁵ UK Parliament. (2001). Postnote. No.154. Depleted Uranium. § *Properties of DU aerosol*.
<https://www.parliament.uk/globalassets/documents/post/pn154.pdf>

⁷⁶ Κατά τη σύγκρουση του βλήματος με το στόχο, μέρος της κινητικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα. Λόγω του μεγάλου θερμικού φορτίου σχηματίζονται οξείδια του Ουρανίου (κυρίως U₃O₈, UO₃ και UO₃). United Nations Office for Disarmament Affairs (n.d.). Effects of the use of weapons and ammunition containing Depleted Uranium. § 1. *Contamination with Depleted Uranium*.
<https://documents.unoda.org/wp-content/uploads/2022/07/Serbia1.pdf>

⁷⁷ Έχει υπολογιστεί πως περίπου 320 τόνοι DU ρίχθηκαν στο Πόλεμο του Κόλπου και 11 τόνοι DU στα Βαλκάνια. Επίσης οι ΗΠΑ χρησιμοποίησαν στον Πόλεμο του Κόλπου και 594 άρματα μάχης με θωράκιση από DU. UK Parliament. (2001). Postnote. No. 154. Depleted Uranium. § *How much DU has been fired and where?*
<https://www.parliament.uk/globalassets/documents/post/pn154.pdf>

⁷⁸ ΕΚΠΑ. Σημειώσεις. *Τι ακριβώς είναι το εξαντλημένο ουράνιο*.
http://users.uoa.gr/~nektar/science/environment/denriched_uranium.htm &
IAEA. International Atomic Energy Agency (n.d.). Depleted Uranium. § *What are the military uses of depleted uranium?*
<https://www.iaea.org/topics/spent-fuel-management/depleted-uranium> &
Depleted Uranium. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Depleted_uranium

⁷⁹ Επιταχυντής φορτισμένων σωματιδίων. Cyclotron. In Wikipedia.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclotron> &
U.S Department of Energy (n.d.). The Manhattan Project an interactive history. *Cyclotrons*.
<https://www.osti.gov/opennet/manhattan-project-history/Science/ParticleAccelerators/cyclotron.html>

θερμικού/ αργού νετρονίου από το ισότοπο U-238), στο πρώτο τεχνητό υπερουράνιο⁸⁰ στοιχείο, της σειράς των ακτινιδών, το Ποσειδώνιο-239 (Np, με $Z=93$)⁸¹. Αν και όλα ήταν ακόμη πρωτόγνωρα η διαδικασία αυτή άφησε την εντύπωση πως το Np-239 θα μπορούσε να μεταστοιχειωθεί σε ένα ακόμη βαρύτερο χημικό στοιχείο. Το Πλουτώνιο⁸², το δεύτερο τεχνητό υπερουράνιο στοιχείο, της σειράς των ακτινιδών, ανακαλύφθηκε το ίδιο έτος. Το πρώτο ισότοπο που συντέθηκε ήταν το Pu-238, όταν οι Αμερικανοί χημικοί Glenn Seaborg, Arthur Wahl, Joseph Kennedy και ο φυσικός Edwin McMillan προέβησαν σε μία διαδικασία μεταστοιχείωσης του ισότοπου του Ουρανίου U-238, μέσω ριπής υψηλής ταχύτητας⁸³ με πυρήνες δευτερονίων⁸⁴, στο ισότοπο Np-238, το οποίο εν συνεχεία, μέσω της ραδιενεργής διάσπασης - β -⁸⁵, έδωσε το συγκεκριμένο ισότοπο του Πλουτωνίου⁸⁶. Το 1941 πραγματοποιείται η πρώτη χημική ταυτοποίηση του Πλουτωνίου-239 (Pu, με $Z=94$) το οποίο αποτέλεσε το προϊόν της διάσπασης του Np-239. Προσέτι το ίδιο έτος επιβεβαιώνεται η δυνατότητα σχάσης του Pu-239 ύστερα από ριπή επιβραδυσμένων νετρονίων⁸⁷.

⁸⁰ Ονομάζονται τα χημικά στοιχεία που έχουν ατομικό αριθμό άνω του 92 που έχει το Ουράνιο (από 92 – 118).

⁸¹ $U-238 + 1n^0 = U-239$ (με διάσπαση - β -) = Np-239 (το οποίο εν συνεχεία μεταβαίνει, με διάσπαση - β -, στο θυγατρικό χημικό στοιχείο Pu-239).

Hobart, D. (2013). *Periodic Table of Elements: LANL*. Los Alamos National Laboratory.

<https://periodic.lanl.gov/93.shtml#:~:text=Neptunium-239> &

Orano (n.d.). *All about plutonium*.

<https://www.orano.group/en/unpacking-nuclear/all-about-plutonium>

⁸² Τα ονόματά τους είναι εμπνευσμένα από τη σειρά θέσης των πλανητών Ουρανός, Ποσειδώνας, Πλούτωνας στο ηλιακό σύστημα.

⁸³ Εντάσεως 16 MeV (Megaelectron Volt, αποτελεί μονάδα μέτρησης μεγάλης εντάσεως ενέργειας ιονίζουσας ακτινοβολίας).

Canadian Centre for Occupational Health and Safety (2024, May 10). *Radiation – Quantities and Units of Ionizing Radiation*.

https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/ionizing.html

Επίσης λόγω της τόσο μεγάλης ενέργειας, στην συγκεκριμένη αντίδραση, γίνεται εκπομπή δύο νετρονίων.

⁸⁴ Το δευτερόνιο αποτελεί τον πυρήνα του Δευτέριου, επίσης γνωστό ως ή Υδρογόνο-2 ή βαρύ Υδρογόνο (D/ H-2) και αποτελείται από ένα πρωτόνιο, ένα νετρόνιο.

Britannica. *Deuteron*.

<https://www.britannica.com/science/deuteron>

⁸⁵ Η ραδιενεργός διάσπαση - β - είναι η διαδικασία όπου ένας ασταθής ατομικός πυρήνας εκπέμπει ένα ηλεκτρόνιο και ένα αντινεutrino ($\bar{\nu}$) καθώς μετατρέπει ένα νετρόνιο σε πρωτόνιο.

U.S Department of Energy. Office of Science (n.d). *DOE explains...beta decay*.

<https://www.energy.gov/science/doe-explainsbeta-decay>

(Σχετικά με το τι είναι το αντινεutrino ακολουθεί ο σύνδεσμος)

Neutrino. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Neutrino>

⁸⁶ $U-238 + D = Np-238$ (μέσω διάσπασης - β -) = Pu-238.

Summerscales, O. (2022, September 21). *A history of Plutonium*. Los Alamos National Laboratory.

<https://discover.lanl.gov/publications/actinide-research-quarterly/first-quarter-2022/shining-light-on-a-dark-element/>

⁸⁷ (Λεπτομερέστερες πληροφορίες στους ιστότοπους κάτωθι)

Grant, V. (2021, December 13). *Atomic number 94*. Los Alamos National Laboratory.

Το Πλουτώνιο στη φύση υπάρχει μόνο ως απειροελάχιστο ίχνος στο φυσικό Ουράνιο (όπως και το Ποσειδώνιο). Η δημιουργία του Πλουτωνίου λαμβάνει χώρα σε επιταχυντές σωματιδίων (κύκλοτρα) και σε πυρηνικούς αντιδραστήρες. Είναι ραδιενεργό χημικό στοιχείο, όπου στην αρχική μεταλλική του μορφή, έχει μία ασημόχρωμη απόχρωση η οποία μετατρέπεται σε κιτρινωπή καθώς οξειδώνεται. Εκπέμπει μεγάλο ποσοστό ακτινοβολίας - α^{88} (όπως και το U-238) και είναι εξαιρετικά τοξικό, με τη ραδιολογική του τοξικότητα να καθίστατο περισσότερο επικίνδυνη από την χημική (Λιόλιος, 2009). Τα σημαντικότερα ισότοπα του Πλουτωνίου είναι τα: Pu-239, Pu-238, Pu-242, Pu-241 και Pu-240⁸⁹ με όλα τους να καθίσταντο ως σχάσιμα. Βασικότερα προς χρήση ισότοπα είναι τα Pu-239 και Pu-238, με χρόνο ημίσειας ζωής για το Pu-239 τα 24.100 έτη και για το Pu-238 τα 87,7 έτη. Το Pu-238, μέσω του συστήματος RTG⁹⁰ (Radioisotope Thermoelectric Generator), όπου η θερμότητα που δημιουργείται, λόγω της ραδιενεργού διάσπασης, μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, χρησιμοποιείται ως πυρηνική τροφοδοσία μακράς διάρκειας σε δορυφορικά συστήματα⁹¹. Το Pu-238 δεν θεωρείται κατάλληλο για οπλική χρήση, καθώς τα μεγάλα ποσά θερμότητας που εκλύει καθίσταντο αποσταθεροποιητικός παράγοντας. Το Pu-239 χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, σε ποσοστό βαθμού καυσίμου γύρω στο 80-93% και σε πυρηνικούς αντιδραστήρες, σε ποσοστό αντιδραστήρα γύρω στο 76-80%⁹², ενώ αποτελεί κατά κύριο λόγω βασικό σχάσιμο ισότοπο για την παραγωγή πυρηνικών όπλων, σε ποσοστό οπλικής βαθμίδας WGPu άνω του 93%⁹³.

<https://discover.lanl.gov/publications/national-security-science/2021-winter/plutonium-timeline> & Summerscales, O. (2022, September 21). A history of Plutonium. Los Alamos National Laboratory. <https://discover.lanl.gov/publications/actinide-research-quarterly/first-quarter-2022/shining-light-on-a-dark-element/>

⁸⁸ Αποτελείται από ατομικούς πυρήνες Ηλίου-4 (He-4).

Alpha Decay. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Alpha_decay

⁸⁹ Τα ισότοπα Pu-242, Pu-241 και Pu-240 έχουν μεγάλη ενεργό διατομή, απορροφώντας άμεσα νετρόνια προκαλώντας της αυθόρμητη σχάση τους, καθιστώντας τα βραχύβια. Δεν συνίσταντο για χρήση σε πυρηνικά όπλα λόγω της αυξημένης εκπομπής νετρονίων τα οποία δύναται να πυροδοτήσουν πρόωρα το πυρηνικό εκρηκτικό μηχανισμό (Λιόλιος, 2009).

⁹⁰ Θερμοηλεκτρική Γεννήτρια Ραδιοϊσοτόπων.

Radioisotope thermoelectric generator. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Radioisotope_thermoelectric_generator

⁹¹ U.S Centers of Disease Control and Prevention (2024, April 17). Radiation Emergencies. *Plutonium*.

<https://www.cdc.gov/radiation-emergencies/hcp/isotopes/plutonium.html> &

Orano (n.d.). *All about plutonium*.

<https://www.orano.group/en/unpacking-nuclear/all-about-plutonium>

⁹² U.S Department of Energy Publication (1997). *Reactor-Grade and Weapons-Grade Plutonium in Nuclear Explosives*. University of Illinois.

<https://courses.physics.illinois.edu/phys280/sp2017/archive/Reactor-Grade%20and%20Weapons-Grade%20Plutonium%20in%20Nuclear%20Explosives.pdf>

⁹³ Union of Concerned Scientists (2024, August 28). *Fissile materials basics*.

<https://www.ucsusa.org/resources/fissile-materials-basics> &

Επιπροσθέτως μεγάλες ποσότητες μείγματος Πλουτωνίου (και Ουρανίου) βρίσκονται, ως απόβλητα άκαυστου καυσίμου, στα αναλωμένα καύσιμα των πυρηνικών αντιδραστήρων. Η επανάκτηση αυτών των υλικών γίνεται στα εργοστάσια επανεπεξεργασίας καυσίμου όπου, ύστερα από μια σειρά χημικών διεργασιών⁹⁴, τα προϊόντα σχάσης διαχωρίζονται και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. Τα ανακυκλωμένα αυτά ραδιενεργά χημικά στοιχεία μπορούν είτε να αποτελέσουν ξανά οπλική εκρηκτική ύλη, αν και δεν συνίσταται καθώς δεν είναι πλέον επαρκώς εμπλουτισμένα, είτε καύσιμη ύλη επιπέδου αντιδραστήρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το επονομαζόμενο καύσιμο μεικτού οξειδίου MOX (Mixed Oxide Fuel), το οποίο επαναχρησιμοποιείται σε πυρηνικούς αντιδραστήρες και αποτελείται από οξείδιο Πλουτωνίου (Pu-239) αναμειγμένο με οξείδιο φυσικού ή εκφυλισμένο Ουράνιου⁹⁵. Ένα ακόμη μείγμα καυσίμου, από αναλωμένα πυρηνικά καύσιμα αντιδραστήρα, είναι το νέο Ρωσικό Remix fuel⁹⁶ (Regenerated fuel), το οποίο αποτελείται από μη διαχωρισμένα ανακυκλωμένα μείγματα Πλουτωνίου και Ουρανίου. Αν και ο κίνδυνος της παράνομης διακίνησης και χρήσης του Πλουτωνίου βαθμού αντιδραστήρα, από επανεπεξεργασμένα καύσιμα, ενέχει μικρές πιθανότητες ενός επικείμενου πολλαπλασιασμού της διασποράς πυρηνικών όπλων, καθώς φέρει ανάμειξη με τα μη σχάσιμα ισότοπα Pu-240 και Pu-242⁹⁷, όπου ο διαχωρισμός είναι ανέφικτος, η Διεθνής Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας

Weapons-grade nuclear material. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Weapons-grade_nuclear_material

⁹⁴ Όπως είναι η χημική μέθοδος PUREX (Plutonium Uranium Recovery by Extraction), η οποία επεξεργάζεται τα αναλωμένα καύσιμα του πυρηνικού αντιδραστήρα και ανακτά τα στοιχεία του Πλουτωνίου και του Ουρανίου, ώστε να δημιουργήσουν ανακυκλωμένο καύσιμο τύπου MOX.

RUREX. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/PUREX>

⁹⁵ Το καύσιμο MOX επιπλέον παράγεται και με το προερχόμενο Πλουτώνιο από την καταστροφή κεφαλών πυρηνικών όπλων.

ΕΚΠΑ. Σημειώσεις Μαθημάτων. Βιβλίο Ραδιοχημείας, καθηγητού Π. Μισαηλίδη, ΑΠΘ. Κεφάλαιο 6, Πυρηνική Ενέργεια. §7. Η πυρηνική ενέργεια και ο κύκλος των πυρηνικών καυσίμων. § 7.4.4 Η επεξεργασία των χρησιμοποιημένων πυρηνικών καυσίμων και η ανακύκλωση του απομένοντος σχάσιμου υλικού.

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWI> &

U.S NRC (2023, February 25). *Mixed-oxide (MOX) fuel*.

<https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/mixed-oxide-mox-fuel.html>

⁹⁶ World Nuclear Association (2017, October 10). Mixed Oxide (MOX) Fuel. § *REMIX fuel*.

<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/mixed-oxide-fuel-mox>

⁹⁷ Το Πλουτώνιο βαθμού αντιδραστήρα περιέχει: το σχάσιμο Pu-239 σε ποσοστό 55-70%, το μη σχάσιμο Pu-242 και το μη σχάσιμο, αλλά γόνιμο* Pu-240 σε ποσοστό περίπου 30-35% και τέλος το σχάσιμο Pu-241 σε ποσοστό περίπου 10-15%.

World Nuclear Association (2023, August 16). Plutonium. § Plutonium in the reactor core.

<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/plutonium> &

Plutonium. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Plutonium>

*Γόνιμο υλικό (fertile material) εδώ συγκαταλέγονται τα μη σχάσιμα υλικά (μέσω θερμικών/ αργών νετρονίων) τα οποία όμως μπορούν δυνητικά να καταστούν ως σχάσιμα με την απορρόφηση νετρονίων (ταχέων). Για παράδειγμα το U-238 το οποίο αν και μη σχάσιμο, με την απορρόφηση ενός ταχέως νετρονίου μεταστοιχείωνεται στο σχάσιμο Pu-239.

U.S NRC (2021, March 9). *Fertile material*.

<https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/fertile-material.html>

(IAEA) έχει κρούσει τον κώδωνα του κινδύνου για την πιθανότητα πολλαπλασιασμού καθώς συγκαταλέγει όλα τα ισοτοπικά παράγωγα του Πλουτωνίου ως «άμεσης χρήσης» (πλην του Pu-238, ποσοστού άνω του 80%) και συγκεκριμένα το επεξηγεί ως «πυρηνικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή συστατικών πυρηνικών εκρηκτικών χωρίς μεταστοιχείωση ή περεταίρω εμπλουτισμό⁹⁸».

⁹⁸ ‘direct use’ και «nuclear material that can be used for the manufacture of nuclear explosives components without transmutation or further enrichment»

World Nuclear Association (2023, August 16). Plutonium. § *Plutonium in the reactor core*.
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/plutonium>

Κεφάλαιο 3^ο

Πυρηνικοί αντιδραστήρες - Παραγωγή και ανακύκλωση της πυρηνικής ύλης και ενέργειας

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά μόνο στα σημαντικότερα ισότοπα των ραδιενεργών χημικών στοιχείων, που πρωτοστατούν στη χρήση των πυρηνικών όπλων και στα οποία έχει γίνει έως τώρα παρουσίαση και ανάλυση στη παρούσα διπλωματική εργασία.

3.1 Μια εισαγωγή

Η εκμετάλλευση της πυρηνικής ενέργειας για ειρηνικούς σκοπούς διαφέρει σε αρκετά σημεία από την εφαρμογή ενός πλήρους προγράμματος ανάπτυξης πυρηνικών όπλων. Διαφέρει τόσο σε οικονομικό επίπεδο, με τη διάθεση των απαιτούμενων πόρων για τον εκάστοτε σκοπό, την ανοικοδόμηση των απαραίτητων υποδομών και την τεχνολογική εξέλιξη όσο και σε νομικό/ θεσμικό πλαίσιο. Δηλαδή το εάν ένα κράτος είναι καθ' όλα νόμιμο και πληροί τα κριτήρια, σύμφωνα με το καταστατικό της Διεθνούς Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας (IAEA), ώστε να υποστηριχτεί στην υλοποίηση της ανάπτυξης ενός πυρηνικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, αλλά και να είναι σύμφωνο, έχοντας υπογράψει και επικυρώσει την Συνθήκη Μη Διάδοσης Των Πυρηνικών Όπλων (NPT-Non Proliferation Treaty), σε περίπτωση που είναι ή δύναται να αποτελέσει πυρηνική δύναμη. Υπάρχουν πάντα και οι μη συμβατοί με τα άνωθεν δρώντες, όπως οι μη-κρατικοί δρώντες, τα failed states κ.α, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν πυρηνικά όπλα, ασχέτως βαθμού αποδοτικότητας. Ιστορικά αποδεικνύεται πως όταν ένα κράτος διαθέτει τη πολιτική βούληση να αναπτύξει πυρηνικά όπλα, οφείλει να βασιστεί σε δικά του προγράμματα, πόρους, τεχνολογία και υποδομές. Να αναπτύξει με τις δικές του δυνατότητες τον επονομαζόμενο κύκλο των πυρηνικών καυσίμων⁹⁹, δηλαδή τις

⁹⁹ Ο κύκλος των πυρηνικών καυσίμων αποτελείται από δύο επίπεδα το εμπρόσθιο (front-end), που περιλαμβάνει τις διαδικασίες που απαιτούνται, από την παραγωγή έως την προετοιμασία των πυρηνικών καυσίμων, ώστε να τροφοδοτήσουν τους πυρηνικούς αντιδραστήρες και το πίσω (back-end), στο οποίο συγκαταλέγονται η ανακύκλωση και η επανάκτηση των ραδιενεργών χημικών στοιχείων, αλλά και η διαχείριση των μη αξιοποιήσιμων ραδιενεργών αποβλήτων. Ονομαστικά στο κύκλο των πυρηνικών καυσίμων ανήκουν οι διαδικασίες: α) της εξόρυξης και άλεσης του Ουρανίου, β) ο εμπλουτισμός του Ουρανίου, γ) η παραγωγή των πυρηνικών καυσίμων, δ) η τροφοδότηση του πυρηνικού αντιδραστήρα, ε) η αποθήκευση του αναλωμένου πυρηνικού καυσίμου, ζ) η ανακύκλωση και επανάκτηση των άκαυστων ραδιενεργών χημικών στοιχείων και η) η τελική διάθεση και διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων.

IAEA (n.d.). *The nuclear fuel cycle*.

<https://www.iaea.org/sites/default/files/18/10/nuclearfuelcycle.pdf> &

U.S NRC (2020, December 2). *Stages of the nuclear fuel cycle*.

<https://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/stages-fuel-cycle.html>

διεργασίες που απαιτούνται από την εξόρυξη έως τη διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων. Οι όποιες διαδικασίες ακολουθηθούν, από το επίτοκο κράτος, για την ανάπτυξη πυρηνικών όπλων, μπορούν είτε να είναι εμφανείς στη κοινή γνώμη είτε να κρατηθούν μυστικές, έως την υλοποίηση της παραγωγής και διάθεσης των όπλων αυτών¹⁰⁰.

Πριν υπεισέλθουμε στο παρόν κεφάλαιο θα ήθελα να αναφέρω δύο από τις βασικότερες διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στους πυρηνικούς αντιδραστήρες και στα πυρηνικά όπλα, καθώς και τα δύο έχουν ως αρχή λειτουργίας την πυρηνική σχάση μέσω της αλυσιδωτής αντίδρασης. Μία από τις κύριες διαφορές είναι στη ποσότητα των ραδιενεργών χημικών στοιχείων, καθώς αυτό συνεπάγεται το ποσοστό καθαρότητας του πυρηνικού καυσίμου. Στα πυρηνικά όπλα απαιτείται πολύ υψηλό ποσοστό καθαρότητας εν αντιθέσει με τους πυρηνικούς αντιδραστήρες. Εν συνεχεία, η δεύτερη και κύρια διαφορά, είναι η δυνατότητα ελέγχου της διαδικασίας της αλυσιδωτής αντίδρασης της πυρηνικής σχάσης. Μέσα στο πυρηνικό αντιδραστήρα ελέγχουμε την νετρονική τροφοδότηση γνωρίζοντας, κατά αυτόν τον τρόπο, τόσο το ποσοστό της εκλυόμενης ενέργειας όσο και της θερμότητας που δημιουργείται ανά σειρά σχάσης, δηλαδή το ποσοστό της παραγόμενης ραδιενέργειας. Σε ένα πυρηνικό όπλο η αλυσιδωτή αντίδραση της πυρηνικής σχάσης δεν είναι ελεγχόμενη, συμβαίνει ακαριαία σε χρονικό διάστημα χιλιοστών του δευτερολέπτου. Τα εκλυόμενα ποσά της ενέργειας και της παραγόμενης θερμότητας είναι πολύ μεγάλης κλίμακας και η ραδιενέργεια που απελευθερώνεται είναι ανυπολόγιστη, επιφέροντας εγγυημένα ανείπωτη καταστροφή σε ακτίνα πολλών χιλιομέτρων.

3.2 Μια σύντομη παρουσίαση

Ο πρώτος πειραματικός πυρηνικός αντιδραστήρας σχεδιάστηκε από τον μηχανικό Thomas V. Moore υπό την καθοδήγηση και επίβλεψη του Ιταλού φυσικού Enrico Fermi. Κατασκευάστηκε το 1942, στο εργαστήριο «Met Lab» του Arthur Compton στο Πανεπιστήμιο του Chicago, στα πλαίσια του προγράμματος Manhattan. Ήταν ο επονομαζόμενος Chicago Pile¹⁰¹ -1 (CP-1) όπου χρησιμοποιούσε ως καύσιμη ύλη φυσικό Ουράνιο και για επιβραδυντή τούβλα γραφίτη. Μέσω αυτού του αντιδραστήρα υλοποιήθηκε η πρώτη αυτοσυντηρούμενη αλυσιδωτή αντίδραση¹⁰². Το επόμενο βήμα ήταν η παραγωγή

¹⁰⁰ Acquisition & Sustainment, Office of the Under Secretary of Defense (2020). Chapter 15, Nuclear Fuel Cycle and Proliferation. In *Nuclear Matters Handbook*.
<https://www.acq.osd.mil/ncbdp/nm/NMHB2020rev/chapters/chapter15.html>

¹⁰¹ Οι πρώτοι αντιδραστήρες χαρακτηρίζονταν ως «σωροί» λόγω της διάταξης στοίβαξης των υλικών τους. U.S NRC (2021, March 9). *Pile*.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/pile.html>

¹⁰² Ο CP-1 ήταν αυτοσυντηρούμενος πυρηνικός αντιδραστήρας, δηλαδή χρειαζόταν εξωτερική πηγή νετρονίων μόνο για την έναρξη λειτουργίας και όχι για την συντήρηση της αλυσιδωτής αντίδρασης, η οποία στηριζόταν στα παραγόμενα νετρόνια από την ίδια τη διαδικασία της σχάσης (Θεοφίλου, 1984). &

Πλουτωνίου. Επιτεύχθηκε το 1943 μέσω της κατασκευής, του πρώτου αντιδραστήρα συνεχόμενης λειτουργίας, του αντιδραστήρα γραφίτη X-10 (ή Clinton Pile) στο Εθνικό Εργαστήριο του Oak Ridge στο Tennessee¹⁰³. Ήταν ο πρώτος αντιδραστήρας παραγωγής του ισοτόπου Pu-239 και ο δεύτερος πυρηνικός αντιδραστήρας που κατασκευάστηκε παγκοσμίως μετά τον CP-1.

Ο πυρηνικός αντιδραστήρας είναι η «καρδιά» του σταθμού παραγωγής πυρηνικής ενέργειας και ουσιαστικά είναι μια μηχανή παραγωγής ενέργειας μέσω του φαινομένου της αλυσιδωτής αντίδρασης, που προκύπτει από τη σχάση που υφίστανται οι ατομικοί πυρήνες των ραδιενεργών χημικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα. Μέσω των διεργασιών, των ισοτόπων U-235 και U-238, που λαμβάνουν χώρα στον πυρηνικό αντιδραστήρα, προκύπτουν απόβλητα υπερουράνιων στοιχείων (TRUW-Transuranic Waste) κυρίως Πλουτωνίου (Pu-239), τα οποία συγκαταλέγεται στα κρίσιμα σχάσιμα υλικά προς οπλική χρήση. Οι αντιδραστήρες αναλόγως με το ποια κατηγορία νετρονίων χρησιμοποιούν (θερμικά/ βραδέα ή ταχέα νετρόνια) σαν «πυροκροτητές» της αλυσιδωτής αντίδρασης του χημικού στοιχείου καύσης, κατηγοριοποιούνται σε θερμικούς και ταχείς.

Στους θερμικούς αντιδραστήρες γίνεται χρήση θερμικών/ βραδέων νετρονίων και ως καύσιμο παρέχεται Ουράνιο χαμηλού εμπλουτισμού (U-235 LEU¹⁰⁴ < 5%). Όσα από αυτά τα νετρόνια δεν επιβραδύνονται¹⁰⁵, αλλά εξακολουθούν να είναι ταχέα, συλλαμβάνονται από το ισότοπο U-238, που υπάρχει μέσα στο καύσιμο και παράγεται Pu-239 ως παραπροϊόν. Όταν η ισχύς λειτουργίας είναι περίπου έως 1.500 MW (megawatt) αναφερόμαστε σε θερμικό αντιδραστήρα ισχύος¹⁰⁶, ο οποίος χρησιμοποιείται κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι Καναδικοί αντιδραστήρες βαρέως ύδατος CANDU¹⁰⁷ οι οποίοι παρέχουν ως παραπροϊόν Pu-239

Atomic Heritage Foundation (2017, June 2). *Nuclear Reactors*.

<https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/history/nuclear-reactors/> &

U.S Department of Energy (n.d.). The Manhattan project an interactive history. *CP-1 (Chicago Pile #10)*.

<https://www.osti.gov/opennet/manhattan-project-history/Places/MetLab/cp1.html>

¹⁰³ Atomic Heritage Foundation (n.d.). Voices of the Manhattan project. *X-10 Plant*.

<https://ahf.nuclearmuseum.org/voices/location/x-10-plant/>

¹⁰⁴ Low Enriched Uranium.

¹⁰⁵ Η επιβράδυνση επιτυγχάνεται μέσω των λεγόμενων επιβραδυντών νετρονίων όπου δύο από τα βασικά στοιχεία επιβράδυνσης είναι το κοινό νερό (H₂O), το βαρύ ύδωρ (D₂O) και ο γραφίτης (Gr).

U.S NRC (2021. March 9). *Moderator*.

<https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/moderator.html>

¹⁰⁶ Αναλόγως του τρόπου λειτουργίας, του τύπου επιβραδυντή και του συστήματος ψύξης υπάρχουν διάφορες κατηγορίες θερμικών αντιδραστήρων ισχύος όπως (ονομαστικά, για παράδειγμα): Ελαφρού Ύδατος (LWR-Light Water Reactors), Ζέοντος Ύδατος (BWR-Boiling Water Reactors, όπως οι επονομαζόμενοι Καναδικοί CANDU-Canadian Deuterium Uranium), Πεπιεσμένου Ύδατος (PWR-Pressurized Water Reactors), Βαρέως Ύδατος (HWR-Heavy Water Reactors), Αερίου Ψύξης και Γραφίτη-Ελαφρού Ύδατος (Λιόλιος, 2009). &

World Nuclear Association (n.d). *Nuclear Power Reactors*.

<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors>

¹⁰⁷ Κατασκευάστηκαν τα τέλη της δεκαετίας του 1950, κάνουν χρήση βαρέως ύδατος (δευτέριο) ως μέσω επιβράδυνσης νετρονίων και καταναλώνουν ως καύσιμο φυσικό Ουράνιο, αλλά και καύσιμα μικτών οξειδίων MOX.

υψηλής καθαρότητας. Επίσης στους θερμικούς συγκαταλέγονται και αντιδραστήρες αποκλειστικής κατασκευής για παραγωγή Πλουτωνίου, όπως οι αντιδραστήρες γραφίτη και βαρέως ύδατος. Ο πρώτος αντιδραστήρας παραγωγής Πλουτωνίου μεγάλης κλίμακας ήταν ο B Reactor στο Hanford της Washington, που κατασκευάστηκε το 1944 στα πλαίσια του προγράμματος Manhattan¹⁰⁸. Το βασικό γνώρισμα, των αντιδραστήρων παραγωγής Πλουτωνίου, είναι η δυνατότητα ανατροφοδότησης με καύσιμα χωρίς να απαιτείται η πλήρης εξάντληση των ήδη υπαρχόντων¹⁰⁹. Αυτό προσδίδει αύξηση του ισότοπου Pu-239, χωρίς την ανεπιθύμητη συσσώρευση των ισότοπων Pu-240, Pu-241 και Pu-242. Τα ισότοπα αυτά, λόγω της μεγάλης ενεργού διατομής που τα χαρακτηρίζει, τείνουν να απορροφούν πλήθος νετρονίων που είναι απαραίτητα για την διατήρηση της αλυσιδωτής αντίδρασης και επιπροσθέτως, λόγω της αυθόρμητης σχάσης και της εκπομπής νετρονίων που αυτή επιφέρει, είναι μεγάλης επικινδυνότητας η ύπαρξή τους στη γόμωση των πυρηνικών όπλων καθώς ενέχει το κίνδυνο αυτόματης πρόωρης πυροδότησης (Λιόλιος, 2009).

Στους ταχείς αντιδραστήρες γίνεται παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας Πλουτωνίου από αυτή με την οποία τροφοδοτούνται, για το λόγω αυτό αποκαλούνται ταχείς αναπαραγωγικοί αντιδραστήρες ή αντιδραστήρες παραγωγής και αποτελούν βασικό τύπο αντιδραστήρα για πρόγραμμα ανάπτυξης πυρηνικών όπλων. Χρησιμοποιούν κυρίως ως καύσιμα Pu-239 και Ουράνιο υψηλού εμπλουτισμού (U-235 HEU¹¹⁰ > 20%). Η διαδικασία της αλυσιδωτής αντίδρασης της πυρηνικής σχάσης του Pu-239 και του U-235, από βραδέα νετρόνια, είναι όμοια με τους θερμικούς αντιδραστήρες, όμως καθώς απουσιάζει το σύστημα επιβράδυνσης, βρίθουν τα ταχεία νετρόνια που γονιμοποιούν το ενυπάρχον στο καύσιμο υλικό U-238¹¹¹ σε Pu-239. Το παραγόμενο αυτό Πλουτώνιο θα είναι υψηλότερης καθαρότητας από τη ποιότητα Πλουτωνίου που υπάρχει ως παραπροϊόν στα εξαντλημένα καύσιμα του θερμικού αντιδραστήρα, λόγω της χρήσης U-235 δείκτη HUE (Λιόλιος, 2009).

ΕΚΠΑ. Σημειώσεις Μαθημάτων. Βιβλίο Ραδιοχημείας, καθηγητού Π. Μισαηλίδη, ΑΠΘ. Κεφάλαιο 6, Πυρηνική Ενέργεια. §7. Η πυρηνική ενέργεια και ο κύκλος των πυρηνικών καυσίμων. § 7.3 *Είδη πυρηνικών αντιδραστήρων*. <https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWI> & Canadian Nuclear Association (n.d.). *How a nuclear reactor works*. <https://cna.ca/reactors-and-smrs/how-a-nuclear-reactorworks/>

¹⁰⁸ U.S Department of Energy (n.d.). *B Reactor*. <https://www.energy.gov/management/b-reactor>

¹⁰⁹ Στους βασικούς θερμικούς αντιδραστήρες ισχύος αυτό δεν είναι εφικτό καθώς λειτουργούν υπό μεγάλες πιέσεις και συνήθως απαιτείται η πλήρης κατανάλωση του καυσίμου, με εξαίρεση τους αντιδραστήρες CANDU (Λιόλιος, 2009).

¹¹⁰ Highly Enriched Uranium.

¹¹¹ Αν και στο HUE η συγκέντρωση του ισότοπου U-238 είναι ελάχιστη λαμβάνει χώρα μία ειδική διεργασία όπου το U-235 περιβάλλεται με U-238 (Λιόλιος, 2009).

Υπάρχουν και άλλα είδη πυρηνικών αντιδραστήρων¹¹², όπως οι ερευνητικοί αντιδραστήρες και οι αντιδραστήρες πρόωσης κυρίως πολεμικών πλοίων, αεροπλανοφόρων και υποβρυχίων. Οι ερευνητικοί αντιδραστήρες συχνότερα είναι μικρής ισχύος¹¹³ (συνήθως < 1-2 MW) καθώς είναι λειτουργίας ερευνητικού επιπέδου και παράγουν μικροποσότητες ισοτόπων (Λιόλιος, 2009). Υπάρχει βέβαια πάντα και στους ερευνητικούς αντιδραστήρες, ένα ποσοστό πιθανότητας παραγωγής και διασποράς πυρηνικού υλικού εάν υποβόσκει ως βούληση. Οι αντιδραστήρες πρόωσης είναι τύπου πεπιεσμένου ύδατος (PWR) και βρίσκονται επί του σκάφους. Η κατασκευή τους βασίζεται σε νετρονική θωράκιση για την παροχή ακτινοπροστασίας από τη ραδιενέργεια. Χρησιμοποιούν ως καύσιμο Ουράνιο δείκτη HUE¹¹⁴ και η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στον ατμό υψηλής πίεσης μέσω της θερμότητας που παράγει η ενέργεια σχάσης¹¹⁵. Ο παραγόμενος ατμός θέτει σε λειτουργία τις τουρμπίνες, οι οποίες παρέχουν την ισχύ περιστροφής της προπέλας καθώς και την ηλεκτρική ενέργεια με την οποία τροφοδοτείται το σκάφος¹¹⁶. Το πρώτο πυρηνοκίνητο υποβρύχιο ήταν το Αμερικανικό U.S.S Nautilus

¹¹² Στην Ελλάδα ο μοναδικός πυρηνικός αντιδραστήρας που δημιουργήθηκε ήταν ερευνητικού χαρακτήρα, ισχύος 5 MW και κατασκευάστηκε το 1961 από την Αμερικανική AMF (American Machine and Foundry) Atomics. Ο CCR-1 έχει έδρα το ερευνητικό κέντρο Δημόκριτος του Εθνικού Κέντρου Έρευνας Φυσικών Επιστημών στην Αθήνα. Ο αντιδραστήρας λειτούργησε έως το καλοκαίρι του 2004. Το 2006 ξεκίνησαν ενέργειες εκσυγχρονισμού του αντιδραστήρα, σύμφωνα με τα τρέχοντα πρότυπα ασφαλείας, το οποίο όμως διακόπηκε το 2014 και έκτοτε ο αντιδραστήρας βρίσκεται σε κατάσταση παρατεταμένης διακοπής λειτουργίας.

INRASTES (n.d). *Nuclear Research Reactor Laboratory*.

<https://inrastes.demokritos.gr/laboratories/research-reactor-laboratory/>

Επιπροσθέτως θα προσθέσω, για ιστορικούς λόγους, την πρώτη Ελληνική απόπειρα ανάπτυξης πυρηνικού εργοστασίου ηλεκτροπαραγωγής, με την Ελληνική Επιτροπή Πυρηνικής Ενέργειας να επιλέγει, το 1972 ως καταλληλότερη, την περιοχή της Καρύστου στην Εύβοια. Το όλο εγχείρημα ξεκίνησε το 1971 επί κυβερνήσεως Γεωργίου Παπαδόπουλου σε συνεργασία με εταιρεία Βρετανικών συμφερόντων, το οποίο όμως εγχείρημα δεν ευδωσσε. Το 1976 έγινε και δεύτερη προσπάθεια, επί της πρώτης κυβέρνησης της μεταπολίτευσης του Κωνσταντίνου Καραμανλή, με προγραμματισμένο πλάνο ολοκλήρωσης έως το 1986. Προσεγγίστηκε για το σκοπό αυτό η Αμερικανική κατασκευαστική εταιρεία πυρηνικών σταθμών EBASCO Services και συνήφθη σύμβαση μεταξύ αυτής και της ΔΕΗ. Για πλείστους λόγους και η δεύτερη απόπειρα εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγικού πυρηνικού εργοστασίου στην Ελλάδα ματαιώθηκε με επίσημη ανακοινωθέν από την κυβέρνηση το 1982.

Βερέττας, 2011. &

e-telescope (2004, 2 Αυγούστου). *Σχέδια πυρηνικής ενέργειας που ναυάγησαν*. Πηγή Greenpeace.gr.

<https://www.e-telescope.gr/science/environment/nuclear-projects>

¹¹³ Jawerth, N., & Mattar, E. (2019). *Exploring research reactors and their use*. IAEA.

<https://www.iaea.org/sites/default/files/6040405.pdf>

¹¹⁴ Για πλοία επιφανείας ο εμπλουτισμός είναι άνω του 20% ενώ για υποβρύχια είναι άνω του 96%. Αυτός ο υψηλός εμπλουτισμός, παρέχει μεγάλη εξοικονόμηση καυσίμων, για μεγάλο χρονικό διάστημα, χωρίς να απαιτείται συχνής ανεφοδιασμός.

ΕΚΠΑ. Σημειώσεις Μαθημάτων. Βιβλίο Ραδιοχημείας, καθηγητού Π. Μισαηλίδη, ΑΠΘ. Κεφάλαιο 6, Πυρηνική Ενέργεια. §7. Η πυρηνική ενέργεια και ο κύκλος των πυρηνικών καυσίμων. § 7.3 *Είδη πυρηνικών αντιδραστήρων*.

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWI>

¹¹⁵ ΕΚΠΑ. Σημειώσεις Μαθημάτων. Βιβλίο Ραδιοχημείας, καθηγητού Π. Μισαηλίδη, ΑΠΘ. Κεφάλαιο 6, Πυρηνική Ενέργεια. §7. Η πυρηνική ενέργεια και ο κύκλος των πυρηνικών καυσίμων. § 7.3 *Είδη πυρηνικών αντιδραστήρων*.

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWI>

¹¹⁶ United States Environmental Protection Agency (2024, April 29). Nuclear Submarines and Aircraft Carriers.

<https://www.epa.gov/radtown/nuclear-submarines-and-aircraft-carriers>

(SSN¹¹⁷-571). Κατασκευάστηκε το 1952 και ήταν το πρώτο υποβρύχιο που ταξίδευε στο Βόρειο Πόλο¹¹⁸ το 1958. Το πρώτο πυρηνοκίνητο αεροπλανοφόρο το Αμερικανικό USS Enterprise (CVN¹¹⁹-65) που κατασκευάστηκε το 1961¹²⁰. Το πρώτο πυρηνοκίνητο σκάφος επιφανείας παγκοσμίως καθώς και το πρώτο μη στρατιωτικό, ήταν το παγοθραυστικό Lenin¹²¹. Κατασκευάστηκε το 1957 και τέθηκε σε λειτουργία το 1959 από τη Σοβιετική Ένωση.

3.3 Δομή και τρόπος λειτουργίας

Κύρια στοιχεία ενός αντιδραστήρα είναι τα καύσιμα που χρησιμοποιεί για τη λειτουργία της αλυσιδωτής αντίδρασης σχάσεως, ο επιβραδυντής νετρονίων όπου μετατρέπει τα ταχεία νετρόνια σε θερμικά/ αργά ώστε να αυξηθεί η πιθανότητα σχάσης μέσω της σύλληψής τους από το U-235, το ψυκτικό μέσο όπου απομακρύνει τη θερμότητα από τον πυρήνα του αντιδραστήρα και το σύστημα ελέγχου για την ασφάλεια λειτουργίας. Όπως έχουμε προαναφέρει ως πυρηνικό καύσιμο χρησιμοποιούνται ραδιενεργά χημικά στοιχεία, όπως είναι κυρίως τα ισότοπα U-235, Pu-239 και το μείγμα οξειδίων MOX. Το πυρηνικό αυτό καύσιμο έχει τη μορφή σφαιριδίων μικρής διαμέτρου και εμπεριέχεται μέσα τις λεγόμενες ράβδους καυσίμου¹²². Οι ράβδοι καυσίμου είναι τοποθετημένες στο

¹¹⁷ Σύμβολο ταξινόμησης σκάφους του Αμερικανικού Πολεμικού Ναυτικού. Το SS αναφέρεται ως Ship Submersible και το N αναφέρεται ως Nuclear Power.
SSN (hull classification symbol). In Wikipedia.
[https://en.wikipedia.org/wiki/SSN_\(hull_classification_symbol\)](https://en.wikipedia.org/wiki/SSN_(hull_classification_symbol))

¹¹⁸ Naval History and Heritage Command (2023, January 11). *USS Nautilus (SSN-571)*.
<https://www.history.navy.mil/browse-by-topic/ships/submarines/uss-nautilus.html>

¹¹⁹ Σύμβολο ταξινόμησης σκάφους του Αμερικανικού Πολεμικού Ναυτικού. Το CVN αναφέρεται ως Aircraft Carrier Nuclear Propulsion.
List of aircraft carriers of the United States Navy. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_aircraft_carriers_of_the_United_States_Navy

¹²⁰ National Museum of the United States Navy (n.d.). *USS Enterprise (CVN-65, later CVAN-65 and CVN-65)*.
<https://www.history.navy.mil/content/history/museums/nmusn/explore/photography/ships-us/ships-usn-e/uss-enterprise-cvn-65.html> &
USS Enterprise (CVN-65). In Wikipedia.
[https://en.wikipedia.org/wiki/USS_Enterprise_\(CVN-65\)](https://en.wikipedia.org/wiki/USS_Enterprise_(CVN-65))

¹²¹ Lenin (1957 icebreaker). In Wikipedia.
[https://en.wikipedia.org/wiki/Lenin_\(1957_icebreaker\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lenin_(1957_icebreaker)) &
World Nuclear Association (2023, February 15). Nuclear-Powered Ships. § *Civil Vessels*.
<https://world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/transport/nuclear-powered-ships>

¹²² Είναι μεταλλικές κυλινδρικοί σωλήνες κατασκευασμένοι από ζirkονιούχο ανοξείδωτο χάλυβα, με ηλεκτροσυγκόλληση στα δύο άκρα. Το ζirkόνιο (Zr) αποτελεί ένα μεταλλικό χημικό στοιχείο πολύ ανθεκτικό στη διάβρωση και στη θερμότητα.
U.S NRC (2021, March 9). *Fuel rod*.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/fuel-rod.html>

κεντρικό τμήμα του αντιδραστήρα, σε συστοιχίες ειδικών πλαισίων διατηρώντας τοιουτοτρόπως την νετρονική ισορροπία για την ορθότερη διεξαγωγή του φαινομένου της σχάσης, το οποίο εκδηλώνεται όταν οι ράβδοι πλησιάζουν μεταξύ τους. Ως επί το πλείστον βρίσκονται βυθισμένες σε νερό, το οποίο λειτουργεί τόσο ως ψυκτικό μέσο για τη αποφυγή υπερθέρμανσης όσο και ως επιβραδυντής νετρονίων. Αφού παρέλθει η διαδικασία της αλυσιδωτής αντίδρασης γίνεται η απόσυρση των ράβδων καυσίμου από τον αντιδραστήρα. Οι ράβδοι περιέχουν πλέον, ως απόβλητα της διαδικασίας της πυρηνικής σχάσης, ποσότητα παραπροϊόντων άκαυστου καυσίμου, μη αποδοτικής χρήσεως, όπως Ουράνιο και Πλουτώνιο, τα οποία επανακτώνται μετά από μια σειρά ειδικών διεργασιών, ειδικά το ισότοπο Pu-239 οποίο είναι απαραίτητο για οπλική χρήση. Οι ράβδοι καυσίμου είναι απαραίτητο να απομακρυνθούν πριν το πέρας της πλήρους καύσης τους¹²³, καθώς δημιουργείται συσσώρευση ισοτόπων Ουρανίου και Πλουτωνίου μεγάλης ενεργού διατομής τα οποία, λόγω της σύλληψης νετρονίων που επιφέρουν, κωλύουν τη διαδικασία της αλυσιδωτής αντίδρασης (Λιόλιος, 2009).

Μεταξύ των ράβδων καυσίμων παρεμβάλλονται και οι επονομαζόμενες ράβδοι ελέγχου, οι οποίες είναι τμήμα του συστήματος ασφάλειας του αντιδραστήρα ελέγχοντας την ισχύ του. Οι ράβδοι ελέγχου περιέχουν κράματα ή ενώσεις στοιχείων με μεγάλη ενεργό διατομή¹²⁴, ώστε να απορροφούν μεγάλο ποσοστό περίσσειας νετρονίων. Σε περίπτωση προβλήματος, οι ράβδοι ελέγχου ρίπτονται ανάμεσα στις ράβδους καυσίμου προκαλώντας τερματισμό της αλυσιδωτής αντίδρασης σχάσεως και την διακοπή λειτουργίας του αντιδραστήρα.

Στην καρδιά του αντιδραστήρα, ανάμεσα στις ράβδους καυσίμου, ρέει το ψυκτικό μέσο, το οποίο απάγει τη θερμότητα που εκλύεται από τις ράβδους καυσίμου, λόγω της διαδικασίας της πυρηνικής σχάσης, μετατρέποντάς την σε χρήσιμη ισχύ ηλεκτρικής ενέργειας¹²⁵. Ουσιαστικά, λόγω της εκλυόμενης ενέργειας από τη διαδικασία της πυρηνικής σχάσης, δημιουργείται θερμότητα η οποία

¹²³ Όσο εξελίσσεται η διαδικασία της καύσης οι ράβδοι καυσίμου καθίσταντο προοδευτικά όλο και πιο ραδιενεργείς, λόγω του μειωμένου χρόνου ημίσειας ζωής (ο χρόνος που χρειάζεται ώστε ένα ραδιοϊσότοπο να έλθει στο μισό της αρχικής του ποσότητας ραδιενέργειας) που έχουν οι θυγατρικοί πυρήνες της σχάσης. Αυτοί οι θυγατρικοί πυρήνες διασπώνται πιο γρήγορα εκπέμποντας ισχυρότερο ποσοστό ραδιενέργειας.

¹²⁴ Κάποια από τα χημικά στοιχεία με υψηλή διατομή που χρησιμοποιούν οι ράβδοι ελέγχου είναι ο Άργυρος (Ag), το Ίνδιο (In), το Κάδμιο (Cd), το τιτανικό δυσπρόσιο (Dy₂TiO₅) κ.α.
Control rod. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Control_rod &
U.S NRC (2021, March 9). *Control rod*.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/control-rod.html>

¹²⁵ Ως ψυκτικά υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως το νερό (ελαφρύ ύδωρ, H₂O), το οποίο διατελεί και ρόλο επιβραδυντή νετρονίων, αλλά και ο αέρας, το βαρύ ύδωρ (δευτέριο, 2H₂O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το ήλιο (He), το υγρό νάτριο (Na) και ένα κράμα νατρίου (Na)-Καλίου (K).
U.S NRC (2021, March 9). *Coolant*.

<https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/coolant.html>

θερμαίνει σε σημείο βρασμού το νερό, που χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο, παράγοντας ατμό ο οποίος διοχετεύεται στις τουρμπίνες της γεννήτριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας¹²⁶.

Τόσο οι ράβδοι καυσίμου, οι ράβδοι ελέγχου και το ψυκτικό μέσο βρίσκονται στο επονομαζόμενο δοχείο πίεσεως (RPV- Reactor Pressure Vessel) το οποίο είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα. Το δοχείο πίεσεως περικλείεται μέσα στο δοχείο εγκλωβισμού (containment vessel) του πυρηνικού αντιδραστήρα. Το δοχείο εγκλωβισμού είναι κατασκευασμένο από χάλυβα και φέρει μεγάλη αντοχή σε περιπτώσεις ατυχημάτων, ώστε να περιορίσει την εκπομπή ραδιενέργειας στο γύρω περιβάλλοντα χώρο¹²⁷.

3.4 Η επανάκτηση των ραδιενεργών χημικών στοιχείων

Η επεξεργασία και επανάκτηση των ραδιενεργών χημικών στοιχείων, μετά το πέρας της ανάλωσης/ακτινοβόλησης του πυρηνικού καυσίμου, αποτελεί τμήμα του κύκλου των πυρηνικών καυσίμων. Στα εξαντλημένα καύσιμα ενός αντιδραστήρα υπάρχει ένα σημαντικό ποσοστό παραπροϊόντος Ουρανίου και Πλουτωνίου, ειδικά του καίριου ισοτόπου Pu-239, τα οποία καθίσταντο αποδοτικής εκμετάλλευσης για οπλική χρήση ύστερα από την επονομαζόμενη επεξεργασία επανάκτησης. Η διαδικασία επανάκτησης λαμβάνει χώρα στα εργοστάσια επανεπεξεργασίας καυσίμου όπου στέλνονται για επεξεργασία οι χρησιμοποιημένες ράβδοι καυσίμου. Τα εργοστάσια επανεπεξεργασίας τις περισσότερες φορές βρίσκονται στις ίδιες εγκαταστάσεις με τους πυρηνικούς σταθμούς ενέργειας, αλλά έχουν υψηλότερα μέτρα ασφάλειας και ακτινοπροστασίας, εξαιτίας των υψηλών ποσοστών ραδιενέργειας που συγκεντρώνονται στα ραδιενεργά χημικά στοιχεία των παραπροϊόντων του αναλωμένου καυσίμου. Ύστερα από μία σειρά συγκεκριμένων χημικών διεργασιών, διαχωρίζονται τα σχάσιμα ραδιενεργά χημικά στοιχεία από άλλα μη αποδοτικά υλικά του αναλωμένου καυσίμου. Επανακτώνται και συλλέγονται τόσο το άκαυστο Ουράνιο όσο και το Pu-239 που παρήχθη με τη διαδικασία της καύσης (Λιόλιος, 2009).

Η διαδικασία της επανάκτησης, επανεπεξεργασίας και ανακύκλωσης των αναλωμένων καυσίμων περιλαμβάνει μια σειρά από διεργασίες οι οποίες είναι:

¹²⁶ IAEA (2021, August 2). *What is nuclear energy? The science of nuclear power.*

<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-energy-the-science-of-nuclear-power>

¹²⁷ ΕΚΠΑ. Σημειώσεις Μαθημάτων. Βιβλίο Ραδιοχημείας, καθηγητού Π. Μισαηλίδη, ΑΠΘ. Κεφάλαιο 6, Πυρηνική Ενέργεια. §7. Η πυρηνική ενέργεια και ο κύκλος των πυρηνικών καυσίμων. § 7.2 Τα συστατικά και η δομή ενός πυρηνικού αντιδραστήρα.

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWI> & Βερέττας, 2011.

α) Η μεταφορά και αποθήκευση των αναλωμένων ράβδων καυσίμου. Οι ράβδοι αποθηκεύονται σε ειδικές υπόγειες δεξαμενές, αρκετά μεγάλου βάθους και μετέπειτα μέσω υπογείων οδών μεταφέρονται για τα επόμενα στάδια της επεξεργασίας.

β) Ο τεμαχισμός των ράβδων καυσίμου και η διάλυση του αναλωμένου καυσίμου. Το μεταλλικό ζirkονιούχο περίβλημα ανοξειδωτού χάλυβα¹²⁸ των ράβδων τεμαχίζεται και οι ράβδοι βυθίζονται σε νιτρικό οξύ (HNO₃). Κατά αυτό τον τρόπο διαλύεται το αναλωμένο καύσιμο και απομένει το Ουράνιο, το Πλουτώνιο και λοιπά ραδιενεργά ισότοπα.

γ) Ο διαχωρισμός των σχάσιμων υλικών του αναλωμένου καυσίμου μέσω, για παράδειγμα, της διαδικασίας PUREX (Plutonium Uranium Recovery by Extraction). Είναι μια χημική μέθοδος καθαρισμού, την οποία υφίσταντο τα αναλωμένα καύσιμα, ώστε να ανακτηθούν τα ραδιενεργά χημικά στοιχεία του Ουρανίου και του Πλουτονίου¹²⁹.

δ) Η προετοιμασία των υπό επανάκτηση ραδιενεργών χημικών στοιχείων. Το Pu-239, ύστερα από μια σειρά διεργασιών που υφίστατο, συγκεντρώνεται σε στερεά μορφή έτοιμη για διεξαγωγή προς οπλική χρήση. Τα επίπεδα καθαρότητας του U-235 που περισυνελέχθη είναι συνήθως πολύ χαμηλού ποσοστού. Βρίσκεται υπό τη μορφή οξειδίου του Ουρανίου (UO₂) ή ως εξαφθοριούχο Ουράνιο (UF₆), τα οποία χρήζουν περαιτέρω διεργασίας μέσω της διαδικασίας εμπλουτισμού.

ε) Η τελική διαχείριση και η ανακύκλωση των αποβλήτων όπου, λόγω της αυξημένης ραδιενέργειας, απαιτούνται ιδιαίτεροι χειρισμοί για την αποφυγή επικείμενων κινδύνων. Η αποθήκευση λαμβάνει χώρα κατά τρόπο ώστε να αποφευχθεί η ρύπανση και η οποιαδήποτε έκθεση σε ακτινοβολία. Τα ποσοστά της ραδιενέργειας μειώνονται με τη πάροδο του χρόνου (Λιόλιος, 2009). Τα πυρηνικά απόβλητα, αναλόγως του βαθμού της φερόμενης ραδιενέργειάς τους, κατατάσσονται σε υψηλής ακτινοβολίας (HLW-High Level Waste), μέσης ακτινοβολίας (ILW-Intermediate Level Waste), και χαμηλής ακτινοβολίας (LLW-Low Level Waste). Τέλος μια ακόμη ομάδα αποβλήτων, που προκύπτουν κυρίως από προγράμματα ανάπτυξης πυρηνικών όπλων, είναι τα επονομαζόμενα υπερουράνια απόβλητα (TRUW-Transuranic Waste)¹³⁰.

¹²⁸ Το κάλυμμα των χρησιμοποιημένων ράβδων καυσίμου, λόγω της αντοχής του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, από τις πολεμικές χαλβουργίες, για την δημιουργία κραμάτων για οβίδες (Βερέττας, 2011).

¹²⁹ Irish, E.R., & Reas, W.H. (1957, April 8). *The PUREX process. A solvent extraction reprocessing method for irradiated uranium*. General Electric.
<https://www.osti.gov/servlets/purl/4341712>

¹³⁰ ΕΚΠΑ. Σημειώσεις Μαθημάτων. Βιβλίο Ραδιοχημείας, καθηγητού Π. Μισαηλίδη, ΑΠΘ. Κεφάλαιο 6, Πυρηνική Ενέργεια. §7. Η πυρηνική ενέργεια και ο κύκλος των πυρηνικών καυσίμων. § 7.4.5 Η διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων.
<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWl>

Κεφάλαιο 4^ο

Τα πυρηνικά όπλα

4.1 Η απαρχή των πυρηνικών όπλων - Το πρόγραμμα Manhattan

Το πρόγραμμα Manhattan¹³¹ υπήρξε το πρώτο πρόγραμμα ανάπτυξης πυρηνικών όπλων και άκρως απόρρητο, υπό την σύμπραξη και επίβλεψη των κυβερνήσεων, του βιομηχανικού και του επιστημονικού τομέα της Αμερικής και της Αγγλίας¹³². Οι ΗΠΑ αποτελούσαν στρατηγική τοποθεσία για την ανάπτυξη αυτού του μεγαλεπήβολου εγχειρήματος. Οι λόγοι ήταν πλείστοι, όπως για παράδειγμα η μετανάστευση και εγκατάσταση, επί Αμερικανικού εδάφους, Ευρωπαίων και Εβραίων επιστημόνων, η διάθεση των απαραίτητων κεφαλαίων λόγω της οικονομικής ισχύος¹³³, η ύπαρξη τεχνολογικής υποδομής, η γεωγραφική της θέση, μακριά από τη δράση του Άξονα (ελαχιστοποιούσε κατά πολύ την περίπτωση επίθεσης και καταστροφής των επιστημονικών εγκαταστάσεων) και τέλος και κυριότερο, υπήρχε η απαραίτητη πολιτική βούληση¹³⁴. Η απόφαση υλοποίησης του προγράμματος επισήμως έλαβε χώρα στις 13 Αυγούστου του 1942¹³⁵. Επικεφαλής της εποπτείας υλοποίησης ανέλαβε

¹³¹ Η επίσημη κωδική ονομασία ήταν Development of Substitute Materials (DSM Project), όμως λόγω της τοποθεσίας του Πανεπιστημίου Columbia όπου πραγματοποιήθηκε μεγάλο μέρος των ερευνών μετονομάστηκε σε Manhattan Engineer District (MED) ή απλουστευμένα Manhattan Project. Britanica (n.d.). *Manhattan Project summary. Uncover the purpose of Manhattan Project.* <https://www.britannica.com/summary/Manhattan-Project>

¹³² Οι πρόεδροι αντίστοιχα εκείνη τη περίοδο, που ξεκίνησαν τη συνεργασία για την υλοποίηση του προγράμματος, ήταν ο Franklin Roosevelt και ο Winston Churchill. Μετά το θάνατο του F.Roosevelt (12 Απριλίου 1945), ο Αμερικανός πρόεδρος Harry Truman προέβη στην υλοποίησή του. Manhattan Project. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Manhattan_Project

¹³³ Το πρόγραμμα Manhattan αποτέλεσε ένα από τα ακριβότερα δημόσια έργα παγκοσμίως που χρηματοδοτήθηκε από κρατικό ταμείο (Βερέττας, 2011). Το πρόγραμμα κόστισε σχεδόν δύο δισεκατομμύρια δολάρια έως την περίοδο του 1945. Wellerstein, A. (n.d.). *Manhattan Project.* Encyclopedia of the History of Science. Carnegie Mellon University. <https://ethos.lps.library.cmu.edu/article/id/35/>
Το μεγαλύτερο μέρος του προϋπολογισμού του προγράμματος Manhattan (άνω του 80%) δαπανήθηκε για την παραγωγή υψηλής καθαρότητας Ουρανίου που ήταν αναγκαία για την απόδοση και την παραγωγή του σχάσιμου υλικού (Λιόλιος, 2009).

¹³⁴ Οικονόμου, 1991.

¹³⁵ Η ιστορία για την προσπάθεια ανάπτυξης των πρώτων πυρηνικών όπλων ξεκινά ουσιαστικά το 1938, όπου οι δύο Γερμανοί επιστήμονες Otto Hahn και Fritz Strassmann ανακάλυψαν την λειτουργία της πυρηνικής σχάσης. Υπό το φόβο της ανάπτυξης μίας πυρηνικής βόμβας από την Εθνικοσοσιαλιστική Γερμανία, κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, «επιστρατεύτηκε» από την Αμερικανική επιστημονική κοινότητα, με επικεφαλής τον Ούγγρο φυσικό Leo Szilard, ο Albert Einstein (λόγω του κύρους που έφερε) ώστε να στείλει μια προειδοποιητική επιστολή, σχετικά με τον επικείμενο Ναζιστικό πυρηνικό κίνδυνο, στον Αμερικανό πρόεδρο

ο στρατηγός Leslie Groves. Το βασικό εργαστήριο για την ανάπτυξη του πρώτου πυρηνικού όπλου, της Αμερικανικής ατομικής βόμβας, ανηγέρθη στο Los Alamos του Νέου Μεξικού. Επιστημονικός επικεφαλής ανέλαβε ο φυσικός Robert Oppenheimer. Επιπροσθέτως στην πόλη Oak Ridge του Tennessee κατασκευάστηκαν εργοστάσια εμπλουτισμού και διαχωρισμού του Ουρανίου, ενώ ένας ακόμη σημαντικός σταθμός ήταν η τοποθεσία Hanford¹³⁶ της Washington, όπου κατασκευάστηκαν εργοστάσια παραγωγής Πλουτωνίου.

Το φαινόμενο της πυρηνικής σχάσης, ήταν το κυριότερο επιστημονικό στοιχείο όπου βασίστηκε εκείνη την εποχή η κατασκευή των πρώτων πυρηνικών βομβών. Από το πρόγραμμα Manhattan κατασκευάστηκαν, έως το 1945, δύο τύποι πυρηνικών βομβών (ουρανίου και πλουτωνίου) και παρήχθησαν τρεις βόμβες, η Little Boy (U-235¹³⁷), η Fat Man (Pu-239) και η Trinity (Pu-239). Η πρώτη πυρηνική δομική παγκοσμίως έλαβε χώρα, στις 16 Ιουλίου του 1945, στην έρημο του Νέου Μεξικού στο Κέντρο Δοκιμαστικών Βομβαρδισμών στο Alamogordo. Ήταν η βόμβα Πλουτωνίου Trinity (γνωστή και ως Gadget). Οι άλλες δύο βόμβες, οι Little Boy και η Fat Man, μεταφέρθηκαν σε Αμερικανική στρατιωτική βάση¹³⁸ στο Ειρηνικό¹³⁹. Στις 6 Αυγούστου του 1945 το Αμερικανικό βομβαρδιστικό B-29, γνωστό με την ονομασία Enola Gay, με πιλότο το συνταγματάρχη Paul Tibbets, έριξε την πυρηνική βόμβα Ουρανίου Little Boy στην Ιαπωνική πόλη Χιροσίμα. Η δεύτερη πυρηνική βόμβα Πλουτωνίου Fat Man, φορτώθηκε στο βομβαρδιστικό B-29 γνωστό με το όνομα Bock's Car, με πιλότο τον ταγματάρχη Charles W. Sweeney και ρίχθηκε στην Ιαπωνική πόλη Ναγκασάκι, στις 9 Αυγούστου του 1945¹⁴⁰.

F.Roosevelt (η επιστολή προς τον Αμερικανό πρόεδρο ήταν η μοναδική ανάμειξη που είχε). Από την πληροφόρηση του Αμερικανού προέδρου το 1939 έως και την είσοδο της Αμερικής στον πόλεμο το 1941, δεν είχα γίνει ουσιαστικές κινητοποιήσεις προς την ανάπτυξη των πυρηνικών όπλων (Τσαλακός, 2005).

¹³⁶ Οι συγκεκριμένοι πυρηνικοί αντιδραστήρες είχαν κατασκευαστεί για την παραγωγή Πλουτωνίου.

Atomicarchive.com (n.d.). *Why Uranium and Plutonium?*

<https://www.atomicarchive.com/science/fission/uranium-plutonium.html>

¹³⁷ Στην πορεία η χρήση του ισοτόπου U-235 εγκαταλείφθηκε και σήμερα γίνεται χρήση περισσότερο του Pu-239 (συνδυάζεται με Δευτέριο και Τρίτιο στις βόμβες σύντηξης), στα όπλα των δηλωμένων πυρηνικών δυνάμεων. Λιόλιος, Θ. (1999). Σημειώσεις πυρηνικών όπλων. Ελληνικό Κέντρο Ελέγχου όπλων.

<https://ekeo.gr/wp-content/uploads/reports/liolios/nuclear%20weapons%20notes.pdf>

¹³⁸ Η μονάδα 509 CG (509 Composite Group) αποτέλεσε ειδικό τμήμα της πολεμικής αεροπορίας του Αμερικανικού στρατού κατά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Εκπαιδεύτηκε πάνω στα νεοσύστατα πυρηνικά όπλα και αποπεράτωσε τους βομβαρδισμούς στη Χιροσίμα και στο Ναγκασάκι το 1945.

509th Composite Group. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/509th_Composite_Group

¹³⁹ Στη νήσο Tinian, του νησιωτικού συμπλέγματος Marianas, στο Δυτικό Ειρηνικό Ωκεανό.

¹⁴⁰ The Manhattan Project an interactive history. Assembling and delivering the uranium bomb.

<https://www.osti.gov/opennet/manhattan-project-history/Processes/BombTesting/assembly.html> & <https://www.osti.gov/opennet/manhattan-project-history/Processes/BombTesting/assembly-plutonium.html>

Με πρόφαση πως η μη χρήση των πυρηνικών βομβών στο έδαφος της Ιαπωνίας θα παράτεινε τον πόλεμο, προκαλώντας έτσι ακόμη μεγαλύτερη καταστροφή, κάμφθηκαν οι όποιες ηθικές αμφιβολίες, με τον πρόεδρο H. Truman να χαιρετίζει την επίθεση. Το Ευρωπαϊκό πολεμικό θέατρο είχε ουσιαστικά λήξει και μόνο το θέατρο του Ειρηνικού έμενε ενεργό¹⁴¹, η καταστροφή που επέφεραν οι πυρηνικές βόμβες στις δύο Ιαπωνικές πόλεις ήταν ανήκουστη. Η Αμερικανική επίθεση δεν τήρησε καμία αρχή του λεγόμενου Bellum Justum, παραβαίνοντας τις χαρακτηριστικότερες αρχές της διάκρισης και της αναλογικότητας¹⁴². Η χρήση των πυρηνικών βομβών χαρακτηρίστηκε ως στρατιωτικό-πολιτική απόφαση και έγκλημα κατά της ανθρωπότητας, καθώς ουσιαστικά συντελέστηκε μετά την νίκη των συμμάχων επί του Ευρωπαϊκού μετώπου, με την Γερμανία να συνθηκολογεί άνευ όρων την παράδοσή της στις 8 Μαΐου του 1945. Προσέτι αποτέλεσε μια μακάβρια επίδειξη δύναμης των ΗΠΑ προς την Σοβιετική Ένωση, μία ενέργεια εξωτερικής πολιτικής που γέννησε τη επονομαζόμενη πυρηνική διπλωματία, αναγγέλλοντας την έναρξη του Ψυχρού Πολέμου, την κούρσα των εξοπλισμών και το δόγμα της Αμοιβαίας Εξασφαλισμένης Καταστροφής. Οι ρίψεις των δύο αυτών πυρηνικών βομβών, τον Αύγουστο του 1945, αποτελούν έως και σήμερα τη πρώτη και μοναδική χρήση πυρηνικών όπλων εν καιρώ πολέμου.

¹⁴¹ Τον Ιούλιο του 1945 έλαβε χώρα η τελευταία συνδιάσκεψη των συμμάχων στο Potsdam του Βερολίνου, γνωστή ως Διάσκεψη Potsdam. Εκεί καθορίστηκε η τύχη της μεταπολεμικής Ευρώπης και επίσης συνετάχθη, στις 26 Ιουλίου, η Διακήρυξη του Potsdam. Η διακήρυξη αποτέλεσε ένα είδους τελεσίγραφο προς την Ιαπωνική αυτοκρατορία του Χιροχίτο. Αναφερόταν στο αίτημα της άνευ όρων παράδοσης της Ιαπωνίας και στις συνέπειες που θα επακολουθούσαν εάν η Ιαπωνία το απέρριπτε. Δεν υπήρχε όμως καμία διατύπωση για την ατομική βόμβα. Η Ιαπωνία το απέρριψε. Συνθηκολόγησε στις 15 Αυγούστου του 1945.

Potsdam Declaration. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Potsdam_Declaration

Εκτός από τις δύο βόμβες που έπεσαν στις 6 και 9 Αυγούστου, είχε προετοιμαστεί και μία τρίτη ώστε να πλήξει το Ιαπωνικό έδαφος στις 19 Αυγούστου. Η χρήση της δεν έγινε ποτέ καθώς επήλθε η συνθηκολόγηση της Ιαπωνίας στις 15 του μήνα. Η συγκεκριμένη πυρηνική βόμβα έφερε το όνομα Third Shot και ήταν τύπου Πλουτωνίου-239 (Pu-239) όπως και η Fat Man.

Third Shot. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Third_Shot

¹⁴² Bellum Justum, είναι το δόγμα του δίκαιου πολέμου, το οποίο αναφέρει υπό ποιες συνθήκες είναι «δίκαιος» ένας πόλεμος. Χωρίζεται σε δύο κύρια δόγματα το Jus ad Bellum, το οποίο αναφέρει το πότε και υπό ποιες συνθήκες είναι θεμιτή η διεξαγωγή της ένοπλης βίας και το Jus in Bello, το οποίο καθορίζει το πως πρέπει να διεξάγεται η χρήση της ένοπλης βίας. Το δόγμα, ειδικά του Jus in Bello, έχει ανθρωπιστική ερμηνεία παραθέτοντας δύο αρχές αυτή της διάκρισης, του να μην πλήττονται αθώοι, άμαχοι, παιδιά και αιχμάλωτοι πολέμου και αυτή της αναλογικότητας, όπου πρέπει να υπάρχει αναλογία αρχικού πλήγματος με τα αντίποινα.

Ηρακλείδης, Α. (2015). Ο πόλεμος. Στο, *Διεθνείς σχέσεις και διεθνής πολιτική* (σ.99, 103). Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα. Kallipos.

<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/6150?locale=en>

4.2 Προσδιορισμός των πυρηνικών όπλων

Η αρχή λειτουργίας των πυρηνικών όπλων¹⁴³ βασίζεται στην ακαριαία έκλυση τεραστίων ενεργειακών ποσών, λόγω της μεταστοιχείωσης των ατομικών πυρήνων του ραδιενεργού χημικού στοιχείου που περιέχουν ως γόμωση, μέσω της διαδικασίας της αλυσιδωτής αντίδρασης. Η μεταστοιχείωση θα αποδώσει νέους πυρήνες διαφορετικής μάζας από τους αρχικούς, η διαφορά της μάζας αυτής είναι η ποσότητα ενέργειας που εκλύεται στο περιβάλλον. Η ισχύς της ενέργειας αυτής είναι απεριόριστη και εκφράζεται σε σύγκριση με την ένταση ισχύος που απελευθερώνεται από ισοδύναμη έκρηξη του συμβατικού χημικού εκρηκτικού τρινιτροτολουόλη (TNT)¹⁴⁴ σε κιλοτόνους (kt).

Προχωρώντας σε ένα επίσημο εννοιολογικό ορισμό συναντάμε, στο γλωσσάριο των βασικών πυρηνικών όρων, που έχει συνταχθεί συλλογικά από τις πέντε μεγάλες πυρηνικές δυνάμεις, τον ακόλουθο προσδιορισμό σχετικά με το τι καθίστατο ως πυρηνικό όπλο. Είναι το «οπλικό σύστημα το οποίο είναι ικανό να προκαλέσει έκρηξη, τεράστια ζημία και καταστροφή από την ξαφνική έκλυση ενέργειας, που απελευθερώνεται στιγμιαία, μέσω της αυτοσυντηρούμενης πυρηνικής σχάσης και/ή σύντηξης¹⁴⁵». Συνεχίζοντας την εννοιολογική προσέγγιση, βασική παράμετρος, που διαφοροποιεί τα πυρηνικά από τα συμβατικά όπλα, είναι η έκλυση παρατεταμένης και υψηλού επιπέδου ραδιενεργής ακτινοβολίας. Ακόμη γίνεται διάκριση μεταξύ πυρηνικών όπλων και αυτοσχέδιων πυρηνικών εκρηκτικών συσκευών (IND - Improvised Nuclear Devices). Ως αυτοσχέδιες πυρηνικές εκρηκτικές συσκευές καλούνται τα έκνομα πυρηνικά όπλα, που αναπτύχθηκαν μέσω παράνομης πρόσβασης σε σχάσιμο ραδιενεργό χημικό υλικό (ή αγοράστηκαν παράνομα, ή κλάπηκαν), τόσο από κρατικούς όσο και από μη κρατικούς δρώντες, όπως είναι οι τρομοκρατικές οργανώσεις¹⁴⁶. Επιπροσθέτως, μια

¹⁴³ Ανήκουν στην κατηγορία των όπλων μαζικής καταστροφής (OMK, WMD – Weapons of Mass Destruction), μαζί με τα χημικά και τα βιολογικά όπλα, καθώς και με οποιουδήποτε άλλο είδους όπλο, το οποίο φέρει συγκρίσιμα χαρακτηριστικά και καταστρεπτικά αποτελέσματα με τα προαναφερθέντα όπλα. Weapons of Mass Destruction. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Weapon_of_mass_destruction

¹⁴⁴ Κουσκουβέλης, Η. (2000). *Θεωρία διεθνών σχέσεων στον Ψυχρό Πόλεμο. Αποτροπή και πυρηνική στρατηγική*. Αθήνα: Εκδόσεις Ποιότητα. & TNT equivalent. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/TNT_equivalent

¹⁴⁵ P5 Glossary of Key Nuclear Terms (2015). §1.3.5., p.6., *Nuclear Weapon* «Weapon assembly that is capable of producing an explosion and massive damage and destruction by the sudden release of energy instantaneously released from self-sustaining nuclear fission and/or fusion».

<https://2009-2017.state.gov/documents/organization/243293.pdf>

Οι P5 (power 5) είναι τα πέντε μόνιμα μέλη του Συμβουλίου Ασφαλείας των Ηνωμένων Εθνών, οι οποίες αποτελούν και τις N5 (nuclear 5), τις πέντε μεγάλες πυρηνικές δυνάμεις: ΗΠΑ, Ρωσία, Κίνα, Ηνωμένο Βασίλειο και Γαλλία.

¹⁴⁶ Improvised nuclear device. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Improvised_nuclear_device

επισήμανση είναι πως το πυρηνικό όπλο χαρακτηρίζεται ακόμη ως «η πυρηνική εκρηκτική συσκευή που έχει ‘οπλισθεί’, υπό την έννοια ότι περιέχεται και παραδίδεται μέσω ενός πυραύλου ή βόμβας¹⁴⁷».

Τα πυρηνικά όπλα, αν και δύναται να υπάρξουν και ως επιχειρησιακά (εμβέλεια, κατά προσέγγιση, ≤ 500 χλμ) και τακτικά όπλα¹⁴⁸ (εμβέλεια, κατά προσέγγιση, ≤ 300 χλμ.), για χρήση σε επιχειρησιακό θέατρο πολέμου, κατά βάση αποτελούν στρατηγικά όπλα. Ο διαχωρισμός αυτός τείνει να διαφοροποιείται αναλόγως το στρατηγικό δόγμα του εκάστοτε κράτους, επιπροσθέτως πολλές φορές αναφέρεται και ο προσδιορισμός «υποστρατηγικές πυρηνικές δυνάμεις/ όπλα¹⁴⁹». Στα στρατηγικά όπλα κατατάσσονται τόσο τα ίδια τα πυρηνικά όπλα όσο και τα οπλικά τους συστήματα, όπως για παράδειγμα οι βαλλιστικοί πύραυλοι διηπειρωτικού βεληνικού¹⁵⁰ (ICBM - Intercontinental Ballistic Missile, > 5.500 χλμ.), τα βαριά βομβαρδιστικά αεροσκάφη και τα σχετιζόμενα δορυφορικά συστήματα¹⁵¹. Χαρακτηρίζονται ως στρατηγικά καθώς επιφέρουν αποφασιστικό πλήγμα, καθορίζοντας

¹⁴⁷ Ζαλίδης, Β. (2023). Ο εννοιολογικός προσδιορισμός των πυρηνικών όπλων. Στο, *Το νομικό καθεστώς των πυρηνικών όπλων και η Συνθήκη Απαγόρευσής τους* (σ.122-126). Αθήνα – Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σάκκουλα.

¹⁴⁸ Τα τακτικά πυρηνικά όπλα, χαρακτηρίζονται από την δυνατότητα περιορισμένου στρατιωτικού ελιγμού και διαφέρουν από τα στρατηγικά πυρηνικά όπλα, στο μέγεθος του βεληνικού που ορίζεται έως μέσης εμβέλειας και στην εκρηκτική ισχύ που είναι πολύ μικρότερη. Η βασική τους χρήσης είναι εναντίων συμβατικών δυνάμεων στο θέατρο των επιχειρήσεων, να πλήξουν καίριους εχθρικούς στόχους, ώστε να επιφέρουν πλήγμα στην επιμελητεία του αντιπάλου μειώνοντας την μαχητική του ικανότητα, καθώς και να καταστήσουν απαγόρευση περιοχής μέσω ραδιενεργής επιμόλυνσης του συγκεκριμένου χώρου. Υπάρχει ακόμη η αντίληψη πως, δια της χρήσης τακτικών πυρηνικών όπλων, αποφεύγεται ο κίνδυνος κλιμάκωσης σε έναν γενικευμένο πυρηνικό πόλεμο. Τα στρατηγικά πυρηνικά όπλα είναι απόλυτου μεγίστου βεληνικού, καθώς μπορούν αν πλήξουν στόχους σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη και η εκρηκτική ισχύς τους είναι η μέγιστη δυνατή που έχει αναπτύξει ο άνθρωπος.

Σιτίστας, Θ. (2022, 12 Οκτωβρίου). *Τακτικά και στρατηγικά πυρηνικά όπλα: ποιες οι διαφορές, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν*. Πτήση.

<https://flight.com.gr/tactical-vs-strategic-nuclear-weapons/>

¹⁴⁹ Ο συγκεκριμένος ορισμός «υποστρατηγικός» έχει χρησιμοποιηθεί σε έγγραφα του NATO από το 1989 περιγράφοντας συστήματα μικρής και μεσαίας εμβέλειας. Σήμερα αναφέρεται στα εμπομαζόμενα αεροσκάφη διπλής ικανότητας (DCA - Dual-Capable Aircrafts), όπως το μοντέλο F-35A, τα οποία εκτελούν τόσο συμβατικές όσο και πυρηνικές αποστολές.

NATO (n.d.). *Definitions of nuclear forces*.

<https://www.nato.int/docu/glossary/eng-nuclear/eng-app3.pdf> &

NATO (2022). *NATO's nuclear sharing agreements*.

https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2022/2/pdf/220204-factsheet-nuclear-sharing-arrange.pdf &

Marrow, M. (2024, March 8). *Exclusive: F-35A officially certified to carry nuclear bomb*. Breaking Defense.

<https://breakingdefense.com/2024/03/exclusive-f-35a-officially-certified-to-carry-nuclear-bomb/>

¹⁵⁰ Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και οι βαλλιστικοί πύραυλοι μεγάλου βεληνικού που εκτοξεύονται από υποβρύχια (SLBM - Submarine-Launched Ballistic Missile).

Αναλόγως το πλαίσιο στο οποίο αναπτύσσεται το εκάστοτε στρατηγικό δόγμα, μπορεί να συγκαταλέγονται ως στρατηγικά όπλα και βαλλιστικοί πύραυλοι μεσαίου (MRBM-Medium Range Ballistic Missile, 3.500 χλμ. – 1000 χλμ.), αλλά και μικρότερου βεληνικού (< 1000 χλμ.).

Ballistic Missile. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Ballistic_missile

¹⁵¹ Κουσκουβέλης, 2000. &

NATO (n.d.). *Definitions of nuclear forces*.

<https://www.nato.int/docu/glossary/eng-nuclear/eng-app3.pdf>

σε μεγάλο βαθμό την έκβαση της μάχης και αφόρητη ζημία στον πληθυσμό και στις υποδομές του εχθρού. Επιπλέον την χρήση και την απειλή χρήσης των πυρηνικών όπλων μπορεί να την εκτελέσει μόνο η ανώτατη αρχή του κράτους.

Με την ανάπτυξη των πυρηνικών όπλων στη δύση του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου, αλλά και των τεχνολογικών καινοτομιών που ακολούθησαν στα οπλικά συστήματα, ανέτειλε μια νέα παγκόσμια εποχή ασφαλείας. Αναδύθηκαν νέοι γεωπολιτικοί δρώντες και νέες διπολικές πυρηνικές ισορροπίες χειραγώγησαν τον κόσμο (ΗΠΑ – ΕΣΣΔ). Ο στρατηγικός και ολοκληρωτικός χαρακτήρας των πυρηνικών όπλων ανέδειξε, την δεκαετία του 1950, την επονομαζόμενη πυρηνική στρατηγική¹⁵² ως μια νέα πολιτική εθνικής ασφάλειας, εκ της οποίας αναπτύχθηκαν νέα στρατηγικά δόγματα και επιμέρους στρατηγικές, όπως της Αμερικανικής πυρηνικής αποτροπής¹⁵³, με χαρακτηριστικές τις αρχές της πρώτης χρήσης¹⁵⁴ και των μαζικών αντιποίνων¹⁵⁵. Εν συνεχεία η εντατικοποίηση της κούρσας των

¹⁵² Αποτελεί κλάδο της στρατιωτικής στρατηγικής, σημαντικό εργαλείο της είναι οι διαπραγματεύσεις για την πραγματοποίηση των πολιτικών σκοπών, καθώς η απειλή και μόνο της χρήσης των πυρηνικών όπλων επιφέρει πολιτικές παραχωρήσεις. Η πυρηνική στρατηγική εξετάζει, διαμορφώνει και ελέγχει το πρόγραμμα ανάπτυξης των πυρηνικών όπλων, την στρατηγική αεροπορική ισχύ, την πυρηνική αμυντική βιομηχανία, τους τύπους των πυρηνικών όπλων που θα κατασκευαστούν, καθώς και πότε ή εάν θα χρησιμοποιηθούν. Λόγω της φύσης των πυρηνικών όπλων και των διαστάσεων του πλήγματος που δύνανται να επιφέρουν, η πυρηνική στρατηγική εστιάζει συνακολούθως στους τρόπους πρόληψης για την αποτροπή ενός πυρηνικού πολέμου, καθώς και στην μη διάδοση των πυρηνικών όπλων ώστε να μη διαρραγεί η ισορροπία δυνάμεων στο παγκόσμιο γίγνεσθαι.

Nuclear Strategy. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_strategy

¹⁵³ Στις 29 Αυγούστου του 1949 σταμάτησε η Αμερικανική πυρηνική παντοδυναμία, καθώς έγινε γνωστή η πρώτη Σοβιετική δοκιμαστική έκρηξη πυρηνικής βόμβας στην έρημο του Καζακστάν. Ήταν η βόμβα Πλουτωνίου RDS-1 (ή First Lightning ή Joe-1 ως κωδική ονομασία των ΗΠΑ). Το δόγμα της πυρηνικής αποτροπής δικαιολογούσε την αναγκαιότητα της ύπαρξης, ανάπτυξης και εξέλιξης των πυρηνικών όπλων. Μέσω του φόβου των αντιποίνων (δυνατότητα Β΄ πλήγματος, δηλαδή η δυνατότητα πρόκλησης αφόρητης ζημίας ακόμη και μετά από ένα αιφνιδιαστικό Α΄ πλήγμα) αμφότερα δύο κράτη τελούν υπό ισορροπία. Επέρχεται δια του λόγου αυτού η ισορροπία δυνάμεων ως εξισορροπητικός παράγοντας στη διατήρηση του status quo. Χαρακτηριστική είναι η περιγραφή, του Βρετανού πρωθυπουργού Winston Churchill το 1955, περί της σταθερότητας που επέρχεται μέσω της πυρηνικής αποτροπής «Η ασφάλεια θα είναι το σθεναρό παιδί του τρόμου και η επιβίωση ο δίδυμος αδελφός του αφανισμού/ Safety will be the sturdy child of terror, and survival the twin brother of annihilation».

UK Parliament (2024/ 1955, March 1). *The hydrogen bomb: Churchill's last major speech in Parliament*.

<https://www.parliament.uk/about/living-heritage/transformingsociety/private-lives/yourcountry/collections/churchillexhibition/churchill-the-orator/hydrogen/>

¹⁵⁴ Η αρχή αυτή στηρίζεται στον αμυντικό χαρακτήρα της κατοχής πυρηνικών πόλων, καθώς αποτελεί αποθαρρυντικό παράγοντα για την έναρξης επίθεσης από την αντίπαλη πλευρά. Ως εκ τούτου τα πυρηνικά όπλα οφείλουν να είναι πάντα σε ετοιμότητα ακόμη και εάν δεν χρησιμοποιηθούν ποτέ (Ζαλίδης, 2023).

¹⁵⁵ Ήταν το κυρίαρχο Αμερικανικό αμυντικό δόγμα, κατά τη δεκαετία του 1950, εναντίων Σοβιετικών στρατηγικών και πολιτικών στόχων σε περίπτωση επίθεσης. Αποτελούσε μια πολιτική δέσμευσης αντεπίθεσης, με πολύ μεγαλύτερη πυρηνική ισχύ από του επιτιθέμενου, ως δυνατότητα Β΄ πλήγματος (Ζαλίδης, 2023).

εξοπλισμών¹⁵⁶, ο ανταγωνισμός της κατάκτησης του διαστήματος¹⁵⁷ και το χάσμα των πυραύλων¹⁵⁸ έφερε στο προσκήνιο το δόγμα της Αμοιβαίας Εξασφαλισμένης Καταστροφής (MAD – Mutual Assured Destruction)¹⁵⁹ και μέσω του φοβοτόκου χάους της ισορροπίας του τρόμου επήλθε η τάξη της ψυχροπολεμικής ειρήνης.

¹⁵⁶ Ήταν ο τεχνολογικός ανταγωνισμός ισχύος (ποιοτικά και ποσοτικά), μεταξύ ΗΠΑ και ΕΣΣΔ, στην ανάπτυξη και εξασφάλιση πυρηνικών όπλων, βαλλιστικών πυραύλων, αλλά και διαστημικών δορυφόρων κατά τη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου (1947-1991). Όσο οι εξοπλισμοί αυξάνονταν τόσο η ισορροπία ισχύος γινόταν όλο και πιο ασταθής.

¹⁵⁷ Ήταν ο Σοβιετικός τεχνολογικός ανταγωνισμός ώστε να επέλθει στρατηγική εξισορρόπηση με της ΗΠΑ. Ο στρατιωτικός ανταγωνισμός του διαστήματος αποτέλεσε απότοκο της κούρσας των εξοπλισμών και ως εκ τούτου η αστροναυτική αναπτύχθηκε διαμέσου της στρατιωτικής τεχνολογίας. Τα συστήματα εκτόξευσης δορυφόρων ήταν διηπειρωτικοί βαλλιστικοί πύραυλοι, με διαφορετική κεφαλή, οι οποίοι έμπαιναν σε τροχιά τεχνητού δορυφόρου μέσω αύξησης της ταχύτητάς τους και αλλαγών στις ρυθμίσεις κατεύθυνσης και εκτόξευσης (Κουσκουβέλης, 2000).

Ο πρώτος δορυφόρος που εκτοξεύτηκε παγκοσμίως ήταν ο Σοβιετικός Sputnik-1 το 1957. Για την εκτόξευσή του χρησιμοποιήθηκε ο R-7/ Semyorka, ο πρώτος διηπειρωτικός βαλλιστικός πύραυλος που κατασκευάστηκε στον κόσμο.

Britannica (n.d.). R-7.

<https://www.britannica.com/technology/R-7>

¹⁵⁸ Ήταν μια πλασματική αντίληψη και διαμάχη των ΗΠΑ που διήρκεσε από το 1957 έως το 1962, όταν ο υπουργός άμυνας Robert McNamara δήλωσε πως το χάσμα των πυραύλων ήταν ένα μύθευμα. Η επιτυχής διαστημική εκτόξευση του Sputnik-1 το 1957 και η ανάπτυξη της διηπειρωτικής βαλλιστικής πυραυλικής τεχνολογίας από τη ΕΣΣΔ, δημιούργησαν στις ΗΠΑ την αντίληψη πως οι Σοβιετικοί προηγούνται τεχνολογικά, ποιοτικά και ποσοτικά σε πυραυλικά συστήματα, οπότε κινδυνεύει η Αμερικανική αποτρεπτική ικανότητα από μία επικείμενη επίθεση στα πυρηνικά τους οπλοστάσια και συστήματα. Η πυραυλική ανισότητα εκτιμήθηκε το 1957 από την Αμερικανική επιτροπή Gaither, με στοιχεία της C.I.A και της πολεμικής αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών (USAF). Το χάσμα των πυραύλων υποστηρίχθηκε από τον John F. Kennedy κατά την προεκλογική του εκστρατεία το 1958, αλλά το αρνήθηκαν σθεναρά ο πρόεδρος Dwight Eisenhower και ο αντιπρόεδρος Richard Nixon. Η ορθή όπως αποδείχθηκε πεποίθησή τους στηρίχθηκε στις πληροφορίες που είχε συνελλέξει το αεροσκάφος U-2 από τις αναγνωριστικές πτήσεις που διεξήγαγε πάνω από το Σοβιετικό έδαφος.

Κουσκουβέλης, 2000. &

Thielmann, G. (n.d.). *The missile gap and its progeny*. Arms Control Association.

<https://www.armscontrol.org/act/2011-05/missile-gap-myth-and-its-progeny>

¹⁵⁹ Είναι η κατάσταση κατά την οποία και οι δύο αντίπαλες πλευρές διαθέτουν την πυρηνική δυνατότητα Β' πλήγματος, μεταβαίνοντας σε μια μη αναστρέψιμη κλιμάκωση αμοιβαίας εξουδετέρωσης. Βασίζεται στην Ορθολογική Αποτροπή (Rational Deterrence), η οποία αναφέρεται στην αποτροπή που δημιουργεί αμοιβαίως η κατοχή πολύ ισχυρών όπλων, λόγω του φόβου της επικείμενης ζημίας (άγνωστο το ποσοστό του οφέλους έναντι του εγγυημένου ποσοστού της ζημίας). Η όλη προσέγγιση ανήκει στη λεγόμενη Ισορροπία του Nash (Nash Equilibrium), η οποία είναι μια μέθοδος επίλυσης ζητημάτων, για μη συνεργατικά στρατηγικά σχήματα, της θεωρίας παιγνίων. Σύμφωνα με την άνωθεν θεωρία, ο κάθε παίκτης γνωρίζει τη στρατηγική ισορροπία θα ακολουθήσουν οι λοιποί παίκτες και αλλάζοντας μόνο τη δική του στρατηγική, ενώ οι υπόλοιποι μένουν αμετάβλητοι, δεν επιφέρει κανένα όφελος για τον ίδιο. Οι υποστηρικτές του δόγματος της Αμοιβαίας Εξασφαλισμένης Καταστροφής βασίζουν την πίστη τους στο γεγονός πως η ελεγχόμενη ανάπτυξη και κατοχή πυρηνικών όπλων, από ορθολογικούς δρώντες, είναι αναγκαία για τη παγκόσμια σταθερότητα, καθώς μειώνει τον κίνδυνο κλιμάκωσης προς έναν ολέθριο πυρηνικό πόλεμο.

Κουσκουβέλης, 2000. & Ζαλίδης, 2023. &

Mutual Assured Destruction. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Mutual_assured_destruction &

Nash equilibrium. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Nash_equilibrium

Σήμερα είναι γνωστοποιημένη η ύπαρξη εννέα πυρηνικών κρατών. Οι πέντε μεγάλες πυρηνικές δυνάμεις: ΗΠΑ, Ρωσία, Ηνωμένο Βασίλειο, Γαλλία και Κίνα, οι οποίες είναι μόνιμα μέλη του Συμβουλίου Ασφαλείας του ΟΗΕ, με δικαίωμα αρνησικυρίας, αποδέχονται το ρόλο της ΙΑΕΑ και έχουν υπογράψει (ή και έχουν επικυρώσει) την Συνθήκη για τη Μη Διάδοση των Πυρηνικών Όπλων¹⁶⁰ (NPT – Non-Proliferation Treaty). Το Ισραήλ¹⁶¹, η Ινδία, το Πακιστάν και η Βόρεια Κορέα¹⁶², τα οποία κράτη δεν είναι συμβαλλόμενα μέρη της NPT, ούτε και αποδέχονται τις αρχές της ΙΑΕΑ. Σύμφωνα με γνωστοποιημένα στοιχεία, λόγω της αρχής των εθνικών διαβαθμισμένων πληροφοριών¹⁶³, εν έτη 2024, όλα τα πυρηνικά κράτη συνολικά διαθέτουν άνω των 12.100 πυρηνικών κεφαλών, με τις ΗΠΑ και τη Ρωσία να διαθέτουν, κατά προσέγγιση, το 88% του συνολικού πυρηνικού οπλοστασίου και το 84% των ετοιμοπόλεμων πυρηνικών κεφαλών παγκοσμίως. Εκ των άνωθεν οι 9.585 πυρηνικές κεφαλές, κατά προσέγγιση, βρίσκονται ως στρατιωτικά αποθέματα για χρήση από υποβρύχια (SLBM), βομβαρδιστικά αεροσκάφη, πολεμικά πλοία και πυραύλους φορείς, ενώ οι υπόλοιπες αναμένουν τον επικείμενο αφοπλισμό τους. Από τις 9.585 αποθηκευμένες πυρηνικές κεφαλές, οι 3.904 αναπτύσσονται από επιχειρησιακές δυνάμεις και από αυτές οι 2.100 περίπου πυρηνικές κεφαλές βρίσκονται σε άμεση ετοιμότητα (ΗΠΑ, Ρωσία, Ηνωμένο Βασίλειο και Γαλλία). Η Ρωσία διαθέτει το μεγαλύτερο πυρηνικό οπλοστάσιο παγκοσμίως, ακολουθούν με οριακή διαφορά οι ΗΠΑ, μετέπειτα με φθίνουσα σειρά η Κίνα, η Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ινδία, το Πακιστάν, το Ισραήλ και η Βόρεια Κορέα¹⁶⁴.

¹⁶⁰ Η NPT υιοθετήθηκε από τη Γενική Συνέλευση του ΟΗΕ το 1968 όπου και υπεγράφη. Βασικοί της πυλώνες είναι: α) η μη διάδοση των πυρηνικών όπλων, στα κράτη που δεν κατέχουν πυρηνικά όπλα, ώστε να μην αυξηθεί σε οριζόντια κλίμακα ο αριθμός των πυρηνικών κρατών και ο κίνδυνος γενικευμένης αποσταθεροποίησης του παγκοσμίου status quo, β) ο αφοπλισμός, ώστε τα πυρηνικά κράτη να ελαττώσουν τα πυρηνικά εξοπλιστικά τους προγράμματα και γ) η ειρηνική χρήση της πυρηνικής ενέργειας και τεχνολογίας στα πλαίσια διακρατικών και πολυμερών συνεργασιών, τηρουμένων των κανόνων και των διασφαλίσεων της ΙΑΕΑ*. Δεν εισήγαγε την καθολική απαγόρευση των πυρηνικών όπλων, αλλά σταθεροποιούσε την ήδη υπάρχουσα κατάσταση κατά τη χρονική περίοδο της υπογραφής. Τα κράτη που είχαν αναπτύξει πυρηνικά όπλα πριν την 1^η Ιανουαρίου του 1967 είχαν το δικαίωμα να εισχωρήσουν στη συνθήκη διατηρώντας την ιδιότητά τους ως πυρηνικές δυνάμεις. Η συνθήκη δεσμεύει αμφίδρομα στις μεταξύ τους σχέσεις τόσο τα πυρηνικά κράτη όσο και τα μη έχοντα πυρηνικά όπλα. Τέθηκε σε ισχύ στις 5 Μαρτίου του 1970 και συνεχίζει να υφίσταται σε παγκόσμια εμβέλεια.

* Η Διεθνής Υπηρεσία Ατομικής Ενέργειας (ΙΑΕΑ) παρέχει τους απαραίτητους μηχανισμούς διασφαλίσεων ώστε να επαληθεύεται η τήρηση της NPT. (Ζαλίδης, 2023).

¹⁶¹ Αν και κατέχει πυρηνικά όπλα από τη δεκαετία του 1960, επισήμως δεν είναι αναγνωρισμένη πυρηνική δύναμη. Θεωρείτε πως για πολιτικούς λόγους διατηρεί σκοπίμως αυτή τη στρατηγική ασάφεια και πυρηνική αδιαφάνεια.

The Center For Arms Control and Non-Proliferation (n.d.). *Israel*.

<https://armscontrolcenter.org/countries/israel/> &

Nuclear Threat Initiative (2024, July 3). *Israel*.

<https://www.nti.org/countries/israel/>

¹⁶² Η Λαοκρατική Δημοκρατία της Κορέας ήταν αρχικά συμβαλλόμενο μέρος της συνθήκης, από το 1985, όμως το 2003 αποχώρησε.

¹⁶³ Αναφέρετε σε κάθε πληροφορία, έγγραφο ή υλικό που προστατεύεται μέσω της διαβάθμισης ασφαλείας οποιουδήποτε επιπέδου. Οι πληροφορίες αυτές δεν δύνανται να δημοσιοποιηθούν άνευ αδείας (από ανωτέρα αρχή) καθώς μπορούν να βλάψουν ποικιλότροπος την εθνική ασφάλεια του κράτους.

¹⁶⁴ Kristensen, H., Korda, M., Johns, E., Knight, M., & Kohn, K. (2024, March 29). *Status of World Nuclear Forces*. Federation of American Scientists.

Εν κατακλείδι, τα πυρηνικά κράτη μέσω πολιτικών δεσμεύσεων και στρατηγικών, προσφέρουν τη πυρηνική τους κάλυψη και προστασία¹⁶⁵ στα μη πυρηνικά κράτη των συμμαχιών τους στα πλαίσια της συλλογικής ασφάλειας¹⁶⁶, καθώς η NPT δεν απαγορεύει αυτή τη δυνατότητα μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών της πυρηνικών και μη. Η ενέργεια αυτή είναι γνωστή με το χαρακτηρισμό πυρηνική ομπρέλα. Μέσω αυτής της δυνατότητας φιλοξενούνται μη στρατηγικά πυρηνικά όπλα στα εδάφη των μη πυρηνικών συμμαχικών κρατών και με τη σειρά τους τα κράτη αυτά συμμετέχουν ενεργά σε παροχή τεχνογνωσίας, σε διαβουλεύσεις και σε ανάπτυξη ασκήσεων, όσον αφορά τον σχεδιασμό της απειλής ή της χρήσης των πυρηνικών όπλων υπέρ της συμμαχίας. Μια συμμαχία πυρηνικής ομπρέλας αποτελεί και ο Οργανισμός Βορειοατλαντικού Συμφώνου (NATO). Ο οργανισμός ως συμμαχία δεν διαθέτει στη κατοχή του πυρηνικά όπλα, διαθέτουν όμως οι τρεις πυρηνικές δυνάμεις της συμμαχίας: οι ΗΠΑ, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γαλλία. Ως εκ τούτου μέσω του νομικού πλαισίου «NATO Nuclear Sharing Agreements» γίνεται εφικτή η εγκατάσταση Αμερικανικών πυρηνικών όπλων σε Ευρωπαϊκό έδαφος (Ζαλίδης, 2023)¹⁶⁷.

<https://fas.org/initiative/status-world-nuclear-forces/>

¹⁶⁵ Διατηρώντας, κατά την διάθεση σε τρίτο έδαφος, την κατοχή και τον απόλυτο έλεγχο των εθνικών τους πυρηνικών όπλων. Υπάρχει όμως και η δυνατότητα μεταβίβασης της διοίκησης και του ελέγχου των πυρηνικών όπλων, που διατέθηκαν σε τρίτες συμμαχικές χώρες, μέσω εξουσιοδότησης, για παράδειγμα στα πλαίσια του NATO από τον Πρόεδρο των ΗΠΑ, σε αρμόδιους των συμμαχικών χωρών, οι οποίοι καθίσταντο υπεύθυνοι για την χρήση αυτών των πυρηνικών όπλων σε προεγκεκριμένους στόχους (Ζαλίδης, 2023).

¹⁶⁶ Η πυρηνική ομπρέλα αναπτύχθηκε κυρίως την ψυχροπολεμική περίοδο με τις πρώτες συμφωνίες ανταλλαγής πυρηνικών όπλων, από τις ΗΠΑ επί Ευρωπαϊκού εδάφους, στα πλαίσια της συμμαχίας του NATO, να λαμβάνουν χώρα το 1958. Με το πέρας της περιόδου αυτής και στην αυγή της δεκαετίας του 1990, οι ΗΠΑ ξεκίνησαν να αποσύρουν ένα μεγάλο μέρος των μη στρατηγικών πυρηνικών όπλων που είχαν εγκαταστήσει στο Ευρωπαϊκό θέατρο, με τις θερμοπυρηνικές βόμβες βαρύτητας* B61 να είναι από τα λίγα εναπομείναντα πυρηνικά όπλα (στην Ελλάδα απομακρύνθηκαν το 2001).

Erästö, T. (2023). Endorsing nuclear deterrence through policy and practice. § Nuclear weapon hosting. In, *The role of umbrella states in the global nuclear order*. SIPRI (No.2023/06).

https://www.sipri.org/sites/default/files/2023-06/global_nuclear_order.pdf

* Επίσης γνωστή και ως βόμβα ελεύθερης πτώσης. Είναι μη κατευθυνόμενη συμβατική ή πυρηνική βόμβα, δηλαδή χωρίς σύστημα καθοδήγησης και ρίπτετε από βομβαρδιστικό αεροσκάφος. Όλες οι βόμβες κατά τη διάρκεια του Β΄ ΠΠ ανήκαν σε αυτή τη κατηγορία (και οι ατομικές βόμβες που ρίχθηκαν στη Hiroshima και στο Nagasaki) καθώς και η πλειοψηφία των βομβών έως και το 1990.

Unguided bomb. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Unguided_bomb

¹⁶⁷ Ζαλίδης, 2023. &

International Human Rights Clinic (2018). *Nuclear umbrella arrangements and the treaty on the prohibition of nuclear weapons*. Human Rights program at Harvard Law School.

https://hrp.law.harvard.edu/wp-content/uploads/2018/06/Nuclear_Umbrella_Arrangements_Treaty_Prohibition.pdf

4.3 Βασικότεροι τύποι πυρηνικών όπλων

Η λέξη βόμβα προέρχεται από την ηχομιμητική λέξη βόμβος, που είναι η βουή, ο συνεχής θόρυβος χαμηλής-μεσαίας έντασης. Δεν δίνεται καμία περεταίρω πληροφορία επί των ιδιοτήτων της. Η γενική επικρατούσα εντύπωση είναι η απόδοση έκρηξης και πρόκλησης καταστροφής, όμως σύμφωνα με την άποψη του καθηγητή Δρ. Θ.Ε. Λιόλιου, διευθυντή του Ελληνικού Κέντρου Ελέγχου Όπλων «Αθηνά», είναι πιο δόκιμη η χρήση των λέξεων πυρομαχικά¹⁶⁸ και όπλα¹⁶⁹, κυρίως αναφερόμενος στα όπλα εκφυλισμένου Ουρανίου. Ακολουθώντας αυτή την εννοιολογική αρχή θα αναλύσω τις βασικότερες διατάξεις, λειτουργίες και ιδιότητες των πυρηνικών όπλων που ακολουθούν κάτωθι. Η ανάλυση κινείται στα πλαίσια της βασικής παρουσίασης της δομής των εκρηκτικών συστημάτων τους και του τρόπου λειτουργίας βάση του ραδιενεργού χημικού στοιχείου που περιέχουν ως γόμωση.

4.3.1 Όπλα πυρηνικής σχάσης (Βόμβα σχάσης)

Ο κρίσιμος παράγοντας για την ανάπτυξη πυρηνικών όπλων σχάσης είναι η καθαρότητα και η επάρκεια ποσότητας σχάσιμου υλικού. Καταλληλότερα ραδιενεργά χημικά στοιχεία είναι τα ισότοπα του U-235 και του Pu-239¹⁷⁰. Απαιτούμενη διαδικασία είναι να συναθροιστεί με μεγάλη ταχύτητα η κρίσιμη μάζα, είτε του U-235 είτε του Pu-239 και να βληθεί την κατάλληλη στιγμή με νετρόνια, ώστε να προκληθεί η αλυσιδωτή αντίδραση. Για να εξασφαλιστεί η απόδοση της κρίσιμης μάζας, ώστε να επέλθει επιτυχώς η αλυσιδωτή αντίδραση, το εκρηκτικό υλικό βρίσκεται συνήθως υπό μορφή σφαίρας. Αναλόγως των περιπτώσεων, η σφαίρα του εκρηκτικού υλικού είναι καλυμμένη από μια προαιρετική ποσότητα φυσικού Ουρανίου (ή άλλου χημικού στοιχείου όπως π.χ. το βηρύλλιο-Be, ή το βολφράμιο-W, αναλόγως τον τύπο της εκρηκτικής ύλης). Το περίβλημα αυτό καλείται ανακλαστήρας (tamper) και

¹⁶⁸ Έχουν περισσότερο διατρητικές (κατά της θωράκισης των τεθωρακισμένων αρμάτων μάχης) ιδιότητες παρά εκρηκτικές.

¹⁶⁹ Στην αρχαία Ελλάδα των κλασικών χρόνων (480 π.Χ.-323 π.Χ.) Το λεγόμενο όπλον ήταν η βαριά στρογγυλή ασπίδα που έφεραν οι οπλίτες (από την οποία πήραν και το όνομά τους) πολιτοφύλακες (οι στρατιώτες-πολίτες της πόλης κράτους, μεσαίας τάξης, μη επαγγελματίες πολεμιστές, με εξαίρεση τους Σπαρτιάτες). Η λέξη όπλο προέρχεται από το ρήμα ἔπω = ασχολούμαι, καταπιάνομαι, φροντίζω (τεύχε' ἔποντα = ασχολούνταν με την πανοπλία του, σε Ομήρ. Ιλ.).

https://www.greek-language.gr/digitalResources/ancient_greek/tools/liddel-scott/search.html?lq=%E1%BC%95%CF%80%CF%89&exact=true &

ΕΚΠΑ. Σημειώσεις μαθημάτων. Υφαντής. Κ, Αμυντική πολιτική και στρατηγική. P_MerosIV_Class.Strat.-2-Ellada.zip.

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/?course=PSPA104>

¹⁷⁰ Τα ισότοπα U-235 και Pu-239 αντιδρούν αμεσότερα προς σχάση μέσω θερμικών/ αργών νετρονίων, ενέργειας 1 eV - electron volt ενώ το ισότοπο U-238 είναι δυνητικά σχάσιμο μέσω ταχέων νετρονίων, ενέργειας άνω των 2 MeV (Λιόλιος, 2009).

η λειτουργία του είναι να αποτρέψει τη διαφυγή των νετρονίων έξω από τη μάζα του εκρηκτικού υλικού, μέσω της ανάκλασής τους, από τη σύγκρουση με τους πυρήνες του φυσικού Ουρανίου, πίσω στο πυρήνα της σφαίρας. Επιπροσθέτως μειώνεται η κρίσιμη μάζα του σχάσιμου υλικού και επέρχεται καθυστέρηση¹⁷¹ της διαστολής του. Μέσω αυτών των ενεργειών αυξάνεται η εκρηκτική απόδοση της πυρηνικής συσκευής σχάσης¹⁷².

Όπως έχουμε αναφερθεί, για την λήψη των δύο βασικών ραδιοϊσοτόπων U-235 και Pu-239, καθώς δεν υπάρχουν αυτούσια στη φύση¹⁷³, απαιτούνται ειδικές διεργασίες μεγάλης ενεργειακής κατανάλωσης σε ειδικά εργαστήρια και σε πυρηνικούς αντιδραστήρες¹⁷⁴. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία των πυρηνικών όπλων είναι η συγκέντρωση του U-235 να είναι οπλικής βαθμίδας καθαρότητας¹⁷⁵ γύρω στο 90% και του Pu-239 στο 93%¹⁷⁶. Το U-235 αποτελεί ένα ελάχιστο ποσοστό του Ουρανίου που βρίσκεται στη φύση, με το ισότοπο U-238 να υπερτερεί¹⁷⁷. Απαιτείται ο διαχωρισμός

¹⁷¹ Ο ανακλαστήρας προκαλεί ένα ποσοστό αδράνειας καθώς, μέσα στο χρονικό διάστημα που απαιτείται, ώστε τα νετρόνια να ανακλαστούν πίσω στο πυρήνα της σφαίρας του εκρηκτικού υλικού (αντί να προκαλέσουν σχάσεις πυρήνων με εκπομπή νέας σειράς νετρονίων), η διαδικασία της αλυσιδωτής αντίδρασης έχει προχωρήσει και έτσι η συνεισφορά επιπλέον νετρονίων έχει υποστεί μια κάποια μείωση.

Tamper (nuclear weapon). In Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Tamper_\(nuclear_weapon\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Tamper_(nuclear_weapon))

¹⁷² Θεοφίλου, 1984 &

Tamper (nuclear weapon). In Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Tamper_\(nuclear_weapon\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Tamper_(nuclear_weapon))

¹⁷³ Το U-235 αποτελεί το 0,7% του φυσικού Ουρανίου. Το Pu-239 δεν υπάρχει στη φύση.

¹⁷⁴ Εγκατάσταση εντός της οποίας εκδηλώνεται ελεγχόμενη αλυσιδωτή αντίδραση (σχάση) παράγοντας ενέργεια και απελευθερώνοντας θερμότητα. Το απαιτούμενο ποσό καθαρότητας του ισότοπου του U-235 για να λειτουργήσει ένας πυρηνικός αντιδραστήρας είναι γύρω στα 3%. Ο πρώτος πυρηνικός αντιδραστήρας, γνωστός ως Chicago Pile-1, κατασκευάστηκε το 1942, από τον Ιταλό φυσικό Enrico Fermi στα πλαίσια του προγράμματος Manhattan, στο πανεπιστήμιο του Chicago.

Nuclear Reactor. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_reactor

¹⁷⁵ Ουράνιο οπλικής βαθμίδας (WGU-Weapon Grade Uranium) αναφέρεται στο Ουράνιο υψηλού εμπλουτισμού (HEU - Hight Enriched Uranium) το οποίο περιέχει μεγαλύτερη αναλογία του ισότοπου U-235 από 90% και είναι κατάλληλο για τη κατασκευή πυρηνικών όπλων. Επίσης χρησιμοποιείται η κωδική ονομασία Orallloy (Oak Ridge alloy) για Ουράνιο υψηλού εμπλουτισμού WGU και προέρχεται από το ποσοστό του εμπλουτισμένου κράματος, που είχε κατασκευαστεί στα πλαίσια του προγράμματος Manhattan, σε U-235 στο 93,5%. Το Ουράνιο χαμηλού εμπλουτισμού (LEU - Low Enriched Uranium) το οποίο δεν ανέρχεται άνω του 5% σε U-235 είναι κατάλληλο για χρήση σε πυρηνικούς αντιδραστήρες (Λιόλιος, 2009).

¹⁷⁶ Πλουτώνιο οπλικής βαθμίδας (WGPU-Weapon Grade Plutonium) αφορά την καθαρότητα του Πλουτωνίου για οπλική χρήση. Για χρήση σε πυρηνικούς αντιδραστήρες το ποσοστό μπορεί να είναι γύρω στο 60%.

World nuclear association (2024, May 16). What is Uranium? How does it work? § *Military sources of fuel*.

<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/what-is-uranium-how-does-it-work#military-sources-of-fuel> &

World nuclear association (2017, February 28). *Military warheads as a source of Nuclear fuel*.

<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/military-warheads-as-a-source-of-nuclear-fuel>

¹⁷⁷ Το φυσικό Ουράνιο εμπεριέχει δύο ισότοπα το U-235 και το U-238 που απαντώνται σε ποσοστό 0,7196% και 99,276% αντίστοιχα. Το U-235 είναι ευκόλως σχάσιμο (έχει μεγαλύτερη ενεργό διατομή), καθώς μπορεί να

του U-235 από το U-238, δηλαδή ο εμπλουτισμός του U-235 ώστε να αυξηθεί η συγκέντρωση του ισότοπου αυτού απορρίπτοντας το ισότοπο U-238¹⁷⁸. Κύριες διεργασίες εμπλουτισμού είναι αυτές της αέριας διάχυσης και της φυγοκέντρωσης¹⁷⁹, με την τελευταία σήμερα να είναι επικρατέστερη. Η παραγωγή Pu-239 λαμβάνει χώρα σε πυρηνικό αντιδραστήρα μετατροπής όπου ο πυρήνας του ισότοπου U-238 δέχεται τη ριπή αργού νετρονίου. Το αργό νετρόνιο δεν προκαλεί σχάση του U-238 αλλά απορροφάται από τον πυρήνα του παράγοντας το U-239. Εν συνεχεία το U-239 μεταστοιχειώνεται, μέσω δύο διαδοχικών διασπάσεων - β-, σε Pu-239¹⁸⁰.

Εφόσον έχουν διευθετηθεί όλα όσα προαναφέρθηκαν και έχοντας ως πυρηνική εκρηκτική ύλη το Ουράνιο η διάταξη της εκρηκτικής συσκευής και η διαδικασία της πρόκλησης έκρηξης είναι η ακόλουθη (καλείται διάταξη θαλάμης, Gun Assembly¹⁸¹): Το σχάσιμο υλικό U-235 βρίσκεται διατεταγμένο υπό την μορφή σφαιριδίου και κοίλου κυλίνδρου αντίστοιχα (συνταιριάζουν απόλυτα μόλις ενωθούν), μικρότερων της κρίσιμης μάζας (υποκρίσιμη μάζα), ώστε να μην μπορέσουν να δημιουργήσουν αλυσιδωτή αντίδραση ως έχουν, τοποθετημένα σε δύο αμφίπλευρες διατάξεις μέσα στη θαλάμη της εκρηκτικής συσκευής. Όταν αυτές οι υποκρίσιμες μάζες των διατάξεων συνενωθούν μέσω σύγκρουσης, θα ξεπεράσουν την κρίσιμη μάζα (υπερκρίσιμη μάζα), ώστε να επέλθει η διαδικασία της

υποστεί σχάση ακόμη και με ριπή ενός βραδέος νετρονίου. Το U-238 δεν θεωρείται σχάσιμο (έχει μικρή ενεργό διατομή), καθώς απαιτεί ριπή από πολύ ταχέα νετρόνια ώστε να υποστεί την απαιτούμενη σχάση (Οικονόμου, 1991).

¹⁷⁸ Εάν η συγκέντρωση ήταν υψηλότερη σε U-238 και χαμηλότερη σε U-235, τότε έχουμε εξαντλημένο (ή απεμπλουτισμένο, ή εκφυλισμένο) Ουράνιο (U-235 = 0,2% και U-238 = 99,8%). Το εξαντλημένο Ουράνιο μένει ως απόβλητο μετά τη διαδικασία εμπλουτισμού.

http://users.uoa.gr/~nektar/science/environment/denriched_uranium.htm

¹⁷⁹ Οι διεργασίες διαχωρισμού βασίζονται στην μεγαλύτερη μάζα που διέπει το U-238, σε ποσοστό περίπου 1,3%, σε σχέση με το U-235. Η αέρια διάχυση (GDIS – Gaseous Diffusion Isotope Separation) αποτέλεσε τη πρώτη διαδικασία εμπλουτισμού υψηλού ποσοστού U-235 στην Αμερική (μία από αυτές τις εγκαταστάσεις βρισκόταν στο Oak Ridge), μετέπειτα χρησιμοποιήθηκε για εργοστασιακή παραγωγή ενέργειας και σήμερα θεωρείται απαρχαιωμένη (εγκαταλείφθηκε το 1992). Η διαδικασία αυτής της μεθόδου απλουστευμένα είναι πως όταν το Ουράνιο αεριοποιείται, το ελαφρύτερο ισότοπο U-235 διαπερνά τα ειδικά φίλτρα της συσκευής, ενώ το βαρύτερο U-238 συγκρατείται από αυτά. Κατά τη φυγοκέντρωση (GCIS – Gaseous Centrifuge Isotope Separation) το εξαερωμένο Ουράνιο περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα μέσα σε μια κυλινδρική συσκευή, με αποτέλεσμα το ελαφρύτερο ισότοπο U-235 να συγκεντρώνεται στο κέντρο, ενώ το βαρύτερο U-238 να διαφεύγει στα τοιχώματα. Επιπροσθέτως στο άμεσο μέλλον θα είναι εφικτή η νέα διαδικασία εμπλουτισμού του Ουρανίου, γνωστή ως SILEX (Separation of Isotopes by Laser Excitation). Η μέθοδος αυτή έχει αρχίσει να αναπτύσσεται από το 1992 και ουσιαστικά είναι ο διαχωρισμός των ισωτόπων του Ουρανίου μέσω φωτοδιέγερσης με χρήση laser.

United States Nuclear Regulatory Commission (2020, December 02). *Uranium Enrichment*.

<https://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/ur-enrichment.html>

¹⁸⁰ Το U-239 μέσω της ραδιενεργής διάσπασης - β- μετατρέπεται σε Ποσειδώνιο (Np-239) και με την ίδια διαδικασία το Ποσειδώνιο μετατρέπεται σε Pu-239. Η ραδιενεργός διάσπαση - β- είναι απλουστευμένα η διαδικασία όπου ένας ατομικός πυρήνας μεταστοιχειώνεται σε έναν νέο, αυξάνοντας τον ατομικό του αριθμό μέσω της μετατροπής ενός νετρονίου σε πρωτόνιο και εκπέμποντας ένα ηλεκτρόνιο.

Radioactivity.EU.com (n.d.). *Plutonium-239 formation*.

https://radioactivity.eu.com/articles/nuclearenergy/plutonium_239_formation &

Οικονόμου, 1991.

¹⁸¹ Η πυρηνική βόμβα Little Boy ήταν αυτής της κατηγορίας.

αλυσιδωτής αντίδρασης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του χημικού προωθητικού υλικού, το οποίο βρίσκεται πίσω από τη μία εκ των δύο διατάξεων των υποκρίσιμων μαζών του U-235. Όταν το προωθητικό υλικό πυροδοτηθεί, θα εκτοξεύσει, μέσα σε χρονικό διάστημα χιλιοστών του δευτερολέπτου, με μεγάλη ταχύτητα την μία υποκρίσιμη μάζα προς την άλλη, μέσα στη θαλάμη συνενώνοντάς τες. Ταυτοχρόνως μία ηλεκτρονική γεννήτρια νετρονίων τροφοδοτεί το σύστημα με νετρόνια, τα οποία βάζουν την υπερκρίσιμη μάζα του U-235 που έχει δημιουργηθεί, προκαλώντας την αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης. Προσέτι γίνεται χρήση του ανακλαστήρα καθυστερώντας τη διασπορά της πυρηνικής εκρηκτικής ύλης αυξάνοντας την οπλική απόδοση της συσκευής¹⁸².

Στη περίπτωση που η πυρηνική εκρηκτική ύλη είναι το Πλουτόνιο, τόσο η διάταξη της εκρηκτικής συσκευής όσο και η διαδικασία πρόκλησης έκρηξης διαφοροποιούνται (καλείται διάταξη ενδόρρηξης, Implosion Assembly¹⁸³). Το σχάσιμο υλικό Pu-239 είναι αναμεμειγμένο με τα βραχύβια ισότοπα Pu-240, Pu-241 και Pu-242 τα οποία, λόγω της μεγάλης ενεργού διατομής που τα χαρακτηρίζει, απορροφούν μεγάλο ποσοστό νετρονίων προβαίνοντας σε αυθόρμητες σχάσεις, οι οποίες εκπέμπουν περισσότερα νετρόνια. Το φαινόμενο αυτό είναι εξαιρετικά επικίνδυνο να θέσει την εκρηκτική συσκευή σε ακούσια πρόωρη πυροδότηση, μειώνοντας κατά πολύ την εκρηκτική αποδοτικότητα του όπλου. Ως εκ τούτου δεν θα ήταν δυνατή η επιτυχής συνένωση δύο διατάξεων υποκρίσιμων μαζών Pu-239, όπως λαμβάνει χώρα στην εκρηκτική συσκευή τύπου διάταξης όπλου, καθώς τα άτομα του σχάσιμου υλικού θα υφίστατο αυθόρμητες σχάσεις πριν την ολοκλήρωση της απαιτούμενης διαδικασίας.

Για το λόγο αυτό η σχεδίαση της εκρηκτικής συσκευής διαφοροποιήθηκε ακολούθως: Το Pu-239 βρίσκεται σε θυλάκιο υπό τη μορφή σφαίρας υποκρίσιμης μάζας, περικλειστο μέσα σε ένα κοίλο κέλυφος φυσικού Ουρανίου ή Βολφραμίου, το οποίο δρα ως ανακλαστήρας, καλωδιωμένο με συμβατικά εκρηκτικά. Με την πυροδότηση των εκρηκτικών δημιουργείται κρουστικό κύμα¹⁸⁴, κατευθυνόμενο από τη περιφέρεια προς το κέντρο (ενδόρρηξη/ έκρηξη κατάρρευσης), το οποίο συμπιέζει ταχύτητα τον ανακλαστήρα, ο οποίος με τη σειρά του συμπιέζει τον θύλακα του Pu-239. Κατά αυτό τον τρόπο, μειώνοντας τον όγκο του σχάσιμου υλικού, λόγω της συμπίεσης, αυξάνεται η

¹⁸² Θεοφίλου, 1984. & Λιόλιος, 2009. & Οικονόμου, 1991. & Wisconsin Project on Nuclear Arms Control (1999-2024). § Gun assembly design. In, *Nuclear Weapons Primer*. <https://www.wisconsinproject.org/nuclear-weapons/> & U.S Department of Energy (n.d.). The Manhattan Project an interactive history. § Gun-type Design. <https://www.osti.gov/opennet/manhattan-project-history/Science/BombDesign/gun-type.html> [Η εκρηκτική συσκευή τύπου διάταξης θαλάμης (gun assembly) είναι μικρότερης ισχύος από μια αντίστοιχη εκρηκτική συσκευή τύπου διάταξης ενδόρρηξης (implosion assembly). Επίσης φέρει θέματα ασφαλείας λόγω της κατασκευαστικής της σύστασης. Σήμερα η χρήση της διάταξης θαλάμης έχει παρέλθει].

¹⁸³ Η πυρηνική βόμβα Fat Man ήταν αυτής της κατηγορίας.

¹⁸⁴ Κύμα του οποίου η ταχύτητα υπερβαίνει την ταχύτητα του ήχου στο μέσο διάδοσης του κύματος αυτού. Shock Wave. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Shock_wave

πυκνότητά του καθιστώντας το σε κατάσταση υπερκρίσιμης μάζας. Η όλη διαδικασία αποσκοπεί στην συγκράτηση του πυρήνα του Pu-239 σε περιορισμένο όγκο, για όσο το δυνατό περισσότερο χρόνο, ώστε η εκθετική πρόοδος της αλυσιδωτής αντίδρασης να είναι αρκετά μεγάλη, παράγοντας μεγάλα ενεργειακά ποσά, προτού ο σχάσιμος πυρήνας διασπαστεί λόγω των εσωτερικών πιέσεων, αυξάνοντας την απόδοση της εκρηκτικής συσκευής. Εν συνεχεία και στον κατάλληλο χρόνο, η υπερκρίσιμη μάζα του εκρηκτικού υλικού αρχίζει να βάλλεται από νετρόνια, μέσω μιας νετρονιακής πηγής, η οποία καλείται εναρκτήρας, ξεκινώντας την διαδικασία της αλυσιδωτής αντίδρασης σχάσης. Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα ενίσχυσης της διαδικασίας σχάσης, και άρα της οπλικής απόδοσης, με τη εισαγωγή αέριων μικροποσών Δευτέριου και Τρίτιου στο πυρήνα του σχάσιμου υλικού Pu-239 μέσα στο θυλάκιο. Κατά την εξέλιξη της έκρηξης δημιουργείται υψηλή πίεση, η οποία υπερθερμαίνει το αέριο μείγμα του Δευτέριου και του Τρίτιου, στο κέντρο του σχάσιμου υλικού, προκαλώντας το φαινόμενο της σύντηξης. Από αυτή τη διαδικασία απελευθερώνονται περισσότερα νετρόνια τα οποία ενισχύουν τη σχάση του Pu-239¹⁸⁵.

4.3.2 Όπλα πυρηνικής σύντηξης (Βόμβα σύντηξης ή Υδρογονοβόμβα ή Θερμοπυρηνική βόμβα)

Η σύντηξη εξάγει ενέργεια από τους ατομικούς πυρήνες, συναινώντας τους ελαφρύτερους εξ αυτών και αποτελεί την τροφοδότρια ενεργειακή δύναμη των άστρων και του Ήλιου. Για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της σύντηξης πρέπει να υπερκεραστεί η ηλεκτροστατική άπωση που υφίσταται μεταξύ των πυρήνων. Το φαινόμενο της ηλεκτροστατικής άπωσης μειώνεται μεταξύ πυρήνων που φέρουν ένα πρωτόνιο. Ως εκ τούτου για τη διαδικασία της σύντηξης καταλληλότερα είναι το αμέταλλο χημικό στοιχείο του Υδρογόνου (H)¹⁸⁶, μαζί με τα ισότοπά του Δευτέριο (H-2/ D) και Τρίτιο (H-3/ T)¹⁸⁷ (όλα

¹⁸⁵ Λιόλιος, 2009. & Θεοφίλου, 1984. & Wisconsin Project on Nuclear Arms Control (1999-2024). § Implosion design. In, *Nuclear Weapons Primer*. <https://www.wisconsinproject.org/nuclear-weapons/>

[Η εκρηκτική συσκευή τύπου διάταξης ενδόρρηξης (implosion assembly) είναι αποδοτικότερη, εν αντιθέσει με την αντίστοιχη της διάταξης θαλάμης (gun assembly), και βρίσκεται εν ενεργεία].

¹⁸⁶ Αναφέρεται και ως H-bomb.

¹⁸⁷ Μόλις συντηχθούν σχηματίζουν ένα ασταθές ισότοπο Ηλίου-4 (He-4), το οποίο απελευθερώνει ενέργεια και νετρόνια. Εν συνεχεία τα νετρόνια αυτά βάλλουν τους βαρύτερους ατομικούς πυρήνες, όπως του U-235 ή του Pu-239, τροφοδοτώντας την διαδικασία της αλυσιδωτής αντίδρασης.

Η βόμβα σύντηξης στηρίζεται στην αντίδραση: $D + T = n^{\circ} + He + \text{Ενέργεια}$.

Επίσης στην βόμβα σύντηξης αντί για Τρίτιο γίνεται χρήση Λιθίου (Li), καθώς το Τρίτιο έχει μικρό χρόνο ζωής. [Το Τρίτιο αποτελεί παράγωγο του Λιθίου μέσω της απορρόφησης νετρονίων. Στην βόμβα σύντηξης το Λίθιο μεταστοιχειώνεται στο απαιτούμενο Τρίτιο, μέσω των νετρονίων που εκλύονται από τη βόμβα σχάσης].

Θεοφίλου, 1984. &

Belan, M. (2022, March 15). *The science of Nuclear Weapons, Visualised*. Visual Capitalist. <https://www.visualcapitalist.com/science-of-nuclear-weapons/>

τους φέρουν από ένα πρωτόνιο). Όμως και με τη χρήση ελαφρών πυρήνων το φαινόμενο της ηλεκτροστατικής άπωσης είναι αρκετά ισχυρό και απαιτούνται πολύ μεγάλα ποσά κινητικής ενέργειας, καθώς και υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων (οι οποίες επιφέρουν μείωση του όγκου του υλικού και άρα αύξηση της πυκνότητάς του), ώστε να υπερκεραστεί. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μιας πυρηνικής βόμβας σχάσης διάταξης θαλάμης, η οποία θα προσδώσει στον άνθρωπο την δυνατότητα να υπερκεράσει την ηλεκτροστατική άπωση και να καταφέρει την επίτευξη του φαινομένου της σύντηξης. Εκ της απλουστεύσεως η βόμβα σύντηξης χρησιμοποιεί ένα συνδυασμό (δύο σταδίων διαμόρφωσης-σχεδιασμός Teller-Ulam) σχάσης (βασική διάταξη πρωτογενούς έκρηξης) και σύντηξης (δευτερεύουσα διάταξη δευτερογενούς έκρηξης), εκλύοντας πολύ μεγαλύτερα ενεργειακά ποσά από αυτά των ατομικών βομβών¹⁸⁸.

Η βόμβα σύντηξης (όπλο σχάσης-σύντηξης-σχάσης) αποτελείται από τη βασική διάταξη, που περιέχει την πυρηνική εκρηκτική συσκευή σχάσης διάταξης θαλάμης, τη δευτερεύουσα διάταξη, που αποτελείται από ένα κύλινδρο, ο οποίος φέρει το υλικό συντήξεως (αποτελείται από ένα μείγμα Λιθίου και Δευτέρου) και στο κέντρο του μία ράβδο U-235 ή Pu-239, καθώς και ένα εξωτερικό μεταλλικό περίβλημα ανακλαστήρα (tamper) U-238. Στον κατάλληλο χρόνο πυροδοτείται η πυρηνική εκρηκτική συσκευή διάταξης θαλάμης προκαλώντας αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης. Μέσω της σχάσης δημιουργούνται πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις (λόγω της αντανάκλασης, από τα τοιχώματα του περιβλήματος U-238, που υφίστανται οι παραγόμενες, από τη σχάση της πυρηνικής εκρηκτικής συσκευής, ακτίνες-X) επιφέροντας τη σύντηξη του υλικού του κυλίνδρου. Επίσης η απόδοση του υλικού σύντηξης αυξάνεται λόγω της σχάσης που υφίσταται (εξαιτίας του κρουστικού κύματος που παρήχθη από τη σχάση της πυρηνικής εκρηκτικής συσκευής), όταν φθάσει σε υπερκρίσιμη μάζα, το ραδιενεργό χημικό υλικό της ράβδου στη καρδιά του κυλίνδρου. Εν συνεχεία τα νετρόνια που παρήχθησαν από τη σύντηξη (νετρόνια υψηλής ταχύτητας) σχάνε το εξωτερικό μεταλλικό περίβλημα του U-238 παράγοντας ταυτοχρόνως επιπλέον ποσά ενέργειας¹⁸⁹.

Λόγω της περιπλοκότητας της τεχνολογίας και του κόστους παραγωγής, που απαιτεί η ανάπτυξη της βόμβας σύντηξης, μόνο οι μεγάλες πυρηνικές δυνάμεις δύνανται να την αποκτήσουν και επιπλέον οι προαναφερθείς λόγοι καθιστούν τις θερμοπυρηνικές βόμβες μη πρωταρχικά πυρηνικά όπλα διάδοσης.

¹⁸⁸ Η ενεργειακή απόδοση της σύντηξης είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερη από την ενεργειακή απόδοση της σχάσης, θεωρητικά εκλύει απεριόριστα ποσά ισχύος. Αυτό είναι απόρροια της μη απαίτησης σχηματισμού κρίσιμης μάζας και ως εκ τούτου δεν υπάρχει περιορισμός της ποσότητας του υλικού σύντηξης (Οικονόμου, 1991).

¹⁸⁹ Οικονόμου, 1991. & Θεοφίλου, 1984. & Wisconsin Project on Nuclear Arms Control (1999-2024). § Implosion design. In, *Nuclear Weapons Primer*. <https://www.wisconsinproject.org/nuclear-weapons/> & Union of Concerned Scientists (2016, September 29). *How do nuclear weapons work?* <https://www.ucsusa.org/resources/how-nuclear-weapons-work>

Η έναρξη της θερμοπυρηνικής εποχής ξεκινά το 1950, όταν ο Αμερικανός πρόεδρος Harry Truman εξέδωσε την απόφαση για ανάπτυξη θερμοπυρηνικών όπλων. Πατέρας της θερμοπυρηνικής βόμβας θεωρείται ο Ουγγροαμερικανός φυσικός και χημικός μηχανικός Edward Teller¹⁹⁰. Η πρώτη Αμερικανική υδρογονοβόμβα 10.4 MT (η οποία δεν απευθυνόταν για στρατιωτική χρήση), η Ivy Mike, δοκιμάστηκε επιτυχώς το 1952, στη νήσο Elugelab¹⁹¹ εξαφανίζοντάς τη. Η δεύτερη Αμερικανική υδρογονοβόμβα 15 MT, η Castle Bravo, δοκιμάστηκε επιτυχώς το 1954, στην Ατόλη Bikini των νήσων Marshall, αποτελώντας το μεγαλύτερο πυρηνικό όπλο που πυροδότησαν στην ιστορία τους οι ΗΠΑ. Στον αντίποδα η ΕΣΣΔ ακολούθησε το 1953 με την πρώτη δομική υδρογονοβόμβα, η οποία δεν ξεπερνούσε σε ισχύ τους 400 KT, την RDS-6s (Joe-4), που έλαβε χώρα στο κέντρο δοκιμών Semipalatinsk στο Καζακστάν. Η δεύτερη πυροδότηση υδρογονοβόμβας, με ισχύ της τάξεως των 1,4 MT, της RDS-37, έλαβε χώρα το 1955 στην ίδια περιοχή. Στη συνέχεια οι Σοβιετικοί ανέπτυξαν το ισχυρότερο πυρηνικό όπλο που υπήρξε και κατασκευάστηκε στην ιστορία της ανθρωπότητας, την θερμοπυρηνική βόμβα RDS-220, γνωστή ως Tsar Bomba (αλλά και με τις κωδικές ονομασίες AN602, Ivan και Vanya), με εκρηκτική ισχύ της τάξεως των 50MT. Η δοκιμή της έλαβε χώρα το 1961, στη περιοχή δοκιμών του κόλπου Mityushikha της νήσου Severny, του αρχιπελαγικού νησιωτικού συμπλέγματος Novaya Zemlya, στον Αρκτικό Ωκεανό¹⁹². Έως και σήμερα δεν έχει γίνει χρήση βόμβας σύντηξης σε καμία ένοπλη σύρραξη ή πόλεμο¹⁹³.

¹⁹⁰ Ο Edward Teller μαζί με τον Πολωνό πυρηνικό φυσικό και μαθηματικό Stanisław Ulam, ανέπτυξαν τον τεχνολογικό σχεδιασμό Staged Radiation Implosion (έκρηξη ακτινοβολίας σε στάδια) γνωστό ως Teller-Ulam, ο οποίος αναφέρετε στα δύο στάδια, πρωτεύον και δευτερεύον, από τα οποία αποτελείται ο συνδυασμένος εκρηκτικός μηχανισμός των πυρηνικών όπλων σύντηξης. Αποτελεί στρατιωτικό απόρρητο στο οποίο βασίστηκαν τα σύγχρονα πυρηνικά όπλα σύντηξης.

(Για περισσότερα παρατίθεται ο κάτωθι ιστότοπος από τη σελίδα Nuclear Weapon Archive)
<https://nuclearweaponarchive.org/Library/Teller.html>

¹⁹¹ Η νήσος ήταν μέρος του νησιωτικού κοραλλιογενούς συμπλέγματος (Ατόλη) Enevetak των νήσων Marshall του Ειρηνικού Ωκεανού.

Elugelab. In Wikipedia.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Elugelab>

¹⁹² Κουσκουβέλης, 2000. & Οικονόμου, 1991. & Βερέττας, 2011. & Atomic Heritage Foundation (2014, August 8). *Tsar Bomba*.
<https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/history/tsar-bomba/> &
Atomic Heritage Foundation (2014, August 8). *Soviet Hydrogen Bomb Program*.
<https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/history/soviet-hydrogen-bomb-program/> &
Atomic Heritage Foundation (2017, March 1). *Castel Bravo*.
<https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/history/castle-bravo/> &

¹⁹³ Chan, M. (2017, September 22). *What is the difference between a Hydrogen Bomb and an Atomic Bomb?* Harry S. Truman Library.
<https://www.trumanlibrary.gov/sites/default/files/2019-10/Development%20of%20the%20Hydrogen%20Bomb-%20Document%20Set.pdf>

4.3.3 Όπλα νετρονίων (Βόμβα νετρονίων)

Η βόμβα νετρονίων εφευρέθηκε από τον Αμερικανό φυσικό Samuel T. Cohen το 1958, ο οποίος διατελούσε σύμβουλος στο Εθνικό Εργαστήριο του Lawrence Livermore (LLNL) της California. Οι πρώτες δοκιμές καθώς και οι περεταίρω τεχνολογικές εξελίξεις έλαβαν χώρα τη δεκαετία του 1960. Ο χαρακτηρισμός ‘βόμβα νετρονίων’ πρωτοεμφανίστηκε στο περιοδικό US News & World Report το 1959, το οποίο την περιέγραψε «ως ακτίνα θανάτου» και η οποία «θα σκότωνε τον άνθρωπο με ρεύματα δηλητηριώδους ακτινοβολίας, αφήνοντας άθικτα τα μηχανήματα και τα κτήρια»¹⁹⁴. Αναπτύχθηκε κατά τον ψυχροπολεμικό ανταγωνισμό, αναμεταξύ του NATO και του Συμφώνου της Βαρσοβίας, με σκοπό να πληξεί τα πληρώματα των Σοβιετικών συμβατικών τεθωρακισμένων μεραρχιών, καθώς τα νετρόνια δύνανται να διεισδύσουν μέσα από τη θωράκιση των τανκς, που βρίσκονταν στα σύνορα του Ανατολικού και Δυτικού Ευρωπαϊκού θεάτρου, αντικαθιστώντας τις έως τότε ατομικές πυρηνικές κεφαλές σχάσης. Ο σχεδιασμός της χαρακτηρίστηκε, από τους στρατιωτικούς κύκλους των ΗΠΑ, ως αμυντικός και αποτρεπτικός, κατηγορίας πυρηνικών τακτικών όπλων μικρού βεληνεκούς, επιχειρησιακού επιπέδου, αντιαρματικής χρήσης. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως για πυρηνικές κεφαλές αντιβαλλιστικών πυραύλων¹⁹⁵ (ABM - Anti-Ballistic Missiles), όπως η W66 για το αντιβαλλιστικό

¹⁹⁴ The term “neutron bomb” first appeared in 1959 in US News & World Report, which called it a “death ray” that “would kill man with streams of poisonous radiation, while leaving machines and buildings undamaged.” Corell, J. T. (2017, October 30). The Neutron Bomb. Air & Space Forces magazine. <https://www.airandspaceforces.com/article/the-neutron-bomb/>

¹⁹⁵ Είναι πύραυλος αμυντικού χαρακτήρα εδάφους-αέρος, που φέρει κεφαλή, στη περίπτωση που αναλύουμε, νετρονιακής ακτινοβολίας και εκτελεί βαλλιστική τροχιά, με στόχο την αναχαίτηση βαλλιστικών απειλών, κυρίως διηπειρωτικών βαλλιστικών πυραύλων (ICBM - Intercontinental Ballistic Missile) και εξωατμοσφαιρικών βαλλιστικών πυραύλων πολλαπλών κεφαλών (MIRV - Multiple Independently Targetable Re-entry Vehicle). Σε αυτή τη περίπτωση η έλκυση των νετρονίων από τη σχάση της κεφαλής του ABM (σε απόσταση κάποιων μέτρων από τον πύραυλο στόχο, περίπου 100 m) θα προκαλούσε μερική σχάση στις κοντινές κεφαλές των εχθρικών πυραύλων ICBM και MIRV, παρεμποδίζοντας την ορθή λειτουργία τους. Η πρώτη εφαρμογή συστήματος ABM ενισχυμένης ακτινοβολίας ήταν η Αμερικανική θερμοπυρηνική κεφαλή W66, η οποία αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1960 και χρησιμοποιήθηκε το χρονικό διάστημα μεταξύ 1975-1976, στους αντιβαλλιστικούς πυραύλους τύπου Sprint (αποσύρθηκε το 1975), του αντιβαλλιστικού συστήματος Nike-X. Το σύστημα Nike-X σχεδιάστηκε τη δεκαετία του 1960 από τον στρατό των Ηνωμένων Πολιτειών, με στόχο να προσφέρει κάλυψη στις πόλεις των ΗΠΑ σε επικείμενη Σοβιετική επίθεση διηπειρωτικών βαλλιστικών πυραύλων. Το 1967 αντικαταστάθηκε από το πιο ανεπτυγμένο αντιβαλλιστικό σύστημα Sentinel.

Neutron bomb. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Neutron_bomb &

Anti-ballistic missile. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-ballistic_missile &

Sprint (missile). In Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Sprint_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Sprint_(missile)) &

W66 (nuclear warhead). In Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/W66_\(nuclear_warhead\)](https://en.wikipedia.org/wiki/W66_(nuclear_warhead)) &

Sentinel program. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel_program &

Nike-X. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Nike-X>

σύστημα Sprint (1975) και η W70 Mod 3 για τον τακτικό πύραυλο μικρής εμβέλειας MGM-52 Lance (1973)¹⁹⁶, καθώς και για το 8 ιντσών (200 mm) πυρηνικό βλήμα πυροβολικού W79 Mod 0¹⁹⁷. Οι βόμβες νετρονίων προκάλεσαν πολλές αντιδράσεις και δεν αναπτύχθηκαν ποτέ επί Ευρωπαϊκού θεάτρου, στις ΗΠΑ η παραγωγή σταμάτησε τη δεκαετία του 1980 και με τη λήξη του Ψυχρού Πολέμου, ξεκίνησε η μαζική απόσυρση τόσο των πυρηνικών κεφαλών όσο και των οβίδων πυροβολικού¹⁹⁸.

Η βόμβα νετρονίων ως κατασκευή αποτελεί μια μικρότερη σε μέγεθος βόμβα σύντηξης (υδρογονοβόμβα), με γόμωση εξίσου είτε U-235 είτε Pu-239 και με διάταξη λειτουργίας σχάσης-σύντηξης-σχάσης, από την οποία παραλείπεται το περίβλημα U-238 (ανακλαστήρας/ tamper). Συνέπεια της απουσίας του ανακλαστήρα είναι η ελάττωση της εκρηκτικής ισχύος και η απελευθέρωση μεγάλου ποσοστού νετρονίων. Καλείται ακόμη καθαρή βόμβα¹⁹⁹ και ενισχυμένο όπλο ακτινοβολίας (ERW - Enriched Radiation Weapon). Εκλύει πολύ μεγάλα ποσά θανατηφόρου ακτινοβολίας, λόγω των ποσοτήτων νετρονίων υψηλής κινητικής ενέργειας²⁰⁰ που διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα. Ένα μικρότερο ποσοστό ενέργειας εκλύεται υπό τη μορφή θερμικού ή κρουστικού κύματος, με παραγωγή λιγότερων ραδιενεργών καταλοίπων και θραυσμάτων σχάσης, εν συγκρίσει με μια αντίστοιχη ατομική βόμβα σχάσης²⁰¹.

¹⁹⁶ History and deployment to present. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Neutron_bomb#History_and_deployment_to_present

¹⁹⁷ Το W79 AFAP (Artillery-Fired Atomic Projectile), γνωστό και ως XM753 (Atomic RA) ήταν πυρηνικό βλήμα πυροβολικού δύο τύπων: W79 Mod 0 (ERW) και W79 Mod 1 (σχάσης). Έλαβε άδεια ανάπτυξης το 1975 και η πρώτη παραγωγή ξεκίνησε το 1981. Έως τα τέλη του 1992 είχε αποσυρθεί από την ενεργό υπηρεσία και το 2022 αποσυρμολογήθηκε και το τελευταίο βλήμα.

W79 Artillery-Fired Atomic Projectile. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/W79_Artillery-Fired_Atomic_Projectile

¹⁹⁸ Η βόμβα νετρονίων κατά τις δεκαετίες του 1970 και 1980 αναπτύχθηκε και από τη ΕΣΣΔ, τη Γαλλία και τη Κίνα.

Britannica (n.d.). *Neutron Bomb*.

<https://www.britannica.com/technology/neutron-bomb>

¹⁹⁹ Ο προσδιορισμός ως «καθαρή» οφείλεται στη δυνατότητά της (λόγω της φυσικής ιδιότητας των ουδέτερων - αφορτιστων νετρονίων, να εισδύουν ανεμπόδιστα στους οργανικούς ιστούς\ σύνολο κυττάρων, μετατρέποντας τα έμβια σώματα σε πηγές ακτινοβολίας) να πλήττει άμεσα το ανθρώπινο δυναμικό των τεθωρακισμένων και να αφήνει ανεπηρέαστες τις κτηριακές εγκαταστάσεις και υποδομές. Όμως ήδη από τη δεκαετία του 1940, με την ανάπτυξη των πυρηνικών αντιδραστήρων και των μέτρων θωράκισης και προστασίας του εργατικού δυναμικού, είναι γνωστές οι παράμετροι ανάπτυξης παρεμφερούς θωράκισης και για τα πληρώματα των τανκς. Η αύξηση του πάχους θωράκισης της δεξαμενής πληρώματος, με χρήση υλικών που φέρουν πυρήνες μεγάλης ενεργού διατομής απορρόφησης νετρονίων, όπως το Κάδμιο (Cd) ή το Βόριο (B), αποτελεί ένα παράδειγμα αποτελεσματικής προστασίας από την νετρονική έκθεση (Θεοφίλου, 1984).

²⁰⁰ Τα εκπεμπόμενα νετρόνια, από μία βόμβα νετρονίων, έχουν πολύ υψηλότερο μέσο επίπεδο κινητικής ενέργειας, περίπου 14 MeV, σε σύγκριση με τα εκπεμπόμενα νετρόνια μιας ατομικής βόμβας σχάσης, επιπέδου περίπου 1-2 MeV.

Neutron bomb. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Neutron_bomb

²⁰¹ Τσίπης, Κ. (1991). *Εγχειρίδιο Πυρηνικών Όπλων*. (Θ. Λιόλιος, Επιμ.). Ανώτατη Σχολή Πολέμου.

Θεσσαλονίκη.

<http://www.ekeo.gr/wp-content/uploads/2010/04/tsipisasp99.pdf> &

4.3.4 Συσκευή Διασποράς Ραδιενέργειας («Βρόμικη» βόμβα)

Η Συσκευή Διασποράς Ραδιενέργειας (RDD – Radiological Dispersal Device) γνωστή και ως «βρόμικη» βόμβα (Dirty Bomb), αποτελεί ένα υβριδικό όπλο το οποίο συνδυάζει μια μείξη από συμβατικά εκρηκτικά με ραδιενεργό υλικό ώστε να επιμολύνει μια συγκεκριμένη περιοχή στόχο. Δεν πρέπει να συγχέεται με τις προαναφερθείσες πυρηνικές βόμβες, καθώς οι επιπτώσεις από τη συμβατική έκρηξη που προκαλεί είναι περισσότερο καταστροφικές από τη διασπορά της εκλυόμενης ραδιενέργειας, η οποία εκτείνεται μόνο σε μία περιορισμένη απόσταση από το σημείο της έκρηξης. Ως εκ τούτου δεν αποτελεί πυρηνικό όπλο και το συμβατικό εκρηκτικό καθίστατο για τον άνθρωπο περισσότερο επιβλαβές σε σχέση με την εκλυόμενη ακτινοβολία. Παρόλα αυτά η επιμόλυνση της πληγείσας περιοχής και οι επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού, επιφέρουν τρωτότητα στη δυναμική μιας βραχείας αποκατάστασης και απορρύπανσης, προκαλώντας συν της άλλης και μεγάλη οικονομική ζημία.

Η σχεδιάσή της αποσκοπεί στην ανάπτυξη ενός όπλου άρνησης περιοχής, ψυχολογικής επιφόρτισης, σύγχυσης και πρόκλησης πανικού. Χρησιμοποιείται κατά κόρων από μη κυβερνητικούς δρώντες κυρίως σε τρομοκρατικές επιθέσεις, καθώς η πρόσβαση σε ραδιενεργά υλικά είναι σχετικά εύκολη αν αναλογιστεί κανείς τη πληθώρα των ραδιενεργών πηγών που υπάρχουν γύρω μας όπως: οι ιατρικές, οι βιομηχανικές, οι ερευνητικές και η μαύρη αγορά. Καταλληλότερα ισότοπα για αυτή τη χρήση είναι: το Αμερίκιο Am-241, το Καλιφόρνιο Cf-252, το Καίσιο Cs-137, το Κοβάλτιο Co-60, το Ιρίδιο Ir-192, το Πλουτώνιο Pu-238, το Πολώνιο Po-210, το Ράδιο Ra-226 και το Στρόντιο Sr-90²⁰².

Σε σύγκριση με μία βόμβα σχάσης, η κατανομή της εκρηκτικής ενέργειας είναι η εξής:

- Βόμβα σχάσης: κρουστικό κύμα 50%, θερμότητα 35%, ακτινοβολία νετρονίων 15%.
- Βόμβα νετρονίων: κρουστικό κύμα 10%, θερμότητα 10%, ακτινοβολία νετρονίων 80%.

Εάν συγκριθεί η ένταση της ακτινοβολίας των νετρονίων μεταξύ μίας πυρηνικής βόμβας σχάσης 1000 TNT και μίας βόμβας νετρονίων ίσης ισχύος, η νετρονιακή ακτινοβολία της δεύτερης είναι 60 φορές υψηλότερη.

(Τα ποσοστά διαφοροποιούνται αναλόγως του τύπου της βόμβας νετρονίων και της ατομικής βόμβας σχάσης) Οικονόμου, 1991. &

Ελληνικό Κέντρο Ελέγχου Όπλων (2011, 18 Σεπτεμβρίου). *Νετρόνια και Βόμβα Νετρονίων - Ιδιότητες, Πληροφορίες, Επιπτώσεις*.

<http://www.ekeo.gr/2011/09/%ce%bd%ce%b5%cf%84%cf%81%cf%8c%ce%bd%ce%b9%ce%b1-%ce%ba%ce%b1%ce%b9-%ce%b2%cf%8c%ce%bc%ce%b2%ce%b1-%ce%bd%ce%b5%cf%84%cf%81%ce%bf%ce%bd%ce%af%cf%89%ce%bd%e2%80%93-%ce%b9%ce%b4%ce%b9%cf%8c%cf%84%ce%b7/>

²⁰² Dirty bomb. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Dirty_bomb &

U.S Department of Homeland Security (2002). *Radiological attack. Dirty Bombs and other devices*.

https://www.dhs.gov/xlibrary/assets/prep_radiological_fact_sheet.pdf &

U.S. NRC (2022, February 23). *Backgrounder on Dirty Bombs*.

<https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/fs-dirty-bombs.html>

4.3.5 «Αλατισμένα» όπλα («Αλατισμένη» βόμβα)

Η «αλατισμένη» βόμβα²⁰³ (Salted Bomb) είναι ένας υποτιθέμενος τύπος ραδιολογικού όπλου, όπως η βόμβα Κοβαλτίου²⁰⁴, ο σχεδιασμός του οποίου αποσκοπεί στην έκλυση μεγάλων εκρηκτικής ισχύος και της διασποράς πολύ μεγάλων ποσών ραδιενέργειας, σε ευρεία κλίμακα και για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, σε σχέση με τις λοιπές μη «αλατισμένες» βόμβες, όπως χαρακτηρίζονται στην αγγλόφωνη βιβλιογραφία. Η έκφραση «αλατισμένη» (salted) φέρει μια δισημία όπου πρώτον, αναφέρεται στη σημασία του επιπρόσθετου ενσωματωμένου στοιχείου σε μια τυπική οπλική διάταξη και δεύτερον, έχει προέλθει από την έκφραση «to salt the earth/ sowing with salt», η οποία στις περιοχές της Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής, κατά την περίοδο των αρχαίων χρόνων και του Μεσαίωνα, ήταν μια τακτική «καμένης γης». Βασιζόταν σε λαϊκές δοξασίες και δεισιδαιμονίες, ήταν ένα είδος σποράς «κατάρας», όπου έριχναν αλάτι στις πόλεις και στα χωράφια τα οποία είχαν περιπέσει στα χέρια του εχθρού ώστε τίποτα να μην φυτρώσει και να μην ευδοκιμήσει²⁰⁵. Ως εκ τούτου αναφερόταν πως το ραδιολογικό αυτό όπλο θα «αλάτιζε» τη γη με αυξημένες ποσότητες ακτινοβολίας, καθιστώντας την απαγορευμένη και νεκρή ζώνη για οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα για αρκετές γενεές.

Η ιδέα της ύπαρξης ενός τέτοιου όπλου ξεκίνησε τη δεκαετία του 1950, από τον Ουγγροαμερικανό φυσικό και ενός από τους πρωτεργάτες του προγράμματος Manhattan, τον Leo Szilard. Η ιδέα αναπτύχτηκε κυρίως για να επισημανθούν οι επιπτώσεις μαζικής κλίμακας, της καταστροφής και του θανάτου, που θα επιφέρει αδιακρίτως η τεχνολογική εξέλιξη και χρήση των πυρηνικών όπλων²⁰⁶. Έως και σήμερα, στα πλαίσια που είναι δημοσίως γνωστό, καμία βόμβα Κοβαλτίου ή άλλη «αλατισμένη» βόμβα δεν έχει αναπτυχθεί ή χρησιμοποιηθεί. Η διάταξη αυτών των όπλων, είτε λειτουργείας σύντηξης είτε λειτουργείας σχάσης, περιλαμβάνει το βασικό εκρηκτικό μηχανισμό του ραδιενεργού χημικού υλικού, ο οποίος περιβάλλεται από ένα μη σχάσιμο στρώμα ενός ειδικά επιλεγμένου ραδιοϊσοτόπου,

²⁰³ Είναι το αντίθετο από αυτό που αποκαλείται «καθαρό» όπλο (Clean Weapon), δηλαδή από μια συσκευή ελάχιστης υπολειμματικής ακτινοβολίας (MRR – Minimum Residual Radiation), η διάταξη και η λειτουργία της οποίας είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να επιφέρει όσο το δυνατό μικρότερα ποσοστά ραδιενεργών εκροών. Βασίζεται στο φαινόμενο της σύντηξης. Επίσης δεν πρέπει και να συγχέεται και με την «βρόμικη» βόμβα. United Nations. Department of General Assembly and Conference Management (n.d.). *Clean Weapon*. <https://conferences.unite.un.org/unterm/display/record/UNTERM/NA/19D6E2FE769095C885256A0100010BB5>

²⁰⁴ Cobalt bomb. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Cobalt_bomb

²⁰⁵ Salting the earth. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Salting_the_earth

²⁰⁶ Οι τεχνολογικές εξελίξεις που θα επέλθουν επί των πυρηνικών όπλων θα τα καταστήσουν «doomsday devices» (συσκευές που θα επιφέρουν την ημέρα της κρίσης/ παντοκτονία) επιφέροντας την εξάλειψη του ανθρώπου και όλων των μορφών ζωής επί της γης. Domsday device. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Doomsday_device

το οποίο χαρακτηρίζεται από μεγάλο χρόνο ημίσειας ζωής. Με την πυρηνική έκρηξη/ σύντηξη η ραδιενέργεια αυτού του ισοτόπου αυξάνεται εκθετικά (λόγω της σύλληψης νετρονίων) εκπέμποντας ακτίνες- γ ²⁰⁷ υψηλής έντασης, μεγιστοποιώντας κατά πολύ αυτό που αποκαλείται πυρηνική πτώση (Nuclear Fallout)²⁰⁸. Καταλληλότερα ραδιοϊσότοπα για το «αλάτισμα» της εκρηκτικής συσκευής είναι: ο Χρυσός Au-198, το Ταντάλιο Ta-182, ο Ψευδάργυρος Zn-65, το Κοβάλτιο Co-60 και το Νάτριο Na-23²⁰⁹.

²⁰⁷ Δημιουργούνται από πυρηνικές αντιδράσεις ραδιενεργών πυρήνων (κυρίως της διάσπασης-β) και στο διάστημα από αστέρες νετρονίων και μαύρες τρύπες. Αποτελούν ιονίζουσες ακτινοβολίες, ηλεκτρομαγνητικής φύσης (ηλεκτρομαγνητικά κύματα) και φέρουν τη μεγαλύτερη συχνότητα. Χαρακτηρίζονται από μεγάλη διεισδυτικότητα, μέσω της οποίας διασπούν τις κυτταρικές ουσίες και μεταλλάσσουν το DNA, επιφέροντας θανάσιμα αποτελέσματα σε όλους τους έμβιους οργανισμούς που εκτίθενται σε αυτές.

Gamma Ray. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Gamma_ray

²⁰⁸ Μετά από μία πυρηνική έκρηξη και των φαινομένων που την ακολουθούν, ένα ποσοστό ραδιενεργών θρανσμάτων, τέφρας, αιθάλης και άλλων ουσιών προωθούνται προς τα ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα. Εν συνεχεία αυτά τα ραδιενεργά υπολείμματα μεταφέρονται με τα αέρια κύματα σε μεγαλύτερη απόσταση και πέφτουν ξανά πίσω στη γη υπό τη μορφή μαύρης βροχής, συμβάλλοντας αυξητικά στην ραδιενεργή επιμόλυνση. Nuclear Fallout. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fallout

²⁰⁹ Salted bomb. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Salted_bomb &

Shittu, M. M. (2018, March 12). *Salted Nukes: A very dangerous nuclear thought experiment*. Stanford University. <http://large.stanford.edu/courses/2018/ph241/muhammad-shittu2/> &

United Nations. Department of General Assembly and Conference Management (n.d.). Salted Bomb.

<https://conferences.unite.un.org/unterm/display/record/UNTERM/NA/0D39C54193669CEB85256DB8006EEA/C2>

Κεφάλαιο 5^ο

Συστήματα μεταφοράς και παράδοσης πυρηνικών όπλων

Η κατοχή και ανάπτυξη πυρηνικών όπλων, τόσο των αποκαλούμενων στρατηγικών όσο και των τακτικών, απαιτεί την ανάπτυξη μηχανισμών μεταφοράς των όπλων αυτών σε μεγάλες αποστάσεις (διηπειρωτικές), καθώς και την ανάπτυξη στρατιωτικών βάσεων, των πυρηνικών δυνάμεων, επί συμμαχικού εδάφους, με απώτερο σκοπό την άμεση πανκατευθυντική αναχαίτηση των εχθρικών στόχων και την εδραίωση αποτρεπτικής δυναμικής. Απαιτεί την ύπαρξη ενός στρατιωτικού μηχανισμού υψηλής στρατηγικής και διαρκούς ετοιμότητας. Απαιτεί την ανάπτυξη ευέλικτων συστημάτων συνεχούς παρακολούθησης των λοιπών δρώντων, καθώς και συστημάτων αυτόματων πληροφοριακών αναλύσεων. Οι τομείς των συστημάτων μεταφοράς και παράδοσης αυτών των όπλων, όπως είναι οι βαλλιστικοί πύραυλοι, οι πύραυλοι Cruise, τα μαχητικά αεροσκάφη και οι διάφοροι τύποι μη επανδρωμένων συστημάτων²¹⁰, απαιτούν μια κραταιά αμυντική βιομηχανία, καινοτόμο και τεχνολογικά ανεπτυγμένη, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Όλοι οι προαναφερόμενοι παράγοντες θα παίξουν καθοριστικό ρόλο στην ορθή σχεδίαση, ανάπτυξη και επιλογή του καταλληλότερου συστήματος μεταφοράς/ παράδοσης με βάση τον εχθρικό στόχο, η φύση του οποίου θα καθορίσει την ταχύτητα, την εμβέλεια και την ακρίβεια στόχευσης του εκάστοτε συστήματος²¹¹. Το σύστημα μεταφοράς και παράδοσης αποτελείται από τον συνδυασμό της στρατιωτικής πλατφόρμας παράδοσης, η οποία αναφέρεται σε οποιοδήποτε είδος δομής ή συστήματος, στο οποίο φορτώνεται ένα όπλο πυρηνικό ή συμβατικό, όπως π.χ. τα υποβρύχια και τα αεροσκάφη, και του οχήματος παράδοσης, όπως π.χ. ο πύραυλος Cruise, το οποίο αποτελεί το μέρος του οπλικού συστήματος το οποίο παρέχει το μέσο μεταφοράς του όπλου, όπως π.χ. μια πυρηνική κεφαλή, στο στόχο²¹².

²¹⁰ Κάποιοι από τους βασικούς τύπους ΜηΕΣ (Unmanned Vehicles/ Uncrewed Vehicles) είναι: UAV - Unmanned Aerial Vehicle/ UAS - Unmanned Aircraft System/ RPAS - Remotely Piloted Aircraft System/ Drones, UGV - Unmanned Ground Vehicle, USV - Unmanned Surface Vehicle και UUN - Unmanned Underwater Vehicle. Βασική διαφορά των UAV από τους αυτοκινούμενους πυραύλους Cruise, ή των αυτοκινούμενων τορπιλών, είναι πως επαναχρησιμοποιούνται ύστερα από το πέρας της αποστολής τους (υπάρχουν όμως και UAV τύπου kamikaze τα οποία καταστρέφονται αφού βληθεί ο στόχος). Τα UAV εκτελούν αποστολές πληροφόρησης, επιτήρησης και αναγνώρισης (ISR - Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance), επίθεσης και αεροπορικής υποστήριξης σε χειρσαίες επιχειρήσεις. Έως και σήμερα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί UAV ως φορείς όπλων μαζικής καταστροφής (OMK).

Nuclear Threat Initiative (2023). § What types of delivery systems exist? In. NTI Education Tutorials. Missiles & other WMD delivery systems. *Module 1, Introduction*.
<https://tutorials.nti.org/delivery-system/introduction/>

²¹¹ Οικονόμου, 1991. & Θεοφίλου, 1984.

²¹² Ο διηπειρωτικός βαλλιστικός πύραυλος (ICBM) αποτελεί ταυτοχρόνως και πλατφόρμα και όχημα παράδοσης. Acquisition & Sustainment. Office of the Under Secretary of Defense. (2020). Nuclear Delivery Systems (Chapter 3). In, *The Nuclear Matters Handbook*.
<https://www.acq.osd.mil/ncbdp/nm/NMHB2020rev/chapters/chapter3.html>

Το σύστημα μεταφοράς μαζί με τις ανατεθείσες δυνάμεις, τα οποία παρέχουν αποτρεπτική δυναμική 24/7, οικοδομώντας μία σιδηρά εθνική άμυνα στην εκάστοτε πυρηνική δύναμη, καλείται τριαδικό (nuclear triad). Είναι δηλαδή βασισμένο σε τρεις διαφορετικούς τρόπους μεταφοράς/ παράδοσης, αναλόγως του πεδίου δράσης (στεριά, θάλασσα, αέρας) και αντιστοιχεί στους τρεις κλάδους των ενόπλων δυνάμεων. Το χερσαίο πεδίο δράσης, το οποίο ανήκει στη διοίκηση των χερσαίων ενόπλων δυνάμεων, κάνει κυρίως χρήση πυραυλικών συστημάτων²¹³ (βαλλιστικών ρουκετών, διηπειρωτικών/ ICBM ή μη), χερσαίας εκτόξευσης, τα οποία βρίσκονται σε διάφορες μυστικές βάσεις μέσα σε υπόγεια σιλό, από τα οποία και εκτοξεύονται, είτε εκτοξεύονται διαμέσου αυτοκινούμενων εκτοξευτών. Επιπροσθέτως έχει στη διάθεσή του νάρκες ξηράς (αντιαρματικές και κατά προσωπικού). Το θαλάσσιο και υποθαλάσσιο πεδίο δράσης, το οποίο ανήκει στη διοίκηση του πολεμικού ναυτικού, χρησιμοποιεί κυρίως πυραυλικά συστήματα εγκατεστημένα επί των πολεμικών πλοίων επιφανείας και πυραύλους υποβρυχίων (SLBM - Submarine-Launched Ballistic Missile)²¹⁴, οι οποίοι είναι πολύ δύσκολα ανιχνεύσιμοι, λόγω της διαρκούς κινητικότητάς των υποβρυχίων. Επιπροσθέτως χρησιμοποιεί торпύλες, νάρκες θαλάσσης και βόμβες βυθού (καλούνται ύφαλα όπλα). Το εναέριο πεδίο, το οποίο ανήκει στη διοίκηση της πολεμικής αεροπορίας, χρησιμοποιεί βαρέα βομβαρδιστικά αεροσκάφη²¹⁵

²¹³ Η Αμερικανική ICBM δύναμη είναι σε επιφυλακή από το 1959. Σήμερα το πιο προηγμένο μοντέλο πυρηνικού ICBM (τύπου MIRV) είναι το στρατηγικό οπλικό σύστημα LGM-30G Minuteman III, επιφανείας - επιφανείας (το σύστημα Minuteman σχεδιάστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1950, ο πρώτος Minuteman III τέθηκε σε λειτουργία τη δεκαετία του 1970). Χρησιμοποιεί τις θερμοπυρηνικές κεφαλές W78 και W87.

Air Force Nuclear Weapons Center (n.d). *Minuteman III (LGM-30G)*.

<https://www.afnwc.af.mil/Weapon-Systems/Minuteman-III-LGM-30G/>

²¹⁴ Η Αμερικανική δύναμη SLBM διαθέτει σήμερα 14 υποβρύχια (boomers) πυρηνικών βαλλιστικών πυραύλων (SSBN – Sub-Surface Ballistic Nuclear) της κατηγορίας Ohio (αναπτύχθηκαν μεταξύ των ετών 1974-1997). Κάθε ένα υποβρύχιο μπορεί να φέρει έως και 20 βαλλιστικούς πυραύλους, πολλαπλών κεφαλών ανεξάρτητης στόχευσης. Στρατηγικό σύστημα μεταφοράς, του υποβρυχιακού πυραυλικού συστήματος, αποτελεί ο πύραυλος Trident II D5 LE, υποθαλάσσιος – επιφανείας. Χρησιμοποιεί τις θερμοπυρηνικές κεφαλές W76 (0, 1 και 2) και W88. Οι SLBM είναι παρόμοιοι πύραυλοι με τους ICBM, διαφέρουν κυρίως ως προς το μέσω εκτόξευσης και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά.

Submarine Industrial Base Council (n.d.). *Ohio Class SSBN*.

<https://submarinesuppliers.org/programs/ssbn/ohio-class-ssbn/> &

America's Navy (2023, November 13). *Fleet Ballistic Missile Submarines – SSBN*.

<https://www.navy.mil/Resources/Fact-Files/Display-FactFiles/Article/2169580/>

²¹⁵ Ο Αμερικανικός εναέριος στόλος σήμερα διαθέτει το υποηχητικό στρατηγικό βομβαρδιστικό αεροσκάφος, πυρηνικής και συμβατικής δυνατότητας, Boeing B-52H Stratofortress και το τεχνολογικά χαμηλής παρατηρησιμότητας (stealth) στρατηγικό βομβαρδιστικό αεροσκάφος, πυρηνικής και συμβατικής δυνατότητας, Northrop Grumman B-2A Spirit. Το πρώτο βομβαρδιστικό αεροσκάφος τέθηκε σε ικανότητα λειτουργίας το 1952 και το δεύτερο το 1997. Και τα δύο βομβαρδιστικά αεροσκάφη επιτελούν αποστολές αέρος – εδάφους. Το B-52H χρησιμοποιεί ως όχημα παράδοσης τον υποηχητικό πύραυλο Cruise, AGM-86 ALCM (Air-Launched Cruise Missile, εν ενεργεία από το 1982), ο οποίος φέρει ως όπλο την θερμοπυρηνική κεφαλή, W80-1 (παρήχθη το 1979, στο εθνικό εργαστήριο του Los Alamos). Ουσιαστικά επρόκειτο για τροποποίηση της θερμοπυρηνικής βόμβας βαρύτητας B-61 (χαρακτηρίζεται ως τακτικό όπλο μέσης απόδοσης, παρήχθη το 1968, στο εθνικό εργαστήριο του Los Alamos), η οποία αποτελούσε από τα πιο διαδεδομένα πυρηνικά όπλα των ΗΠΑ κατά τη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου. Το B-2A χρησιμοποιεί τις θερμοπυρηνικές βόμβες βαρύτητας B-61 (7 και 18) και B-83 (1) (εν ενεργεία από το 1983, αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1970).

Air force (2019). *B-52H Stratofortress*.

<https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104465/b-52h-stratofortress/> &

μεγάλης εμβέλειας, πυρηνικής και συμβατικής δυνατότητας (DCA – Dual-Capable Aircraft), ικανά να εξαπολύσουν τεράστια ισχύ πυρός (στρατηγικός βομβαρδισμός), τα οποία φέρουν πυραύλους Cruise, βόμβες βαρύτητας και τορπίλες αέριες εκτόξευσης²¹⁶.

5.1 Στρατηγικά αεροσκάφη

Η αεροπορική δύναμη είναι ένας εκ των ων ουκ άνευ συντελεστής πολλαπλασιασμού της ισχύος ενός κράτους και σημαντική παράμετρος για την έκβαση της όποιας πολεμικής αναμέτρησης, είτε χερσαίας είτε θαλάσσιας. Τα επανδρωμένα βομβαρδιστικά²¹⁷, μεσαίας έως μεγάλης εμβέλειας, τα οποία φέρουν πυρηνικά όπλα, όπως είναι οι πυρηνικές βόμβες βαρύτητας²¹⁸, οι πυρηνικές τορπίλες και οι πυρηνικοί πύραυλοι Cruise, αποτελούν τα επονομαζόμενα στρατηγικά αεροσκάφη²¹⁹. Πλέον στη κατηγορία αυτή προστίθεντο τόσο τα μαχητικά όσο και τα επιθετικά επανδρωμένα αεροσκάφη που δύνανται να φέρουν εξ ίσου πυρηνικά όπλα (αεροσκάφη διπλής ικανότητας), ώστε να διεκπεραιώσουν αποστολές πυρηνικής επίθεσης σε μεγάλη απόσταση από τη βάση τους, ακόμη και διηπειρωτικού βεληνεκού με χρήση εναέριου ανεφοδιασμού. Η έννοια και η δυναμική του στρατηγικού αεροσκάφους είναι υψίστης σημασίας για την διατήρηση της αποτρεπτικής ισχύος του κράτους, της ενίσχυσης της περιφερειακής ασφάλειας, καθώς και της διαπίστευσης της δυνατότητας προστασίας των συμμάχων.

Air Force (2015). *B-2 Spirit*.

<https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104482/b-2-spirit/> &

Norris, R. S., Kristensen, H. M., & Handler, J (2003, January 1). *The B61 Family of Bombs*. Bulletin of the Atomic Scientists.

<https://thebulletin.org/2003/01/the-b61-family-of-bombs/#post-heading>

²¹⁶ Οικονόμου, 1991. &

U.S Department of Defence (n.d.). *America's Nuclear Triad*.

<https://www.defense.gov/Multimedia/Experience/Americas-Nuclear-Triad/> &

Nuclear weapons delivery. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_weapons_delivery

²¹⁷ Πρώτα βομβαρδιστικά αεροσκάφη θεωρούνται το Ιταλικό Caproni Ca 30 και το Βρετανικό Bristol T.B.8 (ή Bristol-Coanda T.B.8) και τα δύο διπλάνα του 1913.

Bomber. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Bomber>

²¹⁸ Τα βομβαρδιστικά που φέρουν βόμβες βαρύτητας, ανεξαρτήτου γόμωσης, καλούνται και διεισδυτικά αεροσκάφη, καθώς διεισδύουν στη περιοχή άμυνας του αντιπάλου για να ρίψουν το οπλικό τους φορτίο.

²¹⁹ Ο ρόλος του στρατηγικού αεροσκάφους έκανε την εμφάνισή του κυρίως μετά τους πυρηνικούς βομβαρδισμούς της Hiroshima και του Nagasaki τον Αύγουστο του 1945. Σήμερα στρατηγικά αεροσκάφη κατέχουν οι ΗΠΑ, η Ρωσία, η Κίνα και η Γαλλία.

Strategic bomber. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Strategic_bomber &

Arms Control Association (2024). *Arms Control and Proliferation Profile: France*.

<https://www.armscontrol.org/factsheets/arms-control-and-proliferation-profile-france>

Τα πρώτα βομβαρδιστικά αεροσκάφη που μετέφεραν πυρηνικά όπλα, τις ατομικές βόμβες βαρύτητας Little Boy και Fat Man, ήταν τα Boeing B-29 Superfortress (η κατασκευή τους ξεκίνησε το 1939) τα οποία εισήχθησαν στο πρόγραμμα των ΗΠΑ Silverplate²²⁰ (Silver Plated Project), όπου τροποποιήθηκαν ώστε να είναι συμβατά με τις ανάγκες του προγράμματος Manhattan για τη μεταφορά των βομβών²²¹. Εν συνεχεία άλλα σημαντικά μοντέλα στρατηγικών αεροσκαφών, της πολεμικής αεροπορίας των ΗΠΑ, είναι τα Boeing B-52 Stratofortress (εν ενεργεία από το 1952), τα Convair B-58 Hustler (1956-1970), τα Rockwell B-1 Lancer (εν ενεργεία από το 1986, ενδέχεται να αποσυρθεί έως το 2036), τα Northrop B-2 Spirit τεχνολογίας Stealth (εν ενεργεία από το 1997, ενδέχεται να αποσυρθεί έως το 2032). Τα δύο τελευταία μοντέλα B-1 Lancer και B-2 Spirit προβλέπεται να αντικατασταθούν έως το 2040 από τα Northrop Grumman B-21 Raider, τεχνολογίας Stealth (πρώτη πτήση έλαβε χώρα το 2023)²²². Στον αντίποδα από τα πιο σημαντικά στρατηγικά αεροσκάφη, πυρηνικού οπλικού φορτίου, της Σοβιετικής Ένωσης ήταν τα τετρακινητήρια Myasishchev M-4, τα οποία αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1950²²³. Σήμερα σημαντική θέση στις Ρωσικές Αεροδιαστημικές Δυνάμεις (VKS, 2015)²²⁴ κατέχουν τα βομβαρδιστικά, πυρηνικής δυνατότητας, Tupolev Tu-95²²⁵ (εν ενεργεία από το 1956 και υπολογίζεται να παραμείνει σε χρήση έως και το 2040) και Tupolev Tu-160²²⁶ (εν ενεργεία από το 1987).

²²⁰ National Museum of Nuclear Science & History (2014, June 18). *Project Silverplate*.
<https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/history/project-silverplate/>

²²¹ National Museum of the United States Air Force (n.d.). *Boeing B-29 Superfortress*.
<https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/196252/boeing-b-29-superfortress/> &
National Museum of the United States Air Force (n.d.). *Development of the Boeing B-29*.
<https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/196652/development-of-the-boeing-b-29/>

²²² Northrop B-2 Spirit. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Northrop_B-2_Spirit &
Northrop Grumman B-12 Raider. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_B-21_Raider &
Το B-21 Raider θα φέρει τις θερμοπυρηνικές βόμβες βαρύτητας B61-12 και την θερμοπυρηνική κεφαλή W80-4 στον υπό ανάπτυξη πύραυλο Cruise AGM-181 Long Range Stand Off Weapon (LRSO). Acquisition & Sustainment. Office of the Under Secretary of Defense. (2020). Nuclear Delivery Systems (Chapter 3). In, *The Nuclear Matters Handbook*.
<https://www.acq.osd.mil/ncbdp/nm/NMHB2020rev/chapters/chapter3.html>

²²³ Myasishchev M-4. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Myasishchev_M-4

²²⁴ Russian Aerospace Forces. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Russian_Aerospace_Forces

²²⁵ Tupolev Tu-95. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Tupolev_Tu-95

²²⁶ Tupolev Tu-160. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Tupolev_Tu-160

Ωσαύτως κάποια ακόμη σημαντικά βομβαρδιστικά πυρηνικής δυνατότητας βρίσκονται, ή ήταν έως προσφάτως εν ενεργεία, στις στρατιωτικές υπηρεσίες της Κίνας και της Γαλλίας. Η πολεμική αεροπορία του Λαϊκού Απελευθερωτικού Στρατού της Κίνας κατέχει τα Xi'an H-6 (εν ενεργεία από το 1969, αποτελούν μια παραλλαγή του Σοβιετικού Tupolev Tu-16 του 1954) όπου μεταγενέστερα μοντέλα είχαν την δυνατότητα μεταφοράς πυρηνικού οπλισμού, όπως τα Xi'an H-6A (το πρώτο Κινεζικό βομβαρδιστικό πυρηνικής δυνατότητας, 1965), Xi'an H-6E (δεκαετία 1980) και Xi'an H-6N (2018)²²⁷. Η Γαλλική πολεμική αεροπορία κατείχε τα Dassault Mirage IV²²⁸ (εν ενεργεία από το 1964, αποσύρθηκαν από τη πυρηνική υπηρεσία το 1996 και πλήρως το 2005), τα οποία ήταν από τα σημαντικότερα μέσα της Γαλλικής πυρηνικής τριάδας, της Force de Frappe (έως το 1961, μετέπειτα άρχισε να αποκαλείται Force de Dissuasion, της Γαλλική πυρηνική δύναμη αποτροπής). Επίσης κατείχε τα Dassault Mirage 2000N²²⁹ (εν ενεργεία από το 1986, αποσύρθηκαν το 2018). Σήμερα έχει στην υπηρεσία της τα Dassault Rafale (εν ενεργεία από το 2001), τα οποία χαρακτηρίζονται ως αεροσκάφη πολλαπλών χρήσεων (omnirole)²³⁰.

5.2 Υποβρύχια

Η δημιουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων τη δεκαετία του 1940 και η εν συνεχεία ανάπτυξή τους, από τη δεκαετία του 1950 και έπειτα, έκανε δυνατή την κατασκευή πυρηνοκίνητων υποβρυχίων με δυνατότητα παραμονής σε κατάσταση κατάδυσης για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα²³¹. Η συνθήκη

²²⁷ H-6. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Xi%27an_H-6

²²⁸ Dassault Mirage IV. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Dassault_Mirage_IV

²²⁹ Dassault Mirage 2000N/ 2000D. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Dassault_Mirage_2000N/2000D

²³⁰ Dassault Aviation (n.d.). *Omnirole by Design*.
<https://www.dassault-aviation.com/en/defense/rafale/omnirole-by-design/>

²³¹ Θρυλείται πως η ύπαρξη υποβρυχίων κατασκευών υπήρξε από την εποχή του Μεγάλου Αλεξάνδρου, καθώς και πως ο ίδιος ο Έλληνας Μακεδόνας βασιλιάς τα είχε χρησιμοποιήσει, όμως το πρώτο λειτουργικό υποβρύχιο κατασκευάζεται τον 17^ο αιώνα (γύρω στο 1620) από τον Ολλανδό Cornelius Drebbel. Το πρώτο πυρηνοκίνητο υποβρύχιο ήταν το U.S.S. Nautilus το οποίο κατελκύστηκε το 1954.

Brouwers, J. (2021, June 15). *Alexander's underwater adventure. A medieval story about Alexander the Great*. Ancient World Magazine.

<https://www.ancientworldmagazine.com/articles/alexanders-underwater-adventure/> &

Andrews, E. (2016, January 19). *9 Groundbreaking Early Submarines*. History.

<https://www.history.com/news/9-groundbreaking-early-submarines> &

Redmond, K. (2024, August 14). *Sept. 30, 1954: The World's First Nuclear-Powered Submarine, U.S.S. Nautilus, Enters Navy Service*. American Physical Society. APS125.

<https://www.aps.org/apsnews/2024/08/worlds-first-nuclear-powered-submarine>

αυτή, σε συνδυασμό με την δυσκολία εντοπισμού τους, τα καθιστά ως μη ανιχνεύσιμη πλατφόρμα εκτόξευσης πυρηνικών βαλλιστικών πυραύλων. Επιπροσθέτως, καθίσταντο επίσης ως ο κυριότερος παράγοντας του πυρηνικού στρατηγικού δόγματος της αποτροπής, καθώς και της δυνατότητας ενός επιτυχούς δευτέρου πλήγματος²³². Για τους προαναφερθείς λόγους τα υποβρύχια πυρηνικού οπλισμού έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη δυναμική του Ψυχρού Πολέμου.

Τρεις από τους βασικότερους τύπους υποβρυχίων είναι τα SSBN, SSGN και SSN. Τα στρατηγικά υποβρύχια βαλλιστικών πυραύλων SSBN (Ship Submersible Ballistic Nuclear-powered), τα οποία καλούνται στις ΗΠΑ και «boomers», μεταφέρουν τους πυρηνικούς διηπειρωτικούς βαλλιστικούς πυραύλους (SLBM), οι οποίοι εφορμούν από τους κάθετους σωλήνες εκτόξευσης που βρίσκονται στο μεσαίο τμήμα του σκάφους. Οι άλλοι δύο τύποι, τα υποβρύχια πυραύλων Cruise (SLCM) SSGN (Ship Submersible Guided-missile Nuclear-powered) και τα υποβρύχια επίθεσης SSN (Ship Submersible Nuclear-powered), αποτελούν μέσα πολλαπλών αποστολών, οι οποίες εκτελούνται τόσο εν καιρώ ειρήνης όσο και εν καιρώ πολέμου, και κατά κανόνα δεν φέρουν πυρηνικά όπλα²³³. Όλοι οι άνωθεν τύποι υποβρυχίων χαρακτηρίζονται, όπως αναφέρεται και στο αρκτικόλεξο του εκάστοτε εξ αυτών, από σύστημα προώσεως μέσω πυρηνικής ενέργειας.

Σήμερα τα εν γνώσει πυρηνικά κράτη διαθέτουν ενδεικτικά τις ακόλουθες στρατηγικές δυνάμεις υποβρυχίων τύπου SSBN:

- Οι ΗΠΑ κατέχουν τα Ohio Class, κατασκευασμένα μεταξύ του 1974 και 1997, όπου έως το 2040 αναμένεται να παρέλθει η επιχειρησιακή τους δράση, οπότε και θα αντικατασταθούν από εν ανάπτυξη Columbia Class. Η κατασκευή των νέων υποβρυχίων ξεκίνησε το 2021, η πρώτη παράδοση αναμένεται μεταξύ 2027-2029 και προβλέπεται να βρίσκονται σε πλήρη επιχειρησιακή δυνατότητα έως το 2080²³⁴.

²³² Έστω και ένα υποβρύχιο πυρηνικού οπλισμού να απομείνει στον δρόντα Α, μετά από ένα πρώτο πυρηνικό χτύπημα από έναν δρόντα Β, ο δρόν Α έχει τη δυνατότητα να επιφέρει ένα εξίσου καταστροφικότατο δεύτερο χτύπημα στον επιτιθέμενο δρόντα Β.
Θεοφίλου, 1984.

²³³ Acquisition & Sustainment. Office of the Under Secretary of Defense. (2020). Nuclear Delivery Systems (Chapter 3). In, The Nuclear Matters Handbook.
<https://www.acq.osd.mil/ncbdp/nm/NMHB2020rev/chapters/chapter3.html> & Columbia-Class Submarines (n.d.). *SSBNs & the Nuclear Triad*.
<http://columbia-class.com/SSBN.asp>

²³⁴ Submarine Industrial Base Council (n.d.). *Ohio Class SSBN*.
<https://submarinesuppliers.org/programs/ssbn/ohio-class-ssbn/> & Submarine Industrial Base Council (n.d.). *Columbia Class SSBN*.
<https://submarinesuppliers.org/programs/ssbn/columbia-class/> & Columbia-Class Submarines (n.d.). *Columbia-Class SSBN*.
<http://columbia-class.com/>

- Το Ηνωμένο Βασίλειο, ως κατεξοχήν θαλάσσια δύναμη, μέσω των στρατηγικών του υποβρυχίων, παρέχει στην εθνική του άμυνα αυτό που αποκαλεί CASD (Continuous At Sea Deterrent), δηλαδή συνεχής θαλάσσια αποτροπή. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 διαθέτει τα υποβρύχια SSBN Vanguard Class, τα οποία αναμένεται να αντικατασταθούν, στις αρχές της δεκαετίας του 2030, από τα Dreadnought Class²³⁵.

- Η Ρωσία επί του παρόντος έχει υπό την υπηρεσία της δύο κατηγορίες SSBN, την Delta Class και την Borei Class. Τα μοντέλα που βρίσκονται εν ενεργεία είναι τα Delta IV (Project 667 BDRM Delfin), κατασκευάστηκαν επί Σοβιετικής Ένωσης μεταξύ 1981 και 1992, και τα Borei-A (Project 955A) όπου το πρώτο εξ αυτών, το Knyaz Vladimir, τέθηκε σε υπηρεσία το 2020. Η νέα γενιά του τύπου Borei Class αναμένεται να αντικαταστήσει τα Delta IV έως το 2030, όπως αντικατέστησε τους γίγαντες του Ψυχρού Πολέμου, των μεγαλύτερων υποβρυχίων που υπήρξαν έως σήμερα, τα επονομαζόμενα Typhoon (Akula) Class. Το κολοσσιαίο αυτό υποβρύχιο αναπτύχθηκε επί Σοβιετικής Ένωσης, με το πρώτο εξ αυτών, το Dmitriy Donskoi, να εισέρχεται σε υπηρεσία το 1981 και να αποσύρεται το 2023, αποτελώντας και το τελευταίο μοντέλο που ήταν εν ενεργεία. Το 2022 ανακοινώθηκε η πρόθεση ανάπτυξης των νέων SSBN υποβρυχίων Arcturus Class, τα οποία προορίζονται να αντικαταστήσουν τα Borei Class από το 2037 και μετέπειτα²³⁶.

- Η Γαλλία σήμερα διαθέτει τα SSBN Le Triomphant Class, όπου το πρώτο εξ αυτών, το Le Triomphant, μπήκε σε επιχειρησιακή δράση το 1997 και το τελευταίο, το Le Terrible, το 2010. Τα υποβρύχια Le Triomphant Class αντικατέστησαν τα πρώτα υποβρύχια βαλλιστικών πυραύλων πυρηνικής αποτροπής Le Redoutable Class, με το πρώτο εξ αυτών, το Le Redoutable, να εισέρχεται σε επιχειρησιακή λειτουργία το 1971 και το τελευταίο, το L'Inflexible, να αποσύρεται το 2008. Τα υποβρύχια Le Triomphant Class αναμένεται να αντικατασταθούν, μετά το 2035, από τη νέα γενιά

²³⁵ GOV.UK (2021, March 16). *UK's nuclear deterrent (CASD)*.
<https://www.gov.uk/government/collections/uks-nuclear-deterrent-casd>

²³⁶ Johns, E. (2024, February 7). *Upgrades to Russia's Nuclear-Capable Submarine Fleet*. Federation of American Scientists.
<https://fas.org/publication/submarine-upgrades-russia/> &
Mizokami, K. (2023, August 3). *Russia's Monster Submarines Are Even Scariest Than You Imagined*. Popular Mechanics.
<https://www.popularmechanics.com/military/navy-ships/a35699039/russia-typhoon-class-submarines-true-size/> &
Naval Technology (2020, December 24). *SSBN Borei Class Nuclear-Powered Submarines*.
<https://www.naval-technology.com/projects/borei-class/?cf-view> &
Naval Technology (1999, June, 24). *SSBN Delta Class IV (Project 667.BDRM)*.
<https://www.naval-technology.com/projects/delta-class-submarine/?cf-view> &
Naval Technology (2020, July 17). *SSBN Typhoon Class (Type 941)*.
<https://www.naval-technology.com/projects/ssbn-typhoon-class/?cf-view>

SSBN SNLE-3G (Sous-marin nucléaire lanceur d'engins – 3rd generation) η ανάπτυξη των οποίων ξεκίνησε το 2021²³⁷.

- Η Κίνα έχει υπό την υπηρεσία της τα SSBN Jin Class/ Type 094 (αντικατέστησαν τα Xia Class/ Type 092, έτος ολοκλήρωσης κατασκευής 1981), τα οποία εισήλθαν σε υπηρεσία το 2007. Το 2020 εισήχθησαν τα νεότερα μοντέλα Type 94A. Έχει επίσης γνωστοποιηθεί πως από τις αρχές τις δεκαετίας του 2020 έχει ξεκινήσει η κατασκευή των νέων υποβρυχίων Type 096²³⁸.

- Η Ινδία ανέπτυξε πρόσφατα τα πρώτα υποβρύχια SSBN Arihant Class, με το πρώτο εξ αυτών, το INS²³⁹ Arihant/ S2 να εισέρχεται σε υπηρεσία το 2016. Το δεύτερο μοντέλο, το INS Arighaat/ S3, εισήχθη σε υπηρεσία τον Αύγουστο το 2024 και το τρίτο, το INS Aridhaman/ S4, προβλέπεται να εισέλθει το 2025. Επίσης εικάζεται πως από το 2027 και μετέπειτα θα ξεκινήσει η ανάπτυξη της νέας γενιάς SSBN υποβρυχίων S5 Class²⁴⁰.

- Το Ισραήλ, μέσω της Γερμανό-Ισραηλινής στρατιωτικής συνεργασίας, έχει στη διάθεσή του τα γερμανικής κατασκευής υποβρύχια Dolphin Class, τα οποία εικάζεται ότι φέρουν πυρηνικούς πυραύλους Cruise (SLCM-N). Τα υποβρύχια Dolphin Class χωρίζονται σε κατηγορίες I και II, με το πρώτο μοντέλο (Dolphin) της I κατηγορίας να εισέρχεται σε υπηρεσία το 1999, και με το πρώτο

²³⁷ Vavasseur, X. (2024, March 20). *France Cuts Steel on its First Next Gen SSBN – SNLE-3G*. Naval News. <https://www.navalnews.com/naval-news/2024/03/france-cuts-steel-on-its-first-next-gen-ssbn-snle-3g/> & Submarine forces (France). In Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Submarine_forces_\(France\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Submarine_forces_(France)) & Triomphant-class submarine. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Triomphant-class_submarine & Redoutable-class submarine. In Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Redoutable-class_submarine_\(1967\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Redoutable-class_submarine_(1967))

²³⁸ Congressional Research Service (2020, May 21). § Submarines (p.8). In *China Naval Modernization: Implications for U.S. Navy Capabilities - Background and Issues for Congress*. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/RL/RL33153/236> & Type 092 submarine. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Type_092_submarine & Type 094 submarine. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Type_094_submarine & Type 096 submarine. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Type_096_submarine

²³⁹ Indian Naval Ship.

²⁴⁰ Nuclear Threat Initiative (2024, September 4). *India Submarine Capabilities*. <https://www.nti.org/analysis/articles/india-submarine-capabilities/> & Arihant-class submarine. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Arihant-class_submarine & S5-class submarine. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/S5-class_submarine

μοντέλο (Tanin) της II κατηγορίας το εισέρχεται σε υπηρεσία το 2014. Είναι επιθετικά υποβρύχια (κατηγορίας SSK - Submersible Ship hunter-Killer) συμβατικής πρόωσης diesel-electric (ηλεκτρογεννήτριες diesel). Εν συνεχεία της Γερμανό-Ισραηλινής στρατιωτικής συνεργασίας έχει προγραμματιστεί η ανάπτυξη της επόμενης γενιάς επιθετικών υποβρυχίων Dakar Class (γερμανικής κατασκευής, κατηγορίας AIP - Air-Independent Propulsion) συμβατικής πρόωσης diesel-electric τα οποία αναμένεται από το 2030 και έπειτα να αντικαταστήσουν τα Dolphin Class I²⁴¹.

- Η Βόρεια Κορέα τον Σεπτέμβριο 2023 έθεσε σε υπηρεσιακή κατάσταση το πρώτο, όπως χαρακτηρίστηκε, υποβρύχιο τακτικής πυρηνικής επίθεσης²⁴² βαλλιστικών πυραύλων, Hero Kim Kun Ok. Είναι συμβατικής πρόωσης diesel και ανήκει στα υποβρύχια κατηγορίας Sinpo Class και συγκεκριμένη της παραλλαγής C (Sinpo-C-Class)²⁴³.

5.3 Πυραυλικά συστήματα²⁴⁴

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου ξεκίνησε η ευρεία χρήση των ρουκετών ως τακτικών επιθετικών όπλων, με τους πρώτους κατευθυνόμενους πυραύλους να αναπτύσσονται από την Εθνικοσοσιαλιστική Γερμανία (περίοδος χρήσης 1944-1945). Ανήκαν στη σειρά των επονομαζόμενων

²⁴¹ Collina, T. Z. (n.d.). *Israel Has Nuclear-Armed Sub, Report Says*. Arms Control Association <https://www.armscontrol.org/act/2012-07/israel-has-nuclear-armed-sub-report-says> & Nuclear Threat Initiative (2024, August 15). *Israel Submarine Capabilities*. <https://www.nti.org/analysis/articles/israel-submarine-capabilities/> & Dolphin-class submarine. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Dolphin-class_submarine

²⁴² 'tactical nuclear attack submarine' (διεξαγωγής τακτικής πυρηνικής επίθεσης = δηλαδή διεξαγωγής σύγκρουσης «περιορισμένης» και άμεσης σε επίπεδο μάχης, με χρήση πυρηνικών όπλων - βέβαια η έννοια του «περιορισμένου» με τη χρήση όπλων πυρηνικής γόμωσης είναι πλασματική). Sang-Hun. C. (2023, September 8). *North Korea Says Its New Submarine Can Launch Nuclear Missiles*. The New York Times. <https://www.nytimes.com/2023/09/08/world/asia/north-korea-submarine-nuclear.html>

²⁴³ Nuclear Threat Initiative (2024, August 19). *North Korea Submarine Capabilities*. <https://www.nti.org/analysis/articles/north-korea-submarine-capabilities/> & Sinpo-class submarine. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Sinpo-class_submarine

²⁴⁴ Κύρια κριτήρια ταξινόμησης των πυραύλων είναι: ο τύπος (βαλλιστικός ή Cruise), ο τρόπος εκτόξευσης, το βεληνεκές, το μέσο προώθησης/ πρόωσης (στερεό ή υγρό «καύσιμο»), το υλικό γόμωσης της κεφαλής και το σύστημα πλοήγησης.
(Για περισσότερες πληροφορίες ακολουθούν οι σύνδεσμοι)
BrahMos Aerospace (2022). *Classification of Missile*. <https://www.brahmos.com/content.php?id=10&sid=9> & List of missiles. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_missiles

όπλων V (Vergeltungswaffen = όπλα αντιποιόνων) και ήταν οι πύραυλοι V-1 (Fieseler Fi 103, γνωστός και ως Buzz Bomb ή Flying Bomb) και V-2 (A-4 =Aggregat 4). Ο V-1 ήταν ο πρώτος επιχειρησιακός πύραυλος Cruise (κρουαζιέρα/ πλεύσης) παγκοσμίως και αποτέλεσε τον προπομπό των σημερινών αντίστοιχων πυραύλων. Έφερε κεφαλή συμβατικών εκρηκτικών, μέτριας πιθανότητας ευστοχίας και ήταν περιορισμένου βεληνεκούς²⁴⁵. Είχε την μορφή ενός μικρού αεροσκάφους και ενείχε έναν μηχανισμό αυτόματου πιλότου, ο οποίος έμπαινε σε λειτουργία μετά την πρώτη φάση προώθησης, που μόλις έφθανε στο στόχο έσβηνε τη τροφοδοσία της μηχανής έπεφτε και εξερήγνυτο. Ο V-2 ήταν ο πρώτος βαλλιστικός πύραυλος μεγάλου βεληνεκούς παγκοσμίως και έφερε κεφαλή συμβατικών εκρηκτικών. Αποτέλεσε τον πρόγονο των σύγχρονων πυραύλων και οχημάτων εκτόξευσης και ήταν από τους πρώτους πυραύλους που έκανε χρήση υγρών καυσίμων. Η λειτουργία του ήταν βασισμένη στις αρχές της βαλλιστικής²⁴⁶. Εκτοξευόταν κάθετα, από κινητές πλατφόρμες, με μεγάλη προωθητική ισχύ και ταχύτητα προς την εξωτερική ατμόσφαιρα, όπου έσβηνε η μηχανή του και με τη δύναμη της βαρύτητας εφορμούσε προς τη γη ακολουθώντας παραβολική τροχιά, λόγω της απουσίας οπισθέλκουσας δύναμης. Ήταν ο πρώτος πύραυλος που διέσχισε τη επονομαζόμενη γραμμή Κάρμάν²⁴⁷ και γενικά το πρώτο τεχνητό αντικείμενο που έφθασε στο διάστημα²⁴⁸.

²⁴⁵ Είναι η μέγιστη οριζόντια μετατόπιση ενός σώματος όταν εκτελεί οριζόντια βολή, δηλαδή η απόσταση από το σημείο βολής έως το σημείο πρόσκρουσης (βέλος + φέρω).
<https://el.wiktionary.org/wiki/%CE%B2%CE%B5%CE%BB%CE%B7%CE%BD%CE%B5%CE%BA%CE%AD%CF%82>

«Το βεληνεκές εξαρτάται από το μέγιστο ύψος που θα φθάσει ο πύραυλος, την ταχύτητα που έχει αποκτήσει στο σημείο αυτό λόγω της ισχύος εκτόξευσης και, λόγω ύψους και σε συνδυασμό και με την έλλειψη τριβής αέρα, από τη δύναμη της βαρύτητας της γης που θα ασκηθεί επάνω του» (Κουσκουβέλης, 2000).

²⁴⁶ Επιστήμη της μηχανικής όπου ερευνάται η κινητική συμπεριφορά πτήσης ενός βλήματος, κατά την εκτόξευση/βολή του επί του στόχου και των αποτελεσμάτων πρόσκρουσης. Επιδίδεται στο σχεδιασμό ως προς την επιτάχυνση των βλημάτων έτσι ώστε να επέλθει η επιθυμητή απόδοση.
Ballistics. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Ballistics>

²⁴⁷ Η γραμμή Κάρμάν βρίσκεται στην αρχή του επιπέδου της Θερμόσφαιρας (τέταρτου στρώματος της ατμόσφαιρας της Γης) και αποτελεί γεωμετρική επιφάνεια μετρούμενη από την επιφάνεια της θάλασσας. Ουσιαστικά αποτελεί το όριο στο οποίο τελειώνει η γήινη ατμόσφαιρα και εισερχόμαστε στο διάστημα.

Betz, E. (2024, July 24). *The Kármán Line: Where space begins*. Astronomy.

<https://www.astronomy.com/space-exploration/the-karman-line-where-does-space-begin/>

²⁴⁸ Κουσκουβέλης, 2000. &

V-weapons. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/V-weapons> &

National Air and Space Museum. Smithsonian (n.d.). *V-1 Cruise Missile*.

https://airandspace.si.edu/collection-objects/v-1-cruise-missile/nasm_A19600341000 &

V-1 flying bomb. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/V-1_flying_bomb &

National Air and Space Museum. Smithsonian (n.d.). *V-2 Missile*.

https://airandspace.si.edu/collection-objects/missile-surface-surface-v-2-4/nasm_A19600342000 &

V-2 rocket. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/V-2_rocket

Μετά τα χρόνια του Ευρωπαϊκού χάους, στην αυγή του Ψυχρού Πολέμου, οι ΗΠΑ και η ΕΣΣΔ συγκέντρωναν την πλειοψηφία των επιθετικών βαλλιστικών πυραύλων, όπλα στρατηγικής σημασίας για την εθνική ασφάλεια εκατέρωθεν, προσδίδοντάς τους και διαστημική υπεροχή²⁴⁹. Επιπροσθέτως αυτές οι δύο υπερδυνάμεις ανέπτυξαν αμυντικούς αντιβαλλιστικούς πυραύλους (ABM - Anti-Ballistic Missile) και συστήματα²⁵⁰, τα οποία έθεσαν και συνεχίζουν να θέτουν²⁵¹ σε επιχειρησιακή ετοιμότητα και λειτουργία. Ένα σύστημα ABM έχει σχεδιαστεί για πυραυλική άμυνα, αποτελείται από πυραύλους αποστολής κυρίως εδάφους - αέρος και ενεργοποιείται προς αναχαίτηση βαλλιστικών πυραύλων οποιουδήποτε τύπου, κυρίως ICBM. Ουσιαστικά, μόλις εντοπιστούν οι επιτιθέμενοι ICBM γίνεται εκτόξευση των ABM, οι οποίοι μέσω μικρών πυρηνικών εκρήξεων καταστρέφουν τους εχθρικούς

²⁴⁹ Λόγω της δυνατότητας εκτόξευσης ενός βαλλιστικού πυραύλου σε διαστημική πτήση υψηλής υποτροχιάς. Επίσης διαμέσου των βαλλιστικών πυραύλων έγιναν και οι πρώτες αποστολές στρατιωτικών τεχνητών δορυφόρων στο διάστημα. Ένας βαλλιστικός πύραυλος και ένα όχημα εκτόξευσης στο διάστημα έχουν κοινή αρχή λειτουργίας και βάση αυτού το ένα μπορεί να τροποποιηθεί ώστε να λειτουργεί όπως το άλλο. Τα χαρακτηριστικά αυτά παρέχουν τη δυνατότητα σε χώρες να επικαλύψουν την ανάπτυξη βαλλιστικών πυραύλων με το πρόσχημα της ειρηνικής ανάπτυξης οχημάτων εκτόξευσης στο διάστημα. Τρεις από τις βασικές τους διαφορές είναι: α) Η ακρίβεια, καθώς οι δορυφόροι δεν απαιτούν ακριβή τροχιά κίνησης και ως εκ τούτου το σύστημα πλοήγησης δεν απαιτεί υψηλή ακρίβεια. β) Η χρήση οχημάτων επανεισόδου (RV - Reentry Vehicle) μέσα στα οποία στεγάζονται οι κεφαλές των πυραύλων ώστε να προστατεύονται από τις ακραίες τιμές θερμοκρασίας μόλις επανεισέρχονται στην ατμόσφαιρα. Και γ) το είδος του υλικού προώθησης (μάζα υλικού η οποία είτε αποβάλλεται από τον κινητήρα αντίδρασης είτε διαστέλλεται για να δημιουργήσει κινητήρια δύναμη ώστε να προωθήσει ένα αντικείμενο) όπου συνήθως σε πύραυλο είναι στερεό και σε δορυφόρο υγρό.

Nuclear Threat Initiative (2023). § How is a ballistic missile different from a peaceful space launch vehicle? In: NTI Education Tutorials. Missiles & other WMD delivery systems. Module 2, Understanding Missiles.

<https://tutorials.nti.org/delivery-system/understanding-missiles/> &

Propellant. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Propellant>

(Για περαιτέρω μελέτη ακολουθεί ο σύνδεσμος)

Ρωμαιο, Α. (χ.χ.). *Αεροδιαστημικά προωθητικά συστήματα*. Σημειώσεις Μαθημάτων. Τμ. Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.

<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/MECH1454/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%9B%CE%95%CE%9E%CE%95%CE%99%CE%A3%20%CE%9C%CE%91%CE%98%CE%97%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%9F%CE%A3%20%CE%91%CE%B5%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%A0%CF%81%CF%8C%CF%89%CF%83%CE%B7.pdf>

²⁵⁰ Το 1972 υπεγράφη και τέθηκε σε ισχύ, μεταξύ ΗΠΑ (Richard Nixon) και ΕΣΣΔ (Leonid Brezhnev), η Συνθήκη Αντιβαλλιστικών Πυραύλων γνωστή ως ABM Treaty, με στόχο τον έλεγχο τους, στα πλαίσια της Συμφωνίας SALT-1 (Strategic Arms Limitation Talks), η οποία αναφερόταν στο περιορισμό των στρατηγικών πυρηνικών όπλων. Το 2002 οι ΗΠΑ αποχώρησαν από την ABM Treaty και η συνθήκη δεν βρίσκεται πλέον σε ισχύ.

Ντόκος, Θ. Π. (2024). *Πυρηνική Εποχή*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαδόπουλος. &

Arms Control Association (2020). *The Anti-Ballistic Missile (ABM) Treaty at a Glance*.

<https://www.armscontrol.org/factsheets/anti-ballistic-missile-abm-treaty-glance>

²⁵¹ Σήμερα κάποια από τα πιο εξελιγμένα συστήματα ABM είναι, τα Αμερικανικά κινητά συστήματα THAAD (Terminal High Altitude Area Defense) και MIM-104 Patriot, το Ισραηλινό εξωατμοσφαιρικό υπερηχητικό σύστημα Arrow 3 (Hetz 3) και το Ρωσικό υπερηχητικό A-235 PL-19 Nudol, το οποίο βρίσκεται υπό κατασκευή. Τα δύο τελευταία αποτελούν και αντιδορυφορικά σύστημα (ASAT – Anti-Satellite), τα οποία δρουν ως διαστημικά όπλα με σκοπό την αχρήστευση εχθρικών δορυφόρων.

Comparison of anti-ballistic missile systems. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_anti-ballistic_missile_systems &

Anti-satellite weapon. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Anti-satellite_weapon

πυραύλους πριν αυτοί εισέλθουν στην ατμόσφαιρα²⁵². Σήμερα είναι γνωστό πως λειτουργικούς ICBM διαθέτουν μόνο οι ΗΠΑ, η Ρωσία, η Κίνα, η Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, το Ισραήλ και η Βόρεια Κορέα. Το Πακιστάν αν και πυρηνική δύναμη δεν διαθέτει διηπειρωτικούς βαλλιστικούς πυραύλους²⁵³. Εν κατακλείδι, στην γεωπολιτική κονίστρα όπου η ρευστότητα είναι η μόνη σταθερά, η έννοια της υπεροχής είναι σχετική, καθώς μικρότερες κρατικές δυνάμεις, εν συγκρίσει με τα κράτη που θεωρούνται υπερδυνάμεις, εάν κατέχουν έστω και έναν μικρό αριθμό βαλλιστικών πυραύλων σε συνδυασμό με τη χρήση πυρηνικών όπλων, μπορούν να αυξήσουν την ισχύ τους και να αποτελέσουν σημαντικές απειλές αντιποίνων²⁵⁴.

5.3.1 Βαλλιστικοί πύραυλοι

Οι βαλλιστικοί πύραυλοι δύνανται να φέρουν πάνω από μία κεφαλές, η γόμωση των οποίων μπορεί να είναι πυρηνική, χημική, βιολογική ή συμβατική. Μπορούν να εκτοξευθούν από υπόγεια σιλό, αυτοκινούμενους εκτοξευτές πυραύλων (TEL - Transporter Erector Launcher/ όχημα μεταφορέας - ανορθωτής - εκτοξευτής), πολεμικά πλοία επιφανείας και υποβρύχια βαλλιστικών πυραύλων²⁵⁵. Αφού δοθεί η εντολή εκτόξευσης, ενός πυρηνικού βαλλιστικού πυραύλου, δεν υπάρχει δυνατότητα ανάκλησης, ή μετατόπισης πορείας, ή απενεργοποίησης, ή αυτόματης καταστροφής. Η επιλογή αυτή είναι σκόπιμη, ώστε να αποφευχθεί η οποιαδήποτε παρέμβαση δολιοφθοράς επί του πυραυλικού συστήματος και άρα του πολιτικού σκοπού²⁵⁶. Βασικό τμήμα των βαλλιστικών πυραύλων αποτελεί ο προωθητικός μηχανισμός τριών σταδίων, στο μπροστινό μέρος του οποίου (καλείται στάδιο 3)

²⁵² Κουσκουβέλης, 2000.

²⁵³ Intercontinental Ballistic Missile. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Intercontinental_ballistic_missile

²⁵⁴ Κουσκουβέλης, 2000.

²⁵⁵ Nuclear Threat Initiative (2023). § What types of delivery systems exist? In. NTI Education Tutorials. Missiles & other WMD delivery systems. *Module 1, Introduction*.
<https://tutorials.nti.org/delivery-system/introduction/>

²⁵⁶ Allen, J. R., & Levin, P. L. (2024, September 24). *Disabling a Nuclear Weapon in Midflight. This tech could literally save the world*. IEEE Spectrum. Institute of Electrical and Electronics Engineers.
<https://spectrum.ieee.org/nuclear-war> &
Union of Concerned Scientists (2015). *Frequently Asked Questions about Taking Nuclear Weapons Off Hair-Trigger Alert*.
<https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2015/01/Hair-Trigger%2520FAQ.pdf> &
Union of Concerned Scientists (2015). § Incidents with ballistic missiles. In *Close calls with nuclear weapons*.
<https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2015/04/Close%20Calls%20with%20Nuclear%20Weapons.pdf>
[Δεν γνωρίζω, καθώς δεν βρήκα περαιτέρω πληροφορίες, κατά πόσο η δυνατότητα μη ανάκλησης ενός πυρηνικού βαλλιστικού πυραύλου είναι μια πάγια τακτική και λειτουργία, που συνεχίζει να υφίστατο έως και σήμερα, καθώς η τεχνολογική εξέλιξη είναι ραγδαία και οι γεωπολιτικές συνθήκες ατερέμονως μεταβαλλόμενες.]

εφαρμόζεται το όχημα επαναφοράς, που φέρει εντός του την πυρηνική κεφαλή, ή τις πυρηνικές κεφαλές, εάν πρόκειται για τύπο βαλλιστικού πυραύλου MIRV (Multiple Independently-targetable Reentry Vehicles).

Θεμελιώδη αρχή των βαλλιστικών πυραύλων είναι η βαλλιστική τροχιά που ακολουθούν, η οποία αποτελείται από τρεις φάσεις: την φάση ώθησης²⁵⁷, την φάση ενδιάμεσης πορείας (αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της πτήσης) και την τερματική φάση. Η πρώτη φάση της ώθησης²⁵⁸, λαμβάνει χώρα κατά την εκτόξευση του πυραύλου και χαρακτηρίζεται από την απαιτούμενη ώθηση, που παρέχει ο μηχανισμός προώθησης, ώστε ο πύραυλος να φθάσει στο μέγιστο απαιτούμενο ύψος. Μόλις φθάσει σε αυτό το σημείο μεταβαίνει στη δεύτερη φάση της ενδιάμεσης πορείας. Σε αυτό το στάδιο ο μηχανισμός προώθησης, έχοντας θέσει τον πύραυλο σε παραβολική τροχιά²⁵⁹, αποκόπτεται από το όχημα επαναφοράς που φέρει την κεφαλή, το οποίο συνεχίζει χωρίς τροφοδοσία, βασισμένο στη δική του ορμή, την πορεία του στο κενό, έως ότου αρχίσει να κατέρχεται προς τον προκαθορισμένο εχθρικό στόχο. Μόλις το όχημα επαναφοράς αρχίσει να κατέρχεται προς τον στόχο, η βαλλιστική πορεία έχει εισέλθει στη τερματική φάση επανεισόδου του οχήματος στην ατμόσφαιρα και λήγει με την πρόσκρουση της πυρηνικής κεφαλής επί του στόχου²⁶⁰. Επιπροσθέτως με βάση το βεληνεκές τους οι βαλλιστικοί πύραυλοι ταξινομούνται στις κάτωθι κατηγορίες:

α) Μικρού βεληνεκούς < 1.000 χλμ. (SRBM - Short Range Ballistic Missile)

β) Μέσου βεληνεκούς 1.000 - 3.000 χλμ. (MRBM - Medium Range Ballistic Missile)

γ) Μεγάλου/ Ενδιάμεσου βεληνεκούς 3.000 - 5.500 χλμ. (IRBM - Intermediate Range Ballistic Missile)

δ) Διεπειρωτικοί βαλλιστικοί πύραυλοι > 5.5000 χλμ. (ICBM - Intercontinental Ballistic Missile)

²⁵⁷ Βασίζεται στο 3^ο νόμο της κίνησης του Isaac Newton, όπου για κάθε δράση υπάρχει και μία αντίδραση. Newton's laws of motion. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Newton%27s_laws_of_motion

²⁵⁸ Το πρώτο αυτό στάδιο είναι από τα πιο κρίσιμα για την ορθή βαλλιστική πορεία του πυραύλου, καθώς επηρεάζεται από αστάθμητους παράγοντες όπως είναι οι καιρικές συνθήκες, για το λόγω αυτό ελέγχεται από μηχανισμούς διόρθωσης πορείας, όπως είναι ειδικοί τύποι radars και δορυφορικά συστήματα (Θεοφίλου, 1984).

²⁵⁹ Βασικοί παράμετροι καθορισμού της παραβολικής τροχιάς είναι η βαρύτητα και οι συνθήκες θέσης και ταχύτητας που υφίσταντο μετά την φάση ώθησης (Οικονόμου, 1991).

²⁶⁰ Θεοφίλου, 1984. & Οικονόμου, 1991. & Nuclear Threat Initiative (2004, January 30). *Ballistic Missile Defence Challenge*.
https://media.nti.org/pdfs/10_5.pdf

Οι βαλλιστικοί πύραυλοι μικρού και μεσαίου βεληνεκούς καλούνται τακτικοί βαλλιστικοί πύραυλοι ή πύραυλοι θεάτρου επιχειρήσεων (TBM - Theatre Ballistic Missiles). Οι διηπειρωτικοί βαλλιστικοί πύραυλοι, οι μεσαίου και οι μεγάλου βεληνεκούς είναι σχεδιασμένοι ώστε να φέρουν και πυρηνικά όπλα, επιπροσθέτως οι διηπειρωτικοί πύραυλοι αποτελούν στρατηγικά όπλα. Όλοι οι βαλλιστικοί πύραυλοι, ανεξαρτήτου βεληνεκούς, ακολουθούν τις ίδιες φυσικές αρχές στη φάση ενδιάμεσης πορείας, με μόνη εξαίρεση του βαλλιστικούς πυραύλους με βεληνεκές κάτω των 350 χλμ., οι οποίοι δεν εξέρχονται της ατμόσφαιρας²⁶¹. Οι ICBM αποτελούν το πιο ετοιμοπόλεμο σύστημα μεταφοράς/ παράδοσης της πυρηνικής τριάδας. Μπορούν να εκτοξευτούν άμεσα, εάν ανακύψει μείζον ζήτημα ζωτικής σημασίας, είναι υψηλής καταστροφικής απόδοσης με CEP²⁶² (Circular Error Probable) υψηλής ακρίβειας και δύσκολο να αναχαιτιστούν, καθώς έως σήμερα δεν έχει αναπτυχθεί κάποιο αξιόπιστο αντιπυραυλικό σύστημα ABM ώστε να τους αντιμετωπίσει²⁶³.

Ένας σημαντικό σύστημα μεταφοράς, τύπου ICBM, είναι οι επονομαζόμενοι MIRV (Multiple Independently-targetable Reentry Vehicle) διηπειρωτικοί εξωατμοσφαιρικοί βαλλιστικοί πύραυλοι που φέρουν οχήματα επανεισόδου πολλαπλών κεφαλών ανεξάρτητης στόχευσης²⁶⁴. Οι πυρηνικές κεφαλές, μόλις ο πύραυλος εισέλθει στη φάση ενδιάμεσης πορείας, απελευθερώνονται και καθώς η κάθε μία φέρει το δικό της όχημα επανεισόδου κατευθύνεται, ξεχωριστά από τις υπόλοιπες ακολουθώντας διαφορετική ταχύτητα και κατεύθυνση, στον προκαθορισμένο στόχο της. Η ανάπτυξη των MIRV, κυρίως από το 1962 και έπειτα, με κύριο εκπρόσωπο τον Αμερικανικό στρατηγικό σύστημα Minuteman III, σήμαινε και ανακατατάξεις στρατηγικής ισχύος (όπως συμβαίνει με κάθε νέα στρατιωτική τεχνολογία που αναδύεται από την αμυντική βιομηχανία), καθώς λειτουργούσε ως όπλο

²⁶¹ Davenport, K. (2023). *Worldwide Ballistic Missile Inventories*. Arms Control Association. <https://www.armscontrol.org/factsheets/worldwide-ballistic-missile-inventories> & Ballistic Missile. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Ballistic_missile

²⁶² Η ακρίβεια στόχευσης είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς αυξάνοντας αυτή την ικανότητα αυξάνεται αναλόγως και το μέγεθος καταστροφικότητας που επιφέρει ο πύραυλος. Το CEP αποδίδεται ως το μέσο δυνατό σφάλμα, μας δίνει την ακρίβεια με την οποία ένα βλήμα μπορεί να πλήξει το στόχο του. Είναι ο αριθμός που μας δίνει την ευστοχία ενός βλήματος. Αποτελεί ένα σύστημα μέτρησης της ακρίβειας βολής (βαλλιστικής ακρίβειας) στα οπλικά συστήματα. Ορίζεται ως «η ακτίνα ενός κύκλου με κέντρο το σημείο στόχου, ο οποίος έχει 50% πιθανότητα χτυπήματος». Δηλαδή από τους 100 πυραύλους που εκτοξεύονται οι 50 θα πέσουν εντός του κύκλου ακτίνας CEP, το κέντρο του οποίου είναι ο προκαθορισμένος στόχος. Λιόλιος, 2009. & Θεοφίλου, 1984. & Webb, D. W. (2012). *Circular Probable Error for Circular and Noncircular Gaussian Impacts*. Army Research Laboratory. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1043284.pdf>

²⁶³ The Center for Arms Control and Non-Proliferation (n.d.). *Missile Defense*. <https://armscontrolcenter.org/issues/missile-defense/>

²⁶⁴ Μία παραλλαγή αποτελούν οι λεγόμενοι MRV (Multiple Reentry Vehicle) όπου φέρουν οχήματα επανεισόδου πολλαπλών κεφαλών, οι οποίες όμως στοχεύουν τον ίδιο προκαθορισμένο στόχο. Multiple independently targetable reentry vehicle. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Multiple_independently_targetable_reentry_vehicle

πολλαπλασιασμού της ισχύος, σύμφωνα με το δόγμα του πρώτου πλήγματος²⁶⁵. Προσέτι, για κάθε έναν πύραυλο τύπου MIRV, απαιτούνταν άνω του ενός αναχαιτιστικοί πύραυλοι ABM και ως εκ τούτου η αμυντική τεχνολογία κατέστη περισσότερο δαπανηρή, σε σύγκριση με την τεχνολογία ανάπτυξης επιθετικών όπλων.

Όλες οι σημερινές πυρηνικές δυνάμεις κατέχουν βαλλιστικούς πυραύλους τύπου MIRV, εκτός από τη Βόρεια Κορέα²⁶⁶ και το Πακιστάν²⁶⁷, οι οποίες βρίσκονται σε διαδικασία ανάπτυξης και δοκιμών. Η Ινδία²⁶⁸, στις 11 Μαρτίου του 2024, δοκίμασε επιτυχώς την ανάπτυξη της τεχνολογίας MIRV στον ICBM Agni-V. Οι πληροφορίες σχετικά με το Ισραήλ είναι αμφίβολες. Οι ΗΠΑ, η Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο χρησιμοποιούν τη τεχνολογία MIRV σε διηπειρωτικούς βαλλιστικούς πυραύλους που εκτοξεύονται από υποβρύχια (SLBM), η Κίνα διαθέτει τη τεχνολογία MIRV σε ICBM και η Ρωσία αντίστοιχα σε ICBM και SLBM. Οι ΗΠΑ το 2017 απέσυραν τους MIRV από το σύστημα ICBM Minuteman III, στα πλαίσια των υποχρεώσεων της συνθήκης New START²⁶⁹ (New Strategic Arms Reduction Treaty) για την μείωση των πυρηνικών όπλων²⁷⁰.

²⁶⁵ Απαιτείται να πληγούν ταυτόχρονα όλες οι εγκαταστάσεις εκτόξευσης ICBM ώστε ο αντίπαλος να μην δύναται να προβεί σε πυρηνικά αντίποινα (Θεοφίλου, 1984).

²⁶⁶ Diepen, V. H. V. (2024, November 5). *North Korea Tests New Solid ICBM Probably Intended for MIRVs*. 38 North. <https://www.38north.org/2024/11/north-korea-tests-new-solid-icbm-probably-intended-for-mirvs/>

²⁶⁷ Levesques, A. (2023, November 7). *Pakistan missile test confirms its MIRV ambitions*. International Institute for Strategic Studies. <https://www.iiss.org/online-analysis/missile-dialogue-initiative/2023/10/pakistan-missile-test-confirms-its-mirv-ambitions/>

²⁶⁸ Rehman, H. (2024, May 3). *What India's MIRV test adds to the 'strategic trilemma' in South Asia*. Bulletin of the atomic scientists. <https://thebulletin.org/2024/05/what-indias-mirv-test-adds-to-the-strategic-trilemma-in-south-asia/>

²⁶⁹ Τέθηκε σε ισχύ το 2011 με στόχο των περιορισμό των πυρηνικών οπλών μεταξύ ΗΠΑ και Ρωσικής Ομοσπονδίας. Θέτει ως ανώτατο αριθμό στρατηγικών πυρηνικών κεφαλών τις 1.550 εκατέρωθεν, μια μείωση της τάξης του 30% σε σχέση με την προκάτοχο συνθήκη START-I. Η START (Strategic Arms Reduction Treaty) - I υπεγράφη μεταξύ ΗΠΑ και ΕΣΣΔ το 1991 και αποτελεί την πρώτη συμφωνία μείωσης πυρηνικών όπλων μεταξύ των δύο υπερδυνάμεων. Τέθηκε σε ισχύ το 1994 και εφαρμόστηκε έως το 2009. Το 2023 η Ρωσία ανέστειλε τη συμμετοχή της στη New START, όμως η κίνηση αυτή ήταν νομικά αβάσιμη, σύμφωνα με τις ΗΠΑ και την φύση της συνθήκης και ως εκ τούτου η Ρωσία συνέχισε να τηρεί τις υποχρεώσεις της. Εν συνεχεία τα δύο συμβαλλόμενα μέρη συμφώνησαν την παράταση της ισχύος της New START έως τις 4 Φεβρουαρίου του 2026. Ντόκος, 2024. &

U.S. Department of State (2023, June 1). *Russian Noncompliance with and Invalid Suspension of the New START Treaty*.

<https://www.state.gov/russian-noncompliance-with-and-invalid-suspension-of-the-new-start-treaty/> & U.S. Department of State (2023, June 1). *New START Treaty*. <https://www.state.gov/new-start/>

²⁷⁰ Θεοφίλου, 1984. &

The Center for Arms Control and Non-Proliferation (n.d.). *Multiple Independently-targetable Reentry Vehicle (MIRV)*.

<https://armscontrolcenter.org/wp-content/uploads/2017/08/MIRV-Factsheet.pdf> &

Buchonnet, D. (1976). *MIRV: A brief history of minuteman and multiple reentry vehicles*. Lawrence Livermore Laboratory. (1997). *Multiple Independently Targetable Reentry Vehicles (MIRVs)*.

Στην κατηγορία των ICBM, με δυνατότητα ανάπτυξης συστήματος MIRV πυρηνικών κεφαλών, ανήκε και ο επονομαζόμενος LGM-118 Peacekeeper (Missile-X, Missile-eXperimental) του πειραματικού πυραυλικού συστήματος MX²⁷¹ (Missile Experimental). Ξεκίνησε να αναπτύσσεται το 1971 και τέθηκε σε χρήση το 1986, αποτελώντας το σημαντικότερο και το πιο εξελιγμένο Αμερικανικό στρατηγικό όπλο κατά τη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου. Επιπλέον ήταν ο τελευταίος ICBM που αναπτύχθηκε από την Πολεμική Αεροπορία των ΗΠΑ τον 20^ο αιώνα. Αποτέλεσε ένα από τα πιο καταστροφικά και θανατηφόρα πυρηνικά όπλα έως και σήμερα. Αποσύρθηκε το 2005, ως υποχρέωση με βάση τους όρους της συνθήκης START-II²⁷², με τις κεφαλές να μεταβαίνουν στο πυραυλικό σύστημα Minuteman III²⁷³.

Εν κατακλείδι θα αναφερθούν ενδεικτικά κάποιοι από τους κυριότερους βαλλιστικούς πυραύλους πυρηνικών κεφαλών, οι οποίοι σήμερα είτε βρίσκονται στο στάδιο της ανάπτυξης είτε βρίσκονται ήδη στα οπλοστάσια των πυρηνικών δυνάμεων:

- Οι ΗΠΑ σήμερα διαθέτουν τους χερσαίους διηπειρωτικούς βαλλιστικούς πυραύλους (ICBM) LGM-30G Minuteman III, οι οποίοι θα αντικατασταθούν έως το 2075 από το χερσαίο σύστημα διηπειρωτικών βαλλιστικών πυραύλων LGM-35A Sentinel (γνωστό και ως GBSD - Ground Based Strategic Deterrent)²⁷⁴. Στην κατηγορία των SLBM διαθέτουν τους βαλλιστικούς πυραύλους UGM-133A Trident

<https://nsarchive2.gwu.edu/nsa/NC/mirv/mirv.html> &
Multiple independently targetable reentry vehicle. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Multiple_independently_targetable_reentry_vehicle

²⁷¹ Αποτέλεσαν πειραματικά προγράμματα οπλικών συστημάτων που ξεκίνησαν να αναπτύσσονται στις ΗΠΑ το 1941 έως το 1954. Μερικά οπλικά προγράμματα συνέχισαν να αναφέρονται και μετέπειτα με την ίδια ονομασία. MX designations. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/MX_designations

²⁷² Υπεγράφη το 1993 μεταξύ των ΗΠΑ και της Ρωσικής Ομοσπονδίας. Μεταξύ των άλλων προέβλεπε την απαγόρευση των οχημάτων επανεισόδου MIRV σε ICBM (καλείται και συμφωνία De-MIRV-ing). Το 2002 ύστερα από την αποχώρηση των ΗΠΑ από τη συνθήκη ABM, η Ρωσία αντέδρασε μέσω της αποχώρησής της από την συνθήκη START-II. Ως εκ τούτου η συνθήκη START-II δεν τέθηκε ποτέ σε ισχύ και αντικαταστάθηκε από τη συνθήκη SORT (Strategic Offensive Reduction Treaty) γνωστή και ως Συνθήκη της Μόσχας, η οποία τέθηκε σε ισχύ από το 2003 έως το 2011 όπου και αντικαταστάθηκε από την συνθήκη New START. The Center for Arms Control and Non-Proliferation (2022, November, 16). *Strategic Arms Reduction Treaty II*. <https://armscontrolcenter.org/strategic-arms-reduction-treaty-ii/> &
Kimball, D. G. (2022). *The Strategic Offensive Reductions Treaty (SORT) At a Glance*. Arms Control Association. <https://www.armscontrol.org/factsheets/strategic-offensive-reductions-treaty-sort-glance>

²⁷³ Missile Threat (2024, April 23). *LGM-118 Peacekeeper (MX)*. <https://missilethreat.csis.org/missile/lgm-118-peacekeeper-mx/> &
F.E. Warren Air Force Base (n.d.). *Martin Marietta LGM-118A Peacekeeper*. <https://www.warren.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/2869085/martin-marietta-lgm-118a-peacekeeper/>

²⁷⁴ Air Force Nuclear Weapons Center (2022). *Fact Sheet LGM-35A Sentinel*. <https://www.afgsc.af.mil/Portals/51/Docs/Sentinel/LGM-35A%20Sentinel%20Fact%20Sheet%20cao%206%20Apr.pdf>

Η D5 (UGM = underwater-launched, surface attack guided missile, εν ενεργεία από το 1990, αντικατέστησαν το παλαιότερο μοντέλο UGM-96 Trident I C4, ήταν εν ενεργεία από το 1979 έως το 2005²⁷⁵), τους οποίους φέρουν τα πυρηνοκίνητα υποβρύχια Ohio Class. Οι ΗΠΑ στοχεύουν να παρατείνουν τη χρήση τους αρχικά έως το 2040, μέσω του προγράμματος D5LEP (Life Extension Program) και μετέπειτα έως το 2084, μέσω του προγράμματος D5LE2²⁷⁶. Ο ίδιος τύπος SLBM χρησιμοποιείται και από το Βασιλικό Πολεμικό Ναυτικό του Ηνωμένου Βασιλείου, μέσω των πυρηνοκίνητων υποβρυχίων Vanguard Class. Σκοπεύει να τους διατηρήσει, ακολουθώντας τεχνολογικές αναδιαμορφώσεις έως το 2080. Το Ηνωμένο Βασίλειο δεν διαθέτει ICBM, ούτε συμβατικούς ούτε πυρηνικούς²⁷⁷.

• Η Ρωσία έχει αναπτύξει (έναρξη κατασκευής τέλη δεκαετίας 2000) τους διηπειρωτικούς βαλλιστικούς πυραύλους RS-28 Sarmat²⁷⁸ (γνωστοί από το NATO και ως SS-X-29, ή SS-X-30, αλλά και ως Satan

²⁷⁵ Guerrero, J. (2024, August 11). *Trident I C-4 (UGM-96)*. Nuclear Companion. <https://nuclearcompanion.com/data/trident-i-c-4-ugm-96/> & UGM-96 Trident I. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/UGM-96_Trident_I

²⁷⁶ Guerrero, J. (2024, February 25). *Trident II D-5 (UGM-133A)*. Nuclear Companion. <https://nuclearcompanion.com/data/trident-ii-d-5-missile/> & UGM-133 Trident II. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/UGM-133_Trident_II & Lockheed Martin (2002, January 29). *Navy Awards Lockheed Martin \$248 Million Contract for Trident II D5 Missile Production and D5 Service Life Extension*. <https://investors.lockheedmartin.com/news-releases/news-release-details/navy-awards-lockheed-martin-248-million-contract-trident-ii-d5> & Burgess, R. R. (2018, November 8). *Next Sub-Launched Ballistic Missile 'Won't Be Completely New'*. Sea Power. <https://seapowermagazine.org/next-sub-launched-ballistic-missile-wont-be-completely-new/>

²⁷⁷ Arms Control Association (2024). *Arms Control and Proliferation Profile: The United Kingdom*. <https://www.armscontrol.org/factsheets/arms-control-and-proliferation-profile-united-kingdom>

²⁷⁸ Φέρει δυνατότητα συστημάτων HGV (Hypersonic Glide Vehicle) και FOBS (Fractional Orbital Bombardment System). Το πρώτο είναι ένα σύστημα, του οχήματος επαναφοράς κεφαλών, μέσω του οποίου παρέχεται η δυνατότητα σε αυτές να ελίσσονται και να αναδιαμορφώνουν τη πορεία του προς το στόχο (αναδιαμόρφωση της τροχιάς), μόλις αποσυνδεθούν από το μηχανισμό προώθησης του σκάφους του πυραύλου. Το σύστημα αυτό προσδίδει επιπλέον στον πύραυλο την δυνατότητα να αποφεύγει με επιτυχία τα αντιβαλλιστικά αμυντικά συστήματα (ABM). Το δεύτερο σύστημα παράδοσης κεφαλών τις θέτει σε χαμηλή τροχιά LEO (Low Earth Orbit) προς τον στόχο.

Army Recognition Group (2024, November 18). *RS-28 Sarmat Satan 2 II SS-X-30 ICBM*. <https://armyrecognition.com/military-products/army/missiles/icbm-intercontinental-ballistic-missiles/rs-28-sarmat-satan-ii-ss-x-30-icbm-silo-based-intercontinental-ballistic-missile-data> & RS-28 Sarmat. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/RS-28_Sarmat & Congressional Research Service (2024, November 1). § Characteristics of Hypersonic Glide Vehicles. In *Defense Primer: Hypersonic Boost-Glide Weapons*. <https://sgp.fas.org/crs/natsec/IF11459.pdf> & Hypersonic glide vehicle. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Hypersonic_glide_vehicle & Fractional Orbital Bombardment System. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Fractional_Orbital_Bombardment_System

II) οι οποίοι θα αντικαταστήσουν τους προγενέστερους R-36 (αναπτύχθηκαν την δεκαετία του 1960 από τη Σοβιετική Ένωση, από το NATO είναι γνωστοί ως SS-18 Satan²⁷⁹). Η πρώτη δοκιμαστική πτήση έλαβε χώρα το 2022 και το 2023 τέθηκε επισήμως εν ενεργεία. Επίσης στα τέλη της δεκαετίας του 2000 ξεκίνησε την ανάπτυξη των βαλλιστικών πυραύλων RS-26 Rubezh (γνωστοί από το NATO ως SS-X-31, θεωρούνται μεγάλου IRBM έως διηπειρωτικού βεληνεκούς ICBM, κεφαλή MIRV), ο σχεδιασμός των οποίων είναι βασισμένος στον διηπειρωτικό βαλλιστικό πύραυλο RS-24 Yars (γνωστός και ως Topol-MR, από το NATO καλείται SS-29, ή SS-27 Mod 2, εν ενεργεία από το 2010, θερμοπυρηνικών κεφαλών MIRV²⁸⁰). Τον Νοέμβριο του 2024 αποδείχτηκε η επιχειρησιακή τους ετοιμότητα όταν στα πλαίσια της Ρωσο-Ουκρανικής σύγκρουσης²⁸¹ έγινε εκτόξευση, προς τις στρατηγικές υποδομές της Ουκρανικής πόλης Dnipro, ενός αριθμού πυραύλων τύπου Oreshnik. Οι Oreshnik αποτελούν πυραύλους IRBM (όπως χαρακτηρίστηκαν από τη Ρωσική κυβέρνηση), μίας παραλλαγής του RS-26 Rubezh, οι οποίοι ήτο εξοπλισμένοι, για την συγκεκριμένη επιχείρηση, με συμβατικές κεφαλές²⁸². Στην κατηγορία των SLBM η Ρωσία διαθέτει τους R-29RMU2 Sineva²⁸³ (RSM-54, εν ενεργεία από το 2007, κεφαλή MIRV), τους οποίους φέρουν τα πυρηνοκίνητα υποβρύχια Delta Class και τους R-30 Bulava²⁸⁴ (RSM-56, εν ενεργεία από το 2018, γνωστοί από το NATO και ως SS-N-32, κεφαλή MIRV), τους οποίους φέρουν τα πυρηνοκίνητα υποβρύχια Borei Class.

²⁷⁹ Missile Threat (2024, April 23). *R-36 (SS-18 "Satan")*.

<https://missilethreat.csis.org/missile/ss-18/> & R-36 (missile). In Wikipedia.
[https://en.wikipedia.org/wiki/R-36_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/R-36_(missile))

²⁸⁰ RS-24 Yars. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/RS-24_Yars

²⁸¹ Έναρξη Φεβρουάριος 2014, κλιμάκωση Φεβρουάριος 2022.

²⁸² Οι RS-26 Rubezh φέρουν θερμοπυρηνικές κεφαλές MIRV και έχουν δυνατότητα το όχημα επανεισόδου τους να είναι τύπου HGV, ή MaRV (Maneuverable reentry vehicle, δυνατότητα ελιγμών για επαναπροσδιορισμό τροχιάς προς τον στόχο).

RS-26 Rubezh. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/RS-26_Rubezh & Maneuverable reentry vehicle. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Maneuverable_reentry_vehicle & Oreshnik (missile). In Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Oreshnik_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Oreshnik_(missile)) & Army Recognition Group (2024, November 21). *RS-26 Rubezh SS-X-31*.

<https://armyrecognition.com/military-products/army/missiles/icbm-intercontinental-ballistic-missiles/rs-26-rubezh-ss-x-31>

²⁸³ R-29RMU Sineva. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/R-29RMU_Sineva

²⁸⁴ RSM-56 Bulava. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/RSM-56_Bulava

- Η Γαλλία διαθέτει, στην κατηγορία των SLBM, τους M51 (θερμοπυρηνική κεφαλή MIRV, εν ενεργεία από το 2010, αντικατέστησαν τους M45, θερμοπυρηνικής κεφαλής MIRV, εν ενεργεία από το 1996 έως το 2016²⁸⁵) τους οποίους φέρουν τα υποβρύχια Triomphant Class. Το 1996 τερμάτισε τη χρήση πυρηνικών ICBM²⁸⁶.

- Η Κίνα²⁸⁷ διαθέτει τους ICBM, πυρηνικής και συμβατικής γόμωσης, DF-31 (Dong Feng, γνωστοί και ως CSS-10, εν ενεργεία από το 2006), με εκσυγχρονισμένα μοντέλα τα DF-31A (2007, CSS-10 Mod 2) και DF-31AG²⁸⁸ (2017). Θεωρείται δε πως από το 2022 είναι σε ανάπτυξη, ενός νέου μοντέλου, του DF-31B.²⁸⁹ Επίσης από το 2019 έχει υπό ανάπτυξη το μοντέλο DF-41 (CSS-X-20, πυρηνική κεφαλή MIRV)²⁹⁰. Στο τομέα των SLBM διαθέτει τους JL-2²⁹¹ (Ju Lang, CSS-NX-14, εν ενεργεία από το 2015, πυρηνικής κεφαλής MIRV), οι οποίοι είναι μία τροποποιημένη έκδοση των ICBM DF-31 και τους JL-

²⁸⁵ M45 (missile). In Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/M45_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/M45_(missile))

²⁸⁶ Arms Control Association (2024). *Arms Control and Proliferation Profile: France*.

<https://www.armscontrol.org/factsheets/arms-control-and-proliferation-profile-france> &

M51 (missile). In Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/M51_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/M51_(missile))

²⁸⁷ Η Πυραυλική Δύναμη του Λαϊκού Απελευθερωτικού Στρατού (PLARF - People's Liberation Army Rocket Force).

People's Liberation Army Rocket Force. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/People%27s_Liberation_Army_Rocket_Force

²⁸⁸ Η Κίνα στις 25 Σεπτέμβρη του 2024 προέβη στη πρώτη δοκιμή διηπειρωτικού βαλλιστικού πυραύλου στον Ειρηνικό Ωκεανό, με κεφαλή εκπαίδευσης χωρίς γόμωση, από το 1980 (δοκιμή ICBM DF-5, στο κέντρο εκτόξευσης δορυφόρων Jiuquan). Η εκτόξευση έλαβε χώρα από το νησί Hainan προς τον Ειρηνικό Ωκεανό, κοντά στις νήσους Marquesas της Γαλλικής Πολυνησίας. Αν και δεν αποκαλύφθηκε ο τύπος του ICBM θεωρείτο πως ήταν το μοντέλο DF-31AG.

Johns, E. (2024, October 16). *Geolocating China's Unprecedented Missile Launch: The Potential What, Where, How, and Why*. Federation of American Scientists.

<https://fas.org/publication/geolocating-chinas-unprecedented-missile-launch/> &

Singh, K. P. (2024, October 18). *China's ICBM Test: An Analysis*. Centre For Air Power Studies.

<https://capsindia.org/chinas-icbm-test-an-analysis/>

²⁸⁹ Missile Threat (2024, April 23). *DF-31 (Dong Feng-31 / CSS-10)*.

<https://missilethreat.csis.org/missile/df-31/> &

Missile Defense Advocacy Alliance (2023). *Dong Feng-31 (CSS-10)*.

<https://missiledefenseadvocacy.org/missile-threat-and-proliferation/todays-missile-threat/china/dong-feng-31-css-10/>

²⁹⁰ Missile Defense Advocacy Alliance (2023). *Dong Feng-41 (CSS-X-20)*.

<https://missiledefenseadvocacy.org/missile-threat-and-proliferation/todays-missile-threat/china/df-41/>

²⁹¹ Missile Threat (2024, April 23). *JL-2*.

<https://missilethreat.csis.org/missile/jl-2/>

3²⁹² (CSS-N-20, εν ενεργεία από το 2022, πυρηνικής κεφαλής MIRV). Και οι δύο τύποι SLBM φέρονται από τα πυρηνοκίνητα υποβρύχια Jin Class (Type 094)²⁹³.

- Η Ινδία το 2008 ξεκίνησε την ανάπτυξη του ICBM (δυνατότητας πυρηνικής κεφαλής MIRV) Agni-V, ο οποίος το 2018 εισήχθη στους εν ενεργεία πυραύλους της Διοίκησης Στρατηγικών Δυνάμεων (ή Στρατηγική Πυρηνική Διοίκηση) της Αρχής Πυρηνικής Διοίκησης των Ινδικών ενόπλων δυνάμεων²⁹⁴. Επίσης από το 2018 έχει επιβεβαιωθεί η ανάπτυξη του πιο εξελιγμένου μοντέλου Agni-VI²⁹⁵. Στην κατηγορία των SLBM, εισήχθη το 2020 ο K-4 (Kalam-4) IRBM (μεγάλου/ ενδιάμεσου βεληνεκούς) τον οποίο φέρουν τα υποβρύχια Arihant Class²⁹⁶.

- Το Πακιστάν δεν διαθέτει, ούτε πυρηνικούς ούτε συμβατικούς, SLBM και ICBM. Διαθέτει όμως και αναπτύσσει βαλλιστικούς πυραύλους, πυρηνικής δυνατότητας, μικρού (SRBM) έως μέσου βεληνεκούς (MRBM)²⁹⁷. Στα μέσα της δεκαετίας του 2000 ξεκίνησε την ανάπτυξη των SRBM, Nasr (Hatf-9), οι οποίοι είναι εν ενεργεία από το 2013²⁹⁸. Επίσης προς τα τέλη της ίδιας δεκαετίας ξεκίνησε την ανάπτυξη των MRBM, Ababeel (δυνατότητας πυρηνικής κεφαλής MIRV) με μοναδική γνωστή δοκιμαστική εκτόξευση να λαμβάνει χώρα το 2017²⁹⁹.

- Το Ισραήλ ακολουθεί μία τακτική στρατηγικής απροσδιοριστίας σχετικά με τις πυρηνικές του οπλικές κτήσεις. Κατέχει τους IRBM (μεγάλου/ ενδιάμεσου βεληνεκούς), Jericho-3 (πρώτη δοκιμή το 2008 και

²⁹² JL-3. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/JL-3>

²⁹³ Arms Control Association (2024). *Arms Control and Proliferation Profile: China*.

<https://www.armscontrol.org/factsheets/arms-control-and-proliferation-profile-china>

²⁹⁴ Agni-V. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Agni-V>

²⁹⁵ Agni-VI. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Agni-VI>

²⁹⁶ K-4 (missile). In Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/K-4_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/K-4_(missile)) &

Naval Technology (2024, November 29). *India tests nuclear-capable K-4 missile from INS Arighaat*.

<https://www.naval-technology.com/news/k-4-missile-from-ins-arighaat/?cf-view&cf-click&cf-minimized&cf-view>

²⁹⁷ Arms Control Association (2023). *Arms Control and Proliferation Profile: Pakistan*.

<https://www.armscontrol.org/factsheets/arms-control-and-proliferation-profile-pakistan>

²⁹⁸ Missile Threat (2024, April 23). *Nasr (Hatf-9)*.

<https://missilethreat.csis.org/missile/hatf-9/>

²⁹⁹ Missile Threat (2024, April 2023). *Ababeel*.

<https://missilethreat.csis.org/missile/ababeel/>

εν ενεργεία από το 2011) και τους εν ανάπτυξη Jericho-4 (το 2019 έλαβε χώρα επιτυχημένη δοκιμή εκτόξευσης, οι πληροφορίες για τις δυνατότητές του είναι άγνωστες)³⁰⁰.

- Η Βόρεια Κορέα διαθέτει τους ICBM (συμβατικής και πυρηνικής δυνατότητας, και δυνατότητας κεφαλής MIRV) Hwasong-15 (δοκιμαστική εκτόξευση 2017, γνωστοί από τις ΗΠΑ και ως KN-22)³⁰¹ και το εξελιγμένο μοντέλο Hwasong-19 (δυνατότητας πυρηνικής κεφαλής MIRV), η δοκιμή του οποίου έλαβε χώρα στις 31 Οκτωβρίου του 2024. Η κυβέρνηση της χώρας τον χαρακτήρισε ως «τον ισχυρότερο στρατηγικό πύραυλο στο κόσμο³⁰²». Στην κατηγορία των SLBM, διαθέτει τους Pukguksong-1 (γνωστοί και ως KN-11, συμβατικής και πυρηνικής γόμωσης) των οποίων η πρώτη επιτυχημένη δοκιμαστική εκτόξευση έλαβε χώρα το 2016, και τους φέρουν τα υποβρύχια Sinpo Class³⁰³. Το 2019 έλαβε χώρα η πρώτη επιτυχημένη δοκιμαστική εκτόξευση του εξελιγμένου μοντέλου Pukguksong-3³⁰⁴ (γνωστό και ως KN-26, πιθανότατα δυνατότητας συμβατικής και πυρηνικής γόμωσης)³⁰⁵.

³⁰⁰ Mills, C. (2022, July 28). *Nuclear weapons at a glance: Israel*. House of Commons Library. <https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/CBP-9075/CBP-9075.pdf> & Missile Threat (2024, April 23). *Jericho-3*. <https://missilethreat.csis.org/missile/jericho-3/> & Jericho (missile). In Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Jericho_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Jericho_(missile))

³⁰¹ Missile Defense Advocacy Alliance (2023). *Hwasong-15/KN-22*. <https://missiledefenseadvocacy.org/missile-threat-and-proliferation/todays-missile-threat/north-korea/hwasong-15/>

³⁰² “the world’s strongest strategic missile.” Army Recognition Group (2024, November 29). *Hwasong-19 ICBM*. <https://armyrecognition.com/military-products/army/missiles/icbm-intercontinental-ballistic-missiles/hwasong-19-icbm> & Van Diepen, V. H. (2024, November 5). *North Korea Tests New Solid ICBM Probably Intended for MIRVs*. 38 North. <https://www.38north.org/2024/11/north-korea-tests-new-solid-icbm-probably-intended-for-mirvs/>

³⁰³ Missile Threat (2024, April 23). *Pukguksong-1 (KN-11)*. <https://missilethreat.csis.org/missile/kn-11/> & Pukguksong-1. In Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Pukguksong-1>

³⁰⁴ Missile Threat (2024, April 23). *Pukguksong-3 (KN-26)*. <https://missilethreat.csis.org/missile/pukguksong-3/> & Pukguksong-3. In Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Pukguksong-3>

³⁰⁵ Η Βόρεια Κορέα στις 9 Σεπτεμβρίου του 2022 αυτοανακηρύχθηκε πυρηνικό κράτος, μέσω σχετικού ανακηρυχθέντος νόμου, απορρίπτοντας κάθε πιθανότητα αποπυρηνικοποίησης. BBC (2022, September 9). *North Korea declares itself a nuclear weapons state*. <https://www.bbc.com/news/world-asia-62845958> & North Korea and weapons of mass destruction. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/North_Korea_and_weapons_of_mass_destruction

5.3.2 Πύραυλοι Cruise³⁰⁶

Δεν ανήκουν στην κατηγορία των βαλλιστικών πυραύλων καθώς δεν ακολουθούν βαλλιστική τροχιά. Αποτελούν ένα μη επανδρωμένο αυτοπλοηγούμενο κατευθυνόμενο όχημα συνεχούς προώθησης (προσομοιάζει με μικρό αεροσκάφος), το οποίο καθίστατο σε λειτουργία πτήσης χρησιμοποιώντας την τεχνολογία αεροδυναμικής ανύψωσης των αεροσκαφών τύπου Jet (κινητήρες αερίωθησης/στροβιλοκινητήρες³⁰⁷). Μπορούν να εκτοξευτούν διαμέσου πλατφόρμας από ξηρά (διαμέσου βάσεων εδάφους, GLCM - Ground Launched Cruise Missiles), θάλασσα (διαμέσου πλοίων επιφανείας και υποβρυχίων, SLCM - Submarine Launched Cruise Missiles) και αέρα (διαμέσου βομβαρδιστικών αεροσκαφών, ALCM - Air Launched Cruise Missiles). Η γόμωση των κεφαλών που φέρουν μπορεί να είναι ή πυρηνικής, ή χημικής, ή βιολογικής ή και συμβατικής εκρηκτικής ύλης (οι μικροί σε μέγεθος φέρουν μόνο συμβατικές κεφαλές). Κατηγοριοποιούνται βάση του μεγέθους τους, του τύπου της κεφαλής, της πλατφόρμας εκτόξευσης, του βεληνεκούς, της ταχύτητας (υποηχητικοί, υπερηχητικοί) και του συστήματος πλοήγησης, όπου παρακολουθείται η κατεύθυνση και η ταχύτητα του σκάφους, και μέσω ενσωματωμένου radar συγκρίνει τις μετρήσεις και τις πληροφορίες εδάφους που λαμβάνει με ψηφιακούς χάρτες που είναι αποθηκευμένοι στο λειτουργικό σύστημα του σκάφους (όπως είναι το αδρανειακό σύστημα πλοήγησης³⁰⁸, το σύστημα TERCOM³⁰⁹ και το σύστημα πλοήγησης μέσω

³⁰⁶ Πρόδρομος των σημερινών πυραύλων Cruise (και των UAV) ήταν το Kettering Aerial Torpedo «Bug», ένα Αμερικανικό πειραματικό μη επανδρωμένο αεροσκάφος εναέριας τορπίλης, το οποίο κατασκευάστηκε το 1917, ώστε να βάλλει στόχους πέρα από την εμβέλεια του πυροβολικού (δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ σε μάχη). Όμως περισσότερο κοντά στη τεχνολογία και στη δομή των σημερινών πυραύλων Cruise ήταν ο γερμανικός πύραυλος V-1.

National Museum of the United States Air Force (n.d.). *Kettering Aerial Torpedo «Bug»*.

<https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/198095/kettering-aerial-torpedo-bug/>

³⁰⁷ Stanford University (n.d.). § How the jet engine works. In *The jet engine: a historical introduction*.

<https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/ww2/projects/jet-airplanes/how.html>

³⁰⁸ Το INS (Inertial Navigation System), δίνοντας μια πολύ απλουστευμένη περιγραφή της λειτουργίας του, είναι ηλεκτρονικό αυτόματο σύστημα πλοήγησης, προγραμματισμένο να ακολουθεί μια προκαθορισμένη πορεία πτήσης. Κάνει χρήση περιβαλλοντικών αισθητήρων, όπως αισθητήρων κίνησης (επιταχυνσιόμετρα) και αισθητήρων περιστροφής (γυροσκόπια), συστήματος GPS και μέσω ενός υπολογιστή υπολογίζει διαρκώς τη θέση, τη ταχύτητα και τον προσανατολισμό του κινούμενου αντικειμένου, ώστε αυτό να ακολουθεί διαρκώς τη σωστή προγραμματισμένη πορεία.

Advanced Navigation (2023, February 24). *Inertial Navigation Systems (INS) - An Introduction*.

<https://www.advancednavigation.com/tech-articles/inertial-navigation-systems-ins-an-introduction/#h-definition-of-an-inertial-navigation-system-ins> &

Inertial navigation system. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_navigation_system

³⁰⁹ Το Terrain Contour Matching (αντιστοίχιση περιγράμματος εδάφους) είναι ηλεκτρονικό αυτόματο σύστημα πλοήγησης υψηλής ακριβείας για χρήση κυρίως από πυραύλους Cruise. Περιγράφοντάς το πολύ απλοϊκά, συγκρίνει τις τρέχουσες μετρήσεις υψομέτρου, που γίνονται απευθείας κατά τη πτήση, από το ραντάρ υψομέτρου (RA - Radar Altimeter) που βρίσκεται επί του σκάφους, με έναν ενσωματωμένο χάρτη περιγράμματος του εδάφους. Το σύστημα αυτό επιτρέπει τη πτήση του σκάφους σε πολύ χαμηλό υψόμετρο και κοντά σε εμπόδια, καθιστώντας πολύ δύσκολη την επισήμανσή του από radars.

δορυφόρου). Είναι υψηλής ακριβείας στόχευσης και διανύουν μεγάλες αποστάσεις, ώστε να πλήξουν τον προκαθορισμένο στόχο (LACM - Land-attack Cruise Missiles και ASCM - Anti-ship Cruise Missiles), το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής των οποίων εκτελείται υπό σταθερή ταχύτητα. Πετούν σε χαμηλό ύψος, εντός της ατμόσφαιρας της Γης, ακολουθώντας την τοπογραφία του εδάφους (διαθέτουν συστήματα GPS³¹⁰).

Προσέτι η όλη αρχιτεκτονική τους και ο τρόπος λειτουργίας τους, καθιστά τον εντοπισμό τους από τα συστήματα αντιπυραυλικής άμυνας αρκετά δύσκολη. Όπως και οι πυρηνικοί βαλλιστικοί πύραυλοι, έτσι και οι πυρηνικοί πύραυλοι Cruise δεν δύνανται να ανακληθούν³¹¹ μετά την φάση εκτόξευσης. Παρόλα αυτά πληροφορούμαστε πως υπάρχει η δυνατότητα ματαίωσης αναχαίτησης στόχου, χωρίς να διασαφηνίζεται εάν αφορά συμβατικούς ή πυρηνικούς πυραύλους Cruise, όπου συγκεκριμένα αναφέρεται ότι «καθώς οι προηγμένοι πύραυλοι Cruise πλησιάζουν το στόχο τους, οι τηλεχειριστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια κάμερα στη μύτη του πυραύλου ώστε να δουν τι βλέπει ο πύραυλος. Αυτό τους δίνει την επιλογή να καθοδηγήσουν χειροκίνητα τον πύραυλο προς το στόχο του ή να ματαιώσουν το χτύπημα^{312»}³¹³.

TERCOM. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/TERCOM> &

Radar altimeter. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Radar_altimeter

³¹⁰ Global Positioning Systems.

Global Positioning System. In Wikipedia.

https://el.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System

³¹¹ Allen, J. R., & Levin, P. L. (2024, September 24). Disabling a Nuclear Weapon in Midflight. This tech could literally save the world. IEEE Spectrum. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

<https://spectrum.ieee.org/nuclear-war> &

Edwards, J. (2024, October 4). § Key differences between Ballistic Vs Cruise Missiles. In *Ballistic Missile Vs Cruise Missile: The Iran-Isreal conflict and the Iron Dome failure*. MIRA Safety.

<https://www.mirasafety.com/blogs/news/ballistic-vs-cruise-missiles>

³¹² «As advanced cruise missiles approach their target, remote operators can use a camera in the nose of the missile to see what the missile sees. This gives them the option to manually guide the missile to its target or to abort the strike.»

The Center for Arms Control and Non-Proliferation (n.d.). *Fact Sheet: Ballistic vs. Cruise Missiles*.

<https://armscontrolcenter.org/wp-content/uploads/2017/04/Ballistic-vs.-Cruise-Missiles-Fact-Sheet.pdf>

[Μία προσωπική μου άποψη, την οποία όμως δεν μπορώ να επιβεβαιώσω μέσα από τις πληροφορίες που βρήκα στον απαιτούμενο χρόνο που αφιέρωσα πάνω στη συγγραφή της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας, είναι πως θα μπορούσαν και οι πύραυλοι Cruise, οι οποίοι φέρουν πυρηνικές κεφαλές, να χρησιμοποιήσουν την τεχνολογία που επιγράφηκε άνωθεν ώστε να ματαιώσουν την αποστολή αναχαίτησης του στόχου.]

³¹³ Θεοφίλου, 1984. & Οικονόμου, 1991. &

Nuclear Threat Initiative (2023). § What types of delivery systems exist? In. NTI Education Tutorials. Missiles & other WMD delivery systems. *Module 1, Introduction*.

<https://tutorials.nti.org/delivery-system/introduction/> &

Nuclear Threat Initiative (2023). § How do Cruise missile work? In. NTI Education Tutorials. Missiles & other WMD delivery systems. *Module 2, Understanding Missiles*.

<https://tutorials.nti.org/delivery-system/understanding-missiles/> &

Stiles, C. (n.d.). *Cruise Missile Basics*. Missile Defence Advocacy Alliance.

<https://missiledefenseadvocacy.org/missile-threat-and-proliferation/missile-basics/cruise-missile-basics/> &

BrahMos Aerospace (2022). *Classification of Missile*.

Εν κατακλείδι παρακάτω θα αναφερθούν ενδεικτικά κάποιοι από τους κύριους τύπους πυραύλων Cruise που φέρουν πυρηνικές κεφαλές και οι οποίοι αναπτύσσονται ή βρίσκονται σήμερα στα οπλοστάσια των πυρηνικών δυνάμεων³¹⁴:

- Οι ΗΠΑ βρίσκονται στη διαδικασία ανάπτυξης του AGM-181 LRSO³¹⁵ (Long Range Stand Off Weapon), θερμοπυρηνικής κεφαλής W80-4, ο οποίος έως το 2030 θα αντικαταστήσει το μοντέλο AGM-86 ALCM³¹⁶, καθώς και στην επαναφορά της διαδικασίας ανάπτυξης του SLCM-N³¹⁷

<https://www.brahmos.com/content.php?id=10&sid=9> &
Cruise missile. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Cruise_missile

³¹⁴ Hoffmann, F. (2021, March 1). § Nuclear-armed cruise missiles. In *Types of cruise missiles and cruise missile proliferation*. JSTOR.
https://www.jstor.org/stable/resrep29682.6?searchText=&searchUri=&ab_segments=&searchKey=&refreqid=fastly-default%3Af6ceceb5e34cfdb3a821e7aa2e419a5e&initiator=recommender&seq=1 &
U.N. General Assembly. (2016, May 10). *Nuclear armed cruise missiles*.
<https://documents.un.org/doc/undoc/gen/g16/094/04/pdf/g1609404.pdf>

³¹⁵ AGM-181 LRSO. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/AGM-181_LRSO

³¹⁶ AGM-86 ALCM. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/AGM-86_ALCM
Έως το 2013 οι ΗΠΑ διέθεταν το μοντέλο BGM-109 Tomahawk με πυρηνική κεφαλή W80 και ο οποίος αποσύρθηκε.
Kristensen, H. M. (2013, March 18). *US Navy Instruction Confirms Retirement of Nuclear Tomahawk Cruise Missile*. Federation of American Scientists.
<https://web.archive.org/web/20140709001733/https://fas.org/blogs/security/2013/03/tomahawk/>

³¹⁷ Ο πύραυλος Cruise SLCM-N έχει σχεδιαστεί ώστε να εκτοξεύεται από πλοία επιφανείας ή επιθετικά υποβρύχια SSN και όχι από υποβρύχια SSBN βαλλιστικών πυραύλων. Αυτός ο τύπος πυραύλου Cruise εισήχθη πρώτη φορά από τις ΗΠΑ, κατά τη περίοδο του Ψυχρού Πολέμου (μέσα της δεκαετίας του 1980), με την ανάπτυξη των TLAM-N (Tomahawk Land-Attack Missile-Nuclear), μίας παραλλαγής των πυραύλων Cruise Tomahawk χερσαίων σταθερών στόχων, οι οποίοι έφεραν δυνατότητα πυρηνικής γόμωσης. Οι TLAM-N αποσύρθηκαν το 2013. Οι νέοι SLCM-N θα αποτελέσουν το πρώτο νέο πυρηνικό όπλο που θα αναπτύξουν οι ΗΠΑ μετά το πέρας του Ψυχρού Πολέμου. Παρά τις όποιες αντιδράσεις τη κυβέρνησης Biden, το Κογκρέσο το 2024 ενέκρινε την ανάπτυξη των SLCM-N, υπολογίζοντας να καταστούν σε επιχειρησιακή ικανότητα έως το 2034.

Soofer, R. (2024, April 3). *The US is building a nuclear sea-launched cruise missile. Congress must make sure it's built right*. Atlantic Council .

<https://www.atlanticcouncil.org/blogs/new-atlanticist/the-us-is-building-a-nuclear-sea-launched-cruise-missile-congress-must-make-sure-its-built-right/> &

Keller, J. (2024, July 26). *Navy asks Systems Planning and Analysis to help develop and integrate ship-launched nuclear cruise missile*. Military + Aerospace Electronics.

<https://www.militaryaerospace.com/sensors/article/55128614/ship-launched-nuclear-cruise-missile> &

Kristensen, H. (2013, March 18). *US Navy Instruction Confirms Retirement of Nuclear Tomahawk Cruise Missile*. Federation of American Scientists.

<https://fas.org/publication/tomahawk/> &

U.S. Naval Institute Staff (2024, June 6). *Report to Congress on Nuclear-Armed Sea-Launched Cruise Missile*. USNI News.

<https://news.usni.org/2024/06/06/report-to-congress-to-on-nuclear-armed-sea-launched-cruise-missile> &

Freedberg Jr, S. J. (2024, November 15). *Sub-launched nuclear cruise missile will need 'an entirely new industrial base,' warns Navy admiral*. Breaking Defense.

(Submarine Launched Nuclear Cruise Missile), όπως είχε προταθεί το 2018 από τη κυβέρνηση Trump, αλλά έγιναν προσπάθειες να ακυρωθεί επί κυβερνήσεως Biden.

- Η Ρωσία πληροφορήσε το 2018 πως αναπτύσσει τον θερμοπυρηνικό 9M730 Burevestnik³¹⁸ (ή SSC-X-9 Skyfall όπως τον ονομάζει το NATO), επίσης κατέχει τον 3M22 Zircon³¹⁹ (ή SS-N-33 όπως τον ονομάζει το NATO) και ο οποίος μπήκε στην υπηρεσία του Στόλου της Μαύρης Θάλασσας το 2022.

- Η Γαλλία³²⁰ από το 2016 έχει ξεκινήσει το πρόγραμμα αναβάθμισης του ASMP (Air-Sol Moyenne Portée/ Medium-Range Air-to-Surface, ο οποίος βρίσκεται εν ενεργεία από το 1986) στον εξελιγμένο ASMPA-R και η πρώτη εκτόξευση αξιολόγησης της δυναμικής του πυραύλου έλαβε χώρα στις 22 Μαΐου 2024. Ο ASMPA-R επρόκειτο να αναπληρώσει το στρατηγικό κενό έως την ολοκλήρωση της ανάπτυξης του ανερχόμενου ASN4G (Air-Sol Nucléaire de 4ème Génération) από το 2035 και έπειτα, ο οποίος και θα τον αντικαταστήσει³²¹.

- Η Ινδία βρίσκεται σε στάδιο ανάπτυξης και δοκιμών του Nirbhay³²² (η πρώτη δοκιμή έλαβε χώρα το 2013), του πρώτου πυραύλου Cruise εγχώριας παραγωγής, ο οποίος δύναται να φέρει πυρηνική κεφαλή 12 KT³²³.

<https://breakingdefense.com/2024/11/sub-launched-nuclear-cruise-missile-will-need-an-entirely-new-industrial-base-warns-navy-admiral/>

³¹⁸ 9M730 Burevestnik. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/9M730_Burevestnik

³¹⁹ 3M22 Zircon. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/3M22_Zircon

³²⁰ Η Γαλλία, μετά την αποχώρηση του Ηνωμένου Βασιλείου από την Ε.Ε. το 2020, αποτελεί τη μοναδική χώρα της Ε.Ε. που διαθέτει και αναπτύσσει δικά της πυρηνικά όπλα ανεξάρτητα από το πλαίσιο του NATO.

France and Weapons of Mass Destruction. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/France_and_weapons_of_mass_destruction

³²¹ Salerno-Garthwaite, A. (2024, May 23). *France makes first firing of ASMPA-R nuclear air-launched cruise missile*. Airforce Technology.

<https://www.airforce-technology.com/news/france-makes-first-firing-of-asmpa-r-nuclear-air-launched-cruise-missile/?cf-view> &

Airforce Technology (2024, May 2029). *Air-Sol Moyenne Portee-Ameliore Weapon System, France*.

<https://www.airforce-technology.com/projects/asmpa-weapon-system-france/?cf-view> &

Air & Cosmos International (2023, March 13). *The future missile of the airborne component of the French deterrent: the ASN4G*.

<https://aircosmosinternational.com/article/the-future-missile-of-the-airborne-component-of-the-french-deterrent-the-asn4g-3690>

³²² Nirbhay. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Nirbhay>

³²³ 1KT (κιλοτόνος) = 1.000 T (τόνος) TNT (2,4,6-Τρινιτροτολουόλιο).

- Το Πακιστάν διαθέτει τους Hatf VIII Ra'ad³²⁴ και τους Hatf VII Babur³²⁵, οι οποίοι είναι εν ενεργεία αντιστοίχως από το 2012 και το 2010 και δύνανται αμφότεροι να φέρουν και πυρηνική κεφαλή.
- Η Βόρεια Κορέα βρίσκεται στην ανάπτυξη του εν δυνάμει πυρηνικού Pulhwasal-3-31, όπου στις αρχές του 2024 έκανε τη πρώτη δοκιμή του³²⁶.
- Σχετικά με το Ισραήλ υπάρχει η πληροφορία πως έχει υπό τη κατοχή του δυνητικά πυρηνικούς πυραύλους Cruise (SLCM-N) οι οποίοι φέρονται από τα υποβρύχια Dolphin-Class I/II³²⁷.
- Η Κίνα φέρει στο οπλοστάσιό της πυραύλους Cruise οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να φέρουν πυρηνικές κεφαλές όπως π.χ. οι DH-10/ CJ-10, οι Hong Niao και οι Chang Feng³²⁸.

³²⁴ Army Recognition (2024, July 4). *Pakistan Equips JF-17 Thunder Fighter Jets with Nuclear-Capable Ra'ad Cruise Missiles*.

<https://armyrecognition.com/news/aerospace-news/2024/pakistan-equips-jf-17-thunder-fighter-jets-with-nuclear-capable-raad-cruise-missiles> &

Ra'ad (air-launched cruise missile). In Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Ra%27ad_\(air-launched_cruise_missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ra%27ad_(air-launched_cruise_missile))

³²⁵ Babur (cruise missile). In Wikipedia.

[https://en.m.wikipedia.org/wiki/Babur_\(cruise_missile\)](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Babur_(cruise_missile))

³²⁶ Reuters (2024, January 25). *North Korea says it tested new strategic cruise missile*.

<https://www.reuters.com/world/asia-pacific/north-korea-says-it-tested-new-strategic-cruise-missile-wednesday-2024-01-24/>

³²⁷ Collina, T. Z. (n.d.). *Israel Has Nuclear-Armed Sub, Report Says*. Arms Control Association.

<https://www.armscontrol.org/act/2012-07/israel-has-nuclear-armed-sub-report-says> &

Sutton, H. I. (2023, August 14). *Israel Launches New Submarine, First In World With Modern Missiles In Sail*. Naval News.

<https://www.navalnews.com/naval-news/2023/08/israel-launches-new-submarine-first-in-world-with-modern-missiles-in-sail/>

³²⁸ China and Weapons of Mass Destruction. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/China_and_weapons_of_mass_destruction &

Hongniao. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Hongniao> &

CJ-10 (missile). In Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/CJ-10_\(missile\)](https://en.wikipedia.org/wiki/CJ-10_(missile))

5.4 Λοιπά συστήματα μεταφοράς και παράδοσης

Πριν κλείσω τη συγκεκριμένη θεματική ενότητα θα ήθελα να αναφέρω περιληπτικά κάποια επιπλέον μέσα που δύνανται να φέρουν πυρηνική γόμωση, τα οποία είτε αναπτύσσονται, είτε είναι εν ενεργεία, είτε έχουν αποσυρθεί και είναι τα ακόλουθα:

α) Οι πυρηνικές βόμβες βαρύτητας, όπως οι Little Boy και Fat Man, οι οποίες όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα ήταν τα πρώτα «παιδιά» του προγράμματος Manhattan, μετεξελίχθηκαν συν τω χρόνω, όπως για παράδειγμα στις θερμοπυρηνικές B61³²⁹ και B83³³⁰ των ΗΠΑ, η πλήρης παραγωγή των οποίων ξεκίνησε το 1968 και στα τέλη της δεκαετίας του 1970 αντίστοιχα. Το 2023 το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ, υπό την προεδρία Biden, ανήγγειλε την πρόθεση ανάπτυξης της B61-13 (εξελιγμένη παραλλαγή της B61) σκοπεύοντας επιπλέον και προς την απόσυρση της B83, αν και υπήρξε αρνητική ανταπόκριση ως προς αυτή την κίνηση από τα μέλη του Κογκρέσου³³¹. Συγκεκριμένα η κυβέρνηση του Donald Trump, στην περασμένη προεδρία του 2017-2021, είχε υποστηρίξει σθεναρά την διατήρηση της B83 και ακύρωσε κάθε προσπάθεια απόσυρσης, καθώς αποτελεί ένα από τα ισχυρότερα όπλα της πυρηνικής τριάδας³³². Το 2024 το αίτημα για την B61-13 έγινε δεκτό από το Κογκρέσο³³³.

β) Οι πυρηνικές νάρκες ξηράς ADM (Atomic Demolition Munitions) οι οποίες ξεκίνησαν να παράγονται, τόσο για στρατιωτικούς όσο και για πολιτικούς σκοπούς, τη δεκαετία του 1950. Θεωρείται πως δεν χρησιμοποιήθηκαν ποτέ, πέραν του δοκιμαστικού πλαισίου, αν και έβριθαν κατά τη περίοδο του Ψυχρού Πολέμου. Το 1997 έλαβε χώρα η Συνθήκη της Ottawa για την απαγόρευση των ναρκών ξηράς, συμβατικών και μη (Mine Ban Treaty), ή αλλιώς η Σύμβαση για την απαγόρευση της χρήσης, της αποθήκευσης, της παραγωγής και της διακίνησης ναρκών κατά προσωπικού και για την καταστροφή τους. Η συνθήκη είναι εν ενεργεία όμως από τις πυρηνικές δυνάμεις δεν είναι συμβαλλόμενα μέρη και δεν την έχουν υπογράψει οι ΗΠΑ, η Ρωσία η Κίνα, η Ινδία, το Πακιστάν και

³²⁹ B61 nuclear bomb. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/B61_nuclear_bomb

³³⁰ B83 nuclear bomb. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/B83_nuclear_bomb

³³¹ Bugos, S. (2023). *U.S. to Develop Unanticipated New Nuclear Bomb*. Arms Control Association.
<https://www.armscontrol.org/act/2023-12/news/us-develop-unanticipated-new-nuclear-bomb>

³³² MacDonald, E. (2022). *The Fate of the B83 FACT SHEET Nuclear Gravity Bomb*. Union of Concerned Scientists.
<https://ucs-documents.s3.amazonaws.com/nuclear-weapons/b83-fact-sheet.pdf>

³³³ Los Alamos National Laboratory (2024, August 1). *Coming soon: the B61-13. A new variant of the gravity bomb is in development*.
<https://www.lanl.gov/media/publications/national-security-science/2024-summer/coming-soon-b61-13>

το Ισραήλ. Σήμερα θεωρείται, μέσω αναφορών και εκθέσεων του NATO, πως η Ρωσία συνεχίζει να κατέχει πυρηνικές ADM, ως μέρος του μη στρατηγικού οπλικού της αποθέματος³³⁴.

γ) Οι πυρηνικές βόμβες βάθους οι οποίες αναπτύχθηκαν, την αυγή του Ψυχρού Πολέμου, για ανθυποβρυχιακό πόλεμο. Την δεκαετία του 1990 οι μεγάλες πυρηνικές δυνάμεις ΗΠΑ, Ρωσία, Κίνα, Ηνωμένο Βασίλειο και Γαλλία ξεκίνησα τη απόσυρσή τους³³⁵.

δ) Οι πυρηνικές торпильы³³⁶ είναι αυτοκατευθυνόμενα υποθαλάσσια όπλα που δύνανται να φέρουν πυρηνικές κεφαλές, οι οποίες εκρήγνυντο είτε σε επαφή είτε πλησίον του προκαθορισμένου στόχου. Η πρώτη αυτοπροωθούμενη торпиль, πρόγονος των σημερινών μοντέλων, κατασκευάστηκε το 1866 από τον Βρετανό μηχανικό Robert Whitehead³³⁷. Οι торпильы, συμβατικές και πυρηνικές, είτε ρίπτονται από βομβαρδιστικά αεροπλάνα, είτε εξαπολύονται από πλοία επιφανείας και υποβρύχια, με στόχο να πλήξουν αντίπαλα πλοία επιφανείας και υποβρύχια. Η πρώτη αναφορά για χρήση πυρηνικής γόμωσης σε торпиль έγινε το 1943, πριν την υλοποίηση του προγράμματος Manhattan, από τον Λοχαγό William S. Parsons, ο οποίος διατέλεσε επικεφαλής πυρομαχικών του εν λόγω προγράμματος. Είχε προτείνει τη δημιουργία κεφαλής τύπου Ουρανίου, η οποία θα εφαρμοζόταν στην από αέρος ρίψης торпиль Mark 13 (Mk XIII), η ιδέα δεν υλοποιήθηκε. Οι πυρηνικές торпильы εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια του Ψυχρού Πολέμου. Η ΕΣΣΔ, η οποία άρχισε να αναπτύσσει πυρηνικά όπλα στα τέλη τις δεκαετίας του 1940, ανέπτυξε ευρέως πυρηνικές торпильы με κυριότερες τις T-5 (σε λειτουργία υπηρεσίας το 1958), T-15 (ξεκίνησαν να αναπτύσσονται το 1951) και ASB-30 (πυρηνική κεφαλή για торпильы 21 ιντσών, αναπτύχθηκε το 1962). Η ΗΠΑ ανέπτυξαν το 1959 την πυρηνική торпиль Mark-45 (ASTOR), η οποία το 1976 αντικαταστάθηκε από την Mark-48 συμβατικής κεφαλής³³⁸ (ADCAP - Advanced Capability

³³⁴ Kristensen, H. (2023, July 17). *Does Russia Have Nuclear Landmines?* Federation of American Scientists. <https://fas.org/publication/does-russia-have-nuclear-landmines/> & Atomic demolition munition. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_demolition_munition & Ottawa Treaty. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Ottawa_Treaty & List of parties to the Ottawa Treaty. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_parties_to_the_Ottawa_Treaty

³³⁵ Nuclear depth bomb. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_depth_bomb

³³⁶ Η Ελληνικές αντίστοιχες λέξεις ήταν ναυθραύστης και ναύκλαστρον. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%BF%CF%81%CF%80%CE%AF%CE%BB%CE%B7>

³³⁷ Whitehead torpedo. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Whitehead_torpedo

³³⁸ Polmar, N. (2006). *Atomic Fish*. U.S. Naval Institute. <https://www.usni.org/magazines/naval-history-magazine/2006/august/atomic-fish> & Nuclear Torpedo. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_torpedo

το 1988, CBASS - Common Broadband Advanced Sonar System το 2008, και τα τρία μοντέλα είναι εν ενεργεία). Εν έτη 2015 η Ρωσία ξεκίνησε την ανάπτυξη θερμοπυρηνικής τορπίλης, μεγάλης εμβέλειας, της 2M39 Poseidon (Status-6 Oceanic Multipurpose System, ή Kanyon σύμφωνα με το ΝΑΤΟ), η οποία αποτελεί ένα αυτόνομο, μη επανδρωμένο υποβρύχιο που δύναται να φέρει συμβατική αλλά και πυρηνική κεφαλή και η οποία θα φέρεται επί του πυρηνικού υποβρυχίου K-329 Belgorod (δύναται να μεταφέρει έως και έξι τορπίλες Poseidon). Τον Ιανουάριο του 2023 ανακοινώθηκε η ολοκλήρωση της πρώτης παρτίδας παραγωγής³³⁹. Επίσης τον Ιούλιο του 2023 η Βόρεια Κορέα εμφάνισε την πυρηνική τορπίλη, τύπου UUV (Unmanned Underwater Vehicle), την Haeil-5-23³⁴⁰.

³³⁹ Kaur, S. (2023, June 14). *One nuclear-armed Poseidon torpedo could decimate a coastal city. Russia wants 30 of them.* Bulletin of the Atomic Scientists.

<https://thebulletin.org/2023/06/one-nuclear-armed-poseidon-torpedo-could-decimate-a-coastal-city-russia-wants-30-of-them/> &

TASS. Russian News Agency (2023, January 16). *First batch of nuclear-armed drones Poseidon manufactured for special-purpose sub Belgorod.*

<https://tass.com/emergencies/1562553> &

Status-6 Oceanic Multipurpose System. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Status-6_Oceanic_Multipurpose_System

³⁴⁰ Mahadzir, D. (2024, January 19). *North Korea Tests Nuclear-Capable Drone in Response to U.S.-led Naval Drills Off South Korea.* U.S. Naval Institute. USNI News.

<https://news.usni.org/2024/01/19/north-korea-tests-nuclear-capable-drone-in-response-to-u-s-led-naval-drills-off-south-korea>

Κεφάλαιο 6°

Συστήματα ελέγχου και ασφάλειας των πυρηνικών όπλων

Πρωταρχική ευθύνη του εκάστοτε Υπουργείου Άμυνας των πυρηνικών δυνάμεων είναι να διασφαλίσει ότι τα όπλα και το απόθεμα των πυρηνικών τους οπλοστασίων είναι ασφαλή, διαφυλαγμένα, λειτουργικά και υπό πλήρη έλεγχο και επιτήρηση καθ' όλο τον κύκλο ζωής ενός πυρηνικού οπλικού συστήματος. Τα δεδομένα αυτά, που συνδιαμορφώνουν την κατάσταση ασφαλείας των πυρηνικών όπλων, καλούνται από τις ΗΠΑ ως Πυρηνική Εγγύηση (Nuclear Surety) ή Κουλτούρα Πυρηνικής Ασφάλειας (Nuclear Safety Culture)³⁴¹. Οι συνέπειες ενός πυρηνικού οπλικού ατυχήματος³⁴², πέρα από το μείζον πλήγμα που επιφέρουν στην ολότητα του οικοσυστήματος, συμπεριλαμβανομένης και της ανθρώπινης ζωής και ευημερίας, επιφέρουν και τεράστιο πολιτικό κόστος, καθώς διακυβεύεται η ασφάλεια των εργαζομένων στον εν λόγω τομέα, η ασφάλεια των κατοίκων των όμορων εις τα πυρηνικά οπλοστάσια περιοχών, η λαϊκή εμπιστοσύνη ως προς την ικανότητα της πολιτικής ηγεσίας και των εθνικών ενόπλων δυνάμεων, και η πίστη των συμμάχων ως προς την φερεγγυότητα της αποκαλούμενης πυρηνικής ομπρέλας.

³⁴¹ Στο εγχειρίδιο πυρηνικής ορολογίας 'P5 Glossary of Key Nuclear Terms' συναντάμε τον κάτωθι ορισμό: Κουλτούρα Πυρηνικής Ασφάλειας – Είναι η συγκέντρωση χαρακτηριστικών και συμπεριφορών, σε οργανισμούς και άτομα, μέσα από την οποία καθορίζεται, ως ύψιστη προτεραιότητα, πως τα θέματα προστασίας και ασφάλειας λαμβάνουν την αρμόζουσα προσοχή με βάση τη κρισιμότητά τους (ελεύθερη μετάφραση από τη γράφουσα). Nuclear Safety Culture - The assembly of characteristics and attitudes in organizations and individuals which establishes that, as an over riding priority, protection and safety issues receive the attention warranted by their significance. P5 Glossary of Key Nuclear Terms (2015). § 6. 1. 12. Nuclear Safety Culture. *In Nuclear Safety and Security*. p.180. <https://2009-2017.state.gov/documents/organization/243293.pdf>

³⁴² Σύμφωνα με το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ ως ατύχημα πυρηνικών όπλων θεωρείται κάθε συμβάν που αφορά τα συγκεκριμένα όπλα ή τα εξαρτήματά τους, ενέχοντας ένα η περισσότερα από τα εξής χαρακτηριστικά και αποτελέσματα: α) ακούσια ή μη εξουσιοδοτημένη πυροδότηση, εκτόξευση, ή χρήση πυρηνικού οπλικού συστήματος που θα μπορούσε να επιφέρει κλιμάκωση πυρηνικού πολέμου, β) οποιουδήποτε είδους πυροδότησης, πυρηνικής ή μη, ή ανάφλεξης πυρηνικού όπλου ή εξαρτήματος αυτού, γ) η ραδιολογική επιμόλυνση περιοχής από ατύχημα πυρηνικού οπλικού συστήματος, δ) απώλεια, φθορά, ή κλοπή πυρηνικού όπλου ή εξαρτήματος αυτού, και ε) η πρόκληση έμμεσου ή άμεσου δημοσίου κινδύνου ως αποτέλεσμα των προαναφερθέντων συμβάντων (Λιόλιος, 2009).

Στην Ελληνική γλώσσα ως ατύχημα καλείται το μη επιδιωκόμενο συμβάν που επιφέρει ζημιά, τραυματισμό ή βλάβη όμως δεν επιφέρει απώλεια ζωής. Εν αντιθέσει ως δυστύχημα καλείται το μη επιδιωκόμενο συμβάν που επιφέρει ζημιά, τραυματισμό ή βλάβη και απώλεια ζωής. Εδώ γίνεται χρήση της Αγγλικής λέξης 'accident' όπως χρησιμοποιείται στην Αγγλική βιβλιογραφία και μεταφράζεται στην Ελληνική γλώσσα ως «ατύχημα».

Επίσης χρήζει να αποσαφηνιστεί πως τα πυρηνικά συμβάντα περιλαμβάνουν έκρηξη της πυρηνικής συσκευής, ενώ τα ραδιολογικά συμβάντα εκλύουν ακτινοβολία χωρίς να προκληθεί έκρηξη της πυρηνικής συσκευής. Και στις δύο περιπτώσεις τα θύματα εκτίθενται ή μολύνονται από τη ραδιενέργεια άμεσα ή έμμεσα.

Radiation Emergency Medical Management (2025, January 2). *Difference Between a Radiological and Nuclear Emergency*.

<https://remm.hhs.gov/nukevsrad.htm>

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως από την εισαγωγή των πυρηνικών όπλων, στην στρατηγική φαρέτρα της πολιτικής σκοπιμότητας, δεν υπήρξε κανέναν συμβάν τυχαίας ή μη εξουσιοδοτημένης πυρηνικής έκρηξης. Επιπροσθέτως στα γνωστοποιημένα πυρηνικά οπλικά ατυχήματα δεν έχει καταγραφεί σε κανένα εξ αυτών πως το σύστημα διάταξης της εκρηκτικής συσκευής του όπλου ή η πυρηνική του γόμωση αποτέλεσαν το αίτιο του ατυχήματος. Ένα ατύχημα πυρηνικού όπλου μπορεί να προκύψει (όπως συνέβη πολλάκις κατά το παρελθόν³⁴³) τόσο κατά την αποθήκευση, την διατήρηση σε απόθεμα, την μεταφορά όσο και κατά τη διάρκεια στρατιωτικών ασκήσεων, διασπείροντας επιβλαβή ραδιενεργά υλικά χωρίς απαραίτητως να προξηνηθεί έκρηξη. Τα αίτια της έναρξης ενός ατυχήματος συγκαταλέγονται σε μια σειρά από παράγοντες, είτε εκούσιους είτε ακούσιους, όπως είναι η έκθεση του πυρηνικού όπλου σε ακατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες³⁴⁴ (όπως τα φυσικά αίτια, π.χ. πυρκαγιά, κεραυνοβόληση, σεισμός), η πτώση και η συντριβή του μέσου μεταφοράς και παράδοσης, καθώς και λόγω σκόπιμης πρόθεσης δολιοφθοράς ή μη εξουσιοδοτημένης χρήσης (τρομοκράτες, λοιποί μη κρατικοί δρώντες και εχθρικές δυνάμεις).

³⁴³ Θεωρείται πως έχουν υπάρξει περίπου 230 πυρηνικά οπλικά ατυχήματα στις ΗΠΑ, στη Ρωσία και στο Ηνωμένο Βασίλειο, κυρίως κατά τη ψυχροπολεμική εποχή. Χωρίς να προβώ σε εκτεταμένη αναφορά επί των συγκεκριμένων ατυχημάτων, λόγω του ότι θα ξεφύγει κατά πολύ η έκταση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, θα αναφερθώ αναφορικά στα σημαντικότερα εξ αυτών:

- Suisun Air Force, Fairfield, California. ΗΠΑ, 5 Αυγούστου 1950.
- Kirtland Air Force Base, New Mexico. ΗΠΑ, 22 Μαΐου 1957.
- Greenham Common Air Base, Αγγλία. Ηνωμένο Βασίλειο 28 Φεβρουάριος 1958.
- Chennault Air Force Base, Lake Charles, Louisiana. ΗΠΑ, 26 Νοεμβρίου 1958.
- Barksdale Air Force Base, Bossier City, Louisiana. ΗΠΑ, 7 Ιουλίου 1959.
- McGuire Air Force Base, Trenton, New Jersey. ΗΠΑ, 7 Ιουνίου 1960.
- Palomares. Ισπανία, 17 Ιανουαρίου 1966.
- Thule. Γροιλανδία, 21 Ιανουαρίου 1968.
- Damascus, Arkansas. ΗΠΑ, 19 Σεπτεμβρίου 1980.

Λιόλιος, 2009.

(Για επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τα άνωθεν ατυχήματα πυρηνικών όπλων μεταβείτε στον σύνδεσμο κάτωθι) Atomic Archive.com (n.d.). *Broken Arrows: Nuclear Weapons Accidents*.

<https://www.atomicarchive.com/almanac/broken-arrows/index.html>

³⁴⁴ Ως μη κανονικά περιβάλλοντα (Abnormal Environments) καλούνται οι συνθήκες απόκλισης (μη αναμενόμενες) από την ορθή διαχείριση μέρους της εφοδιαστικής αλυσίδας (επιμελητεία) και της επιχειρησιακής αναπτυξιακής δομής, όπου το όπλο δεν αναμένετε να διατηρήσει πλήρως την επιχειρησιακή του αξιοπιστία και λειτουργικότητα. Οι συνθήκες απόκλισης μπορεί να είναι εκούσιες ή ακούσιες.

Ως κανονικά περιβάλλοντα (Normal Environments) καλούνται οι συνθήκες ορθής ροής (αναμενόμενες) της εφοδιαστικής αλυσίδας (επιμελητεία) και της επιχειρησιακής αναπτυξιακής δομής, όπου το όπλο αναμένεται να λειτουργήσει χωρίς υποβάθμιση της επιχειρησιακής του αξιοπιστίας και με πλήρη λειτουργικότητα.

Τα κριτήρια χαρακτηρισμού και ορισμού των συνθηκών ως κανονικά ή μη περιβάλλοντα, οι υλικοτεχνικές και λειτουργικές προδιαγραφές, και τα κριτήρια ευπάθειας ενός όπλου ή εξαρτήματος αυτού, καθορίζονται από το Αμερικανικό Υπουργείο Ενέργειας στο έγγραφο STS - Stockpile-to-Target Sequence (αλληλουχία αποθέματος προς στόχο).

The Nuclear Matters Handbook (Revised). (2020). *Nuclear Surety*. Chapter 8. Acquisition & Sustainment. Office of the Under Secretary of Defense.

<https://www.acq.osd.mil/ncbdp/nm/NMHB2020rev/chapters/chapter8.html> &

U.S. Department of Energy. Directives Program, Office of Management (M-1.2). (n.d.). *Stockpile-to-Target Sequence (STS)*.

https://www.directives.doe.gov/terms_definitions/stockpile-to-target-sequence-sts

6.1 Ορολογία και ορισμοί ατυχημάτων πυρηνικών όπλων

Πριν αναλυθούν τα συστήματα ελέγχου και ασφάλειας των πυρηνικών όπλων παραθέτω τους κυριότερους όρους της σχετικής ορολογίας, όπως έχει αναπτυχθεί από τις ένοπλες δυνάμεις των ΗΠΑ και η οποία έχει επικρατήσει σε διεθνείς αναφορές, επί της ταξινόμησης των πυρηνικών οπλικών ατυχημάτων, με βάση την έκταση και τη βαρύτητά τους. Η χρήση της συγκεκριμένης ορολογίας αποσκοπεί στην αμεσότερη αναφορά στο τύπο του συμβάντος, μειώνοντας κατά αυτό το τρόπο τον χρόνο αντίδρασης, που απαιτείται μετά το πέρας της εκδήλωσής του, ως προς την επίλυση της κρίσης.

- Nucflash (πυρηνολάμψη) – Κάθε ακούσια ή πιθανή έκρηξη πυρηνικού όπλου, ανεξαρτήτου ισχύος και καταστροφικότητας, η οποία μπορεί να κλιμακωθεί σε πυρηνικό πόλεμο. Περιλαμβάνονται συμβάντα α) τυχαίας, μη εξουσιοδοτημένης, ή ανεξήγητης πυρηνικής έκρηξης, β) τυχαίας, ή μη εξουσιοδοτημένης εκτόξευσης πυρηνικού πυραύλου, με κατεύθυνση προς κυριαρχική περιοχή χώρας με πυρηνική δυνατότητα αντιποίνων, και γ) μη εξουσιοδοτημένη πτήση, ή απόκλιση από εγκεκριμένο σχέδιο πτήσης στρατηγικού αεροσκάφους, το οποίο φέρει πυρηνικά όπλα, διεισδύοντας σε κυρίαρχο εναέριο χώρο κράτους με ικανότητα πυρηνικών αντιποίνων. Ανήκει στις αναφορές υψίστης σημασίας OPREP-3 SIR (Operations Report-3 Serious Incident Event)³⁴⁵, όμως θεωρείται πολύ δύσκολο να συμβεί³⁴⁶.

- Broken Arrow (σπασμένο βέλος) – Κάθε ακούσιο γεγονός που περιλαμβάνει πυρηνικό όπλο ή εξαρτήματος αυτού και δεν επιφέρει κλιμάκωση ώστε να υπάρχει κίνδυνος πυρηνικού πολέμου. Εντός της συγκεκριμένης κατηγορίας εντάσσονται τα εξής γεγονότα: α) τυχαία, ή ανεξήγητη πυρηνική έκρηξη, ή ραδιολογική διαρροή όπλου ή εξαρτήματος αυτού, β) χημική έκρηξη πυρηνικού όπλου, γ) μη πυρηνική έκρηξη πυρηνικού όπλου ή εξαρτήματος αυτού, γ) καύση πυρηνικού όπλου ή εξαρτήματος αυτού, δ) πάσης φύσης ραδιενεργής μόλυνσης της γύρω περιοχής από αστοχία πυρηνικού/ ραδιολογικού υλικού, ή έκρηξης, ή διαρροής, ε) απώλεια, κλοπή, ή καταστροφή πυρηνικού όπλου ή εξαρτήματος αυτού (ακόμη και κατά την μεταφορά ανεξαρτήτου συνθήκης), στ) ακούσια εκτόξευση πυρηνικού όπλου, ζ) οποιαδήποτε βλάβη πυρηνικού όπλου, εξαρτήματος, ή της εγκατάστασης του

³⁴⁵ Department of Defence. United States of America (2007, June 8). *MARINE CORPS ORDER 3504.2*. Department of the Navy. Marines.

[https://www.mcieast.marines.mil/Portals/33/Documents/Adjutant/SAPR_MCO%203504.2%20OPREP%203%20Reporting\[1\].pdf](https://www.mcieast.marines.mil/Portals/33/Documents/Adjutant/SAPR_MCO%203504.2%20OPREP%203%20Reporting[1].pdf) &

Marines (2013, August 7). *MCO 3504.2A*.

[https://www.marines.mil/News/Publications/MCPCL/Electronic-Library-Display/Article/900255/mco-35042a/#:~:text=\(a\)%20OPREP%2D3%20SERIOUS,reported%20under%20another%20flag%20word.](https://www.marines.mil/News/Publications/MCPCL/Electronic-Library-Display/Article/900255/mco-35042a/#:~:text=(a)%20OPREP%2D3%20SERIOUS,reported%20under%20another%20flag%20word.)

³⁴⁶ Λιόλιος, 2009. &

United States military nuclear incident terminology. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/United_States_military_nuclear_incident_terminology

πυρηνικού οπλοστασίου επέρχεται από φυσικά δυσμενή καιρικά αίτια, και η) η πρόκλησης πάσης φύσης δημοσίου κινδύνου, είτε άμεσου είτε έμμεσου³⁴⁷.

- Bent Spear (λυγισμένο δόρυ) – Λοιπά επεισόδια πυρηνικών όπλων, ή εξαρτημάτων αυτών που όμως δεν σχετίζεται με εκρήξεις και πιθανότητα κλιμάκωσης σε πυρηνικό πόλεμο. Περιλαμβάνουν κυρίως α) παραβιάσεις των κανονισμών χειρισμού και ασφάλειας, και β) σφάλματα κατά την συναρμολόγηση, τη δοκιμή, τη φόρτωση, ή τη μεταφορά του πυρηνικού όπλου ή των εξαρτημάτων αυτού, που ως εκ τούτου θα οδηγούσαν σε λανθασμένη λειτουργία και απόδοση του όπλου ή των εξαρτημάτων³⁴⁸.

- Dull Sword (στομωμένο ξίφος) – Κάθε επεισόδιο σχετικό με πυρηνικά όπλα που όμως είναι ελάχιστον σημασίας για να σημάνει συναγερμό. Αναφέρεται σε δευτερεύοντα περιστατικά που αφορούν πυρηνικά όπλα, τα εξαρτήματα και τα συστήματα αυτών, όπως π.χ. α) σε ελλείψεις ή βλάβες στον εξοπλισμό του πυρηνικού όπλου, και β) ζημιά σε αυτοκινούμενο εκτοξευτή πυραύλων (TEL - Transporter Erector Launcher) που όμως κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης της ζημιάς δεν έφερε πυρηνικό οπλικό φορτίο³⁴⁹.

- Faded Giant (ξεθωριασμένος γίγαντας) – Αναφορά σε ατύχημα που αφορά στρατιωτικό πυρηνικό αντιδραστήρα ή άλλο ραδιολογικό συμβάν, πλην όμως πυρηνικών όπλων ή εξαρτημάτων αυτών³⁵⁰.

Συνοπτικά τα πυρηνικά ατυχήματα ταξινομούνται στις ακόλουθες τεχνικές κατηγορίες:

1. Το σχάσιμο πυρηνικό υλικό μένει ανέπαφο μέσα στο θύλακα, καθώς το χημικό εκρηκτικό της συσκευής δεν καίγεται ούτε εκρήγνυται.

³⁴⁷ Λιόλιος, 2009. & Nuclear Weapon Accident Response Procedures (NARP) (n.d.). Nuclear Weapon Accident (flag word BROKEN ARROW). In *Definitions*. https://www.acq.osd.mil/ncbdp/narp/Reference_Docs/Definitions.html

³⁴⁸ Λιόλιος, 2009. & Nuclear Weapon Accident Response Procedures (NARP) (n.d.). Nuclear Weapon Incident (flag word BENT SPEAR). In *Definitions*. https://www.acq.osd.mil/ncbdp/narp/Reference_Docs/Definitions.html & United States military nuclear incident terminology. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/United_States_military_nuclear_incident_terminology

³⁴⁹ Λιόλιος, 2009. & United States military nuclear incident terminology. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/United_States_military_nuclear_incident_terminology

³⁵⁰ Λιόλιος, 2009. & United States military nuclear incident terminology. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/United_States_military_nuclear_incident_terminology

2. Επέρχεται τήξη ή διάτρηση του θύλακα που εμπεριέχει το σχάσιμο πυρηνικό υλικό, καθώς το χημικό εκρηκτικό της συσκευής καίγεται αλλά δεν εκρήγνυται.
3. Το χημικό εκρηκτικό της συσκευής εκρήγνυται, μετατρέποντας το σχάσιμο πυρηνικό υλικό του θύλακα σε αερόλυμα, χωρίς όμως να επέλθει πυρηνική έκρηξη.
4. Το χημικό εκρηκτικό της συσκευής εκρήγνυται και ενεργοποιεί το σχάσιμο πυρηνικό υλικό του θύλακα επιφέροντας πυρηνική έκρηξη³⁵¹.

6.2 Συστήματα ελέγχου και ασφάλειας

Τα πυρηνικά όπλα και τα εξαρτήματα αυτών, όπως είναι αναμενόμενο, με βάση την μέγιστη καταστροφικότητα της φύσης τους, απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή και μηδενικές πιθανότητες λάθους ή σφάλματος (όπως δηλώνει και η λέξη ασφάλεια = α [στερητικό] + σφάλω), τόσο κατά τον σχεδιασμό τους όσο και στα μετέπειτα στάδια του επιχειρησιακού κύκλου ζωής τους. Αν και τα συστήματα ασφαλείας των όπλων αυτών είναι απόρρητα, εν συνεχεία θα αναφερθούν συνοπτικά οι σχετικές πληροφορίες που συλλέχθηκαν στις αδιαβάθμητες διαδικτυακές πηγές και στην εν λόγω προσβάσιμη βιβλιογραφία.

Όπως έχει αναφερθεί η εκρηκτική συσκευή³⁵² στα πυρηνικά όπλα αποτελείται (απλουστευμένη αναφορά στη διάταξη ενδόρρηξης) από τον θύλακα του πυρηνικού σχάσιμου υλικού, τον ανακλαστήρα και το χημικό εκρηκτικό, το οποίο λόγω της συμπίεσης που θα επιφέρει στον ανακλαστήρα προς το θύλακα του σχάσιμου υλικού, θα καταστήσει τη μάζα του πυρηνικού εκρηκτικού σε υπερκρίσιμη κατάσταση, επιφέροντας την επιδιωκόμενη αλυσιδωτή αντίδραση. Αποτελεί κοινή λογική πως ο οποιοσδήποτε τύπος διάταξης της πυρηνικής εκρηκτικής συσκευής, αποτελείται από ένα περίπλοκο συνδυασμό παραγόντων όπου οι πιθανότητες ακούσιας αυθόρμητης πυροδότησης ή διαρροής του ραδιολογικού του υλικού είναι μηδαμινές. Ως εκ τούτου ο τεχνολογικός σχεδιασμός των εν λόγω όπλων, δηλαδή της μελετημένης διάταξης των εξαρτημάτων του συστήματος πυροδότησης και της σειράς των συστημάτων καλωδίωσης ηλεκτρικής ώθησης, βασίζονται στη φιλοσοφία της επονομαζόμενης Ενισχυμένης Ασφάλειας Πυρηνικών Εκρηκτικών (Enhanced Nuclear Denotation Safety - ENDS), η οποία ελαχιστοποιεί τις όποιες πιθανότητες σφάλματος ακολουθώντας τις συνδυασμένες Αρχές Σχεδιασμού Πυρηνικής Ασφάλειας (Nuclear Safety Design Principles):

³⁵¹ Λιόλιος 2009.

³⁵² (Για περισσότερες πληροφορίες μεταβείτε στον ακόλουθο σύνδεσμο κάτωθι)
Wisconsin Project on Nuclear Arms Control. (n.d.). *Nuclear Weapons Primer*.
<https://www.wisconsinproject.org/nuclear-weapons/>

Απομόνωση, Ασυμβατότητα και Μη Λειτουργικότητα³⁵³. Ουσιαστικά δηλαδή τα κρίσιμα εξαρτήματα της εκρηκτικής συσκευής, όπως π.χ. οι πυροκροτητές, οι καλωδιώσεις και οι εκρηκτικές ύλες, βρίσκονται απομονωμένα από οποιαδήποτε ενέργεια δύναται να προκαλέσει την αλληλουχία μιας έκρηξης.

Δίνοντας μια απλουστευμένη περιγραφή του σχεδιασμού της αρχής της Απομόνωσης βλέπουμε πως τα κρίσιμα εξαρτήματα της βασικής οπλικής διάταξης, που λαμβάνουν μέρος στην αλυσίδα της πυρηνικής πυροδότησης, απομονώνονται από ακούσια ενέργεια (π.χ. ηλεκτρική ή μηχανική) εντός μιας περιοχής ενεργειακού φράγματος που καλείται ζώνη αποκλεισμού (Exclusion Zone). Η ζώνη αποκλεισμού διατηρεί τη συστοιχία των εξαρτημάτων απενεργοποιημένη έως ότου δοθεί εντολή ενεργοποίησης. Για να γίνει επαφή (να ενεργοποιηθεί η ενεργειακή διαδρομή σύνδεσης) των εξαρτημάτων της οπλικής διάταξης, απαιτείται μία πύλη εισόδου (μηχανικό σύστημα) των σημάτων ενεργοποίησης³⁵⁴, η πύλη αυτή καλείται ισχυρός σύνδεσμος (Strong Link). Ο μηχανισμός αυτός (απαιτούνται δύο ανεξάρτητοι ισχυροί σύνδεσμοι στο σετ όπλισης, ώστε εάν ο ένας παρουσιάσει βλάβη να διασφαλίσει την ασφάλεια του συστήματος ο δεύτερος), μόλις οπλιστεί το όπλο, παρέχει το κανάλι επικοινωνίας διαμέσου της ζώνης αποκλεισμού με τον χρήστη. Αν και είναι σχεδιασμένος να διακρίνεται από υψηλή ανθεκτικότητα σε ποικίλα μη κανονικά περιβάλλοντα (π.χ. πτώση, σύνθλιψη, υψηλή θερμοκρασία ή τάση κ.α.) πάντα υπάρχει η πιθανότητα αστοχίας ή βλάβης. Για τον λόγο αυτό υπάρχει και ένας ακόμη μηχανισμός ασφαλείας, που παρεμβάλλεται μεταξύ της βασικής διάταξης και της ζώνης αποκλεισμού, ο οποίος καλείται ασθενής σύνδεσμος (Weak Link). Ο συγκεκριμένος μηχανισμός, εάν εντοπιστεί π.χ. βλάβη στη πυρηνική κεφαλή, θα προκαλέσει μη ταυτόχρονες ασύμμετρες μικροεκρήξεις στο χημικό εκρηκτικό αποτρέποντας μια ενδεχόμενη πυρηνική έκρηξη.

Ακολουθώντας ο σχεδιασμός της αρχής της Ασυμβατότητας, διασφαλίζει πως μόνο μια εξουσιοδοτημένη και εκούσια ενέργεια πληροφόρησης του συστήματος, ενεργοποιεί τους ισχυρούς συνδέσμους παρέχοντας ενεργειακή ροή στο κύκλωμα, επιτρέποντας τη μεταφορά ενέργειας στη ζώνη αποκλεισμού. Αφορά ειδικά σχεδιασμένα ερεθίσματα ενεργοποίησης (enabling stimuli), τα οποία απενεργοποιούν το σύστημα ασφάλειας παρέχοντας τη δυνατότητα πυροδότησης της οπλικής συσκευής. Τέλος ο σχεδιασμός της αρχής της Μη Λειτουργικότητας σχετίζεται με τη προβλέψιμη αδυναμία λειτουργίας των κρίσιμων οπλικών εξαρτημάτων λόγω της σχεδιασμένης περιβαλλοντικής

³⁵³ Σύμφωνα με το εργαστήριο έρευνας και ανάπτυξης Sandia National Laboratories (SNL), της Εθνικής Διοίκησης Πυρηνικής Ασφάλειας (National Nuclear Security Administration - NNSA) του Υπουργείου Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών (United States Department of Energy - DOE), είναι γνωστή ως αρχή των '3 Is': Isolation, Incompatibility, and Inoperability.
Sandia National Laboratories: <https://www.sandia.gov/>

³⁵⁴ Τα σήματα αυτά UQS (Unique Signal) είναι μοτίβα μοναδικών προτύπων σημάτων για την εν λόγω ενέργεια. Εάν δοθεί ένα εσφαλμένο μοναδικό σήμα η οπλική συσκευή κλειδώνει αυτόματα.
(Για περισσότερες πληροφορίες μεταβείτε στο σύνδεσμο κάτωθι)
Sandia National Laboratories (1992). *The Unique Signal Concept for Denotation Safety in Nuclear Weapons*. Columbia University.
<https://www.cs.columbia.edu/~smb/nsam-160/sand91-1269.pdf>

τους ευπάθειας. Δηλαδή είναι η δυνατότητα των φραγμών ασφαλείας (όπως είναι οι αδύναμοι σύνδεσμοι) να αντιδρούν ακαριαία σε μη κανονικά περιβάλλοντα, όπως π.χ. σε πύρινη έκθεση του όπλου όπου οι αδύναμοι σύνδεσμοι λιώνουν πριν καταστραφούν οι ισχυροί σύνδεσμοι ή η ζώνη αποκλεισμού, καθιστώντας το όπλο μη λειτουργικό³⁵⁵.

Εν συνεχεία για τον έλεγχο πρόσβασης στα πυρηνικά όπλα και την αποτροπή του μη εξουσιοδοτημένου οπλισμού τους γίνεται χρήση της συσκευής ασφαλείας PAL (Permissive Action Link, σύνδεσμος επιτρεπόμενης δράσης)³⁵⁶. Αποτελεί ένα σύστημα υψηλής τεχνολογίας ψηφιακών συνδυασμών κωδικών, το οποίο είτε περιλαμβάνεται είτε προσαρτάται στο πυρηνικό οπλικό σύστημα. Ουσιαστικά αποτελεί ένα σύστημα εισαγωγής διακριτών κωδικών, οι οποίοι πάνε συνήθως κατά ζεύγη ακολουθώντας τη λεγόμενη αρχή των δύο ατόμων TMR (Two Man Rule). Ως εκ τούτου, για τον οπλισμό του πυρηνικού όπλου, απαιτείται να εισαχθούν ταυτόχρονα δύο συνδυασμοί κωδικών από δύο ανώτατους αξιωματικούς³⁵⁷. Σήμερα τα περισσότερα συστήματα PLS των ΗΠΑ περιλαμβάνουν ένα σύστημα διακόπτη πολλαπλών κωδικών (MCCS - Multiple-Code Coded Switch).

Επίσης ύστερα από το στάδιο του οπλισμού, όπως π.χ. μιας πυρηνικής κεφαλής, γίνεται ενεργοποίηση των συσκευών ανίχνευσης περιβάλλοντος (ESD - Environmental Sensing Devices), οι οποίες ανιχνεύουν, μέσω περιβαλλοντικών αισθητήρων, εάν το όπλο επρόκειτο να λειτουργήσει στο προκαθορισμένο περιβάλλον μάχης. Αυτό επιτυγχάνεται, αναγνωρίζοντας τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, μέσω των παραμέτρων που έχουν αποθηκευμένα στη μνήμη τους όπως είναι π.χ. ο

³⁵⁵ Λιόλιος, 2009. &

The Nuclear Matters Handbook (Revised). (2020). Nuclear Surety. Chapter 8. Acquisition & Sustainment. Office of the Under Secretary of Defense.

<https://www.acq.osd.mil/ncbdp/nm/NMHB2020rev/chapters/chapter8.html> &

Plummer, D. W., & Greenwood, W. H. (1998, June 8). *The History of Nuclear Weapon Safety Devices*. Sandia National Laboratories. Columbia University.

<https://www.cs.columbia.edu/~smb/nsam-160/671923.pdf> &

Donnell, A. P. (2011). *A Robust Approach to Nuclear Weapon Safety*. Sandia National Laboratories. U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information.

<https://www.osti.gov/servlets/purl/1120301> &

Weaver, J. M. (n.d.). *One in a Million, Given the Accident: Assuring Nuclear Weapon Safety*. Sandia National Laboratories. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information.

<https://www.osti.gov/servlets/purl/1426902> &

Wolfgang, R. B. (n.d.). *The Enhanced Nuclear Detonation Safety Theme – an Introduction*. Sandia National Laboratories. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information.

<https://www.osti.gov/servlets/purl/1090221>

³⁵⁶ (Για περισσότερες πληροφορίες μεταβείτε στον κάτωθι σύνδεσμο)

Bleck, M. E., & Souder, P. R. (1984). *PAL Control of Theatre Nuclear Weapons (U)*. Sandia Report. Columbia University.

https://www.cs.columbia.edu/~smb/nsam-160/Theater_Control/Theater_Control.pdf

³⁵⁷ Λιόλιος, 2009 &

Permissive Action links. University of Columbia.

<https://www.cs.columbia.edu/~smb/nsam-160/pal.html> &

Permissive Action Link. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Permissive_action_link

χρόνος πτώσης, η επιτάχυνση της βαρύτητας, η αντίσταση του αέρα, και η μεταβολή της πίεσης και θερμοκρασίας του αέρα. Απαιτείται οι προκαθορισμένοι παράμετροι να εντοπιστούν με συγκεκριμένη αλληλουχία αλλιώς επέρχεται ακύρωση της πυροδότησης του πυρηνικού όπλου (Λιόλιος, 2009)³⁵⁸.

Κλείνοντας αναφέρονται επιγραμματικά κάποιοι ακόμη συντελεστές ασφαλείας πυρηνικών όπλων/κεφαλών:

α) Fire-Resistant Pit (FRP) - Θύλακας Πυρασφάλειας: Ο ειδικός μεταλλικός θύλακας, εντός του οποίου εμπεριέχεται το σχάσιμο πυρηνικό υλικό, μπορεί να αντέξει πολύ υψηλές θερμοκρασίες τήξης χωρίς να αφήσει το πυρηνικό υλικό να εξέλθει από αυτόν (π.χ. εάν αυτό λιώσει σε περίπτωση έκθεσης σε πυρκαγιά).

β) Enhanced Electrical Isolation (EEI) - Ενισχυμένη Ηλεκτρική Απομόνωση: Μειώνει τη πιθανότητα οι πυροκροτητές της πυρηνικής κεφαλής να υποστούν ηλεκτρική πυροδότηση σε περίπτωση ατυχήματος.

γ) Insensitive High Explosive (IHE) - Χημικά Εκρηκτικά Χαμηλής Ευαισθησίας: Αντικατέστησαν τα συμβατικά εκρηκτικά (High Explosives - HE) καθώς είναι αρκετά ισχυρότερα και πολύ λιγότερο ευαίσθητα στο να αναφλεχθούν σε συνθήκες πυρκαγιάς ή πρόσκρουση.

δ) Insulation Containers (IC) - Κλωβοί Μόνωσης: Απομονώνουν από κραδασμούς και φωτιά τα διάφορα τμήματα της βασικής διάταξης της εκρηκτικής συσκευής.

ε) Mechanical Safing (MS) - Μηχανική Ασφάλεια: Μειώνει την ισχύ της πυρηνικής απόδοσης σε περίπτωση ατυχήματος.

στ) Separable Components (SC) - Διαχωρίσιμα Εξαρτήματα: Χαρακτηρίζεται ως μέσο επίτευξης ασφάλειας πολλαπλών σημείων καθώς διαχωρίζεται το σχάσιμο πυρηνικό υλικό από το χημικό εκρηκτικό.

³⁵⁸ (Για περισσότερες πληροφορίες μεταβείτε στους κάτωθι συνδέσμους)

U.S. Government (1990). *Report of the panel on Nuclear Weapons Safety of the Committee on Armed Services House of Representatives*. Nuclear Weapons Safety. International Panel on Fissile Materials.

<https://fissilematerials.org/library/drell90.pdf> &

A survey of Nuclear Weapons Safety problems and the possibilities for increasing safety in bomb and warhead designs (1959). The National Security Archive. The George Washington University.

<https://nsarchive2.gwu.edu/nukevault/ebb475/docs/doc%203%20sandia%201959.pdf> &

Wohlstetter, J. (2010). *Herman Kahn: Applying His Nuclear Strategy Precepts Today*. Hudson Institute.

<https://www.hudson.org/sites/default/files/researchattachments/attachment/843/wohlstetterkahnprecepts.pdf>

ζ) Limited Code Retry (LCR) - Περιορισμένη Επανάληψη Εισαγωγής Κωδικών: Επέρχεται εμπλοκή των PAL εάν εισαχθούν λανθασμένοι κωδικοί. Το πυρηνικό όπλο κλειδώνει και για απεμπλοκή απαιτείται η μεταφορά του στο εργοστάσιο παραγωγής.

η) Self-Damaging Mechanism (SDM) - Μηχανισμός Αυτοκαταστροφής: Εάν εισαχθούν επανειλημμένα λανθασμένοι κωδικοί PAL, εκτός από το κλείδωμα του όπλου, υπάρχει σχεδιασμός να επέλθει καταστροφή ορισμένων εκ των εξαρτημάτων του³⁵⁹.

6.3 Ασφάλεια στην εποχή της Τεχνητής Νοημοσύνης

Η τεχνολογική εξέλιξη και υποδομή είναι αυτή που καθοδηγεί και προσαρμόζει το εκάστοτε στρατηγικό δόγμα³⁶⁰ και ως εκ τούτου την διεξαγωγή και την μορφή του πολέμου, αναδιαμορφώνοντας συνεχώς την ισορροπία δυνάμεων. Συνεπώς οι τεχνολογικές δυνατότητες του εκάστοτε κράτους είναι αυτές που καθορίζουν εάν θα αναπτυχθεί αμυντική ή επιθετική εθνική στρατηγική και άρα τη διάσταση της ασφάλειάς του στη γεωπολιτική κονίστρα. Η διεξόδωση της τεχνολογίας στην αμυντική βιομηχανία αλλά και η διάχυσή της σε παραστρατιωτικούς δρώντες, επιφέροντας αύξηση της ισχύος τους, έχει ανάγει τις συγκρούσεις σε έναν πόλεμο πλήρους φάσματος. Η τεχνολογική εξέλιξη και υπεροχή είναι πλέον η πεμπτουσία της διεξαγωγής της αποκαλούμενης πολυχωρικής μάχης³⁶¹ (MDB – Multi Domain Battle), όπου η υβριδικότητα³⁶² των μεθόδων δράσης έχει ανέλθει σε μείζον χαρακτηριστικό της.

Σήμερα δεν θα ήταν υπερβολή να παρομοιάσουμε την ανάπτυξη της Τεχνητής Νοημοσύνης³⁶³ σαν το Ελληνικόν Πυρ (Υγρό Πυρ) των τεχνολογιών αιχμής, καθώς εισάγει καινότροπες δυνατότητες στο

³⁵⁹ Λιόλιος, 2009 & *Occasional Report Nuclear Warhead Safety*. (n.d.). Science & Global Security. <https://scienceandglobalsecurity.org/archive/sgs02occreport.pdf>

³⁶⁰ Αναφέρεται στις θεμελιώδεις αρχές οι οποίες δομούν τη στρατηγική κατευθυντήρια γραμμή δράσης. Εν συνεχεία παρέχεται η καθοδήγηση στις ενέργειες των ενόπλων δυνάμεων ώστε να επιτευχθεί ο πολιτικός αντικειμενικός σκοπός, δηλαδή το πραγματικό επιδιωκόμενο αποτέλεσμα των στρατιωτικών επιχειρήσεων.

³⁶¹ Διεξαγωγή επιχειρήσεων πολλαπλών τομέων όπου συμπεριλαμβάνονται και αλληλεπιδρούν οι τομείς: ξηράς, θάλασσας, αέρος, διαστήματος και κυβερνοχώρου.

³⁶² Ο όρος υβριδικός ή μη γραμμικός, χαρακτηρίζει έναν πόλεμο ή μια απειλή, όπου η εξέλιξη των γεγονότων είναι προσαρμοσμένη στα δεδομένα του 21^{ου} αιώνα. Χαρακτηρίζεται από τη μεγάλη τεχνολογική ανάπτυξη των μέσων διεξαγωγής και τη συνδυασμένη χρήση συμβατικών και μη συμβατικών μεθόδων.

³⁶³ Artificial Intelligence (AI)* - Αποτελεί συνάρτηση πολλαπλών επιστημών (π.χ. πληροφορικής, μηχανικής, ρομποτικής, μαθηματικών, φυσικής, ψυχολογίας, νευρολογίας, γλωσσολογίας κ.α.), ένα μαθηματικοποιημένο και ταχέως εξελισσόμενο πεδίο της πληροφορικής, όπου μέσα από μια σειρά αναπτυσσόμενων αλγόριθμων μηχανικής μάθησης (σειρά πεπερασμένων εντολών για την διεκπεραίωση ενός συγκεκριμένου έργου, όπου επιτρέπουν στους υπολογιστές να «μάθουν» μέσω δεδομένων/ ML – Machine Learning) και σωρείας διαθέσιμων δεδομένων αποδίδει π.χ. στοιχεία συλλογιστικής, περιβαλλοντικής προσαρμογής, εξαγωγικών συμπερασμάτων και σχεδιασμού δράσης σε υπολογιστικά μηχανήματα ή λογισμικά προγράμματα, ώστε αυτά να επιτελέσουν μια

πεδίο της μάχης, μεγιστοποιώντας την οπλική ακρίβεια και ενισχύοντας την έννοια της αποτροπής. Η έλευση της Τεχνητής Νοημοσύνης, ως ένα ακόμη στρατηγικό εργαλείο, αναμένεται να επιφέρει παγκόσμια ανταγωνιστικότητα στο πεδίο της οπλικής τεχνολογικής ισχύος, αναδιαμορφώνοντας και ενισχύοντας πλήρως το ενυπάρχον στρατηγικό δόγμα, επιφέροντας αλλαγές στο τρόπο διεξαγωγής των συγκρούσεων και λοιπών ενεργειών σε επιχειρησιακό και τακτικό επίπεδο, μετατοπίζοντας το έμφυχο δυναμικό σε παράγοντα δευτερευούσης σημασίας. Επιπροσθέτως θα αναθεωρηθούν οι ισχύουσες αρχές του Δικαίου του Πολέμου, προσαρμόζοντας το ηθικό-νομικό επίπεδο της διεξαγωγής των συγκρούσεων στο νέο τεχνολογικό περιβάλλον της ευφυούς μηχανοκρατίας, καθώς και οι αρχές του Διεθνούς Ανθρωπιστικού Δικαίου ως προς τα θεμιτά όρια της εφαρμογής της Τεχνητής Νοημοσύνης στο στρατιωτικό τομέα. Οι τεχνολογικές καινοτομίες της Τεχνητής Νοημοσύνης έχουν τη δυνατότητα να αξιοποιηθούν σε όλα τα επίπεδα του πολέμου προσφέροντας σημαντικό στρατηγικό πλεονέκτημα. Κάποιες από αυτές τις νέες δυνατότητες είναι:

- Η βελτιωμένη λειτουργική αποδοτικότητα των οπλικών συστημάτων, όπως π.χ. οι αυτοματισμοί, η αναγνώριση προσώπου, η αυτόνομη πλοήγηση, η προσαρμοστικότητα στο περιβάλλον δράσης, η αναπτυγμένη παρατήρηση και ανάλυση των περιβαλλοντικών δεδομένων, προβαίνοντας σε ανεξαρτητοποιημένη ικανότητα εντοπισμού, αναγνώρισης, επιλογής και εκτέλεσης στρατιωτικών στόχων σε πραγματικό χρόνο, χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα³⁶⁴.

συγκεκριμένη και εξειδικευμένη ενέργεια - στόχο. Απέδωσε τη δυνατότητα στις μηχανές να κατανοούν το περιβάλλον μέσα στο οποίο δρουν, καθώς τα ληφθέντα από αυτό δεδομένα αλληλεπιδρούν με τις ενυπάρχοντες στο σύστημα πληροφορίες προηγούμενων δράσεων, διεξάγοντας κατά αυτό το τρόπο βελτιωμένες δράσεις - στόχους.

Θεωρείται πως η ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης ξεκίνησε γύρω στις αρχές της δεκαετίας του 1950, όπου ο μαθηματικός και πατέρας της επιστήμης των υπολογιστών Alan Turing** πρότεινε το 1949 τη λεγόμενη Δοκιμή Turing (Turing Test) ή αλλιώς Παιχνίδι της Μίμησης (The Imitation Game), όπου μέσω αυτής της δοκιμής θα εξακριβωνόταν εάν μια υπολογιστική μηχανή έχει την ικανότητα να επιδεικνύει ευφυή συμπεριφορά ανάλογη με αυτή του ανθρώπου.

*Θα χαρακτηρίζα την Τεχνητή Νοημοσύνη ως ένα υπολογιστικό σύστημα συγκέντρωσης και ψηφιοποίησης των ανθρώπινων γνωστικών εμπειριών στο πέρασ του χρόνου, οι οποίες τροφοδοτούν τη διεξαγωγή μηχανοκρατικών ενεργειών ακολουθώντας μια εξορθολογιστική γραμμικότητα στην δράση τους.

**Κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου εργάστηκε μυστικά για τη Βρετανική Υπηρεσία Αντικατασκοπείας, ως προϊστάμενος της επονομαζόμενης Ομάδας 8, αποκωδικοποιώντας της Γερμανική συσκευή κρυπτογράφησης Enigma.

Λάζος, Π. (2024, 12 Ιουλίου). *Τεχνητή νοημοσύνη: τι είναι και τι κάνει!* Capital.gr.

<https://www.capital.gr/o-petros-lazos-grafei/3826838/texniti-noimosuni-ti-einai-kai-ti-kanei/> &

Artificial Intelligence. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence

Alan Turing. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing

³⁶⁴ Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα αποκαλούμενα Θανατηφόρα Αυτόνομα Οπλικά Συστήματα (Lethal Autonomous Weapon Systems - LAWS). Αποτελούν ειδική κατηγορία οπλικών συστημάτων με ενσωματωμένο σύστημα επίθεσης το οποίο δρα χωρίς την ανάγκη χειροκίνητου ελέγχου. Προβαίνουν στην αναγνώριση και κατάρριψη του στόχου μέσω της συνδυασμένης λειτουργίας αλγόριθμων και αισθητήρων. Τα εξελιγμένα αυτά οπλικά συστήματα δεν είναι ακόμη αναπτυγμένα σε ευρεία κλίμακα, αλλά ενδέχεται σύντομα να αντικαταστήσουν τα συμβατικά οπλικά συστήματα σε δυσμενή θέατρα πολέμου.

- Η βελτιωμένη παροχή ασφάλειας, καθώς τα οπικά συστήματα, μέσω της χρήσης προηγμένων υπολογιστικών αλγόριθμων, ανταποκρίνονται αμεσότερα και ακριβέστερα στις απειλές μειώνοντας το κίνδυνο της εμφάνισης περιστατικών αιφνιδιασμού.

- Η ενεργός εμπλοκή της Τεχνητής Νοημοσύνης σε συστήματα ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (EMS - Electromagnetic Spectrum), διοίκησης και ελέγχου (C2 - Command and Control), πληροφόρησης, επιτήρησης και αναγνώρισης (ISR - Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance) και σε συστήματα στρατιωτικής επιμελητείας, δηλαδή σε συστήματα διαχείρισης της στρατιωτικής εφοδιαστικής αλυσίδας (Military Logistics)³⁶⁵.

Αν και οι αναδυόμενες τεχνολογίες της Τεχνητής Νοημοσύνης, στις επιθετικές και αμυντικές στρατιωτικές δυνατότητες των κρατών, βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και οι εννέα γνωστές πυρηνικές δυνάμεις (Ρωσία, ΗΠΑ, Κίνα, Ηνωμένο Βασίλειο, Γαλλία, Ισραήλ, Ινδία, Πακιστάν και Βόρεια Κορέα) έχουν εκδηλώσει ως στρατηγική προτεραιότητα και επιτακτική ανάγκη την ενσωμάτωση των νέων αυτών τεχνολογικών δυνατοτήτων στη διοίκηση και στον έλεγχο των πυρηνικών τους οπλικών συστημάτων. Σίγουρα οι τεχνολογικές εξελίξεις επί του πεδίου, εκτός της παροχής προηγμένων δυνατοτήτων, οι οποίες συμβάλλουν τόσο προληπτικά μέσω βελτιωμένων συστημάτων πληροφοριακής ανάλυσης σε περιόδους κρίσης, όσο και ενισχυτικά ως προς την δυναμική

Congressional Research Service (2025, January 2). *Defense Primer: U.S. Policy on Lethal Autonomous Weapon Systems*.

<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11150>

(Για περισσότερες πληροφορίες μεταβείτε στο σύνδεσμο κάτωθι)

Etzioni, A, & Etzioni, O. (2017). *Pros and Cons of Autonomous Weapons Systems*. Army University Press.

<https://www.armyupress.army.mil/Journals/Military-Review/English-Edition-Archives/May-June-2017/Pros-and-Cons-of-Autonomous-Weapons-Systems/>

³⁶⁵ Πλουμής, Μ. (2023). Τα οπικά συστήματα Τεχνητής Νοημοσύνης και η τέχνη του πολέμου στο μέλλον. *Στρατιωτική Επιθεώρηση*, (1), 12-35.

https://www.researchgate.net/publication/375793238_TA_OPLIKA_SYSTEMATA_TECHNETES_NOEMOSYNES_KAI_E_TECHNE_TOU_POLEMOU_STO_MELLON Stratiotiko arthro Ta Oplika Systemata Technetes Noemosynes kai e Techne tou Polemou sto Mellon -

https://army.gr/wp-content/uploads/2024/03/se_1-2023_proepiskopisi.pdf &

Όμιλος Διεθνών και Ευρωπαϊκών Θεμάτων (2023, 16 Δεκεμβρίου). *Η στρατιωτική χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και τα ηθικά διλήμματα που προκύπτουν*.

[https://odeth.eu/%CE%B7-](https://odeth.eu/%CE%B7-%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CF%87%CF%81%CE%AE%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%82-%CE%BD%CE%BF%CE%B7%CE%BC/)

[%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CF%87%CF%81%CE%AE%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%82-%CE%BD%CE%BF%CE%B7%CE%BC/](https://odeth.eu/%CE%B7-%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CF%87%CF%81%CE%AE%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%82-%CE%BD%CE%BF%CE%B7%CE%BC/) &

Χωριανόπουλος, Α. *Το μέλλον της αεροδιαστημικής βιομηχανίας υπό το πρίσμα της εισαγωγής τεχνητής νοημοσύνης στην ανάπτυξη συστημάτων*. ΑΛΛΗΛΟΝnet.com.

[https://allilonnet.com/wp-](https://allilonnet.com/wp-content/uploads/2025/01/%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CE%A3%CE%B5%CF%80%CF%84%CE%AD%CE%BC%CE%B2%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%82-2024-compressed_3-43-45.pdf)

[content/uploads/2025/01/%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%8C-](https://allilonnet.com/wp-content/uploads/2025/01/%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CE%A3%CE%B5%CF%80%CF%84%CE%AD%CE%BC%CE%B2%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%82-2024-compressed_3-43-45.pdf)

[%CE%A3%CE%B5%CF%80%CF%84%CE%AD%CE%BC%CE%B2%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%82-2024-compressed_3-43-45.pdf](https://allilonnet.com/wp-content/uploads/2025/01/%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CE%A3%CE%B5%CF%80%CF%84%CE%AD%CE%BC%CE%B2%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%82-2024-compressed_3-43-45.pdf)

της πυρηνικής αποτροπής (π.χ. η αναβάθμιση των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης όπως τα ISR³⁶⁶ και NC3³⁶⁷), εγείρουν και νέα ερωτήματα σχετικά με:

α) Την δυνατότητα ελέγχου και περιορισμού μιας εκ νέου πυρηνικής κούρσας προηγμένων εξοπλισμών.

β) Την ικανότητα διεξαγωγής αναθεωρήσεων ως προς την αξιολόγηση των υφιστάμενων μεθόδων ελέγχου και ασφάλειας των πυρηνικών όπλων, καθώς και στην ικανότητα ανάπτυξης νέων μεθόδων ελέγχου και ασφάλειας βασισμένων στις τεχνολογικές εξελίξεις.

γ) Την ικανότητα άμεσης διαχείρισης μιας επικείμενης πυρηνικής κλιμάκωσης (π.χ. λόγω σφάλματος στην αυτοματοποιημένη ανάλυση κινδύνου).

δ) Την δυνατότητα ανάπτυξης ισχυρών διασφαλίσεων, ώστε οι αναδυόμενες τεχνολογίες να μην καταστούν ανεξέλεγκτες στη χρήση τους ή να μην καταστούν προσβάσιμες (π.χ. μέσω κυβερνοεπιθέσεων) σε μη εξουσιοδοτημένους δρώντες (π.χ. τρομοκρατικές οργανώσεις, αντίπαλα κράτη), όπου η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης θα τους επιτρέψει παρέμβαση στο πυρηνικό σύστημα διοίκησης, ελέγχου και επικοινωνίας του αντιπάλου.

ε) Το κατά πόσο τα δεδομένα στα οποία βασίζονται οι αλγόριθμοι δεν είναι ελλιπή και δεν έχουν υποστεί κακόβουλη τροποποίηση ή χειραγώγηση.

στ) Το κατά πόσο οι ρυθμίσεις των αυτοματοποιήσεων και οι ενσωματωμένες πληροφορίες του συστήματος μνήμης θα διατηρήσουν μια πλήρως ορθή λειτουργία σε μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Είναι γνωστό, όπως η ιστορία έχει καταδείξει πολλάκις, πως η ανθρώπινη ιδιοσυγκρασία τείνει να δαιμονοποιεί το οτιδήποτε της είναι άγνωστο και καινοφανές. Επομένως όλες αυτές οι ανησυχίες είναι θεμιτές μέσα σε έναν άναρχο και ανταγωνιστικό κόσμο ταχείας τεχνολογικής ανάπτυξης, πολυδιάστατης πληροφόρησης, παραπληροφόρησης και αποπληροφόρησης. Βέβαια οι πιθανότητες αστοχίας, μη ενδεδειγμένης και λανθασμένης χρήσης, κατάχρησης κτλ. ενός συστήματος είναι πάντα μέσα στα πλαίσια του αναμενόμενου συμβάντος. Ως εκ τούτου καθίστατο καίριας σημασίας να υπάρχουν οι ανάλογες δικλίδες ασφαλείας, στην παραγωγή και στον προγραμματισμό των συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης, τα οποία θα εξασφαλίσουν υψηλότερη ακρίβεια και αξιοπιστία λειτουργίας,

³⁶⁶ Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (σύστημα πληροφόρησης, επιτήρησης και αναγνώρισης).

³⁶⁷ Nuclear Command, Control and Communications (σύστημα πυρηνικής διοίκησης, ελέγχου και επικοινωνιών).

περιορίζοντας τις αποκλίσεις απόδοσης ενός ατελούς συστήματος. Για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αιχμής, εκτός του καταρτισμένου ανθρώπινου δυναμικού, απαιτείται πρόσβαση σε κρατικές και ιδιωτικές επενδύσεις, σε εξειδικευμένο πληροφοριακό λογισμικό (software) και δεδομένα υψηλής ποιότητας, σε πηγές ενέργειας και φυσικούς πόρους³⁶⁸, καθώς και η ύπαρξη επαρκούς βιομηχανικής τεχνολογικής βάσης.

Κλείνοντας, όσο αφορά τα νομικά, ηθικά και ανθρωπιστικά ζητήματα επί του θέματος, επισημαίνεται πως έχουν ήδη ξεκινήσει να γίνονται προσπάθειες σε θεσμικό επίπεδο ώστε η διεθνής κοινότητα να διασφαλίσει (όσο είναι εφικτό), μέσω κανονισμών και αρχών, πως η Τεχνητή Νοημοσύνη δρα υπό την ανθρώπινη βούληση και όχι αντιστρόφως. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν η διεθνής Σύνοδος Κορυφής του Μέλλοντος (Summit of the Future)³⁶⁹ υπό τον ΟΗΕ, που έλαβε χώρα στην Νέα Υόρκη των ΗΠΑ το Σεπτέμβριο του 2024, στην οποία γνωστοποιήθηκε το επονομαζόμενο Προσχέδιο Μηδέν του Συμφώνου για το Μέλλον (Zero Draft of the Pact for the Future). Αφορά ένα προκαταρκτικό και περιληπτικό εγχειρίδιο όπου παρουσιάζονται οι τομείς ενδιαφέροντος και οι κύριες κατευθυντήριες μελλοντικές δράσεις και στο οποίο ενδεικτικά αναφέρεται πως η διεθνής κοινότητα δεσμεύεται «να αναπτύξει νόρμες, κανόνες και αρχές για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη χρήση στρατιωτικών εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης μέσω μιας πολύπλευρης διαδικασίας, διασφαλίζοντας παράλληλα τη δέσμευση με ενδιαφερόμενους φορείς από τον βιομηχανικό και ακαδημαϊκό χώρο, την κοινωνία των πολιτών και λοιπούς τομείς³⁷⁰».

Τέλος ένα ακόμη σημαντικό βήμα παγκόσμιας κλίμακας, ως προς την διασφάλιση της υπεύθυνης εφαρμογής της Τεχνητής Νοημοσύνης στο στρατιωτικό τομέα, είναι οι διασκέψεις κορυφής που λαμβάνουν χώρα από την πλατφόρμα REAIM (Responsible Artificial Intelligence in the Military Domain/ Υπεύθυνη Τεχνητή Νοημοσύνη στον Στρατιωτικό Τομέα)³⁷¹. Στόχος είναι η οικοδόμηση ενός κοινού διεθνούς αξιακού κώδικα και συναινετικών κανόνων ως προς την υποστήριξη και προώθηση της υπεύθυνης ανάπτυξης και χρήσης των αναδυόμενων τεχνολογιών στο στρατιωτικό τομέα. Σε αυτό

³⁶⁸ Στο συγκεκριμένο τομέα αναμένεται να ενταθεί ο ανταγωνισμός των κρατών, καθώς η αυξημένη ζήτηση για τους κρίσιμους φυσικούς πόρους (όπως π.χ. το κοβάλτιο - Co, το παλλάδιο - Pd, το γάλλιο - Ga), που απαιτεί η κατασκευή των υλισμικών εξαρτημάτων (hardware) για την υποστήριξη της Τεχνητής Νοημοσύνης, έχει επιφέρει έλλειψη των φυσικών αποθεμάτων τους.

James, R. A., Myers, A., & Parker, K. (2025, January 6). *AI Needs Critical Materials, Fast! But From Where?* Gravel 2 Gavel.

<https://www.gravel2gavel.com/ai-critical-materials/>

³⁶⁹ United Nations. Summit of the Future.

<https://www.un.org/en/summit-of-the-future>

³⁷⁰ ‘We also commit to developing norms, rules and principles on the design, development and use of military applications of artificial intelligence through a multilateral process, while also ensuring engagement with stakeholders from industry, academia, civil society and other sectors’.

United Nations. Summit of the Future. (2024, January 26). *Zero Draft of the Pact for the Future*. § 89. p. 12.

https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/sotf-co-facilitators-zero-draft_pact-for-the-future.pdf

³⁷¹ REAIM (Responsible Artificial Intelligence in the Military Domain).

<https://reaim2024.kr/reaimeng/index.do>

το πλαίσιο, το 2023 στη σύνοδο κορυφής της REAIM στη Χάγη³⁷², αναδύθηκε η Πολιτική Διακήρυξη για την Υπεύθυνη Στρατιωτική Χρήση της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Αυτονομίας (Political Declaration on Responsible Military Use of Artificial Intelligence and Autonomy)³⁷³ ως μια εναρκτήρια διαδικασία θέσπισης διεθνών κανόνων υπεύθυνης συμπεριφοράς. Με βάση το Διεθνές Δίκαιο η Διακήρυξη έθεσε επί τάπητος την ανάγκη εφαρμογής επαρκών διασφαλίσεων ως προς την αποφυγή λαθών, την παροχή ενός κανονιστικού πλαισίου ανάπτυξης και χρήσης των νέων τεχνολογιών, καθώς και την παροχή μιας κοινής βάσης ανταλλαγής ικανοτήτων και πρακτικών, αναμεταξύ των εμπλεκόμενων κρατών, πάνω στις στρατιωτικές εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης³⁷⁴.

³⁷² Summit on Responsible Artificial Intelligence in the Military Domain. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Summit_on_Responsible_Artificial_Intelligence_in_the_Military_Domain

³⁷³ U.S. Department of State (n.d.). *Political Declaration on Responsible Military Use of Artificial Intelligence and Autonomy*.

<https://www.state.gov/bureau-of-arms-control-deterrence-and-stability/political-declaration-on-responsible-military-use-of-artificial-intelligence-and-autonomy>

(Για περισσότερες πληροφορίες μεταβείτε στο σύνδεσμο κάτωθι)

U.S. Department of State (n.d.) *Political Declaration on Responsible Military Use of Artificial Intelligence and Autonomy*.

<https://www.state.gov/wp-content/uploads/2023/10/Latest-Version-Political-Declaration-on-Responsible-Military-Use-of-AI-and-Autonomy.pdf>

³⁷⁴ Steene, S., & Jenks, C. (2023, November 13). *The Political Declaration on Responsible Military Use of Artificial Intelligence and Autonomy*. Lieber Institute West Point.

<https://lieber.westpoint.edu/political-declaration-responsible-military-use-artificial-intelligence-autonomy/> &

Meier, O. (2024, June 27). *The fast and the deadly: When Artificial Intelligence meets Weapons of Mass Destruction*. European Leadership Network.

<https://europeanleadershipnetwork.org/commentary/the-fast-and-the-deadly-when-artificial-intelligence-meets-weapons-of-mass-destruction/> &

Chernavskikh, V. (2024). *Nuclear Weapons and Artificial Intelligence: Technological Promises and Practical Realities*. Stockholm International Peace Research Institute. SIPRI.

https://www.sipri.org/sites/default/files/2024-09/bp_2409_ai-nuclear.pdf &

Puwal, S. (2024, April 12). *Should artificial intelligence be banned from nuclear weapons systems?* NATO.

<https://www.nato.int/docu/review/articles/2024/04/12/should-artificial-intelligence-be-banned-from-nuclear-weapons-systems/index.html> &

Rautenbach, P. (2022). *On Integrating Artificial Intelligence With Nuclear Control*. Arms Control Association.

<https://www.armscontrol.org/act/2022-09/features/integrating-artificial-intelligence-nuclear-control> &

McNamara, E. M. (2024). *Nuclear Arms Control Policies and Safety in Artificial Intelligence. Transferable Lessons or False Equivalence?* FIIA.

https://fiia.fi/wp-content/uploads/2024/01/bp381_nuclear-arms-control-policies-and-safety-in-artificial-intelligence.pdf

Κεφάλαιο 7^ο

Το πεδίο του διαστήματος

Ο ανταγωνισμός της ισχύος και η κούρσα των εξοπλισμών άγγιξαν το διάστημα πριν ο πρώτος άνθρωπος πατήσει στο φεγγάρι³⁷⁵. Η κινητήριος δύναμη της εξερεύνησης του διαστήματος ήτο η επίτευξη στρατιωτικής υπεροχής, η οποία εν συνεχεία προσέδιδε και πολιτιστική υπεροχή, και όχι η κατανόηση του σύμπαντος για το σκοπό που η επιστήμη χαρακτηρίζει ως «κοινό καλό»³⁷⁶. Ως εκ τούτου η αστροναυτική κατέστη απόρροια της στρατιωτικής τεχνολογίας. Η στρατιωτικοποίηση του διαστήματος έφερε τον πόλεμο των άστρων³⁷⁷ από τη σφαίρα της μυθοπλασίας στη σφαίρα της εθνικής ασφάλειας και η εναπόθεση πυρηνικών οπλικών συστημάτων πέραν της γήινης επικράτειας φάνταζε πιο επιτεύξιμη από ποτέ. Το διάστημα αποτέλεσε (και αποτελεί) ένα πεδίο ατέρμονου ανταγωνισμού μεταξύ των ΗΠΑ και της Σοβιετικής Ένωσης, μετουσιώνοντας την αναζήτηση της τεχνολογικής καινοτομίας, της αεροδιαστημικής επιστήμης, στην πεμπτούσια του Ψυχρού Πολέμου.

Σήμερα ο διαστημικός χώρος θεωρείται «κοινό κτήμα της ανθρωπότητας» (*res communis*), προστατευμένος, έως τουλάχιστον στο βαθμό που είναι γνωστοποιημένο, μέσω διεθνών και διακρατικών συμφωνιών, από οποιαδήποτε μορφή κατοχής και κυριαρχίας, καθώς και από στρατιωτική δραστηριότητα, κυρίως συσχετιζόμενη με πυρηνικά όπλα και όπλα μαζικής καταστροφής³⁷⁸. Παρόλα αυτά ο ανταγωνισμός του διαστήματος συνεχίζεται, αναμεταξύ των διεθνών γεωπολιτικών δρώντων, κυρίως μέσω της ανάπτυξης δικτύων τροχιακής επιτήρησης, όπως είναι οι δορυφόροι πληροφόρησης³⁷⁹

³⁷⁵ Ο Αμερικανός αστροναύτης Neil Armstrong καταγράφηκε ως ο πρώτος άνθρωπος που πάτησε το φεγγάρι, τον ακολούθησε λίγη ώρα αργότερα ο Edwin "Buzz" Aldrin, στις 21 Ιουλίου 1969, με την αποστολή Apollo 11. Η τελευταία επανδρωμένη αποστολή ήταν η αποστολή Apollo 17, έλαβε χώρα από τις 7 έως τις 19 Δεκεμβρίου του 1972 και ο τελευταίος άνθρωπος που πάτησε το φεγγάρι έως και σήμερα ήταν ο Αμερικανός αστροναύτης Eugene Cernan.

Royal Museum Greenwich (n.d.). *How many people have walked on the Moon?* <https://www.rmg.co.uk/stories/topics/how-many-people-have-walked-on-moon> & Royal Museum Greenwich (n.d.). *Why did we stop going to the Moon?* <https://www.rmg.co.uk/stories/topics/why-did-we-stop-going-moon>

³⁷⁶ Σιμόπουλος, Δ. Π. (2019, 21 Ιουλίου). *Αυτόπτης μάρτυρας: Διονύσης Π. Σιμόπουλος*. (σ.σ. 5-11). Από Μπομπάριδης, Χ. Στο *Σελήνη. Ένα νοερό ταξίδι στον δορυφόρο της Γης*. All About History (τεύχος 10).

³⁷⁷ Λογοπαίγνιο σχετικά με την κινηματογραφική ταινία επιστημονικής φαντασίας Start Wars (Star Wars: Episode IV – A New Hope), του σκηνοθέτη George Walton Lucas Jr., η οποία προβλήθηκε 1977, και του προγράμματος αντιπυραυλικής άμυνας των ΗΠΑ, του 1984, Strategic Defense Initiative (SDI, Στρατηγική Αμυντική Πρωτοβουλία) γνωστό και ως πρόγραμμα Star Wars.

³⁷⁸ Ελευθερίου, Σ. (2018). Δίκαιο Διαστήματος: Επιτεύγματα, προκλήσεις και προβληματικές του νεότερου κλάδου του Διεθνούς Δικαίου. *Expressis Verbis Law Journal*, 2, 132-136. <https://ejournals.lib.auth.gr/XVLaw/article/view/6777/6532>

³⁷⁹ Η επιτυχής εκτοξεύσεις των πρώτων δορυφόρων (04/10/1957 εκτοξεύτηκε ο Ρωσικός Sputnik 1 και 31/01/1958 ο Αμερικανικός Explorer 1) ήταν επιφορτισμένες με το γόητρο της στρατιωτικής, τεχνολογικής και

και συνακολούθως μέσω της ανάπτυξης αντι-δορυφορικών (ASAT - Anti-Satellite) όπλων και συστημάτων. Το διάστημα έχει καταστεί σε πρωταρχικό πεδίο δράσης όπου τα όρια μεταξύ πολιτικής, στρατιωτικής, επιστημονικής και εμπορικής χρήσης του είναι δυσδιάκριτα και συχνά το ένα επικαλύπτει το άλλο³⁸⁰.

πολιτιστικής υπεροχής των δύο ηγετικών πόλων (ΗΠΑ - ΕΣΣΔ). Ο ρόλος των πρώτων δορυφόρων ήταν πρωτίστως στρατιωτικής φύσης, έστω και εάν επικράτησε η ευρεία αντίληψη πως οι αποστολές τους ήταν επιστημονικές στα πλαίσια του Διεθνούς Έτους Γεωφυσικής (IGY - International Geophysical Year, ήταν μια συγκεκριμένη χρονική περίοδος η οποία ορίστηκε από το Διεθνές Συμβούλιο Επιστημονικών Ενώσεων [International Council of Science] και διήρκεσε από τις 01/07/1957 έως τις 31/12/1958. Ουσιαστικά αποτέλεσε μια διεθνής συμφωνία για επιστημονικές έρευνες στην Ανταρκτική). (Κουσκουβέλης, 2000). & International Geophysical Year. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/International_Geophysical_Year

«Οι δορυφόροι πληροφόρησης ενσωματώθηκαν στα συστήματα των στρατηγικών όπλων και κατά μία διαδεδομένη άποψη συνέβαλαν με τις πληροφορίες που προσέφεραν στη σταθερότητα της κούρσας των εξοπλισμών και εμμέσως στη διεθνή σταθερότητα συνολικά.» (Κουσκουβέλης, 2000).

Χαρακτηριστικά παραδείγματα κατηγοριών δορυφόρων που συνέβαλλαν σταθεροποιητικά ή αποσταθεροποιητικά στη διατήρηση της αποκαλούμενης πυρηνικής ισορροπίας είναι:

- Δορυφόροι φωτογραφικής αναγνώρισης (προσφέρουν σταθερότητα, καθώς δίνεται η δυνατότητα παρατήρησης των οπλοστασίων, των στρατιωτικών επιχειρήσεων και επιπλέον δύναται να επαληθευτεί η τήρηση ή μη των εκάστοτε Συνθηκών).
- Δορυφόροι ηλεκτρονικής παρακολούθησης και δορυφόροι ωκεάνειας παρακολούθησης (προσφέρουν σταθερότητα, καθώς παρακολουθούν τις εκπομπές σημάτων από τις στρατιωτικές δραστηριότητες του αντιπάλου. Η πληροφόρηση αυτή δρα αποτρεπτικά καθώς χάνεται το πλεονέκτημα του αιφνιδιασμού).
- Δορυφόροι επικοινωνίας (καθώς η επικοινωνία είναι το νευραλγικό σύστημα των στρατιωτικών επιχειρήσεων, η χρήση τους επιφέρει σταθερότητα, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την ανάπτυξη της άμεσης γραμμής επικοινωνίας, γνωστή ως hot line, μεταξύ Μόσχας και Washington μετά την επανομαζόμενη Κρίση των Πυραύλων της Κούβας το 1962. Cuban Missile Crisis. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Cuban_Missile_Crisis).
- Δορυφόροι έγκαιρης προειδοποίησης (αντικατέστησαν τα radars ανίχνευσης πυραύλων και χαρακτηρίζονται ως σταθεροποιητικοί, καθώς αποτρέπουν τη δυνατότητα αιφνιδιαστικών επιθέσεων μέσω του εντοπισμού των πυραυλικών εκτοξεύσεων).
- Δορυφόροι ανίχνευσης πυρηνικών εκρήξεων (δεν χαρακτηρίζονται ούτε σταθεροποιητικοί ούτε αποσταθεροποιητικοί).
- Δορυφόροι γεωδαισίας και δορυφόροι ωκεανογραφίας (προσδιορίζουν την μορφή της γήινης επιφάνειας και καταγράφουν τα χαρακτηριστικά των ωκεανών. Χαρακτηρίζονται ως σταθεροποιητικοί, καθώς μέσω του εντοπισμού των στόχων, πολιτικών και στρατιωτικών, επέρχεται χτύπημα ακριβείας).
- Δορυφόροι πλοήγησης (χαρακτηρίζονται ως σταθεροποιητικοί, καθώς μέσω της δυνατότητας πλοήγησης των πυραυλικών συστημάτων προσφέρουν τη δυνατότητα επίτευξης χτυπημάτων ακριβείας, όμως χαρακτηρίζονται ως αποσταθεροποιητικοί για την κούρσα των εξοπλισμών επί των εν λόγω συστημάτων).
- Μετεωρολογικοί δορυφόροι (η γνώση των καιρικών συνθηκών συμβάλλει στην ανάπτυξη επιχειρήσεων πολλές φορές μη ανιχνεύσιμων, λόγω των δυσμενών καιρικών συνθηκών. Ως εκ τούτου χαρακτηρίζονται ως αποσταθεροποιητικοί, καθώς ενέχουν τη δυνατότητα του αιφνιδιασμού). (Κουσκουβέλης, 2000).

³⁸⁰ Ο διαστημικός χώρος διαχωρίζεται με βάση τη φύση της χρήσης του σε: κυβερνητικό (με υποδιαίρεσεις τη πολιτική και τη στρατιωτική χρήση), επιστημονικό/ εξερευνητικό και εμπορικό.

Τόμπρος, Δ. (2012). Διδακτική ενότητα 1. Γεωπολιτική του διαστημικού χώρου. Αρχές και Έννοιες. Στο *Ζητήματα Γεωπολιτικής και Ασφάλειας από τις εξελίξεις στο διαστημικό χώρο στο σύμπλοκο Τουρκίας - Μέσης Ανατολής*. Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Εκπαίδευσης: Ζητήματα Γεωπολιτικής και Ασφάλειας στην ευρύτερη Μέση Ανατολή. ΕΚΠΑ.

7.1 Πυρηνικές απόπειρες στο διάστημα

Η ανάπτυξη και η εξέλιξη των πυραυλικών συστημάτων, και δη των βαλλιστικών πυραύλων, μετατόπισε το θέατρο του πολέμου και της αντιπαράθεσης από τη γη στο διάστημα, επεκτείνοντας τη σφαίρα επιρροής των δρώντων και αναδιαμορφώνοντας την ισορροπία ισχύος. Καίριο ρόλο έπαιξε η τεχνολογική έρευνα και ανάπτυξη που διεξήγαγε η Εθνικοσοσιαλιστική Γερμανία κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, ειδικά με την ανάπτυξη του πρώτου μεγάλης εμβέλειας βαλλιστικού πυραύλου Vergeltungswaffen 2 (V-2/ Aggregat 4 ή A-4), ο οποίος κατέστη η πρώτη τεχνητή κατασκευή που έφθασε το ανώτερο επίπεδο της ατμόσφαιρας (LEO - Low Earth Orbit, 160 km - 2000 km), όταν στις 20 Ιουνίου του 1944 το μοντέλο MW 18014, πέτυχε εκτόξευση ύψους 176 km³⁸¹, ανοίγοντας αδιαμφισβήτητα το δρόμο για μελλοντικές στρατιωτικές εφαρμογές επί του πεδίου του διαστήματος³⁸². Την ίδια ιστορική περίοδο οι ΗΠΑ μέσω του ερευνητικού πυραυλικού προγράμματος Hermes (Project Hermes, διεξήχθη από το 1944 έως το 1954), ανέπτυξαν την κατασκευαστική ικανότητα πυραύλων μεγάλου βεληνεκού, έχοντας ως αφετηρία τη μελέτη του συστήματος των V-2³⁸³. Έτσι το 1949 εκτοξεύτηκε ο Bumper 5 (Bumper-WAC/ RTV-G-4 Bumper), από την στρατιωτική περιοχή δοκιμών White Sands Missile Range (WSMR), του στρατού των ΗΠΑ στο Νέο Μεξικό,

³⁸¹ Milazzo, M. P., Kestay, L. & Dundas, C. (2017). *The Challenge for 2050: Cohesive Analysis of More Than One Hundred Years of Planetary Data*. Universities Space Research Association.
<https://www.hou.usra.edu/meetings/V2050/pdf/8070.pdf>

³⁸² Μετά το πέρας του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, μεταξύ του 1945 και του 1959, πολλοί Γερμανοί και Αυστριακοί επιστήμονες, μηχανικοί και τεχνικοί, της ηττημένης Εθνικοσοσιαλιστικής Γερμανίας, μεταφέρθηκαν στην Αμερική και στρατολογήθηκαν από τη κυβέρνηση των ΗΠΑ, ώστε να αξιοποιηθεί η κατάρτισή τους πάνω στη πυραυλική τεχνολογία, διαδραματίζοντας καίριο ρόλο στην ανάπτυξη του Αμερικανικού διαστημικού προγράμματος κατά την ψυχροπολεμική περίοδο. Η όλη διαδικασία διεξήχθη μυστικά από την Διακλαδική Υπηρεσία Αναζήτησης Πληροφοριών (JIOA - Joint Intelligence Objectives Agency) υπό την ονομασία Επιχείρηση Συνδετήρας (Operation Paperclip). Χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν η αξιοποίηση του Γερμανού φυσικού και μηχανικού Wernher von Braun, ο οποίος ήταν ο ιθύνων νους του προγράμματος ανάπτυξης του πυραύλου V-2.

Neufeld, M. (2023, March 31). *Project Paperclip and American Rocketry after World War II*. National Air and Space Museum. Smithsonian.

<https://airandspace.si.edu/stories/editorial/project-paperclip-and-american-rocketry-after-world-war-ii> & Operation Paperclip. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Operation_Paperclip &

Tom Williams (Director). (2023). *Like a Shot Entertainment part of the Argonon Group* [Film; Documentary]. Wernher von Braun (S.1, E2). In *Hitler's Engineers: Building the Third Reich*.

<https://tv.apple.com/gb/episode/wernher-von-braun/umc.cmc.1wz15cdbdf80fxfxs8zza2n35>

³⁸³ Dr. Hall, C. (2022, December 8). *The V-2 Rocket: Rise Of The Space Race And Cold War Missiles*. The Warzone.

<https://www.twz.com/the-v-2-rocket-rise-to-the-space-race-and-cold-war-missiles> &

Hermes Program. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Hermes_program

επιτυγχάνοντας εκτόξευση ύψους 393 km³⁸⁴ καθιστώντας τον ως τον πρώτο πύραυλο που εισήλθε στο διάστημα³⁸⁵.

Επομένως η εξέλιξη της βαλλιστικής επιστήμης και της πυραυλικής τεχνολογίας έδωσε ώθηση και για την συνακόλουθη εξέλιξη της δορυφορικής τεχνολογίας, κάνοντας εφικτή την ανάπτυξη πολεμικών επιχειρήσεων στο πεδίο του διαστήματος. Ένα πρώτο χαρακτηριστικό παράδειγμα, την δεκαετία του 1950, ήταν η πρόθεση των δύο ψυχροπολεμικών ηγετικών δυνάμεων να αναπτύξουν τροχιακά οπικά συστήματα, όπως οι δορυφόροι βομβαρδισμού, οι οποίοι θα ήτο φορείς πυρηνικών όπλων. Η ιδέα βασιζόταν στη δυνατότητα των δορυφόρων να φέρουν και ως εκ τούτου να θέσουν σε τροχιά πυραύλους πυρηνικής γόμωσης, οι οποίοι και θα εκτοξεύοντο εξ αυτών την κατάλληλη στιγμή στους προκαθορισμένους στόχους, οι οποίοι θα βρίσκοντο υπό την τροχιά του δορυφόρου φορέα. Η ανάπτυξη δορυφόρων πυρηνικού βομβαρδισμού εν τέλει δεν υλοποιήθηκε για μία σειρά από λόγους, όπως ήταν το μη ορθολογικό πλαίσιο της όλης στρατηγικής, η οποία θα ενέτεινε τη κούρσα των εξοπλισμών, δρώντας ανασταλτικά ως προς την οικοδόμηση του αισθήματος ασφαλείας σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά και στην όποια απόπειρα βελτίωσης των Αμερικανό-Σοβιετικών σχέσεων. Κυρίως όμως η βασική αιτία φέρετε να ήταν τα μειονεκτήματα που παρουσίαζαν οι δορυφόροι βομβαρδισμού³⁸⁶, ως στρατηγικό όπλο, εν αντιθέσει με τους διηπειρωτικούς βαλλιστικούς πυραύλους (Κουσκουβέλης, 2000).

³⁸⁴ NASA (2008, January 03). *First Human-Made Object to Enter Space*.

<https://www.nasa.gov/image-article/first-human-made-object-enter-space/>

³⁸⁵ Ο Bumper-WAC (ή RTV-G-4 Bumper) ήταν ερευνητικός πύραυλος (οι πύραυλοι αυτοί καλούνται sounding rockets και χρησιμοποιούνται για διαστημική έρευνα) που αναπτύχθηκε από τις ΗΠΑ το 1946 (η πρώτη εκτόξευση έλαβε χώρα το 1948), μέσω του προγράμματος Bumper, όπου συνδυάστηκαν οι πύραυλοι V-2 και WAC Corporal. Ο τελευταίος αποτελούσε τον πρώτο πετυχημένο ερευνητικό πύραυλο που αναπτύχθηκε το 1944 από τις ΗΠΑ, ο οποίος έφθασε υπερηχητικές ταχύτητες.

National and Space Museum. Smithsonian (n.d.). *WAC Corporal Sounding Rocket*.

https://airandspace.si.edu/collection-objects/rocket-liquid-fuel-sounding-wac-corporal/nasm_A19590009000 & RTV-G-4 Bumper. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/RTV-G-4_Bumper &

WAC Corporal. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/WAC_Corporal

³⁸⁶ Επιπροσθέτως η χρήση των δορυφόρων βομβαρδισμού, ως αντιδορυφορικά όπλα, χαρακτηρίστηκε ως αναποτελεσματική, σε σχέση με τα υπόλοιπα στρατηγικά συστήματα, όπως είναι οι διηπειρωτικοί βαλλιστικοί πύραυλοι, για μία σειρά από λόγους όπως:

- Ο κίνδυνος πρόκλησης βλάβης στους ίδιους τους δορυφόρους του κράτους χρήσης των αντιδορυφορικών όπλων.
- Υψηλότερο κόστος κατασκευής και ανάπτυξης.
- Οι αύξηση των χρόνων συντονισμού, ως προς την λήψη θέσης μάχης.
- Το αμφιλεγόμενο του θέματος της ακρίβειας κατάρριψης στόχου, καθώς απαιτούσε πολύ προηγμένα συστήματα πλοήγησης και ελέγχου.
- Απαιτήσεις μεγαλύτερης ισχύος προώθησης, ώστε η εκτόξευση να φτάσει το επιθυμητό ύψος της αποκαλούμενης τροχιάς αναμονής, έως ότου ο δορυφόρος λάβει την εντολή να κατέλθει σε χαμηλότερο ύψος για λόγους προετοιμασίας στόχευσης.
- Το απαιτούμενο της κατασκευής νέων βάσεων εκτόξευσης.
- Μείωση του ωφέλιμου φορτίου πυρηνικής γομώσεως.
- Αυξημένη τρωτότητα.
- Δυσκολία διασφάλισης ορθής λειτουργίας, επιδιόρθωσης και ανάκτησης.

(Κουσκουβέλης, 2000).

Εν συνεχεία αναφέρονται κάποιες από τις βασικότερες απόπειρες της χρήσης του διαστημικού χώρου ως επιθυμητού και επιδιωκόμενου πεδίου εξάπλωσης των πυρηνικών όπλων:

α) Από τις 27 Αυγούστου έως τις 9 Σεπτεμβρίου του 1958 διεξήχθη, από την Υπηρεσία Πυρηνικής Άμυνας (Defense Nuclear Agency³⁸⁷) των ΗΠΑ, η μυστική Επιχείρηση ARGUS³⁸⁸ (Analytical Reports Gathering & Updating System, αρχικές ονομασίες Hardtack-ARGUS και Floral). Η επιχείρηση εκτελέστηκε υπό την εποπτεία της μονάδας ειδικών επιχειρήσεων Task Force 88³⁸⁹ (TF-88) του πολεμικού ναυτικού των ΗΠΑ και αφορούσε τρεις μεγάλου ύψους ατμοσφαιρικές πυρηνικές δοκιμές³⁹⁰ (Shot ARGUS I, II και III), πυραύλων χαμηλής απόδοσης, οι οποίοι εκτοξεύθηκαν από το αεροπλανοφόρο (seaplane tender) USS Norton Sound στον Νότιο Ατλαντικό Ωκεανό. Ο κύριος σκοπός

³⁸⁷ Την διαδέχθηκε η Υπηρεσία Ειδικών Όπλων Άμυνας (Defense Special Weapons Agency) και εν συνεχεία το 1998, ύστερα από την Πρωτοβουλία Αμυντικής Μεταρρύθμισης (Defense Reform Initiative) του 1997, ιδρύθηκε ο εν ενεργεία Οργανισμός Μείωσης Αμυντικών Απειλών (DTRA - Defense Threat Reduction Agency).

Defense Threat Reduction Agency. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Defense_Threat_Reduction_Agency

³⁸⁸ Operation Argus 1958. Defense Threat Reduction Agency.

https://www.dtra.mil/Portals/61/Documents/NTPR/2-Hist_Rpt_Atm/1958_DNA_6039F.pdf

³⁸⁹ Η TF-88 δημιουργήθηκε στις 28 Απριλίου του 1958 αποκλειστικά για την ανάπτυξη της Επιχείρησης Argus. Μετά το πέρας της επιχείρησης η μονάδα διαλύθηκε και τα αρχεία αποσιωπίστηκαν.

§ Task Force 88. Operation Argus. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Operation_Argus#Task_Force_88

³⁹⁰ Οι πυρηνικές δοκιμές αποτελούν την απόδειξη της ανάπτυξης και ολοκλήρωσης ενός πυρηνικού οπλικού συστήματος. Διακρίνονται σε ατμοσφαιρικές, εξωατμοσφαιρικές, υπόγειες και υποβρύχιες με την καθεμία από αυτές να επιφέρει μια πληθώρα ανόμοιων συνεπειών και μετρήσεων, λόγω της διαφοράς της εκλυόμενης ραδιενέργειας και της εκρηκτικής ισχύος. Συν τω χρόνω ξεκίνησαν και σημαντικές προσπάθειες περιορισμού, εάν όχι της κατάργησής τους. Σημαντικότερες είναι:

- Η Συνθήκη Μερικής Απαγόρευσης Δοκιμών (Partial Test Ban Treaty - PTBT/ Limited Test Ban Treaty - LTBT/ Nuclear Test Ban Treaty - NTBT). Απαγορεύει τις πυρηνικές δοκιμές στο διάστημα, στην ατμόσφαιρα και στο νερό (πλην των υπογείων). Τέθηκε επίσημα σε ισχύ στις 10 Οκτωβρίου του 1963.

- Η Συνθήκη Πλήρους Απαγόρευσης των Πυρηνικών Δοκιμών (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty - CTBT). Εγκρίθηκε από την Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών στις 10 Σεπτεμβρίου του 1996. Η συνθήκη δεν έχει τεθεί σε ισχύ (περισσότερο ενεργεί σαν εθιμικός κανόνας) καθώς τα ακόλουθα 8 κράτη είτε δεν την έχουν υπογράψει είτε δεν την έχουν επικυρώσει: Πακιστάν, Ινδία, Βόρεια Κορέα, Κίνα, Αίγυπτος, Ιράν, Ισραήλ και ΗΠΑ. Αποτελεί μια πολυμερής συνθήκη όπου απαγορεύει σε όλα τα περιβάλλοντα (συμπεριλαμβανομένου και του διαστήματος) τις δοκιμές πυρηνικών όπλων και οποιεσδήποτε πυρηνικές εκρήξεις ανεξαρτήτως πολιτικού ή στρατιωτικού σκοπού.

Ζαλίδης, 2023. &

Κουσκουβέλης, 2000. &

Nuclear Threat Initiative (n.d.). *Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty (CTBT)*.

<https://www.nti.org/education-center/treaties-and-regimes/comprehensive-nuclear-test-ban-treaty-ctbt/> & The Center for Arms Control and Non-Proliferation (2022, October 18). *Fact Sheet: Nuclear Testing 101*.

<https://armscontrolcenter.org/fact-sheet-nuclear-testing-101/> &

Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Comprehensive_Nuclear-Test-Ban_Treaty &

Partial Nuclear Test Ban Treaty. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Partial_Nuclear_Test_Ban_Treaty

της επιχείρησης ήταν η επαλήθευση του φαινομένου Christofilos³⁹¹ (γνωστό και ως Argus Effect), το οποίο διατυπώθηκε το 1957, στο εργαστήριο ακτινοβολίας Lawrence του Πανεπιστημίου της California στη πόλη Livermore, από τον Έλληνα φυσικό και πυρηνικό επιστήμονα Νικόλαο Χριστοφίλου³⁹².

Το φαινόμενο Christofilos, απλουστευμένα, υποστήριζε πως ήταν εφικτή η άμυνα έναντι των Σοβιετικών πυρηνικών διηπειρωτικών βαλλιστικών πυραύλων, μέσω πυρηνικών εκρήξεων σε εξαιρετικά μεγάλο ύψος, οι οποίες θα δημιουργούσαν τεχνητές ζώνες ακτινοβολίας, στα ανώτερα ατμοσφαιρικά επίπεδα, καθώς θα παγίδευαν σωματίδια υψηλού ηλεκτρικού φορτίου και ταχύτητας (σωματίδια-β, δηλαδή υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια και τα αντισωματίδια αυτών ποζιτρόνια) στο μαγνητικό πεδίο της Γης³⁹³. Ως εκ τούτου θα δημιουργούσε ένα θόλο ακτινοβολίας, από τα συσσωρευμένα σωματίδια ηλεκτρικού φορτίου (ηλεκτρόνια), πάνω από τις ΗΠΑ, όπου λόγω των ηλεκτρικών ρευμάτων θα δημιουργούσε τεχνικά προβλήματα στα επιθετικά οπικά μέσα του αντιπάλου, όπως πρόκληση βλαβών στις πυρηνικές κεφαλές των ICBM, υποβάθμιση των ραδιοφωνικών εκπομπών και δυσλειτουργία των radars.

Εν τέλη τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, από την αποπεράτωση της Επιχείρησης ARGUS, απέδειξαν την ορθότητα της θεωρίας του Νικολάου Χριστοφίλου, έστω και εάν τα αποτελέσματα δεν είχαν την

³⁹¹ [Σχετικά με την ανάπτυξη της θεωρίας του φαινομένου από τον ίδιο τον Ν. Χριστοφίλου μεταβείτε στο κάτωθι σύνδεσμο:]

Christofilos, N. C. (n.d.). *The Argus experiment*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS).

<https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.45.8.1144>

³⁹² Γεννήθηκε στις 16 Δεκεμβρίου 1916 στη Βοστώνη των ΗΠΑ και απεβίωσε, σε ηλικία 55 ετών από καρδιακή προσβολή, στις 24 Σεπτεμβρίου του 1972 στη πόλη Hayward της California.

[Για περισσότερες πληροφορίες μεταβείτε στους κάτωθι συνδέσμους:]

Δαγκλής, Ι. (2008, 13 Δεκεμβρίου). Νικόλαος Χριστόφιλος: Ο τρελο-Έλληνας του πειράματος “Argus”. *Γεωτρόπιο*. (452). Σαββατιάτικη Ελευθεροτυπία.

<https://physicsgg.me/2011/05/22/%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CE%BB%CE%B1%CE%BF%CF%82-%CF%87%CF%81%CE%B9%CF%83%CF%84%CF%8C%CF%86%CE%B9%CE%BB%CE%BF%CF%82-%CE%BF-%CF%84%CF%81%CE%B5%CE%BB%CE%BF-%CE%AD%CE%BB%CE%BB%CE%B7%CE%BD%CE%B1/> &

<https://cds.cern.ch/record/257943/files/p1067.pdf> &

Merrill, J. (2006). *Cold War Physicist: Nicholas Christofilos*. Naval Submarine League.
<https://archive.navalsubleague.org/2006/cold-war-physicist-nicholas-christofilos>

³⁹³ Το φαινόμενο Christofilos βασίστηκε στη φύση των επονομαζόμενων ζωνών ακτινοβολίας Van Allen (Van Allen Belts), οι οποίες είχαν ανακαλυφθεί το 1958, μέσω του Αμερικανικού δορυφόρου Explorer I, από τον αστροφυσικό James Van Allen. Οι ζώνες αυτές, μία εξωτερική και μία εσωτερική, οι οποίες βρίσκονται η μία μέσα στην άλλη, αποτελούνται από ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια (ηλεκτρόνια και πρωτόνια υψηλής ενέργειας), προϊόντα του ηλιακού ανέμου και της κοσμικής ακτινοβολίας, τα οποία συγκρατούνται γύρω από έναν πλανήτη λόγω του μαγνητικού του πεδίου. Με αυτό το τρόπο δημιουργείται ένα σχεδόν αδιαπέραστο φράγμα, από αυτού του είδους τις ακτινοβολίες, το οποίο προστατεύει την ατμόσφαιρα της Γης.

Space Center Houston (2020, May 19). *What are the Van Allen radiation belts?*

<https://spacecenter.org/what-are-the-van-allen-radiation-belts/> &

NASA (n.d.). *What are the Van Allen Belts and why do they matter?*

<https://science.nasa.gov/biological-physical/stories/van-allen-belts/>

προβλεφθείσα ισχύ. Παρόλο που δεν επετεύχθη το επιδιωκόμενο καταστρεπτικό αποτέλεσμα προς τις πυρηνικές πυραυλικές κεφαλές, απέδωσε ένα πολύ ισχυρό πλεονέκτημα ως προς την πρόκληση βλαβών σε συστήματα radars και σε δορυφόρους. Η Επιχείρηση Argus αποτέλεσε μία εκ των σημαντικών εθνικών επιχειρήσεων των ΗΠΑ και χαρακτηρίστηκε ως το «μεγαλύτερο επιστημονικό πείραμα που έγινε ποτέ»³⁹⁴.

β) Ένα από τα πιο θεαματικά και φιλόδοξα Αμερικανικά σχέδια της ψυχροπολεμικής περιόδου, βασισμένο στο ανταγωνιστικό πλαίσιο του γεωπολιτικού εντυπωσιασμού αναμεταξύ των δύο υπερδυνάμεων, ήταν το άκρως απόρρητο Project A119³⁹⁵ ή αλλιώς A Study of Lunar Research Flights (μία μελέτη περί ερευνητικών σεληνιακών πτήσεων). Η ανάπτυξη και μελέτη του εν λόγω προγράμματος ξεκίνησε το 1958 όταν η Πολεμική Αεροπορία των ΗΠΑ ανέθεσε στο ίδρυμα ARF (Armour Research Foundation³⁹⁶) την διερεύνηση των επιπτώσεων μιας πυρηνικής έκρηξης στη σελήνη! Θρυαλλίδα του όλου εγχειρήματος κατέστη το Σοβιετικό διαστημικό προβάδισμα, καθώς ένα χρόνο πριν, το 1957, είχε εκτοξευθεί και εισέλθει σε τροχιά επιτυχώς ο πρώτος Σοβιετικός δορυφόρος Sputnik 1, αποτελώντας παγκόσμια διαστημική πρωτιά, καθώς και τα δημοσιεύματα πως οι Σοβιετικοί ετοιμάζονται να πραγματοποιήσουν πυρηνική έκρηξη στη σελήνη με χρήση υδρογονοβόμβας³⁹⁷!

Αντι για τη χρήση υδρογονοβόμβας, λόγω της δυσχέρειας που θα επέφερε το βάρος της, είχε σχεδιαστεί να μεταφερθεί μία πυρηνική κεφαλή χαμηλής απόδοσης W25, μέσω πυραύλου, στο σκοτεινό ημισφαίριο της σελήνης. Εκεί θα γινόταν η πρόσκρουση και το σύννεφο σεληνιακής σκόνης που θα υψωνόταν, λόγω της πυρηνικής έκρηξης, θα αντανακλούσε το ηλιακό φως και θα γινόταν ορατό

³⁹⁴ “greatest scientific experiment ever conducted”
Lawrence Livermore National Laboratory (n.d.). *Operation Argus*.
<https://st.llnl.gov/news/look-back/operation-argus> &
Operation Argus. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Operation_Argus &
Christofilos effect. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Christofilos_effect

³⁹⁵ Reiffel, L. (1959, June 19). *A Study of Lunar Research Flights*. Air Force Special Weapons Center.
<https://nsarchive2.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB479/docs/EBB-Moon02.pdf>

³⁹⁶ Είχε (και έχει) έδρα στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Illinois του Chicago των ΗΠΑ και σήμερα είναι γνωστό ως Illinois Institute of Technology Research Institute (IITRI, επίσης γνωστό και ως IIT Research Center). Από το 1949 έως και το 1962 είχε αναλάβει μια σειρά μελετών πάνω στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των πυρηνικών εκρήξεων.
§ Project. Project A119. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Project_A119&oldid=1241056006#Project &
IIT Research Institute. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/IIT_Research_Institute

³⁹⁷ The Pittsburgh Press (1957, November 1). *Latest Red Rumour: They'll Bomb Moon*. Vol. 74., No. 131., p. 25.
<https://news.google.com/newspapers?id=5kUqAAAAIBAJ&pg=5584,131807>
Ήταν το πρόγραμμα της Σοβιετικής Ένωσης Project E-4, το οποίο δεν πραγματοποιήθηκε επίσης ποτέ.
Zheleznyakov, A. (1999). *The E-4 project - exploding a nuclear bomb on the Moon*.
<http://www.svengrahn.pp.se/histind/E3/E3orig.htm>

από τη Γη προκαλώντας σοκ και δέος. Το όλο εγχείρημα ακυρώθηκε το 1959 από την Πολεμική Αεροπορία των ΗΠΑ για μία ευρεία σειρά από λόγους όπως ο φόβος του μη διαχειρίσιμου ενός πυρηνικού ατυχήματος, οι άγνωστες επιπτώσεις μιας πυρηνικής έκρηξης στο διαστημικό περιβάλλον κ.α. Η ύπαρξη του Project A119 γνωστοποιήθηκε το 2000 διαμέσου ενός πρώην στελέχους της Εθνικής Υπηρεσίας Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA - National Aeronautics and Space Administration) και παρά τις όποιες αποκαλύψεις η κυβέρνηση των ΗΠΑ δεν αναγνώρισε ποτέ επισήμως την όποια συμμετοχή της στην ανάπτυξη και μελέτη του προγράμματος³⁹⁸.

γ) Στις 9 Ιουλίου του 1962 οι ΗΠΑ διεξήγαγαν την πυρηνική δομική μεγάλου υψομέτρου Starfish Prime, υπό τη σύμπραξη της Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (AEC - Atomic Energy Commission) και της Υπηρεσίας Ατομικής Υποστήριξης Άμυνας (Defense Atomic Support Agency), στην ατόλη Johnston³⁹⁹ στον Ειρηνικό Ωκεανό. Η Starfish Prime αποτέλεσε τη μεγαλύτερη πυρηνική δοκιμή που διεξήγαγαν οι ΗΠΑ στο διάστημα και άνηκε σε μία σειρά πυρηνικών δοκιμών μεγάλου υψομέτρου, οι οποίες ομαδοποιήθηκαν υπό την ονομασία Operation Fishbowl⁴⁰⁰ και υπάγονταν στο ευρύτερο πρόγραμμα πυρηνικών δοκιμών Operation Dominic⁴⁰¹. Ένα διαστημικό όχημα εκτόξευσης Thor, με

³⁹⁸ Houghton, V. (2019, July 19). *Why the Air Force Almost Blasted the Moon with an H-Bomb*. History. <https://www.history.com/news/nuclear-bomb-moon-cold-war-plan> & Project A119. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Project_A119

³⁹⁹ Κοραλλιογενής νήσος, υπό τη δικαιοδοσία της Πολεμικής Αεροπορίας των ΗΠΑ, μεταξύ των νησιωτικών συμπλεγμάτων Hawaii και Marshall. Η συγκεκριμένη νήσος αποτελούσε πεδίο πυραυλικών εκτοξεύσεων για τις πυρηνικές δοκιμές μεγάλου υψομέτρου των ΗΠΑ. Επί του εδάφους της έγιναν οι πυραυλικές εκτοξεύσεις των πυρηνικών δοκιμών Operation Fishbowl. Johnston Atoll. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Johnston_Atoll

⁴⁰⁰ Η συγκεκριμένη επιχείρηση έλαβε χώρα το 1962 από τις ΗΠΑ και ενείχε πυρηνικές δοκιμές μεγάλου υψομέτρου, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν διαμέσου πυρηνικών κεφαλών που μετέφεραν τα διαστημικά οχήματα εκτόξευσης Thor. Τα οχήματα αυτά προήλθαν από τους βαλλιστικούς πυραύλους μέσου βεληνεκούς (IRBM) PGM-17A Thor και αποτέλεσαν τα κύρια μέσα μεταφοράς πυρηνικών κεφαλών στο κοντινό διάστημα, δρώντας ως αντιδουροφρικά όπλα στα πλαίσια των αντιδουροφρικών προγραμμάτων Program 505 και Program 437. Emanuelson, J. (2009). *Operation Fishbowl*. Futurescience, LLC. <https://www.futurescience.com/emp/fishbowl.html> & Missilery.info (n.d.). *SM-75/PGM-17A Thor medium range ballistic missile*. <https://en.missilery.info/missile/thor> & Operation Fishbowl. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Operation_Fishbowl

⁴⁰¹ Η επιχείρηση πυρηνικών δοκιμών μεγάλου υψομέτρου Operation Dominic διεξήχθη από τις ΗΠΑ το 1962 στον Ειρηνικό Ωκεανό. Μέρος της αποτέλεσαν οι πυρηνικές δοκιμές Operation Fishbowl. Αφορμή καλείται πως αποτέλεσε ο τερματισμός από πλευράς της Σοβιετικής Ένωσης το 1961 του moratorium πυρηνικών δοκιμών, το οποίο έλαβε χώρα το 1958 μεταξύ αυτής, των ΗΠΑ και της Βρετανίας, ξεκινώντας μια σειρά ατμοσφαιρικών πυρηνικών δοκιμών (εντός των οποίων βρισκόταν και η δοκιμή της υδρογονοβόμβας «Τσάρος» RDS-220/ Vanya, του ισχυρότερου πυρηνικού όπλου που υπήρξε στην ιστορία). Boyne, W. J. (2012). *Big Bang*. Air Force Magazine. <https://www.airandspaceforces.com/PDF/MagazineArchive/Documents/2012/December%202012/1212bang.pdf> & Nuclear Weapon Archive (2021, June 27). *Operation Dominic*.

όχημα επανεισόδου Mk. 2 (Mark 2), μετέφερε την θερμοπυρηνική κεφαλή W49⁴⁰² και σε υψόμετρο 402.336 χλμ. (250 μίλια) από την επιφάνεια της θάλασσας εξερράγη. Η υποτροχιακή πυρηνική έκρηξη ήταν εντάσεως 1,4 μεγατόνων (Mt), δηλαδή περίπου 100 φορές ισχυρότερη από τη βόμβα της Hiroshima.

Η πυρηνική δοκιμή Starfish Prime οδήγησε σε νέες επιστημονικές ανακαλύψεις επί των επιδράσεων των πυρηνικών εκρήξεων, καθώς οι συνέπειες που προκλήθηκαν ήταν πολύ μεγαλύτερης έντασης από το αναμενόμενο. Από την πυρηνική έκρηξη προκλήθηκε αύξηση στα επίπεδα έντασης ακτινοβολίας (επίπεδα ηλεκτρονίων) των εσωτερικών ζωνών Van Allen και ηλεκτρομαγνητικός παλμός (ΗΜΠ, EMP - Electromagnetic Pulse)⁴⁰³, λόγω της αύξησης της ακτινοβολίας των ζωνών που δημιουργήθηκε στη περιοχή επίδρασης της έκρηξης, ο οποίος προκάλεσε μία σειρά από βλάβες σε ηλεκτρικά/ ηλεκτρονικά συστήματα και σε δορυφόρους χαμηλής τροχιάς (LEO - Low Earth Orbit)⁴⁰⁴.

<https://nuclearweaponarchive.org/Usa/Tests/Dominic.html>

⁴⁰² W49. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/W49>

⁴⁰³ Καλείται επίσης Nuclear Electromagnetic Pulse (NEMP) και High Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) λόγω της πρόκλησής του από έκρηξη πυρηνικού όπλου σε μεγάλο υψόμετρο. Η πυρηνική δοκιμή Starfish Prime έκανε γνωστό το φαινόμενο αυτό και ξεκίνησε έκτοτε η περαιτέρω μελέτη επί των επιδράσεων του ΗΜΠ. Ο ΗΜΠ μπορεί να είναι είτε φυσικός (γεωμαγνητική διαταραχή [GMD - Geomagnetic Disturbance] π.χ. από ηλιακές καταιγίδες) είτε τεχνητός (π.χ. πυρηνική έκρηξη μεγάλου υψομέτρου). Η πρόκληση EMP συμβαίνει σπάνια, δεν είναι άμεσα επιβλαβής για τους οργανισμούς, αλλά έχει μεγάλη και σοβαρή επίδραση σε ηλεκτρικές/ ηλεκτρονικές συσκευές και στις τηλεπικοινωνίες. Αποτελεί άμεση εθνική απειλή καθώς προκαλεί σε ευρεία κλίμακα δυσλειτουργία στις κρίσιμες υποδομές και επικοινωνίες του εκάστοτε κράτους.

Anne Arundel County Maryland (n.d.). *Electromagnetic Pulse (EMP)*.

<https://www.aacounty.org/emergency-management/disaster-preparedness/hazards/electromagnetic-pulse-emp>

& Electromagnetic pulse. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_pulse

[Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τον ΗΜΠ και την ασφάλεια μεταβείτε στο σύνδεσμο κάτωθι:]

America's Cyber Defence Agency (n.d.). *Electromagnetic Pulse and Geomagnetic Disturbance*.

<https://www.cisa.gov/resources-tools/programs/electromagnetic-pulse-and-geomagnetic-disturbance>

⁴⁰⁴ Stassinopoulos, E. G. (2015, April 22). *The Starfish Exoatmospheric, High Altitude Nuclear Weapon Test*. NASA/Goddard Space Flight Center.

<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20150018897/downloads/20150018897.pdf> &

Helmenstine, A. M. (2019, June 2). *Starfish Prime: The largest nuclear test in space*. E-class ΕΚΠΑ. Δαγκλής, Ι. Α. Στο Physics of the Space Environment. Συμπληρωματικό υλικό.

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/DI492/%CE%A3%CF%85%CE%BC%CF%80%CE%BB%CE%B7%CF%81%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%20%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C/Starfish%20Prime%20The%20Largest%20Nuclear%20Test%20in%20Space.pdf> &

Brown, R. (2024, November 13). *Why Starfish Prime matters: Insights into EMP protection for preppers*. Mira Safety.

<https://www.mirasafety.com/blogs/news/starfish-prime-guide> &

Lele, A. (2024, July 8). *Remembering Starfish Prime*. The Space Review.

<https://www.thespacereview.com/article/4822/1> &

King, G. (2012, August 15). *Going Nuclear Over the Pacific*. Smithsonian Magazine.

<https://www.smithsonianmag.com/history/going-nuclear-over-the-pacific-24428997/> &

Parshall, A. (2024, June 13). *What Happens if a Nuke Goes Off in Space?* Scientific American.

<https://www.scientificamerican.com/article/what-happens-if-a-nuclear-weapon-goes-off-in-space/> & Starfish Prime. In Wikipedia.

δ) Στις 23 Μαρτίου του 1983 ο πρόεδρος των ΗΠΑ Ronald Reagan ανακοίνωσε, κατά τη διάρκεια της τηλεοπτικής του ομιλίας προς το Αμερικανικό έθνος για την άμυνα και την εθνική ασφάλεια⁴⁰⁵, την πρόθεση έρευνας και ανάπτυξης ενός νέου εθνικού αμυντικού προγράμματος υπό την ονομασία Πρωτοβουλία Στρατηγικής Άμυνας (SDI - Strategic Defence Initiative). Το πρόγραμμα αυτό, λόγω του φουτουριστικού του σχεδιασμού και των μη εφικτών για την εποχή τεχνολογικών (π.χ η ανάπτυξη συστήματος laser ακτίνων-Χ⁴⁰⁶) και οικονομικών⁴⁰⁷ απαιτήσεων, ήταν επίσης γνωστό και ως πρόγραμμα Star Wars. Η ανάπτυξη της Πρωτοβουλίας Στρατηγικής Άμυνας φιλοδοξούσε να ενισχύσει την αποτρεπτική ικανότητα των ΗΠΑ (θα απέτρεπε την ΕΣΣΔ να προβεί σε ένα επιτυχημένο πρώτο πλήγμα), να μηδενίσει την απειλή των πυρηνικών επιθέσεων (καθιστώντας ως εκ τούτου τη χρήση των πυρηνικών όπλων απαρχαιωμένη), να εξαλείψει εκ του αποτελέσματος το δόγμα της Αμοιβαίας Εξασφαλισμένης Καταστροφής (MAD - Mutual Assured Destruction, το οποίο ο ίδιος ο πρόεδρος θεωρούσε ανήθικο), τερματίζοντας κατά αυτό τον τρόπο την εποχή του Ψυχρού Πολέμου.

Το πρόγραμμα αφορούσε τη στρατιωτικοποίηση του διαστήματος μέσω της ανάπτυξης ενός τεχνολογικά πολυεπίπεδου αμυντικού αντιπυραυλικού συστήματος, οιονεί διαστημική ασπίδα, το οποίο θα παρακολουθούσε, θα αναγνώριζε και θα κατέστρεφε αυτόματα τους Σοβιετικούς πυρηνικούς διηπειρωτικούς πυραύλους σε οποιαδήποτε φάση της βαλλιστικής τους τροχιάς (φάση προώθησης, φάση ενδιάμεσης πορείας - πτήσης, τερματική φάση - πλήγματος στόχου). Περιληπτικά η Πρωτοβουλία Στρατηγικής Άμυνας στόχευε στην έρευνα και ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών, οι οποίες μέσω ενός ολιστικού αντιπυραυλικού ελέγχου (όπως η παρακολούθηση/ επιτήρηση και ειδοποίηση επίθεσης, η ενδοατμοσφαιρική εμπλοκή αναχαίτισης, και η επεξεργασία δεδομένων από διασυνδεδεμένα συστήματα) θα ενίσχυαν τη βιωσιμότητα της αποτροπής και την ανθεκτικότητα της εθνικής άμυνας των ΗΠΑ⁴⁰⁸.

https://en.wikipedia.org/wiki/Starfish_Prime

⁴⁰⁵ “Address to the Nation on Defense and National Security”
Ronald Reagan Presidential Library & Museum (n.d.). Cold War Card 4. President Reagan and the Cold War. *Strategic Defense Initiative*.
<https://www.reaganlibrary.gov/public/documents/card4.pdf> &
Atomic Archive.com (n.d.). *President Reagan's SDI Speech. 23 March 1983*.
<https://www.atomicarchive.com/resources/documents/missile-defense/sdi-speech.html>

⁴⁰⁶ Project Excalibur. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Project_Excalibur

⁴⁰⁷ United Nations University (n.d.). *SDI economics*. In § 4.9. The case of the US Strategic Defense Initiative.
<https://archive.unu.edu/unupress/unupbooks/uu38ne/uu38ne0c.htm>

⁴⁰⁸ The White House Washington (1984, January 6). National Security Decision Directive Number 119. *Strategic Defense Initiative*. Aerospace.
<https://csps.aerospace.org/sites/default/files/2021-08/NSDD-119%20Strategic%20Defense%20Initiative%206Jan84.pdf>

Εν τέλει το πρόγραμμα της Πρωτοβουλίας Στρατηγικής Άμυνας δεν ολοκληρώθηκε ποτέ αλλά ούτε ακυρώθηκε επίσημα⁴⁰⁹. Το όλο εγχείρημα αντιμετώπισε ως ανασταλτικό παράγοντα, τόσο τις ανέφικτες τεχνολογικές απαιτήσεις όσο και το υπέρογκο προϋπολογισμό που απαιτούσε η ανάπτυξη του (μόνο η ανάπτυξη του συστήματος πρώτης φάσης του προγράμματος εκτιμήθηκε στα 69,1 δισεκατομμύρια δολάρια⁴¹⁰). Εν κατακλείδι κάποιες από τις ενστάσεις των επικριτών του προγράμματος ήταν α) πως η μείωση της κούρσας των εξοπλισμών, λόγω της εστίασης στην ανάπτυξη ενός συγκεκριμένου αμυντικού προγράμματος, θα αποδυνάμωνε την ισχύ των ΗΠΑ, και β) θα αποδυνάμωνε το δόγμα της πυρηνικής αποτροπής και άρα την ισορροπία του τρόμου (είτε με πιθανό πρώτο πλήγμα από την ΕΣΣΔ, πριν οι ΗΠΑ καταφέρουν να ολοκληρώσουν το νέο αμυντικό σύστημα είτε από τις ΗΠΑ προς την ΕΣΣΔ, καθώς δεν θα υπήρχε ο φόβος του δεύτερου πλήγματος)⁴¹¹.

7.2 Συνθήκες προστασίας του διαστήματος

Όπως γίνεται αντιληπτό η τοποθέτηση πυρηνικών όπλων στη σελήνη ή σε άλλα ουράνια σώματα, όπως και η εναπόθεση πυρηνικών ή όπλων μαζικής καταστροφής σε τροχιά, ενέχει τεχνολογικές και αναπτυξιακές δυσκολίες, οι οποίες προσδίδουν στον όποιο πολιτικό και στρατιωτικό σκοπό το μη ρεαλιστικό και το μη ορθολογικό του όλου εγχειρήματος. Παράλληλα οι πυρηνικές δοκιμές στο διάστημα καθίσταντο άκρως επικίνδυνες, τόσο για την επιμόλυνση του διαστημικού περιβάλλοντος, σε άγνωστη ακτίνα και βαθμό, από τη ραδιενέργεια και τα διαστημικά συντρίμια, όσο και για το μη εφικτό του ελέγχου των συνεπειών, οι οποίες θα επηρέασουν μια σειρά από παραμέτρους και σε επίγειο

⁴⁰⁹ Ο Οργανισμός της Πρωτοβουλίας Στρατηγικής Άμυνας (SDIO - Strategic Defense Initiative Organization) μετονομάστηκε (1993) σε Οργανισμό Άμυνας Βαλλιστικών Πυραύλων (BMDO - Ballistic Missile Defense Organization)* και μετέπειτα (2002) σε Υπηρεσία Πυραυλικής Άμυνας (MDA - Missile Defense Agency).

* Ο συγκεκριμένος οργανισμός προϋπήρχε από το 1974. Το 1984 έγινε μέρος του Οργανισμού Πρωτοβουλίας Στρατηγικής Άμυνας και ένα χρόνο μετά μετονομάστηκε σε Διοίκηση Στρατηγικής Άμυνας (Strategic Defense Command).

Ballistic Missile Defense Organization. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Ballistic_Missile_Defense_Organization & Bateman, A. (2023). *The Enduring Impact of Reagan's Strategic Defense Initiative*. Arms Control Association. <https://www.armscontrol.org/act/2023-09/features/enduring-impact-reagans-strategic-defense-initiative>

⁴¹⁰ United States General Accounting Office (1990). *Strategic Defense Initiative. Basis for Reductions in Estimated Cost of Phase I*.

<https://www.gao.gov/assets/nsiad-90-173.pdf>

⁴¹¹ Οικονόμου, 1991. &

Κουσκούβελης, 2000. &

U.S. Department of State (n.d.) Archive. *Strategic Defense Initiative (SDI), 1983*.

<https://2001-2009.state.gov/r/pa/ho/time/rd/104253.htm> &

National Museum of Nuclear Museum Science & History (2018, July 18). Atomic Heritage Foundation. *Strategic Defense Initiative (SDI)*.

<https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/history/strategic-defense-initiative-sdi/>

επίπεδο. Παρόλα αυτά η στρατιωτικοποίηση του διαστήματος⁴¹² δεν έχασε ποτέ την αίγλη της ισχύος και της ανταγωνιστικότητας που προσέδιδε στο εκάστοτε κυρίαρχο κράτος. Σήμερα το θέατρο του διαστήματος αποτελεί πεδίο εκ των ων ουκ άνευ για τις ένοπλες δυνάμεις, μέσα σε ένα πλαίσιο μη επιθετικής και παθητικής στρατιωτικής δράσης, όπως είναι η χρήση δορυφόρων έγκαιρης προειδοποίησης, ηλεκτρονικής παρακολούθησης και πλοήγησης. Προσέτι ο διαστημικός χώρος συμβάλει στην οικονομική και επικοινωνιακή ανάπτυξη των διεθνών δρώντων, μέσω της χρήσης τηλεπικοινωνιακών και εμπορικών δορυφόρων, διευρύνοντας την γεωπολιτική κονίστρα πέρα από τα στενά όρια που τις προσδίδει το πρώτο της συνθετικό «γεω-».

Καθώς το διάστημα αποτελεί κοινό κτήμα της ανθρωπότητας (*res communis*) ανέκυψαν νομικά ζητήματα, μέσα από τις δραστηριότητες των κρατών στο χώρο αυτό, καθώς η όποια χρήση του οφείλει να διέπεται από κανόνες κοινούς έναντι όλων (*erga omnes*). Για να προσδιοριστούν και να οριοθετηθούν οι όποιες δραστηριότητες εντός του πεδίου αυτού διαμορφώθηκε το Δίκαιο του Διαστήματος, το οποίο αποτελεί κλάδο του Διεθνούς Δικαίου. Εμπεριέχει τις αρχές για την ελεύθερη εξερεύνηση και θεμιτή εκμετάλλευση, και θέτει την απαγόρευση της οικειοποίησης, της στρατιωτικοποίησης και της κατάληψης του διαστήματος. Συνεπώς κανένα έθνος δεν μπορεί να διεκδικεί αξιώσεις επί του διαστημικού χώρου, δηλαδή δεν υφίσταντο κυριαρχικά δικαιώματα.

Εν συνεχεία αναφέρονται οι σημαντικότερες θεσμικές προσπάθειες διαφύλαξης του διαστημικού περιβάλλοντος:

α) Το 1959 ιδρύθηκε (και είναι εν ενεργεία) από τη Γενική Συνέλευση του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) η Επιτροπή για τις Ειρηνικές Χρήσεις του Εξωτερικού Διαστήματος (The Committee on the Peaceful Uses of Outer Space - COPUOS). Αρμοδιότητά της είναι να εξασφαλίζει, να επανεξετάζει και να προωθεί την διεθνή συνεργασία προς την ειρηνική χρήση του εξωτερικού διαστήματος, η εξέταση των όποιων νομικών ζητημάτων ανακύπτουν από την εξερεύνησή του, καθώς και η ανάπτυξη και χρήση νέων τεχνολογικών εφαρμογών για την επίτευξη παγκόσμιων αναπτυξιακών στόχων στο

⁴¹² Ως στρατιωτικοποίηση του διαστήματος αναφαίρετε η ανάπτυξη επιθετικών μέσων όπως είναι τα αντιδορυφορικά όπλα (ASAT -Anti-Satellite Weapons) και τα όπλα laser. Tuma, M. (2024, October 21). *Militarisation of space and nuclear weapons*. Institute of International Relations Prague.

<https://www.iir.cz/en/militarisation-of-space-and-nuclear-weapons> &

Η στρατιωτική δραστηριότητα στο διαστημικό πεδίο είναι θεμιτή υπό τους όρους των σχετικών νόμων που διέπουν τις διεθνείς σχέσεις με βάση το Δίκαιο του Διαστήματος. Η διαστημική στρατιωτική δραστηριότητα οφείλει να αποσκοπεί στην υποστήριξη επίγειων ενεργειών, οι οποίες είναι σύμφωνες με τις αρχές του Καταστατικού Χάρτη των Ηνωμένων Εθνών.

Μπαρντακσιάν, Ε. (2020, 10 Δεκεμβρίου). *Το Διεθνές Δίκαιο και η Στρατιωτικοποίηση του Διαστήματος*. Κέντρο Διεθνών Στρατηγικών Αναλύσεων (ΚΕΔΙΣΑ).

<https://kedisa.gr/%CF%84%CE%BF-%CE%B4%CE%B9%CE%B5%CE%B8%CE%BD%CE%AD%CF%82-%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CE%BF-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B7-%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%89%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%80%CE%BF/>

πεδίο του διαστήματος. Επίσης η επιτροπή αποτελείται και από δύο επικουρικά όργανα, τα οποία ιδρύθηκαν το 1961, την Επιστημονική και Τεχνική Υποεπιτροπή, και την Νομική Υποεπιτροπή⁴¹³.

β) Το 1967 συντάχθηκε, υπό την αιγίδα του ΟΗΕ, η σημαντικότερη εκ των συνθηκών του διαστήματος (και η οποία είναι σε ισχύ), η επονομαζόμενη Συνθήκη για το Εξώτερο Διάστημα (Outer Space Treaty)⁴¹⁴. Είναι πολυμερής συνθήκη (με κράτη θεματοφύλακες τις ΗΠΑ, το Ηνωμένο Βασίλειο και τη Ρωσία) και αποτελεί τη βάση του Διεθνούς Διαστημικού Δικαίου. Θρυαλλίδα για τη θέσπισή της αποτέλεσαν οι διηπειρωτικοί βαλλιστικοί πύραυλοι (ICBM), η εμβέλεια των οποίων έφθανε τους προκαθορισμένους στόχους μέσω του διαστημικού χώρου.

Η συνθήκη όρισε το ιδιοκτησιακό καθεστώς του διαστήματος και των ουρανίων σωμάτων, το οποίο αποτελεί κοινό κτήμα όλης της ανθρωπότητας (*res communis*) και δεν αναγνωρίζεται η ιδιοκτησία και κατοχή από κανένα κράτος ή δρώντα. Ως εκ τούτου υποχρεούνται όλοι ανεξαιρέτως να τηρούν τις θεμελιώδεις αρχές του Διεθνούς Δικαίου για τη διαφύλαξη της ασφάλειας και της ειρήνης. Το διάστημα είναι ελεύθερο προς ειρηνική χρήση και επιστημονική εξερεύνηση από όλα τα κράτη, τα οποία οφείλουν να τηρούν τις αρχές συνεργασίας και αμοιβαίας βοήθειας, να μην το επιμολύνουν και φέρουν την πλήρη ευθύνη για οποιαδήποτε ζημιά επιφέρουν οι όποιες δραστηριότητές τους.

Ως προς τη χρήση πυρηνικών όπλων και λοιπών όπλων μαζικής καταστροφής, η συνθήκη απαγορεύει την οποιαδήποτε χρήση τους, ανεξαρτήτως σκοπού, τόσο σε τροχιά όσο και επί των ουρανίων σωμάτων. Απαγορεύει επίσης την ανάπτυξη στρατιωτικών δραστηριοτήτων (όπως πραγματοποίηση στρατιωτικών ασκήσεων και δημιουργία βάσεων/ εγκαταστάσεων) και την δοκιμή οποιουδήποτε τύπου όπλου⁴¹⁵. Παρόλα αυτά η εν λόγω συνθήκη δεν απαγορεύει την εκτόξευση βαλλιστικών πυραύλων

⁴¹³ United Nations Office for Outer Space Affairs (n.d.). *Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*. <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/index.html> & United Nations Committee on the Peaceful Uses of Outer Space. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/United_Nations_Committee_on_the_Peaceful_Uses_of_Outer_Space

⁴¹⁴ Η επίσημη ονομασία της είναι: Συνθήκη για τις Αρχές που Διέπουν τις Δραστηριότητες των Κρατών στην Εξερεύνηση και Χρήση του Εξωτερικού Διαστήματος, συμπεριλαμβανομένης της Σελήνης και άλλων Ουράνιων Σωμάτων (Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies). Outer Space Treaty. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Outer_Space_Treaty

⁴¹⁵ Η εν λόγω συνθήκη εγκαθιδρύει ένα καθεστώς παρόμοιο με αυτό της Συνθήκης της Ανταρκτικής (Antarctic Treaty System - ATS, 1959). Η Συνθήκη της Ανταρκτικής (και οι συναφείς με αυτή συμφωνίες, όπου καλούνται Σύστημα Συνθηκών της Ανταρκτικής [Antarctic Treaty System - ATS]) αποτέλεσε τη πρώτη προσπάθεια σύναψης συμφωνίας ώστε μια περιοχή να μην υπόκειται σε καμία κρατική κυριαρχία, απαγορεύοντας την ανάπτυξη οποιονδήποτε στρατιωτικών δραστηριοτήτων, τη χρήση πυρηνικών όπλων και όπλων μαζικής καταστροφής, τις πυρηνικές δοκιμές και εκρήξεις, επιτρέποντας μόνο την ελεύθερη πρόσβαση προς αυτή για επιστημονικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Η Συνθήκη της Ανταρκτικής ήταν η πρώτη συμφωνία για τον έλεγχο των όπλων που υπογράφηκε κατά τον Ψυχρό Πόλεμο. Τόμπρος, Δ. (2012). Διεθνείς και διακρατικές συμφωνίες για τον διαστημικό χώρο και τη χρήση του (μάθημα 3, ενότητα 1, υποενότητα 4). Στο, *Ζητήματα γεωπολιτικής και ασφάλειας από τις εξελίξεις στον διαστημικό χώρο στο σύμπλοκο Τουρκίας - Μέσης Ανατολής*. Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Εκπαίδευσης: Ζητήματα γεωπολιτικής και ασφάλειας στην ευρύτερη Μέση Ανατολή. ΕΚΠΑ. &

μέσω του διαστήματος, οι οποίοι θα μπορούσαν να φέρουν εκτός των συμβατικών κεφαλών και κεφαλές WMD (Weapons of Mass Destruction). Επίσης δεν αποσαφηνίζει τις περιπτώσεις μεταφοράς πυρηνικών όπλων διαμέσου του διαστήματος και το επιτρεπτό ή μη όριο συμβατικών όπλων⁴¹⁶.

γ) Το 1979 υπεγράφη (και είναι σε ισχύ), μετά από πρωτοβουλία της Σοβιετικής Ένωσης και η οποία εγκρίθηκε από τη Γενική Συνέλευση του ΟΗΕ, η συμφωνία που διέπει τις δραστηριότητες των κρατών στη Σελήνη και σε άλλα ουράνια σώματα, γνωστή ως Συνθήκη ή Συμφωνία της Σελήνης (Moon Treaty/ Moon Agreement). Αποτελεί πολυμερή συνθήκη η οποία είναι συμπληρωματική της Συνθήκης για το Εξώτερο Διάστημα, επιβεβαιώνοντας την αποστρατιωτικοποίηση της Σελήνης και των λοιπών ουρανίων σωμάτων. Επιπροσθέτως αναφέρει πως τόσο η Σελήνη όσο και οι φυσικοί της πόροι, όπως και τα άλλα ουράνια σώματα με τους φυσικούς τους πόρους, αποτελούν κοινή κληρονομιά της ανθρωπότητας (*res communis*) και πως οι πόροι αυτοί θα διέπονται από ένα διεθνές καθεστώς εκμετάλλευσης όταν γίνει εφικτή αυτή η δυνατότητα.

Επισημαίνει πως επιτρέπεται μόνο η ερευνητική και επιστημονική δραστηριότητα (ακόμη και από στρατιωτικό προσωπικό), χωρίς να επέρχεται διαταραχή του περιβάλλοντος της Σελήνης και των λοιπών ουρανίων σωμάτων. Απαγορεύεται η χρήση πυρηνικών όπλων, όπλων μαζικής καταστροφής και οποιουδήποτε άλλου τύπου όπλου, είτε σε τροχιά είτε επί των ουρανίων σωμάτων αυτών. Ακόμη απαγορεύονται οι πυρηνικές δομικές και εκρήξεις ή οποιαδήποτε άλλη ενέργεια ενέχει τα χαρακτηριστικά της βίας και της εχθρότητας. Επιπλέον απαγορεύεται η δημιουργία στρατιωτικών βάσεων και εγκαταστάσεων, πλην όμως, μετά από ενημέρωση του ΟΗΕ, των βάσεων και των εγκαταστάσεων οι οποίες είναι αναγκαίες για την ειρηνική εξερεύνηση και χρήση της Σελήνης και των λοιπών ουρανίων σωμάτων⁴¹⁷.

Antarctic Treaty System. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Antarctic_Treaty_System

⁴¹⁶ Ντόκος, 2024. &
Ελευθερίου, Σ. (2018). Δίκαιο Διαστήματος: Επιτεύγματα, προκλήσεις και προβληματικές του νεότερου κλάδου του Διεθνούς Δικαίου. *Expressis Verbis Law Journal*, 2, 132-136.
<https://ejournals.lib.auth.gr/XVLaw/article/view/6777/6532> &
Kimball, D. (2024). *The Outer Space Treaty at a Glance*. Arms Control Association.
<https://www.armscontrol.org/factsheets/outer-space-treaty-glance> &
United Nations Office for Outer Space Affairs (n.d.). *Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies*.
<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/introouterspacetreaty.html>

⁴¹⁷ United Nations Office for Outer Space Affairs (n.d.). *Agreement Governing the Activities of States on the Moon and Other Celestial Bodies*.
<https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/intromoon-agreement.html> &
Nuclear Threat Initiative (n.d.). *Moon Agreement*.
<https://www.nti.org/education-center/treaties-and-regimes/agreement-governing-activities-states-moon-and-other-celestial-bodies-moon-agreement/>

δ) Το 1981 ο ΟΗΕ, μέσω της Διάσκεψης για τον Αφοπλισμό (Conference on Disarmament - CD)⁴¹⁸, προέβη σε ψήφισμα μιας ακόμη πολυμερούς συνθήκης υπό την ονομασία Πρόληψη ενός Αγώνα Εξοπλισμών στο Εξώτερο Διάστημα (Prevention of an Arms Race in Outer Space - PAROS), η οποία θα ενίσχυε τις θεμελιώδεις αρχές της Συνθήκης για το Εξώτερο Διάστημα του 1967. Η νέα αυτή συμπληρωματική συνθήκη απαγόρευε αμιγώς και χωρίς αμφισημίες την ανάπτυξη ή χρήση οποιουδήποτε τύπου όπλου στο διάστημα, είτε επί των ουρανίων σωμάτων είτε σε τροχιά, συνηγορώντας υπέρ της αποτροπής μιας ενδεχόμενης κούρσας εξοπλισμών στο διάστημα.

Το 1985 κατά το forum της Διάσκεψης για τον Αφοπλισμό δημιουργήθηκε μια ad hoc επιτροπή, υπό την ονομασία PAROS Committee (Cttee), η οποία λειτουργούσε ως επικουρικό όργανο της Διάσκεψης για τον Αφοπλισμό και ανέλαβε την επίλυση των ζητημάτων της εν λόγω συνθήκης (π.χ. την εξέταση προτάσεων και πρωτοβουλιών ως προς την πρόληψη της κούρσας εξοπλισμών στο διάστημα, και τον έλεγχο των υφιστάμενων συμφωνιών που διέπουν τις δραστηριότητες στο διάστημα). Η επιτροπή συνεδρίαζε ετησίως έως το 1994 όπου και επαύθη (σήμερα βρίσκεται σε επίπεδο συζητήσεων στη Διάσκεψη για τον Αφοπλισμό), καθώς οι ΗΠΑ αντιτάχθηκαν στο να της δοθεί εντολή διαπραγματευτικού χαρακτήρα. Η δήλωση των ΗΠΑ ως προς αιτιολόγηση της στάσης τους ήταν πως «δεν έχουν εντοπίσει κανένα πρακτικό μέτρο ελέγχου των όπλων στο διάστημα που θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί σε ένα πολυμερές περιβάλλον⁴¹⁹». Ως εκ τούτου, αντί να έχει μόνιμο χαρακτήρα, η

⁴¹⁸ Η Διάσκεψη για τον Αφοπλισμό αποτελεί ένα ενιαίο διεθνές πολυμερές forum διαπραγματεύσεων για τον αφοπλισμό, όπου αναγνωρίστηκε το 1978 από την Δέκατη Ειδική Σύνοδο για τον Αφοπλισμό της Γενικής Συνέλευσης του ΟΗΕ (Tenth Special Session on Disarmament of the United Nations General Assembly [SSOD-I]). Αποτελεί τον διάδοχο της Επιτροπής των Δέκα Εθνών για τον Αφοπλισμό (Ten-Nation Committee on Disarmament - TNDC, 1960), της Επιτροπής των Δεκαοκτώ Εθνών για τον Αφοπλισμό (Eighteen-Nation Committee on Disarmament - ENDC, 1962-1968), και της Διάσκεψης της Επιτροπής για τον Αφοπλισμό (Conference of the Committee on Disarmament - CCD, 1969-1978). Η διαμόρφωση των διατάξεων γίνεται βάση των συστάσεων της Γενικής Συνέλευσης των Ηνωμένων Εθνών. Εκπονείται ετησίως η τρέχουσα agenda, η οποία βασίζεται στην μόνιμη agenda όπου περιλαμβάνεται η ακόλουθη θεματολογία:

- Πυρηνικά όπλα από όλες τις πτυχές.
- Λοιπά όπλα μαζικής καταστροφής.
- Συμβατικά όπλα.
- Μείωση στρατιωτικών προϋπολογισμών.
- Μείωση ενόπλων δυνάμεων.
- Αφοπλισμός και ανάπτυξη.
- Αφοπλισμός και διεθνής ασφάλεια.
- Συμπληρωματικά μέτρα, μέτρα οικοδόμησης εμπιστοσύνης, και αποτελεσματικές μέθοδοι επαλήθευσης σχετικά με τα κατάλληλα μέτρα αφοπλισμού, αποδεκτές από όλα τα μέρη.
- Ολοκληρωμένο πρόγραμμα αφοπλισμού που οδηγεί σε γενικό και πλήρη αφοπλισμό κάτω από αποτελεσματικό και διεθνή έλεγχο.

Nuclear Threat Initiative (n.d.). *Conference on Disarmament (CD)*.

<https://www.nti.org/education-center/treaties-and-regimes/conference-on-disarmament/> &

United Nations Office for Disarmament Affairs (n.d.). *Conference on Disarmament*.

<https://disarmament.unoda.org/conference-on-disarmament/>

⁴¹⁹ “has not identified any practical outer space arms control measures that can be dealt within a multilateral environment.”

Οι ΗΠΑ ουσιαστικά αρνούνται την όποια διαπραγμάτευση σχετικά με την συνθήκη PAROS στη Διάσκεψη για τον Αφοπλισμό, καθώς θα επέφερε περιορισμούς τόσο στο αντιπυραυλικό τους πρόγραμμα όσο και στην τεχνολογική έρευνα για την ανάπτυξη διαστημικών όπλων.

Nuclear Threat Initiative (n.d.). *PAROS Treaty*.

εντολή της επιτροπής ανανεώνεται σε ετήσια βάση ύστερα από ψηφοφορία της Γενικής Συνέλευσης του ΟΗΕ.

Εν συνεχεία δύο χαρακτηριστικές ενέργειες ως προς τις αρχές της συνθήκης PAROS ήταν πρώτων πως το 2005 η Γενική Συνέλευση του ΟΗΕ προέβη στην έγκριση ενός ετήσιου ψηφίσματος, σχετικά με την περεταίρω υιοθέτηση μέτρων για την πρόληψη του ανταγωνισμού εξοπλισμών στο διάστημα, υπό τον τίτλο Μέτρα Διαφάνειας και Οικοδόμησης Εμπιστοσύνης στις Δραστηριότητες του Εξώτερου Διαστήματος (Transparency and Confidence-Building Measures in Outer Space Activities). Και δεύτερον το 2008, στο forum της Διάσκεψης για τον Αφοπλισμό, η Ρωσία και η Κίνα προέβησαν στην κατάθεση ενός σχεδίου υπό τον τίτλο Συνθήκη για την Πρόληψη Τοποθέτησης Όπλων στο Διάστημα, της Απειλής ή Χρήσης Βίας Έναντι σε Διαστημικά Αντικείμενα (Treaty on the Prevention of Placement of Weapons in Outer Space and of the Threat or Use of Force Against Outer Space Objects - PPWT). Η εν λόγω συνθήκη μεταξύ άλλων πρότεινε τη δημιουργία πρόσθετου πρωτοκόλλου ώστε να θεσπιστούν μέτρα επαλήθευσης ως προς τη συμμόρφωση των κρατών επί των προβλεπόμενων μέτρων, εξέφραζε τη ρητή απαγόρευση της ανάπτυξης οποιουδήποτε τύπου όπλου στο διάστημα, και επιπροσθέτως οριζόταν για πρώτη φορά ο όρος εξώτερο διάστημα ως το υψόμετρο άνω των 100 χλμ. από την επιφάνεια της θάλασσας. Κλείνοντας διαφαίνεται πως η εφαρμογή της συνθήκης PAROS θα ισχυροποιήσει τη δυναμική του περιεχομένου της Συνθήκης για το Εξώτερο Διάστημα του 1967, εμποδίζοντας οποιοδήποτε κράτος να αξιωθεί στρατιωτικού πλεονεκτήματος επί του πεδίου του διαστήματος⁴²⁰.

<https://www.nti.org/education-center/treaties-and-regimes/proposed-prevention-arms-race-space-paros-treaty/>

⁴²⁰ Τόμπρος, Δ. (2012). Διεθνείς και διακρατικές συμφωνίες για τον διαστημικό χώρο και τη χρήση του (μάθημα 3, ενότητα 1, υποενότητα 4). Στο, *Ζητήματα γεωπολιτικής και ασφάλειας από τις εξελίξεις στον διαστημικό χώρο στο σύμπλοκο Τουρκίας - Μέσης Ανατολής*. Πρόγραμμα Συμπληρωματικής Εκπαίδευσης: Ζητήματα γεωπολιτικής και ασφάλειας στην ευρύτερη Μέση Ανατολή. ΕΚΠΑ. & Nuclear Threat Initiative. *PAROS Treaty*.

<https://www.nti.org/education-center/treaties-and-regimes/proposed-prevention-arms-race-space-paros-treaty/> &

Federation of American Scientists (2013). *Prevention of an Arms Race in Outer Space*.

https://programs.fas.org/ssp/nukes/ArmsControl_NEW/nonproliferation/NFZ/NP-NFZ-PAROS.html &

Secure World Foundation (2009, July 28). *Fact Sheet. Conference of Disarmament*.

https://swfound.org/media/1794/cd_factsheet.pdf &

Prevention of an Arms Race in Outer Space. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Prevention_of_an_Arms_Race_in_Outer_Space &

(Για περισσότερες πληροφορίες μεταβείτε στον κάτωθι σύνδεσμο)

Ambassador (ret.) Meyer, P. (2011). The CD and PAROS. A short history. *The Conference on Disarmament and the Prevention of an Arms Race in Outer Space*. The United Nations Institute for Disarmament Research (UNIDIR).

<https://unidir.org/files/publication/pdfs/the-conference-on-disarmament-and-the-prevention-of-an-arms-race-in-outer-space-370.pdf>

Κεφάλαιο 8^ο

Πυρηνικές εκρήξεις και επιπτώσεις

Φθάνοντας στο τελευταίο κεφάλαιο αυτής της διπλωματικής εργασίας θεώρησα πως ήταν σημαντικό να αναφερθούν, έστω και αδρομερώς, τα χαρακτηριστικά των πυρηνικών εκρήξεων και οι επιπτώσεις που αυτές επιφέρουν στο περιβάλλον και στους έμβιους οργανισμούς, κυρίως δε στον άνθρωπο και οι οποίες εκτείνονται πέρα των γεωγραφικών ορίων των αντιμαχόμενων πλευρών. Το μείζον του μεγέθους της ισχύος των πυρηνικών εκρήξεων, όπως και η μακροβιότητα των επακόλουθων επιπτώσεων που επιφέρουν, είναι η ειδοποιός διαφορά που καθιστά τα πυρηνικά όπλα τα καταστροφικότερα και τα πιο θανατηφόρα από τα λοιπά όπλα μαζικής καταστροφής (ΟΜΚ).

8.1 Βασικά χαρακτηριστικά πυρηνικών εκρήξεων

Το μέγεθος των επιπτώσεων που επιφέρουν τα πυρηνικά όπλα εξαρτάται πρώτων από το ποσό της ενέργειας που εκλύεται εξ αυτών, δηλαδή από την οπλική τους απόδοση, η οποία μετράται σε κιλοτόνους (1 kt = 1000 t TNT), δεύτερων από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν την ώρα της επίθεσης και τρίτων από την κατασκευή και το υλικό του όπλου. Η έκλυση της ενέργειας των εν λόγω όπλων λαμβάνει χώρα, λόγω των πυρηνικών διεργασιών που συμβαίνουν κατά την έκρηξη της πυρηνικής τους γόμωσης, υπό τη μορφή κυρίως: α) ωστικού κύματος, β) θερμικού κύματος, γ) ιονίζουσας ακτινοβολίας - ραδιενέργειας και δ) ηλεκτρομαγνητικού παλμού.

Η ένταση και τα χαρακτηριστικά της καταστροφής που επιφέρει μία πυρηνική έκρηξη ποικίλουν αναλόγως της θέσης εκδήλωσής της (υψόμετρο) σε σχέση με την επιφάνεια της γης. Ως εκ τούτου οι πυρηνικές εκρήξεις διακρίνονται σε εξωατμοσφαιρικές και σε ενδοατμοσφαιρικές. Στις εξωατμοσφαιρικές πυρηνικές εκρήξεις ανήκουν αυτές που λαμβάνουν χώρα στο διαστημικό χώρο. Αν και θεωρούνται σχετικά ακίνδυνες, ως προς τις συνέπειες που επιφέρουν στους έμβιους οργανισμούς και γενικότερα στο γήινο οικοσύστημα, κύρια συνέπειά τους είναι η πρόκληση του παλμού ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ο οποίος επιφέρει μια σειρά σοβαρών προβλημάτων σε ηλεκτρονικά συστήματα και σε συστήματα επικοινωνίας. Οι ενδοατμοσφαιρικές πυρηνικές εκρήξεις διακρίνονται σε εναέριες, επιφανείας, υποθαλάσσιες και υπόγειες, με τη καθεμία εξ αυτών να διακρίνεται από τις υπόλοιπες λόγω των ξεχωριστών της χαρακτηριστικών και επιπτώσεων. Οι δύο τελευταίες καλούνται υπό-επιφανειακές εκρήξεις και το μέτρο του βάθους όπου εκδηλώνονται καθορίζει τις συνέπειες που

προκαλούνται στην επιφάνεια⁴²¹. Εν συνεχεία αναφέρονται απλουστευμένα τα βασικότερα φαινόμενα που ακολουθούν μία πυρηνική έκρηξη.

Το φαινόμενο της έκρηξης (είτε πυρηνικής είτε συμβατικής) προκύπτει από την απότομη αυξητική μεταβολή του όγκου της ύλης, η οποία καταλαμβάνει περιορισμένο χώρο, εκλύοντας αστραπιαία υπερμεγέθη ποσά ενέργειας, τα όποια προκαλούν ακραία υψηλή θερμοκρασία και απότομη μεταβολή της περιβαλλοντικής πίεσης μέσα στη ζώνη της έκρηξης (στο σημείο μηδέν ανοίγεται κρατήρας). Αναλυτικότερα, η απότομη αυξητική μεταβολή του όγκου της ύλης διαταράσσει βιαίως το μέσο διάδοσης (αέρα), όπου συντελείται το φαινόμενο αυτό, προκαλώντας απότομη διαφορά της περιβαλλοντικής πίεσης στο συγκεκριμένο χώρο (η πίεση του αέρα δηλαδή προσανυξάνεται και διαστέλλεται υπερηχητικά προς τα έξω). Η διαταραχή που δημιουργείται στο μέσο διαδίδεται φυγόκεντρα, δηλαδή από το σημείο μηδέν της έκρηξης προς το γύρω περιβάλλοντα χώρο, με σφαιρική συμμετρία. Η απόσταση που καταλαμβάνει η διάδοση της διαταραχής από το σημείο μηδέν καλείται ακτίνα της έκρηξης.

Η βίαιη αυτή διαταραχή της περιβαλλοντικής πίεσης, δηλαδή των μορίων του αέρα, όπου μεταδίδεται υπό μορφή κύματος (το οποίο ακολουθείται από ισχυρότατους ανέμους), καλείται ωστικό κύμα ή κύμα κρούσης, καθώς η ταχύτητα διάδοσής του υπερβαίνει την τοπική ταχύτητα του ήχου. Στις πυρηνικές εκρήξεις, σε σύγκριση με τις εκρήξεις των λοιπών ΟΜΚ, το ωστικό κύμα χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλά μεγέθη ισχύος αποτελώντας την άμεση αιτία καταστροφών και θανάτων. Στις πυρηνικές εκρήξεις επιφανείας ο αντίκτυπός του ωστικού κύματος είναι μεγαλύτερος από αυτόν που επιφέρει ένα ωστικό κύμα ίδιας ισχύος μιας εναέριας πυρηνικής έκρηξης. Κατά την ανάπτυξή του, όπου βρίσκεται στη θετική του φάση, καθώς υπάρχει μέγιστη αύξηση της περιβαλλοντικής πίεσης, το ωστικό κύμα και οι ισχυρές αέριες μάζες που το ακολουθούν προκαλούν σύνθλιψη, μετατόπιση, ανατροπή και εξαύλωση των αντικειμένων (έμβιων και μη) εντός της ζώνης της έκρηξης. Με το πέρας της ώρας η προσανυξημένη περιβαλλοντική πίεση θα αρχίσει να ελαττώνεται έως ότου πέσει κάτω του φυσιολογικού επιπέδου. Σε αυτό το σημείο το ωστικό κύμα βρίσκεται στην αρνητική του φάση όπου και θα δημιουργηθεί ένα νέο κύμα κεντρομόλου ανέμου, το οποίο θα συμπαρασύρει πολλά υλικά προς το σημείο μηδέν της έκρηξης.

Το θερμικό κύμα, δηλαδή η θερμοκρασία υψηλής εντάσεως που εκλύεται κατά την έκρηξη, αποτελεί ένα ορατό κύμα πύρινης σφαίρας θερμικής ακτινοβολίας (αποτελεί ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο φάσμα του ορατού φωτός που εκδηλώνεται ως θερμότητα και φως), το οποίο στις πυρηνικές εκρήξεις φθάνει εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου (°C)⁴²² και διαδίδεται με τη ταχύτητα του φωτός. Το μέγεθος

⁴²¹ U.S. Department of Homeland Security. Federal Emergency Management Agency. FEMA. Center for Domestic Preparedness (n.d.). *Types of Burst*.
<https://cdp.dhs.gov/shared/se/courses/default/AWR-923-W%2005122021%201.2-20210512144644/groups/340.html>

⁴²² ‘a 1-megaton (Mt) nuclear weapon can produce temperatures of about 100 million degrees Celsius at its center, about four to five times that which occurs at the center of the Sun’

του πυρηνικού όπλου καθορίζει την ένταση της θερμικής ακτινοβολίας που εκλύεται, η οποία είναι ανάλογη της εκρηκτικής ισχύος. Η ένταση της θερμικής ακτινοβολίας καθορίζει το χρονικό διάστημα της έκθεσης, καθώς ένα κύριο χαρακτηριστικό της είναι πως αποσβένει βραδύτερα όσο αυξάνει η απόσταση από το σημείο μηδέν, προκαλώντας άμεσες καταστροφές σε μεγάλες αποστάσεις. Οι καταστροφές που προκαλεί εξαρτώνται από την απόσταση του αντικειμένου/ οργανισμού από τη πηγή, καθώς καθορίζει το ποσοστό της θερμικής ακτινοβολίας που απορροφάται και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν εκείνη τη στιγμή, όπως είναι π.χ. το ποσοστό της υγρασίας και τα επίπεδα σκόνης στην ατμόσφαιρα. Κάποιες από τις επιπτώσεις της είναι η εξάτλωση, η απανθράκωση, η τύφλωση, τα εγκαύματα, η τήξη, η ανάφλεξη υλικών, οι παρατεταμένες και εκτεταμένες πύρινες εστίες και το φαινόμενο της πύρινης θύελλας, το οποίο προκαλεί αυτοσυντηρούμενες εκτεταμένες πυρκαγιές μέσω της συμβολής εύφλεκτων υλικών, όπως είναι π.χ. τα καύσιμα δεξαμενών και οι αγωγοί υγραερίου.

Σε μια πυρηνική έκρηξη το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειάς της εκλύεται αρχικώς ως ιονίζουσα ακτινοβολία - ραδιενέργεια⁴²³ με τη μορφή σωματιδίων α και β, ακτίνων γ καθώς και νετρονίων. Η ακτινοβολία αυτή εκτός από την άμεση εκπομπή της κατά την έκρηξη, όπου δεν είναι η κύρια αιτία θανάτων και καταστροφών, θα συνεχίσει να είναι ενεργή για μεγάλο χρονικό διάστημα και μετά το πέρας της καταστροφής. Το φαινόμενο αυτό καλείται Υπολειπόμενη Πυρηνική Ακτινοβολία και προκύπτει από τα διασπαρμένα ραδιενεργά προϊόντα της πυρηνικής σχάσης. Θα μπορούσαμε να πούμε πως η ακτινοβολία έχει ως κύρια χαρακτηριστικά της γνωρίσματα την μετάδοση και την διασπορά, καθώς π.χ. τα εκπεμπόμενα νετρόνια επιδρούν στα μόρια του αέρα καθιστώντας τον ραδιενεργό και μόλις προσπέσουν στα διάφορα αντικείμενα (έμβια ή άβια) του περιβάλλοντος απορροφώνται εξ αυτών καθιστώντας τα εξίσου ραδιενεργά. Προσέτι οι αέριες μάζες που επικρατούν παρασύρουν τα ραδιενεργά σωματίδια διανέμοντάς τα σε διάφορες αποστάσεις πέρα από το σημείο μηδέν.

Ένα ακόμη σημαντικό φαινόμενο που λαμβάνει χώρα μετά το πέρας της πυρηνικής έκρηξης, εκπέμποντας υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας και το οποίο θα διαρκέσει μεγάλο χρονικό διάστημα, επιφέροντας έμμεσες επιπτώσεις στους ζώντες οργανισμούς, είναι η πτώση ραδιενεργών καταλοίπων (Radioactive Fallout). Η έκταση και η ποσότητα της πτώσης των ραδιενεργών καταλοίπων εξαρτάται από το μέγεθος του πυρηνικού όπλου και του υψομέτρου πυροδότησης. Τα κατάλοιπα αυτά είναι

«ένα πυρηνικό όπλο ισχύος 1 μεγατόνου μπορεί να επιφέρει θερμοκρασίες γύρω στους 100 εκατομμυρίων βαθμών Κελσίου στο κέντρο του, περίπου τέσσερεις με πέντε φορές μεγαλύτερες από αυτές που υφίσταντο στο κέντρο του Ήλιου» (ελεύθερη μετάφραση από την γράφουσα).

Postol, T. A. (1986). *Possible Fatalities from Superfires Following Nuclear Attacks in or Near Urban Areas*. National Academy of Sciences. National Library of Medicine.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK219184/>

⁴²³ Για τα μεγάλης ισχύος πυρηνικά όπλα η εκπομπή ακτινοβολίας υποβιβάζεται, ως προς το εύρος των επιπτώσεων που επιφέρει, καθώς η καταστροφικότητα από το φωτικό και θερμικό κύμα είναι μεγαλύτερη. Εν αντιθέσει για τα μικρά πυρηνικά όπλα το εύρος της καταστροφικότητάς τους βασίζεται κυρίως στην εκπομπή ακτινοβολίας (π.χ. οι βόμβες νετρονίων έχουν ως βασική αρχή καταστροφικότητας την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων άμεσης ραδιενέργειας).
Οικονόμου, 1991.

ραδιενεργά σωματίδια (αερολύματα), προϊόντα της πυρηνικής έκρηξης, όπως π.χ. θραύσματα σχάσης, που έχουν μεταφερθεί στην ανώτερη ατμόσφαιρα σχηματίζοντας ένα ραδιενεργό νέφος και τα οποία σταδιακά πέφτουν πίσω στην γη με την μορφή ραδιενεργής σκόνης και βροχής. Ο χρόνος ζωής του ραδιενεργού νέφους κυμαίνεται από λίγα λεπτά έως πολλά χρόνια και εξαρτάται από το χρόνο ημίσειας ζωής (ο χρόνος που απαιτείται ώστε η ραδιενέργεια να μειωθεί στο μισό της αρχικής) των ραδιενεργών πυρήνων που φέρει. Γενικότερα η έκθεση των έμβιων οργανισμών σε ένα ραδιενεργά φορτισμένο περιβάλλον, είτε άμεσα είτε έμμεσα, θα επιφέρει γενετικές μεταλλάξεις, καρκίνο και εν τέλη το θάνατο.

Τέλος στο σύνολό τους οι πυρηνικές εκρήξεις παράγουν το φαινόμενο του ηλεκτρομαγνητικού παλμού (Electromagnetic Pulse - EMP), δηλαδή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, το οποίο καλείται επίσης και NEMP - Nuclear Electromagnetic Pulse. Το μέγεθος, η διάρκεια και το είδος του ηλεκτρομαγνητικού παλμού εξαρτώνται από το ύψος της πυρηνικής έκρηξης καθώς και από την ισχύ του πυρηνικού όπλου. Μεγαλύτερης ισχύος ηλεκτρομαγνητικό παλμό έχουμε σε εξωατμοσφαιρικές πυρηνικές εκρήξεις. Αποτελεί ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα μικρής διάρκειας και ισχυρής έντασης, το οποίο προέρχεται από τα ηλεκτρικά φορτία που παράγονται κατά την πυρηνική έκρηξη. Ουσιαστικά κατά την πρόκληση εξωατμοσφαιρικών πυρηνικών εκρήξεων οι παραγόμενες ακτίνες -γ ιονίζουν τα μόρια της ανώτερης ατμόσφαιρας παράγοντας ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια που παρήχθησαν από αυτή την αλληλεπίδραση (ηλεκτρόνια Compton) αρχίζουν να εκτελούν σπειροειδής κίνηση υπό την επίδραση του μαγνητικού πεδίου της Γης. Λόγω αυτής της επίδρασης αλλάζει η κινητική κατάσταση των εν λόγω ηλεκτρονίων (ταχύτητα και κατεύθυνση) και δημιουργείται το φαινόμενο του ηλεκτρομαγνητικού παλμού⁴²⁴ (Θεοφίλου, 1984). Το φαινόμενο του ηλεκτρομαγνητικού παλμού μπορεί να παραχθεί και από μη πυρηνικές πηγές όπως είναι οι ηλεκτρομαγνητικές βόμβες (e-bombs – electromagnetic bombs)⁴²⁵. Αν και δεν αποτελεί κίνδυνο για τα έμβια όντα, επιφέρει σοβαρά προβλήματα στα ηλεκτρονικά συστήματα, στα συστήματα επικοινωνίας και στους δορυφόρους.⁴²⁶

⁴²⁴ Η ανάπτυξη του φαινομένου του ηλεκτρομαγνητικού παλμού βασίζεται στο φαινόμενο Compton, όπου η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σκεδάζεται από φορτισμένα σωματίδια (ηλεκτρόνια). (Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το φαινόμενο Compton μεταβείτε στους εξής συνδέσμους που ακολουθούν)

Harris, T. (2023, April 24). *How Electromagnetic Pulse Attacks Work*. How Stuff Works.

<https://science.howstuffworks.com/e-bomb2.htm> &

Compton scattering. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Compton_scattering

⁴²⁵ (Για περισσότερες πληροφορίες μεταβείτε στον κάτωθι σύνδεσμο)

Kopp, C. (n.d.). *The Electromagnetic Bomb - a Weapon of Electrical Mass Destruction*. Air University (AU).

<https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Chronicles/apjemp.pdf>

⁴²⁶ Θεοφίλου, 1984. &

Οικονόμου, 1991. &

Τσίπης, Κ. (1999). *Εγχειρίδιο Πυρηνικών Όπλων*. (Θ. Λιόλιος, Επιμ.). Ανώτατη Σχολή Πολέμου. Θεσσαλονίκη.

<https://www.ekeo.gr/wp-content/uploads/2010/04/tsipisasp99.pdf> &

Λιόλιος, Θ. (1999). *Σημειώσεις Πυρηνικών Όπλων*. Ελληνικό Κέντρο Ελέγχου Όπλων «Αθηνά».

<https://ekeo.gr/wp-content/uploads/reports/liolios/nuclear%20weapons%20notes.pdf> &

Glasstone, S., & Dolan, P. J. (1977). Griffith, C., & Meyer, E. A. (2022). *The Effects of Nuclear Weapons*. Atomic Archive. Com.

8.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Από τα στοιχεία που παρατέθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο γίνεται ευκόλως σαφές πως, είτε μιλάμε για περιορισμένο (μικρής κλίμακας) πυρηνικό χτύπημα είτε για ολοκληρωτικό (μεγάλης κλίμακας), οι συνέπειες εκατέρωθεν είναι εξίσου καταστροφικές και θανάσιμες. Μετά την πτώση των ατομικών βομβών στην Ιαπωνία τον Αύγουστο του 1945 και καθώς η ανθρωπότητα εισήχθη στην πυρηνική εποχή, οι επιστήμονες άρχισαν να μελετάνε εκτενώς τις ενυπάρχουσες συνέπειες των νέων αυτών υπερόπλων αλλά και να εικάζουν τις πιθανότερες εκ των χειρίστων. Το 1983 δημοσιεύτηκε η επιστημονική εργασία Παγκόσμιες Ατμοσφαιρικές Συνέπειες του Πυρηνικού Πολέμου (Global Atmospheric Consequences of Nuclear War), η οποία αποτελούσε μια εκτενής μελέτη επί των κλιματολογικών επιπτώσεων που επιφέρουν οι πυρηνικές εκρήξεις στο σύνολο του οικοσυστήματος, από την ομάδα TTAPS⁴²⁷ (από τα αρχικά των ονομάτων των εμπλεκόμενων επιστημών και συγγραφέων: R.P. Turco, O.B. Toon, T.P. Ackerman, J.B. Pollack, and C. Sagan) και πάνω στην οποία βασίστηκε η θεωρία του πυρηνικού χειμώνα (Nuclear Winter). Οι κλιματολογικές μελέτες επί του

<https://atomicarchive.com/resources/documents/effects/glasstone-dolan/index.html> &

Atomic Archive. Com. (n.d.). *The Effects of Nuclear Weapons*.

<https://www.atomicarchive.com/science/effects/index.html> &

Fetter, S. (n.d.). *The effects of Nuclear Detonations and Nuclear War*. University of Maryland. School of Public Policy.

<https://spp.umd.edu/sites/default/files/2019-08/1990-CSIA-NuclearPrimer.pdf> &

The Nuclear Matters Handbook (Revised). (2020). *Basic Nuclear Physics and Weapons Effects*. Chapter 13. Acquisition & Sustainment. Office of the Under Secretary of Defense.

<https://www.acq.osd.mil/ncbdp/nm/NMHB2020rev/chapters/chapter13.html> &

Dalnoki-Veress, F., & Wolfson, R. (2022, March 2). *The Devastating Effects of Nuclear Weapons*. The MIT Press Reader.

<https://thereader.mitpress.mit.edu/devastating-effects-of-nuclear-weapons-war/> &

Washington State Department of Health (2003). *Electromagnetic Pulse (EMP)*.

https://doh.wa.gov/sites/default/files/legacy/Documents/Pubs/320-090_elec_puls_fs.pdf &

Nuclear Fallout. In Wikipedia.

https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fallout &

Explosion. In Wikipedia.

<https://en.wikipedia.org/wiki/Explosion> &

(Για περισσότερες πληροφορίες ακολουθήστε τους συνδέσμους που ακολουθούν)

Brode, H. L. (1964). *A Review of Nuclear Explosion Phenomena Pertinent to Protective Construction*. United States Air Force Project RAND.

<https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/reports/2007/R425.pdf> &

Nuclear Information Service (n.d.). *The Characteristics and Effects of Nuclear Weapons*.

[https://www.nuclearinfo.org/wp-](https://www.nuclearinfo.org/wp-content/uploads/2023/07/The_Characteristics_And_Effects_of_Nuclear_Weapons_nd..pdf)

[content/uploads/2023/07/The_Characteristics_And_Effects_of_Nuclear_Weapons_nd..pdf](https://www.nuclearinfo.org/wp-content/uploads/2023/07/The_Characteristics_And_Effects_of_Nuclear_Weapons_nd..pdf) &

Gurevich, V. (n.d.). *A new strategy is needed to solve the 50-year-old problem - EMP protection of critical civilian infrastructure*. U.S. Department of Energy.

<https://www.energy.gov/sites/default/files/2023-10/Public%20Comment%20-%20Vladimir%20Gurevich.pdf>

⁴²⁷ (Για περισσότερα επί της συγκεκριμένης μελέτης μεταβείτε κάτωθι)

Perry, A. M., Kornegay, F. C., & Chester, C.V. (1984). *A preliminary review of the TTAPS Nuclear Winter scenarios*. Emergency Technology Program Energy Division. U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information. OSTI.GOV

<https://www.osti.gov/servlets/purl/6872749>

θέματος εμπεριείχαν σε μεγάλο βαθμό το στοιχείο της πιθανότητας και της αβεβαιότητας, καθώς ήταν δύσκολη η ευκρινής εκτίμηση της έκτασης και της φύσης των επιπτώσεων, λόγω του ότι ήταν άγνωστο το ποιες θα ήταν οι τρέχουσες περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη στιγμή της υποτιθέμενης πυρηνικής έκρηξης. Μια γενικότερη περιγραφή των όσων εικάζεται πως έπονται ενός ολοκληρωτικού πυρηνικού πλήγματος ακολουθεί στις επόμενες παραγράφους.

Το ραδιενεργό νέφος που θα σχηματιστεί από τη ραδιενεργή τέφρα και σκόνη, που επιφέρει η πυρηνική έκρηξη, αλλά και από την χημική αιθάλη των εκτεταμένων πυρκαγιών των πόλεων, θα ανέλθει από τις αέριες μάζες που επικρατούν στην ανώτερη ατμόσφαιρα και θα παρασυρθεί σε μεγάλη απόσταση από το σημείο μηδέν. Μετέπειτα θα επέλθει πτώση αυτών των ραδιενεργών καταλοίπων (Radioactive Fallout), με τη μορφή ραδιενεργούς βροχής και σκόνης, επιμολύνοντας μεγάλες εκτάσεις Γης, με τις όποιες συνέπειες αυτό συνεπάγεται για τον υδροφόρο ορίζοντα αλλά και για την ακολουθία της τροφικής αλυσίδας. Το ραδιενεργό νέφος ενός ολοκληρωτικού πυρηνικού πλήγματος θα έχει παρατεταμένη διάρκεια ζωής και επικαλύπτοντας το ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας θα επιφέρει παρεμπόδιση της διάχυσης του ηλιακού φωτός. Κατά συνέπεια θα επέλθει κατακόρυφη πτώση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης, επιφέροντας αύξηση του ψύχους σε παγκόσμια κλίμακα, ένα φαινόμενο που αποκαλείται πυρηνικός χειμώνας. Κάτω από αυτές τις συνθήκες η γεωργική παραγωγή θα καταστραφεί, προκαλώντας καίριο πλήγμα στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων, οδηγώντας εν τέλει τον εναπομείναντα πληθυσμό σε λιμό.

Ένα ακόμη εφιαλτικό σενάριο είναι πως τον πυρηνικό χειμώνα θα διαδεχθεί η αποκαλούμενη υπεριώδης άνοιξη, όπου κύριο χαρακτηριστικό της είναι η αύξηση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας (UV - Ultraviolet)⁴²⁸ στην επιφάνεια της Γης, λόγω της καταστροφής του στρώματος του όζοντος (γνωστό και ως τριοξυγόνο [O₃])⁴²⁹. Κατά την πυρηνική έκρηξη παράγονται μεγάλες ποσότητες οξειδίων του αζώτου (NO_x)⁴³⁰ όπου μόλις ανέλθουν στην ανώτερη ατμόσφαιρα, συγκεκριμένα στη στρατόσφαιρα, η οποία αποτελεί το δεύτερο από την γήινη επιφάνεια στρώμα της ατμόσφαιρας, επιφέρουν μείωση της συγκέντρωσης του προστατευτικού στρώματος του όζοντος, το οποίο απορροφά την επιβλαβή υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η άνευ προηγούμενου έκθεση στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία θα επιφέρει αύξηση της συχνότητας εμφάνισης καρκίνων του δέρματος και εγκαυμάτων, καθώς και γενική εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος τόσο του ανθρώπου όσο και των άλλων ζώντων οργανισμών. Επιπροσθέτως η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας της

⁴²⁸ Ultraviolet. In Wikipedia.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet>

⁴²⁹ Ozone. In Wikipedia.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Ozone> &
Ozone Layer. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Ozone_layer

⁴³⁰ NO_x. In Wikipedia.
<https://en.wikipedia.org/wiki/NOx>

επιφάνειας της Γης θα επιφέρει το φαινόμενο του θερμοκηπίου⁴³¹, σε έναν υπερθετικό βαθμό, καταλήγοντας στο ολέθριο σενάριο που αποκαλείται πυρηνικό καλοκαίρι⁴³².

8.3 Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό

Οι πυρηνικές εκρήξεις⁴³³, λόγω των άκρως υψηλών επιπέδων εκλυόμενης ραδιενέργειας που τις χαρακτηρίζει, επιφέρουν μια σειρά από σοβαρές και εκτενείς βιολογικές βλάβες στους έμβιους οργανισμούς. Οι πλείστες εξ αυτών επιφέρουν σοβαρά δερματικά εγκαύματα και βλάβες στο DNA του οργανισμού που οδηγούν σε γονιδιακές μεταλλάξεις, οι οποίες καταλήγουν σε καρκινογενέσεις, γνωστές και ως ογκογενέσεις, όπου τα υγιή κύτταρα αποδομούνται και μεταμορφώνονται σε καρκινικά, ακόμη και μετά το πέρας αρκετών ετών από την αρχική ακτινοβολήση, καταλήγοντας τις περισσότερες φορές εν τέλει στο θάνατο. Επιπροσθέτως εάν επιμολυνθεί το γενετικό υλικό των κυττάρων οι γονιδιακές μεταλλάξεις μεταβιβάζονται και στην επόμενη γενιά επιφέροντας γενετικές διαταραχές, όπως συνέβη στους επιζήσαντες των ατομικών βομβαρδισμών της Hiroshima και του Nagasaki (1945), αλλά και του πυρηνικού ατυχήματος του Chernobyl (1986).

Όταν ο οργανισμός, μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, υποστεί άμεση έκθεση σε υψηλές δόσεις ιονίζουσας ακτινοβολίας παρουσιάζει μια σειρά από επιπτώσεις που συγκαταλέγονται στις Δερματικές Βλάβες Από Ακτινοβολία (CRI - Cutaneous Radiation Injuries)⁴³⁴ και στο επονομαζόμενο Οξύ

⁴³¹ Greenhouse effect. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_effect

⁴³² Θεοφίλου, 1984. &
Οικονόμου, 1991. &
Fetter, S. (n.d.). The effects of Nuclear Detonations and Nuclear War. University of Maryland. School of Public Policy.
<https://spp.umd.edu/sites/default/files/2019-08/1990-CSIA-NuclearPrimer.pdf> &
Dalnoki-Veress, F., & Wolfson, R. (2022, March 2). The Devastating Effects of Nuclear Weapons. The MIT Press Reader.
<https://thereader.mitpress.mit.edu/devastating-effects-of-nuclear-weapons-war/> &
Atomic Archive. Com. (n.d.). The Effects of Nuclear Weapons.
<https://www.atomicarchive.com/science/effects/index.html> &
Nuclear Winter. In Wikipedia.
https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_winter &
Britannica (n.d.). *Nuclear Winter*.
<https://www.britannica.com/technology/nuclear-weapon>

⁴³³ Πέραν των συμβατικών εμπόλεμων περιπτώσεων, όπου αναφερόμαστε στη χρήση πυρηνικών όπλων, μια πυρηνική έκρηξη μπορεί να προκληθεί π.χ. από δυσλειτουργία σε πυρηνικό αντιδραστήρα, από επίθεση σε εγκατάσταση πυρηνικών όπλων, από έκρηξη συσκευής διασποράς ραδιενέργειας (βρόμικη βόμβα) κ.α.

⁴³⁴ Radiation Emergencies (2024, April 10). *Cutaneous Radiation Injuries*.
<https://www.cdc.gov/radiation-emergencies/signs-symptoms/cutaneous-radiation-injury.html>

Σύνδρομο Ακτινοβολίας (ARC - Acute Radiation Syndrome/ ICD-10 T66)⁴³⁵. Σε αυτή τη περίπτωση οξείας έκθεσης η εμφάνιση των συμπτωμάτων επέρχεται εντός 24 ωρών και αναλόγως της ποσότητας της ραδιενέργειας προκαλούνται δερματικές βλάβες, βλάβες στο αιμοποιητικό, νευροαγγειακό και γαστρεντερικό σύστημα ακόμη και ταχύς θάνατος. Η εκδήλωση της δηλητηρίασης του οργανισμού από ραδιενέργεια διέρχεται από τις τέσσερις ακόλουθες φάσεις: α) την πρόδρομη, όπου εμφανίζονται τα αρχικά συμπτώματα, β) την λανθάνουσα, όπου αποτελεί μεταβατική περίοδο ύφεσης κατά την οποία τα αρχικά συμπτώματα υποχωρούν, γ) τη νοσηρή, όπου υπάρχει η πλήρης κλινική εκδήλωση των συμπτωμάτων και δ) την ανάνηψης ή θανάτου.

Το πόσο ζημιογόνα θα είναι η έκθεση για έναν άνθρωπο (ή άλλον ζώντα οργανισμό) στην ακτινοβολία - ραδιενέργεια, καθώς και το ποιες θα είναι οι βιολογικές επιπτώσεις που θα υποστεί, εξαρτάται από μία σειρά πολυποίκιλων παραγόντων με τους κυριότερους εξ αυτών να είναι:

1. Ο τρόπος που η ακτινοβολία ιονίζει τα κύτταρα του οργανισμού, τα οποία συγκροτούν τους ιστούς των οργάνων και του σώματος.
2. Ο τύπος και η φύση της ακτινοβολίας (εάν είναι π.χ. σωματίδια α και β, ακτίνες γ, ή νετρόνια) που προσπίπτει στον οργανισμό, καθώς ακόμη και η ίδια ποσότητα απορροφούμενης δόσης επιφέρει διαφορετικές βιολογικές επιδράσεις και επιπτώσεις ανά τύπο ακτινοβολίας.
3. Η ποσότητα της ραδιενέργειας που δέχεται ο οργανισμός, δηλαδή την ποσότητα της ραδιενέργειας που απορροφάται από τον οργανισμό και η οποία μετράτε σε rads⁴³⁶ (όπου αναφέρεται στην ποσότητα της ραδιενέργειας που απορροφάται ανά μονάδα μάζας - 1 rad σημαίνει πως 1 g. ύλης απορρόφησε 100 erg. ραδιενέργειας). Όσο περισσότερη ραδιενέργεια εναποτίθεται στα κύτταρα τόσο μεγαλύτερη είναι η προκύπτουσα βλάβη. Εξαρτάται από την ισχύ της ακτινοβολίας, την απόσταση του θύματος από τη ραδιενεργό πηγή και από την ευαισθησία των προσβεβλημένων ιστών των οργάνων ή του σώματος.
4. Ο ρυθμός που ο οργανισμός, ή τμήμα των ιστών των οργάνων ή του σώματος, απορροφά την ραδιενεργό δόση.
5. Το είδος και την ευαισθησία του ιστού των οργάνων ή του σώματος που εκτίθεται στην ακτινοβολία.

⁴³⁵ Radiation Emergencies (2024, April 10). *Acute Radiation Syndrome*.
<https://www.cdc.gov/radiation-emergencies/signs-symptoms/acute-radiation-syndrome.html>

⁴³⁶ U.S. Nuclear Regulatory Commission (2021, March 9). *Rad (radiation absorbed dose)*.
<https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/glossary/rad-radiation-absorbed-dose.html>

6. Το εάν η ακτινοβολήση είναι εσωτερική, όπου συμβαίνει κατά την εισπνοή, την κατάποση και την εισδοχή ραδιενεργών ουσιών από ανοιχτές εκδορές ή εξωτερική, όπου η ραδιενεργός ουσία είναι σε μορφή π.χ. σκόνης ή υγρού και προσκολλάται στο δέρμα και στην ένδυση του ατόμου.

7. Το εάν η ακτινοβολήση είναι οξεία, όπου προκύπτει από την άμεση έκθεση στην ραδιενέργεια που εκλύεται κατά την πυρηνική έκρηξη, με ολοκλήρωση της βλάβης των ιστών εντός 24 ωρών ή παρατεταμένη, όπως το Σύνδρομο Χρόνιας Ακτινοβολίας, όπου προκύπτει από μικρές δόσεις ακτινοβολήσης ή και από την έμμεση έκθεση στη ραδιενέργεια π.χ. της Υπολειπόμενης Πυρηνικής Ακτινοβολίας.

8. Το εάν η ακτινοβολήση είναι ολοσωματική και ομοιόμορφη, όπου προκύπτει από την άμεση έκθεση στην ραδιενέργεια της πυρηνικής έκρηξης, π.χ. μέσω της εισπνοής και της κατάποσης ραδιενεργών ουσιών ή εάν είναι τοπική, δηλαδή έκθεση συγκεκριμένου τμήματος του οργανικού ιστού, όπως συμβαίνει στις υψηλές δόσεις ακτινοβολήσης στην ακτινοθεραπευτική.

9. Τον χρόνο ημίσειας ζωής του ραδιενεργού χημικού στοιχείου που εισήλθε στον οργανισμό σε συνδυασμό με την ικανότητα του οργανισμού να το μεταβολίσει, δηλαδή να το αποβάλλει (π.χ. μέσω των ούρων). Όταν μια ραδιενεργός ουσία εισέλθει στον οργανισμό, ο οργανισμός συνεχίζει να ακτινοβολείται για ένα χρονικό διάστημα, το οποίο εξαρτάται από το χρόνο που χρειάζεται ώστε η ένταση της ραδιενεργούς ουσίας να μειωθεί στο μισό της αρχικής, καθώς και από το χρόνο που μεσολαβεί έως την αποβολή της από τον οργανισμό.

10. Την ιδιοσυστασία του εκάστοτε οργανισμού, δηλαδή στον ιδιαίτερο τρόπο που ο κάθε οργανισμός ξεχωριστά αντιδρά σε ένα νοσογόνο παράγοντα.

Τέλος, όπως προαναφέρθηκε, αναλόγως του τύπου της ακτινοβολίας έχουμε και διαφορετικές βιολογικές επιδράσεις και επιπτώσεις στον εκτιθέμενο οργανισμό. Περιγραφικά οι τύποι ακτινοβολίας και οι επιπτώσεις που επιφέρουν είναι:

α) Σωματίδια α: Προέρχονται από ασταθείς ραδιενεργούς πυρήνες (π.χ. U-238 [Ουράνιο], Pu-239 [Πούτώνιο], Rn-222 [Ραδόνιο]), αποτελούν σύζευξη δύο πρωτονίων και δύο νετρονίων και φέρουν θετικό φορτίο. Διασχίζουν μικρές αποστάσεις, μεταφέρουν μεγάλα ποσά ενέργειας, όμως η ενέργειά τους φθίνει καθώς απομακρύνονται από τη πηγή και χαρακτηρίζονται από μικρή διεισδυτικότητα. Οι βιολογικές επιπτώσεις που επέρχονται από την έκθεση του οργανισμού σε σωματίδια α εξαρτώνται από το τρόπο που αυτή λαμβάνει χώρα (όπως και με τα σωματίδια β). Όταν η έκθεση είναι εξωτερική απορροφώνται από τα νεκρά κύτταρα της επιδερμίδας, καθώς η μικρή ικανότητα διείσδυσης δεν τους επιτρέπει να διαπεράσουν την εξωτερική στοιβάδα του δέρματος. Ακόμη και η παρεμβολή από ένα

απλό φύλλο χαρτί μπορεί να τα απορροφήσει και να παρεμποδίσει την επαφή τους με τον εκτιθέμενο οργανισμό. Όταν η έκθεση είναι εσωτερική (π.χ. μέσω της εισπνοής Πλουτωνίου) ο επιβλαβής αντίκτυπος είναι μεγάλος για τα προσβεβλημένα κύτταρα (συνήθως ολική καταστροφή).

β) Σωματίδια β: Αποτελούνται από υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια, φέροντας είτε αρνητικό είτε θετικό φορτίο, προερχόμενα από τον ατομικό πυρήνα των ασταθών ραδιενεργών στοιχείων (π.χ. Cs-137 [Καίσιο], Sr-90 [Στρόντιο], H-3/ T [Υδρογόνο/Τρίτιο]). Είναι μικρότερου μεγέθους από τα σωματίδια α και ως εκ τούτου έχουν μικρότερη ιονίζουσα ισχύ, όμως η διεισδυτική τους ικανότητα είναι μεγαλύτερη επιφέροντας ήπιες δερματικές βλάβες όταν ο οργανισμός εκτίθεται εξωτερικά (ομοιάζουν με επιφανειακά εγκαύματα Α' βαθμού). Σε αυτή τη περίπτωση η επαφή τους με τον εκτιθέμενο οργανισμό μπορεί να παρεμποδιστεί από ένα φύλλο αλουμινίου και από την κατάλληλη ένδυση. Όταν η έκθεση είναι εσωτερική (π.χ. μέσω της εισπνοής ή της κατάποσης) οι βιολογικές συνέπειες είναι αρκετά σοβαρότερες. Συνήθως επιφέρουν επιβιώσιμες κυτταρικές βλάβες (σε σύγκριση με τα σωματίδια α), οι οποίες όμως δύναται να προκαλέσουν κυτταρικές μεταλλάξεις και να οδηγήσουν σε νεοπλασίες, δηλαδή σε ανώμαλη ανάπτυξη των κυττάρων (καλοήθειες ή κακοήθειες).

γ) Ακτίνες γ: Ανήκουν στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, δε φέρουν ηλεκτρικό φορτίο και έχουν τη μεγαλύτερη συχνότητα (το Σύμπαν αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή ακτινοβολίας γ). Προκύπτουν κατά της πυρηνικές διασπάσεις (όπως η διάσπαση -β) όταν επέρχεται αποδιέγερση των ραδιενεργών ασταθών πυρήνων (αποβάλλουν ενέργεια και προκαλείται μεταστοιχείωση) και η ενέργειά τους εξαρτάται από την ισχύ της πηγής. Χαρακτηρίζονται από εξαιρετικά υψηλή διεισδυτικότητα, διαπερνώντας σε βάθος τους οργανικούς ιστούς και ως εκ τούτου το μέγεθος της βλάβης είναι σοβαρό και επέρχεται ανεξάρτητα της απόστασης του εκτεθειμένου οργανισμού από την πηγή. Για την προστασία από την έκθεση στις ακτίνες -γ απαιτείται εξειδικευμένη θωράκιση, με υλικά όπως είναι το σκυρόδεμα και ο Μόλυβδος (Pd) όπου τα χαρακτηρίζει η αδιαπερατότητα στις ακτίνες γ.

δ) Νετρόνια: Απελευθερώνονται κατά την πυρηνική σχάση, είναι ουδέτερα (δεν φέρουν ηλεκτρικό φορτίο) και ως εκ τούτου αλληλοεπιδρούν μόνο με τον ίδιο τον πυρήνα και όχι με τα περιφερειακά ηλεκτρόνια. Η κινητική τους ενέργεια αλλά και η δομή του πυρήνα παίζει ρόλο στην μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Όσο μεγαλύτερη είναι η κινητική τους ενέργεια και όσο μικρότερος είναι ο πυρήνας τόσο μεγαλύτερη και η διαταραχή που υφίστατο ο πυρήνας. Χαρακτηρίζονται από υψηλή διεισδυτικότητα και διαπερνούν τους οργανικούς ιστούς με εξαιρετική ευκολία. Επιπροσθέτως έχουν την μοναδική ιδιότητα, σε σχέση με τους άλλους τύπους ακτινοβολίας, να μετατρέπουν τους ίδιους τους βληθέντες οργανισμούς σε πηγές ακτινοβολίας. Για προστασία από την ακτινοβολία με νετρόνια

απαιτείται σχεδιασμός νετρονιακής θωράκισης, με υλικά όπως είναι το σκυρόδεμα, ο Μόλυβδος (Pb), το Κάδμιο (Cd) και το Βόριο (B).⁴³⁷

⁴³⁷ Λιόλιος, 2009. &

World Nuclear Association (2024, April 29). *Radiation and Health Effects*.

<https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/radiation-and-health/radiation-and-health-effects> &

Μάλλιον Κριαρά, Σ. (χ.χ.). *Δηλητηρίαση από ακτινοβολία*. Σημειώσεις. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

https://eclass.uth.gr/modules/document/file.php/FOOD_U_108/8.2.%20%CE%94%CE%B7%CE%BB%CE%B7%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%AF%CE%B1%CF%83%CE%B7%20%CE%B1%CF%80%CF%8C%20%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1.doc &

Καζαμιάς, Π. (χ.χ.). Μαζικές Καταστροφές από Ραδιενεργές, Βιολογικές, Χημικές (PBX) Ουσίες. *Θέματα αναισθησιολογίας και εντατικής ιατρικής*, 240-264. Εταιρεία Αναισθησιολογίας και Εντατικής Ιατρικής Βορείου Ελλάδος. ΕΑΕΙΒΕ.

https://anesthesia.gr/download/TOMOS_11/tefhos_23/23.pdf &

Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Ιατρική Σχολή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. (2011). *Μαθήματα ακτινοπροστασίας για χειριστές ιατρικών μηχανημάτων ιονιζουσών ακτινοβολιών*. Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας. ΕΕΑΕ. Αθήνα.

https://eeae.gr/files/ekpaideusi/_info_ekpaideytiko%20yliko_june2011.pdf &

Ελληνικό Ινστιτούτο Υγείας και Ασφάλειας στην Εργασία (2024). *Σωματιδιακή ακτινοβολία*.

<https://www.elinyae.gr/themata-yae/aktinobolia/page/somatidiaki-aktinobolia> &

Μαξούρη. Α. (2022, 4 Μάρτιου). *Ποιες είναι οι επιπτώσεις της ραδιενέργειας στον οργανισμό και τι κάνεις όταν εκτεθείς*. News 4 Health.

<https://www.news4health.gr/ygeia/poies-einai-oi-epiptoseis-radienergeias-sto-organismo-kai-ti-kaneis-otan-ektetheis-vinteo> &

Χρυσικοπούλου, Π. (2021). Μελέτη της ακτινοβολίας γ με τη βοήθεια απεριθμητή Geiger – Muller. Σημειώσεις. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

<https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/NAFP135/%CE%91%CF%83%CE%BA%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CF%80%CF%85%CF%81%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82%20%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82/%CE%9C%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%A4%CE%97%20%CE%A4%CE%97%CE%A3%20%CE%91%CE%9A%CE%A4%CE%99%CE%9D%CE%9F%CE%92%CE%9F%CE%9B%CE%99%CE%91%CE%A3%20%CE%B3%20%CE%A0.%20%CE%A3.%20%CE%A7%CE%A1%CE%A5%CE%A3%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%A5%CE%9B%CE%9F%CE%A5%20%CE%9C%CE%91%CE%99%CE%9F%CE%A32021.pdf>

Επίλογος

Από προσωπικής απόψεως, μπορεί το ψυχροπολεμικό πολιτικό και πυρηνικό σκηνικό να έχει παρέλθει, όμως η γεωπολιτική κληρονομία του εξακολουθεί να βαραίνει τους πόλους συνάντησης της διεθνούς ισχύος. Τα πυρηνικά όπλα συνεχίζουν να αποτελούν τη πρόμαχο γραμμή τόσο του στρατηγικού πυλώνα της αποτροπής όσο και της σκληρής ισχύος στην εξωτερική πολιτική των πυρηνικών κρατών και των μεικτών συνασπισμών τους. Το συλλογικό ασυνείδητο των δρώντων της γεωπολιτικής σκακιέρας, κρατικών και μη, θα είναι πάντα επιφορτισμένο με τον φόβο του επαπειλούμενου της ύπαρξης και της ισχύος τους, καθώς ο κόσμος δρα ως ένας επαναλαμβανόμενος και παλινδρομικός μηχανισμός εξάπλωσης και εξάλειψης ζωτικών και εδαφικών συμφερόντων. Στο πως εξελίσσεται, στη διαμόρφωση των παγκόσμιων συσχετισμών, το πολιτικό-κοινωνικό διεθνές σύστημα, θεωρώ δε, πως δεν το χαρακτηρίζει και ούτε υφίσταται κάποια σχετική ωριμότητα ή ανωριμότητα επί της δράσεως των εκάστοτε παραγόντων, αλλά το κατισχύει πλήρως η πολιτική βουλησιαρχία της διαρκούς πάλης για την ανάπτυξη των καταλληλότερων μέσων και χειρισμών που θα επιφέρουν την αποπεράτωση των επιβαλλόμενων, από την εκάστοτε ιστορική περίοδο, εθνικών ζωτικών σκοπών. Οι σχέσεις στον 21^ο αιώνα, αναμεταξύ των πολυποίκιων εθνοκρατικών και μη γεωπολιτικών δρώντων, δεν χαρακτηρίζονται από συστημική βαρύτητα, αλλά από υβριδική δυναμική και τα κράτη οφείλουν να αναπτύξουν την υψηλή στρατηγική τους εντός αυτού του υφιστάμενου ασύμμετρου και πολυπαραγοντικού πλαισίου.

Όσο και να έχει εκφραστεί, ως μια απόπειρα εξορθολογισμού, το ασυμβίβαστο μεταξύ του έλλογου του ανθρώπινου πολιτισμού με το ακαταλόγιστο και οδυνηρό αποτέλεσμα που θα επιφέρει το ξέσπασμα μίας ενδεχόμενης πυρηνικής πολεμικής κλιμάκωσης, γίνεται πανθομολογουμένως ευκόλως αντιληπτό πως τα πυρηνικά όπλα αναπτύχθηκαν ακριβώς για αυτό το σκοπό, για να επιφέρουν το μέγιστο καταστροφικό αντίκτυπο επί του αντιπάλου ή στη βέλτιστη περίπτωση να εκβιάσουν καταστάσεις, διασπείροντας τον φόβο ενός αμετάκλητου ολέθρου, ως σαν άλλη Δαμόκλειος σπάθη αναμεταξύ των διεθνών σχέσεων. Αντιλαμβανόμαστε πως η πολιτική των πυρηνικών δυνάμεων αμφιταλαντεύεται μεταξύ της ικανότητας ανάπτυξης του ύψιστου αποτρεπτικού οπλικού συστήματος, χωρίς να παραβιάζονται εντός αυτού του πλαισίου οι επικυρωμένες διεθνείς συνθήκες, παράλληλα όμως να διασφαλίζεται προς αυτές η δυνατότητα απεμπλοκής από τις εν λόγω διεθνείς δεσμεύσεις όταν τα εθνικά τους συμφέροντα το απαιτούν. Όσες συνθήκες αποπυρηνικοποίησης, περιορισμού και ελέγχου των εν λόγω όπλων και αν έχουν συνυπογραφεί, μεταξύ των συστημικών δρώντων, αποτελούν περισσότερο μια στρατηγική επίφασης παρά υποχρέωσης. Επί του παρόντος οι ρηζικέλευθες τεχνολογίες δρουν καταλυτικά τόσο στην πυρηνική οπλική ολοκλήρωση, όσο και στην μη ελεγχόμενη οριζόντια διασπορά, αν όχι των πυρηνικών οπλικών συστημάτων αυτών καθ' εαυτών, σίγουρα συμβάλλοντας, σε παγκόσμια κλίμακα, στην αύξηση του λαθρεμπορίου του πυρηνικού σχάσιμου

υλικού αλλά και στην διευκόλυνση ως προς την κακόβουλη πρόσβαση σε λειτουργικά περιφερειακά συστήματα συσχετιζόμενα επί των λειτουργειών των όπλων αυτών.

Σήμερα οι κυβερνήσεις των δεδηλωμένων πυρηνικών δυνάμεων δεν επιδίδονται σε εξοπλιστικούς αγώνες ποσοτικής συσσώρευσης, αλλά έχουν στραφεί προς την αύξηση της ευελιξίας και της διακλαδικότητας, μέσω της επιστημονικής και τεχνολογικής εξέλιξης, των στρατηγικών οπλικών τους συστημάτων, καθώς και στον εκσυγχρονισμό των υποδομών της αμυντικής βιομηχανίας, στοχεύοντας τόσο στη μακροβιότητα του δόγματος της εθνικής αποτρεπτικής ισχύος όσο και της παροχής εγγυήσεων ασφάλειας πυρηνικής κάλυψης προς τα μη-πυρηνικά συμμαχικά κράτη. Επιγραμματικά οι σύγχρονες απαιτήσεις του πυρηνικού οπλικού σχεδιασμού και ασφάλειας αφορούν:

- Την επιβιωσιμότητα και την μη ευαλωτότητα στις επιθέσεις, είτε άμεσες επί του πεδίου της μάχης είτε έμμεσες μέσω του κυβερνοχώρου, προσβάλλοντας λειτουργικά και διοικητικά συστήματα.
- Την ευελιξία και την μεγιστοποίηση της ακρίβειας στόχευσης, πολλαπλασιάζοντας ως εκ τούτου την στρατιωτική αποτελεσματικότητα. Αφορά στην δυνατότητα ανάπτυξης και κάλυψης πολυποίκιλων στρατιωτικών επιχειρήσεων, καθώς και στην βελτιστοποίηση του βεληνεκούς των συστημάτων μεταφοράς και παράδοσης, ως προς την αύξηση της ευστοχίας και της καταστροφικής απόδοσης, επί των κρίσιμων στόχων.
- Την διακριτική ικανότητα, όπου αναφέρετε στο περιορισμό και στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στον άμαχο πληθυσμό, τηρώντας τις αρχές που απορρέουν από το Διεθνές Ανθρωπιστικό Δίκαιο, διακρίνοντας επαρκώς στη πράξη τους στρατιωτικούς από τους πολιτικούς στόχους.
- Την οικονομική βιωσιμότητα επί των αμυντικών κρατικών δαπανών χωρίς να επιβαρύνονται λοιποί κρατικοί τομείς.
- Την εκμετάλλευση και προσαρμογή των αναδυόμενων τεχνολογιών ως προς την σχεδιαστική βελτίωση των οπλικών συστημάτων και των διοικητικών κέντρων, καθώς και ως προς την ανάπτυξη προγραμμάτων προσομοίωσης πυρηνικών εκρήξεων και δοκιμών, ώστε να περιοριστεί όσο είναι δυνατόν ο αντίκτυπος στον άνθρωπο και στο περιβάλλον.
- Την ασφάλεια της επιμελητείας (π.χ. μεταφορά και αποθήκευση) και τον περιορισμό των πιθανοτήτων ατυχημάτων, αστοχίας υλικού και μη εξουσιοδοτημένης χρήσης.
- Τον έλεγχο και την μείωση της διασποράς τόσο των πυρηνικών/ ραδιολογικών όπλων και υλικών όσο και των λοιπών όπλων και υλικών μαζικής καταστροφής (χημικά και βιολογικά).

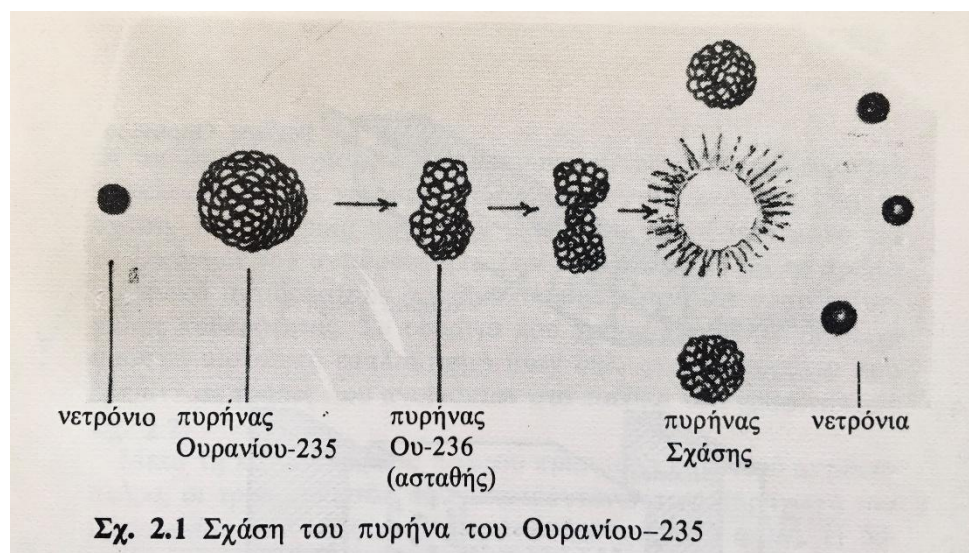
Κλείνοντας, την εν λόγω Διπλωματική Εργασία, θα ήθελα να προσθέσω πως όσον αφορά την Ελλάδα βρίσκεται υπό την πυρηνική σκέπη της προστασίας του ΝΑΤΟ, το οποίο ενέχει ως πυρηνικές δυνάμεις τις ΗΠΑ, την Γαλλία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Η ίδια αποτελεί μη αναδυόμενο πυρηνικό κράτος, δεν διαθέτει ούτε υποδομές παραγωγής ειρηνικής πυρηνικής ενέργειας, δηλαδή πυρηνικά εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής, καθώς η πολιτική βούληση, των έως και σήμερα πολιτικών ηγεσιών, δεν κατατείνει προς αυτή την κατεύθυνση. Προσέτι, εντός αυτού του πολιτικού πλαισίου, είναι συμβαλλόμενο μέρος μιας σειράς διεθνών συμφωνιών και συμβασών αποπυρηνικοποίησης και ελέγχου πυρηνικών εξοπλισμών^{438, 439}.

⁴³⁸ Nuclear Energy Agency (2016). *Nuclear Legislation in OECD and NEA Countries. Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities. Greece*.
<https://www.oecd-nea.org/law/legislation/greece.pdf> &
Greek Atomic Energy Commission (2022). *Greek National Report under the Convention of Nuclear Safety*. Athens. Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας. ΕΕΑΕ.
https://www.iaea.org/sites/default/files/23/11/cns_national_report_2022_greece.pdf

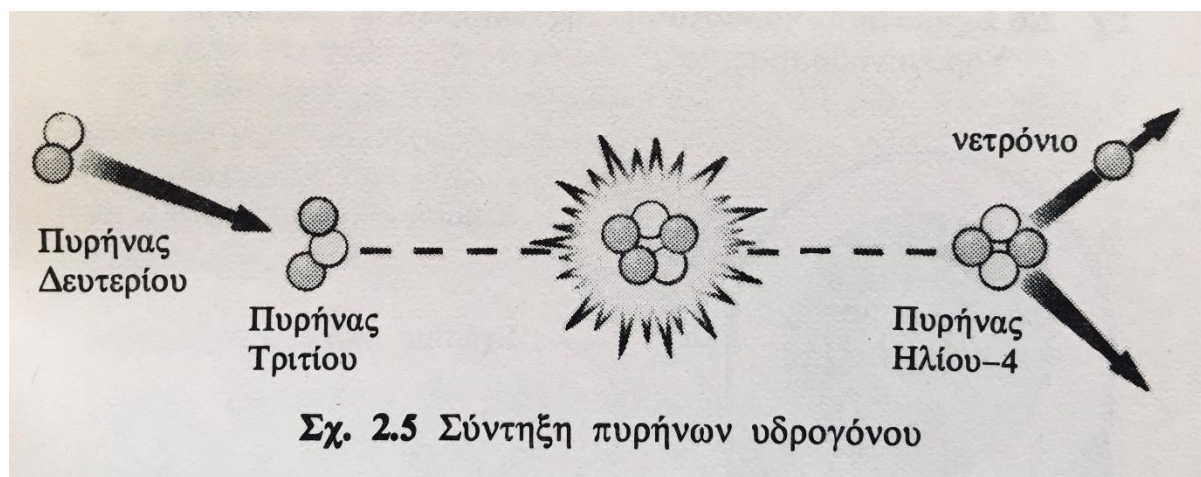
⁴³⁹ Ντόκος, 2024. &
Κουσκουβέλης, 2000. &
Λιόλιος, Θ. (1999). *Το παρόν και το μέλλον των πυρηνικών όπλων*. «Αθηνά» Ελληνικό Κέντρο Ελέγχου Όπλων. ΕΚΕΟ. Θεσσαλονίκη.
<https://ekeo.gr/wp-content/uploads/reports/liolios/presfuturenukes.pdf>

Παράρτημα

1. Εικόνες



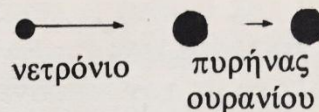
(Θεοφίλου, 1984)



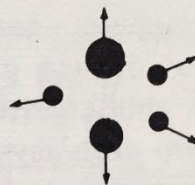
(Θεοφίλου, 1984)

ΣΧ. 2.3 Περιγραφή της Αλυσιδωτής Αντίδρασης

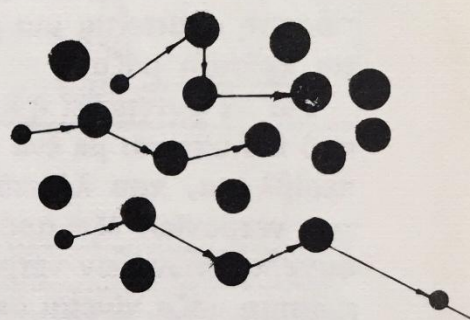
α) Το νετρόνιο συγκρούεται με τον πυρήνα του Ουρανίου-235 και απορροφάται από αυτόν.



β) Ο νέος πυρήνας είναι ασταθής και σπάει. Από το σπάσιμο δημιουργούνται δύο νέοι πυρήνες και 3 νετρόνια.



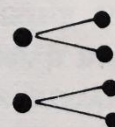
γ) Δύο νετρόνια απορροφούνται και προκαλούν νέες σχάσεις, ενώ ένα νετρόνιο φεύγει έξω από τον όγκο του Ουρανίου.



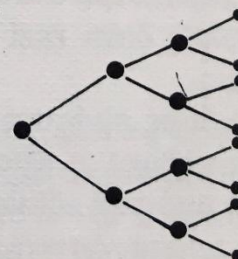
δ) Από κάθε νετρόνιο που απορροφάται σπάει ένας νέος πυρήνας από τον οποίο παράγονται τρία νετρόνια. Έτσι έχουμε τώρα 6 νετρόνια.



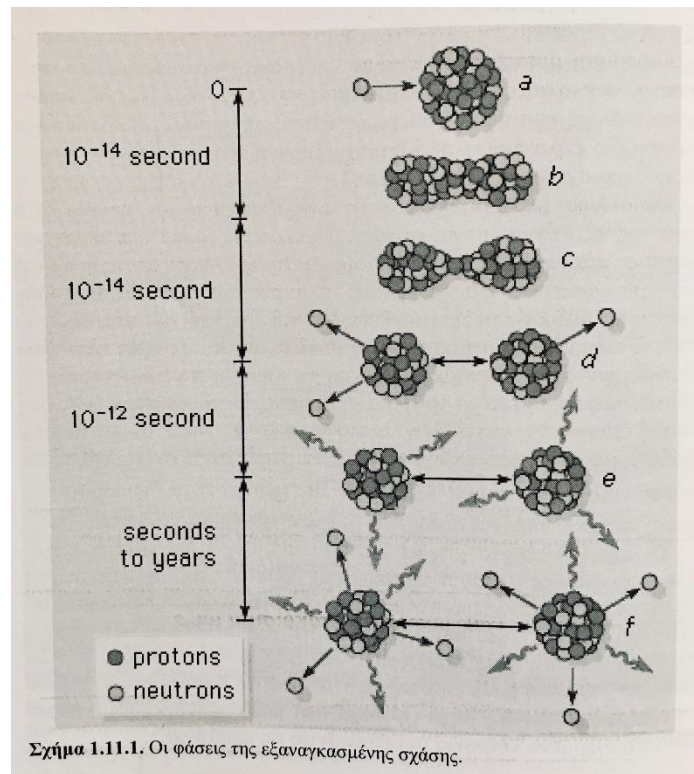
ε) Από κάθε σχάση χάνουμε ένα νετρόνιο. Έτσι παραμένουν συνολικά 4 νετρόνια που προκαλούν 4 νέες σχάσεις.



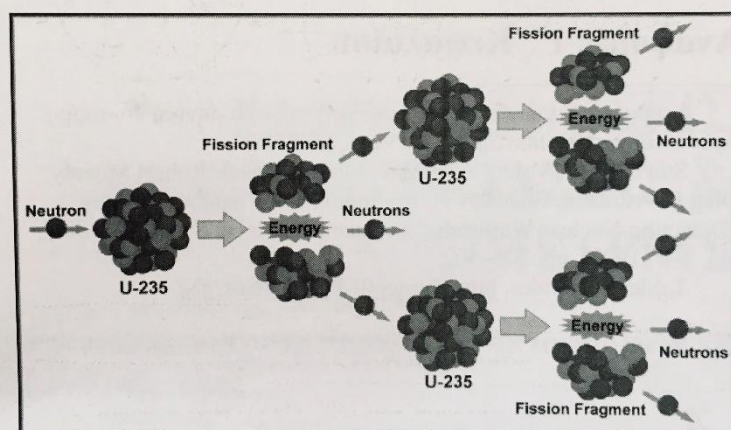
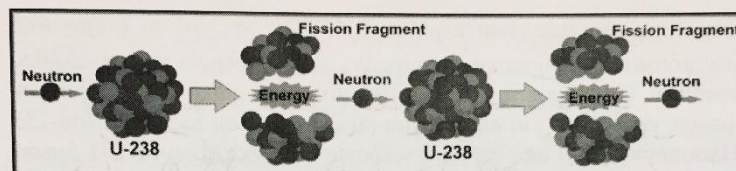
ζ) Ο κύκλος επαναλαμβάνεται και έτσι έχουμε συνεχώς περισσότερα νετρόνια.



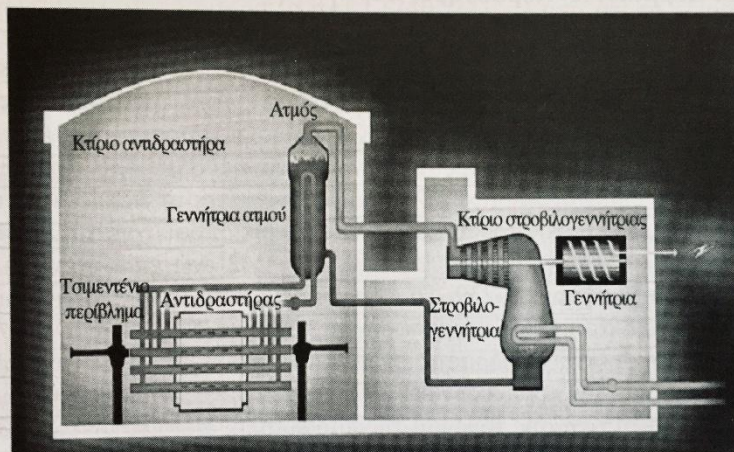
(Θεοφίλου, 1984)



(Λιόλιος, 2009)

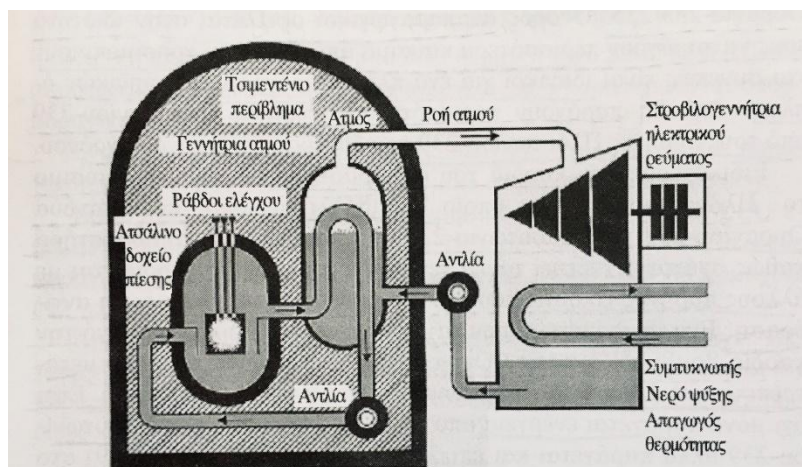


(Λιόλιος, 2009)



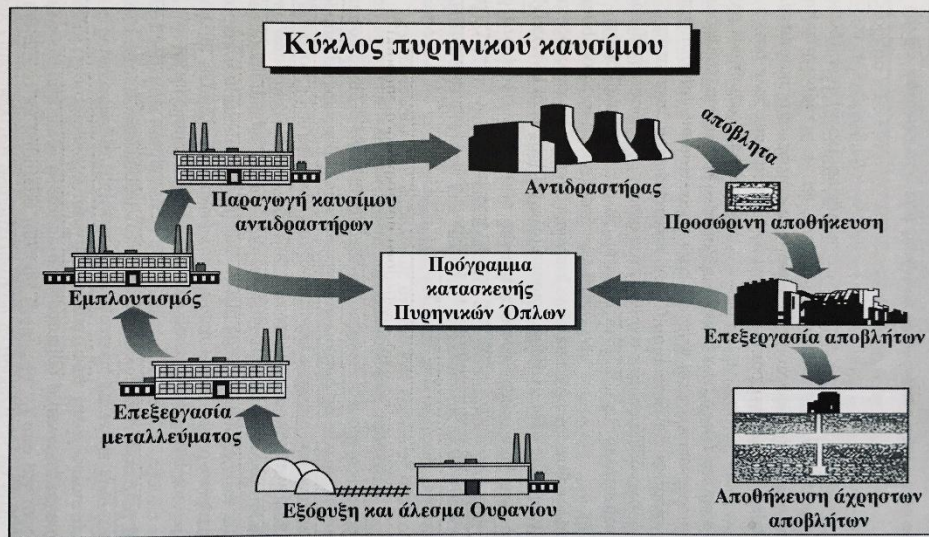
Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ CANDU

(Λιόλιος, 2009)



Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΥΔΑΤΟΣ

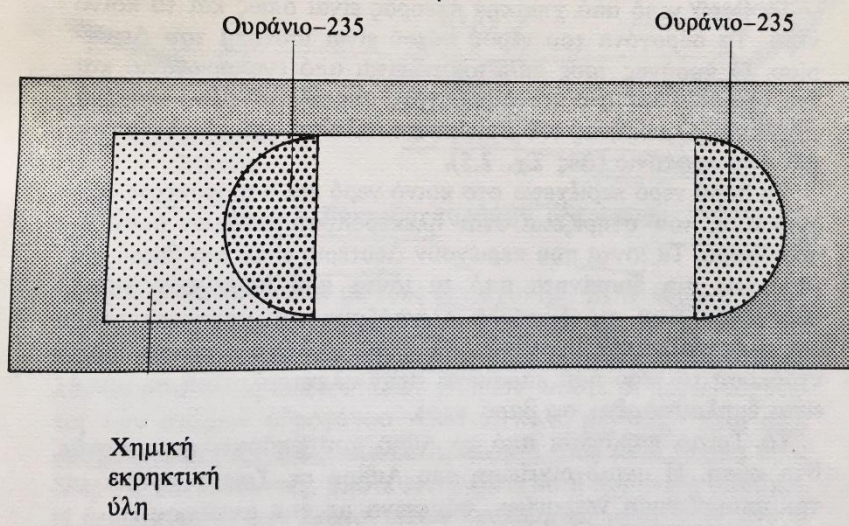
(Λιόλιος, 2009)



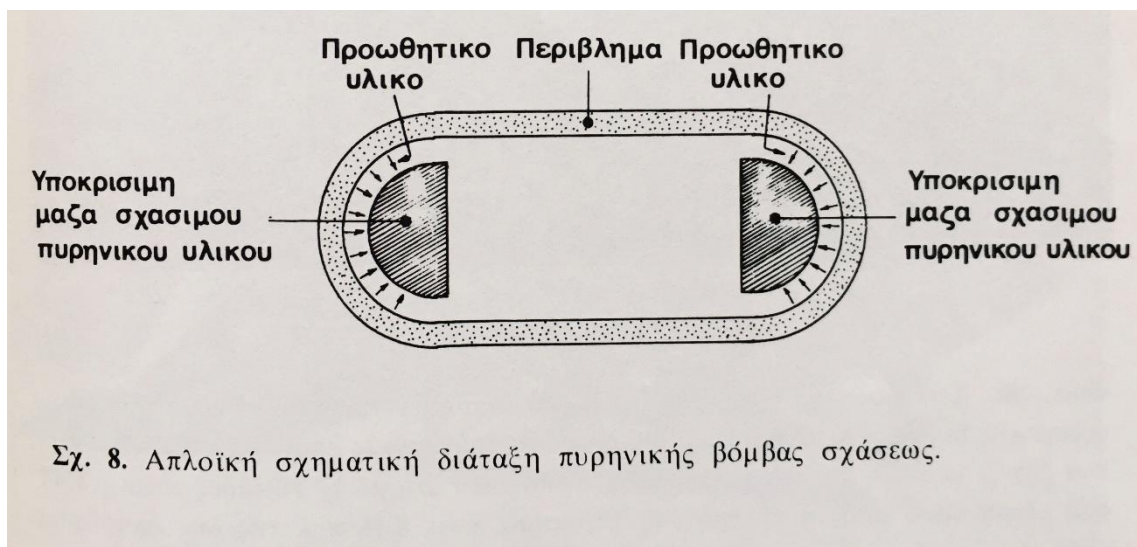
Ο κύκλος του πυρηνικού καυσίμου και οι πλάγιες οδοί που οδηγούν στην κατασκευή των πυρηνικών όπλων

(Λιόλιος, 2009)

Σχ. 2.4 Σχηματική παράσταση της εκρηκτικής συσκευής της βόμβας της Χιροσίμα.



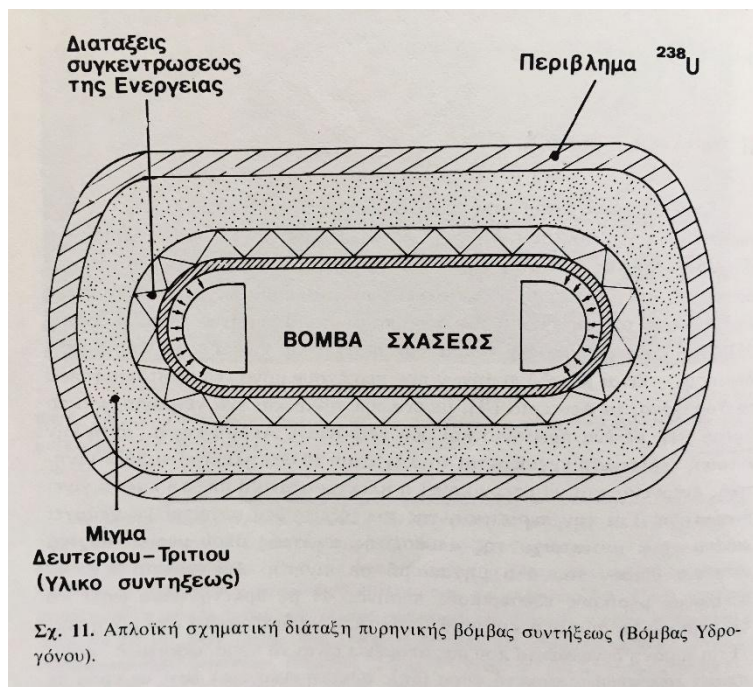
(Θεοφίλου, 1984)



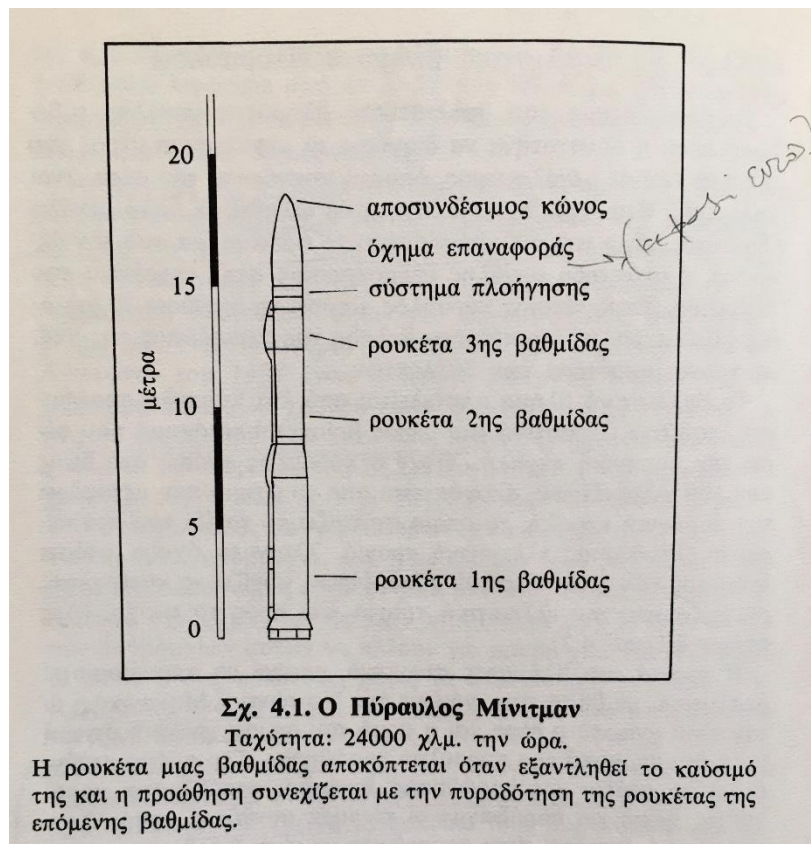
(Οικονόμου, 1991)



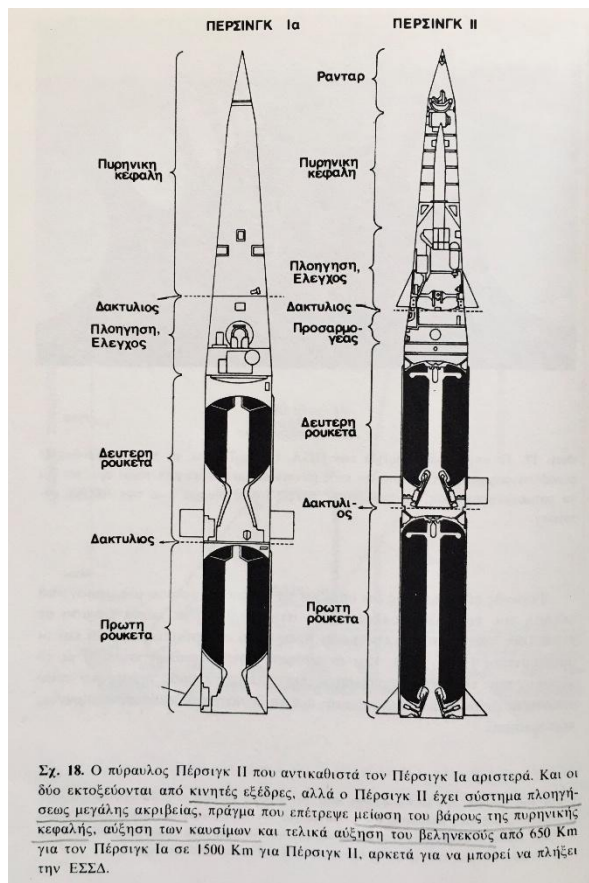
(Θεοφίλου, 1984)



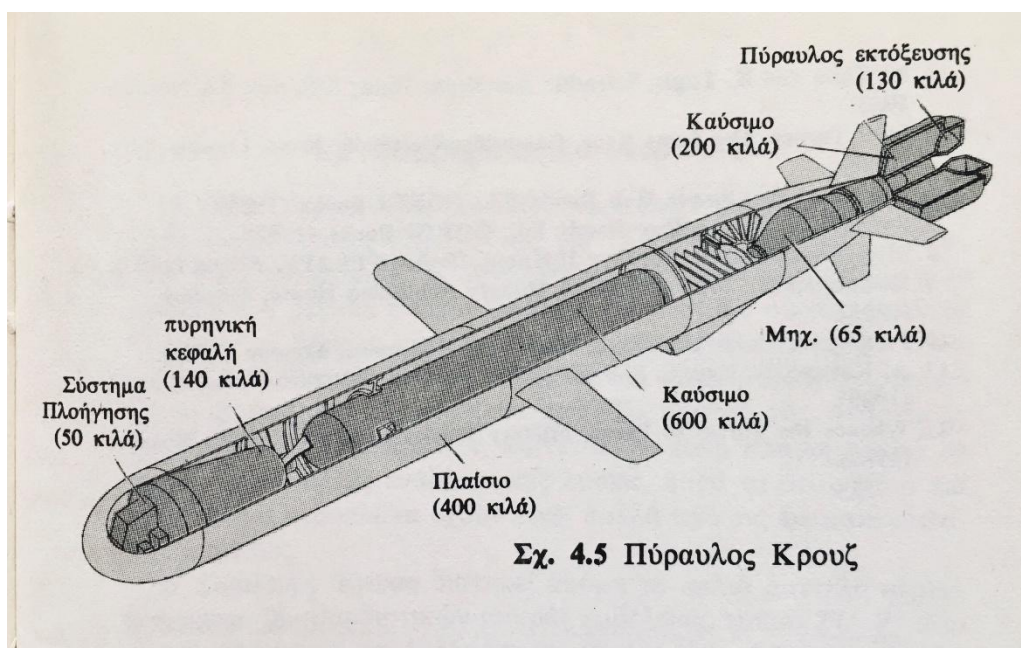
(Οικονόμου, 1991)



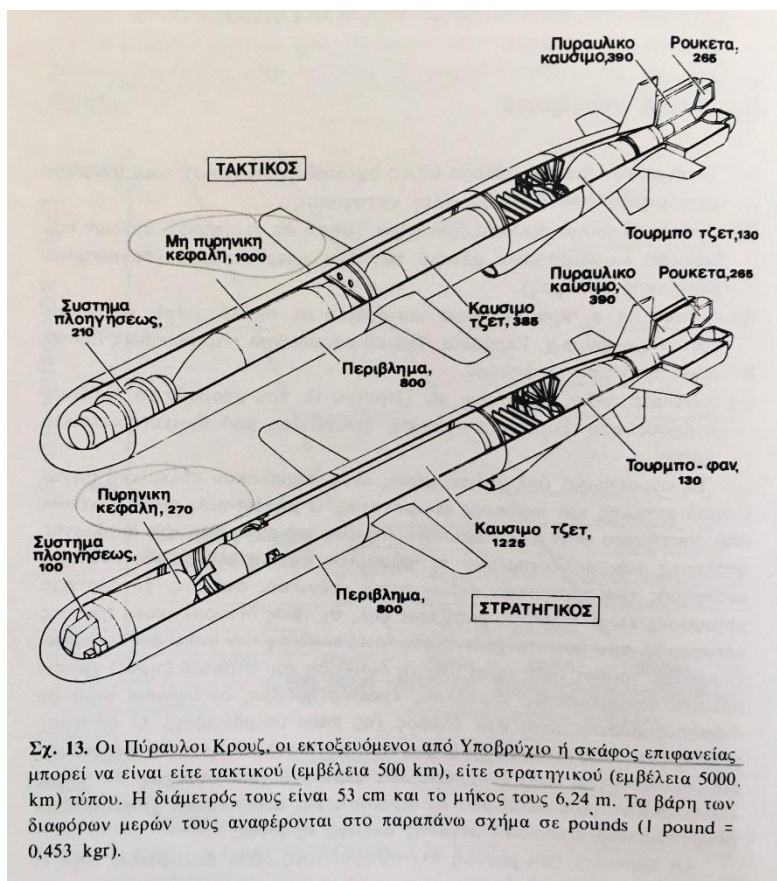
(Θεοφίλου, 1984)



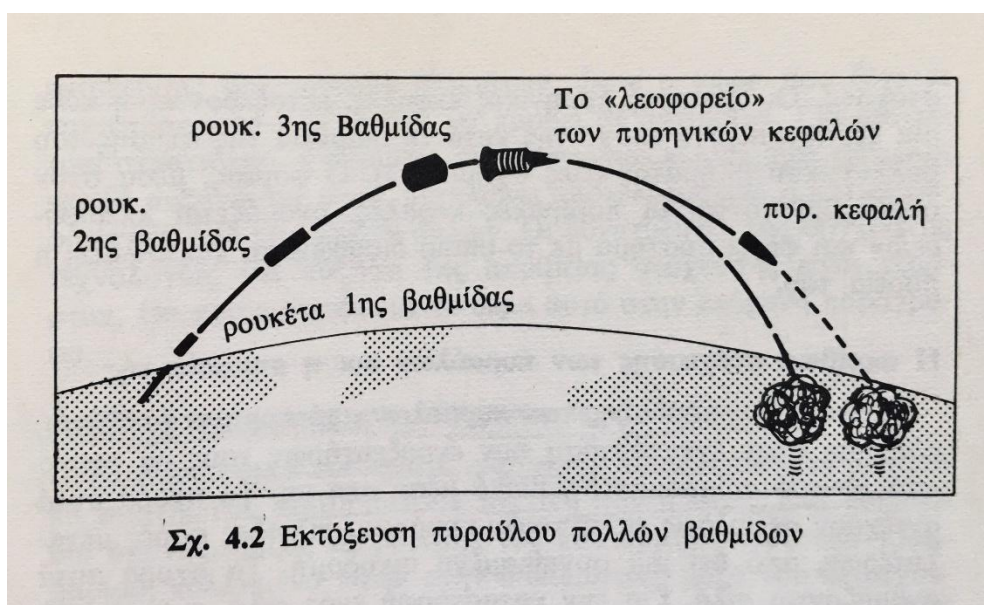
(Οικονόμου, 1991)



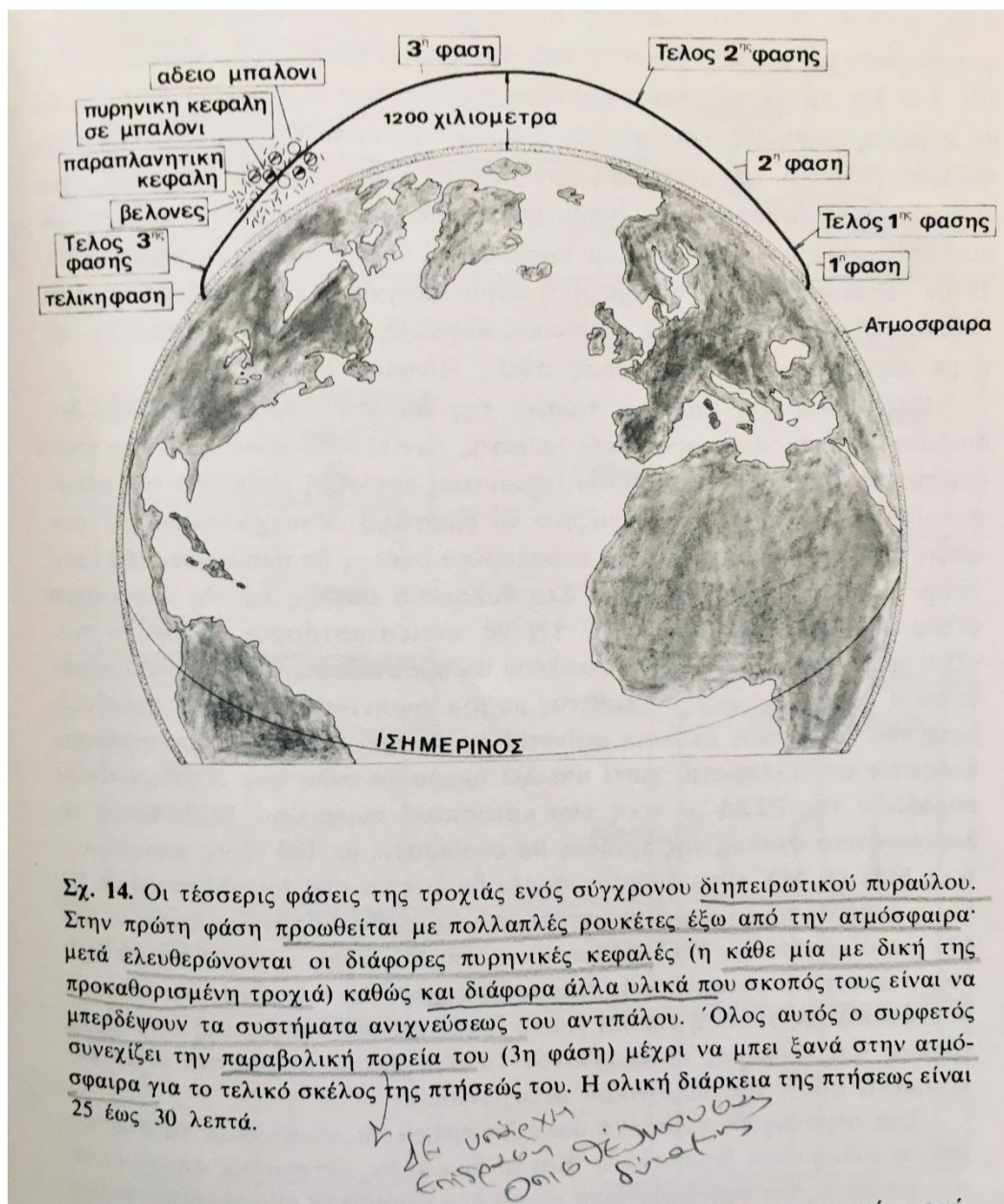
(Θεοφίλου, 1984)



(Οικονόμου, 1991)

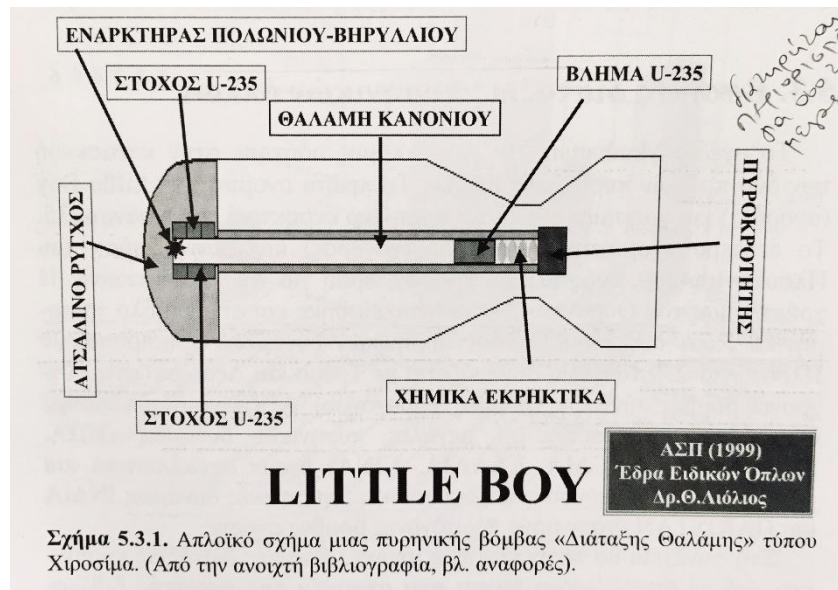


(Θεοφίλου, 1984)

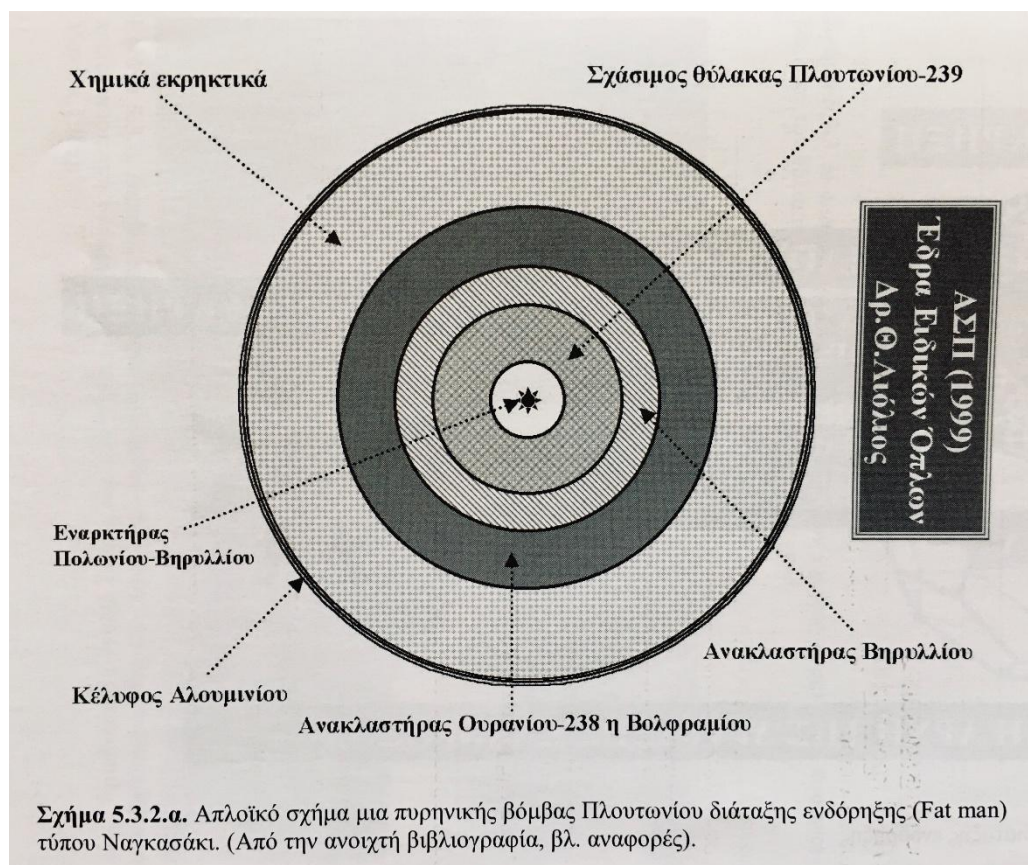


Σχ. 14. Οι τέσσερις φάσεις της τροχιάς ενός σύγχρονου διηπειρωτικού πυραύλου. Στην πρώτη φάση προωθείται με πολλαπλές ρουκέτες έξω από την ατμόσφαιρα· μετά ελευθερώνονται οι διάφορες πυρηνικές κεφαλές (η κάθε μία με δική της προκαθορισμένη τροχιά) καθώς και διάφορα άλλα υλικά που σκοπός τους είναι να μπερδέψουν τα συστήματα ανιχνεύσεως του αντιπάλου. Όλος αυτός ο συρφετός συνεχίζει την παραβολική πορεία του (3η φάση) μέχρι να μπει ξανά στην ατμόσφαιρα για το τελικό σκέλος της πτήσεώς του. Η ολική διάρκεια της πτήσεως είναι 25 έως 30 λεπτά.

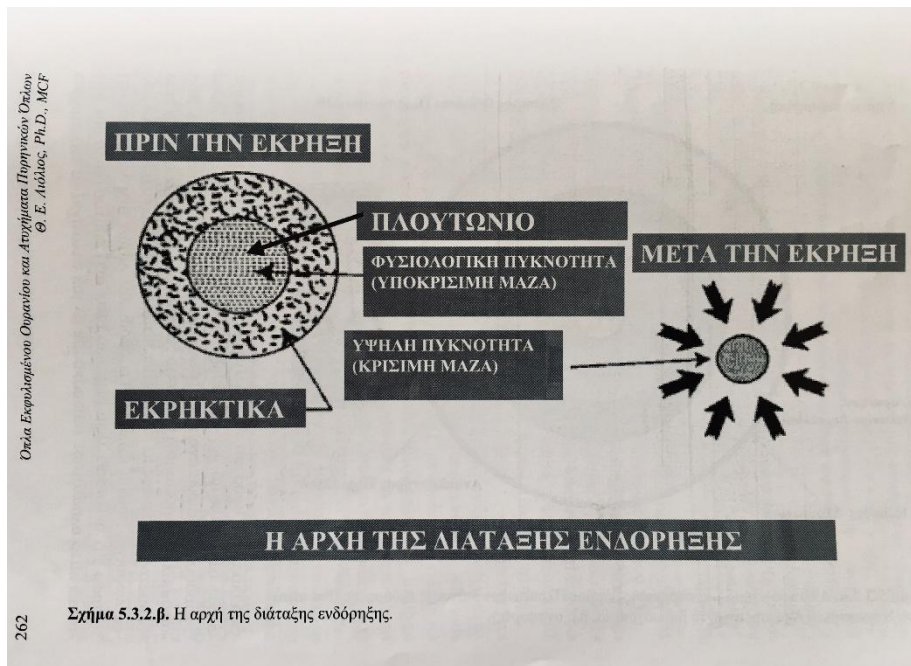
(Οικονόμου, 1991)



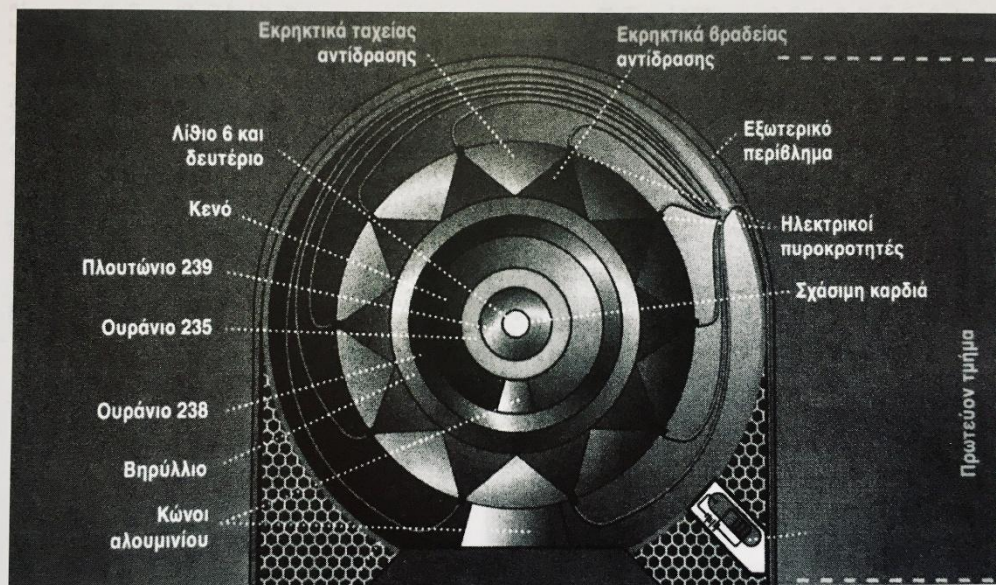
(Λιόλιος, 2009)



(Λιόλιος, 2009)

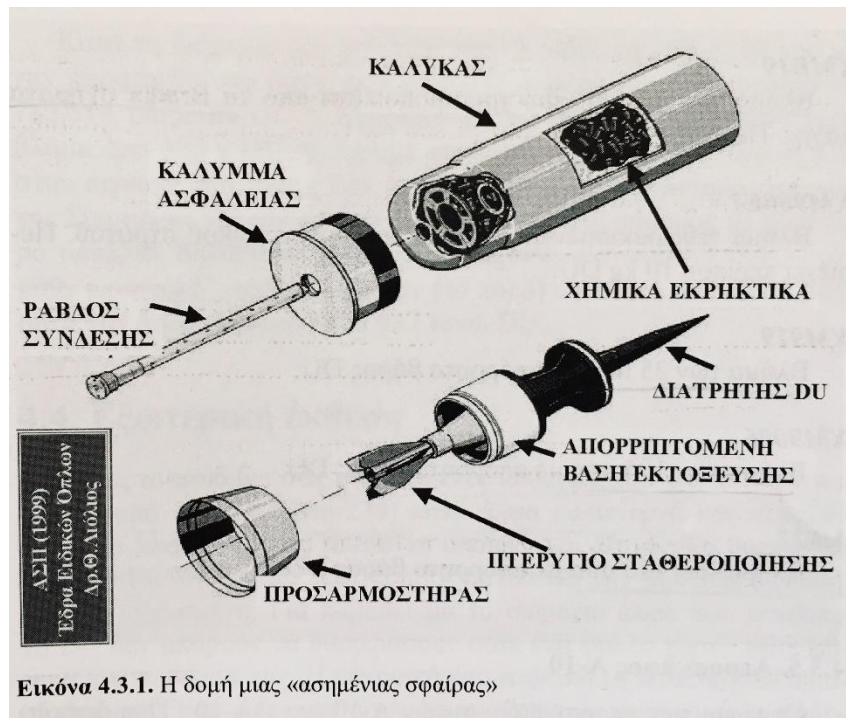


(Λιόλιος, 2009)

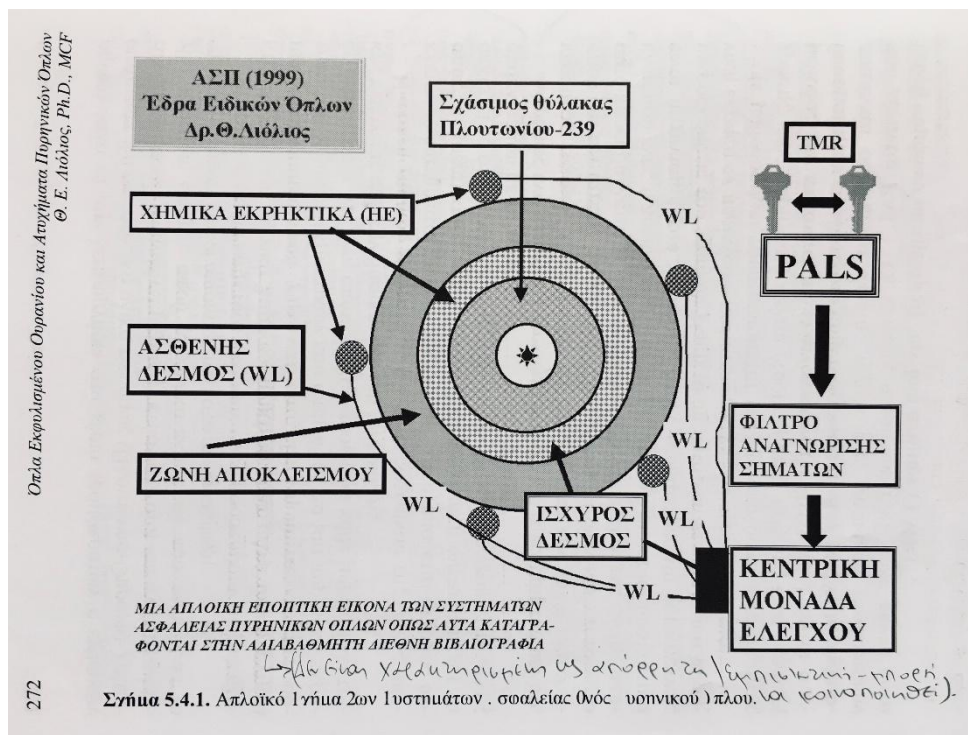


Σχήμα 5.3.4. Απλοϊκό σχήμα μιας πυρηνικής βόμβας ενισχυμένης σχάσης. Η βόμβα αυτή αποτελεί τη «σκανδάλη» της βόμβας Υδρογόνου και της βόμβας Νετρονίων (βλ. σημειώσεις συγγραφέα στην ΑΣΠ και τις αναφορές της ανοιχτής βιβλιογραφίας Κεφ. 5[1-6]).

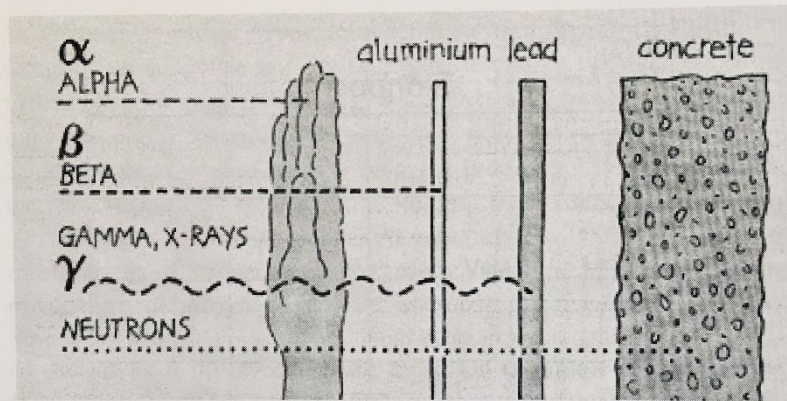
(Λιόλιος, 2009)



(Λιόλιος, 2009)

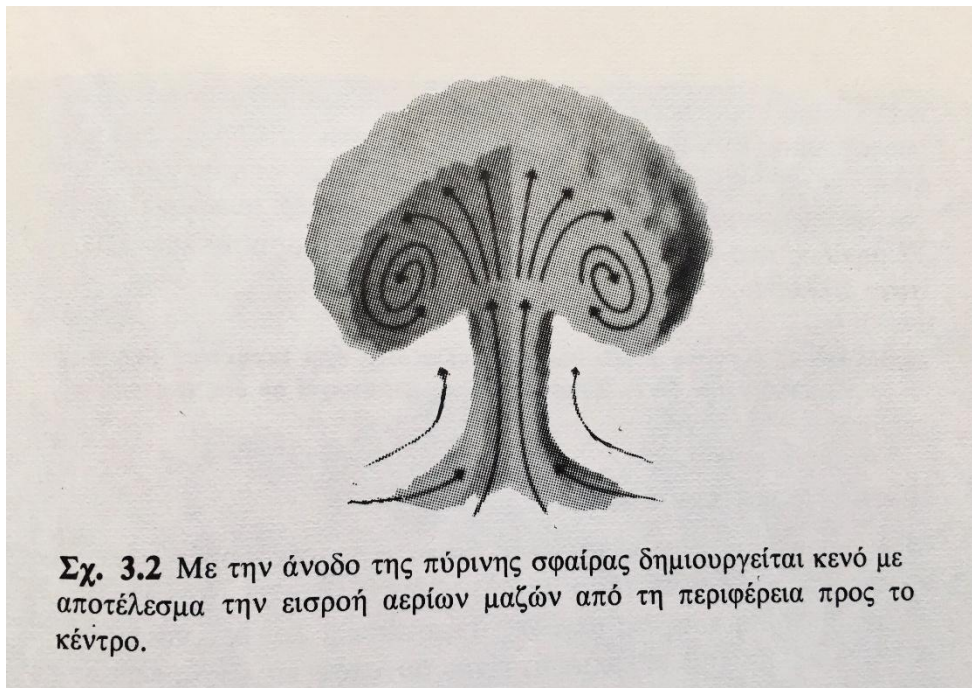


(Λιόλιος, 2009)



Σχήμα 2.1.4. Η απόσβεση της πυρηνικής ακτινοβολίας στο χέρι μας, και σε διάφορα υλικά όπως αλουμίνιο (aluminium), μόλυβδος (lead) και σκυρόδεμα (concrete).

(Λιόλιος, 2009)



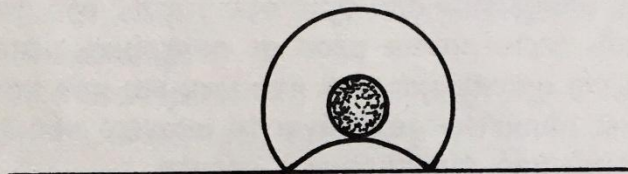
Σχ. 3.2 Με την άνοδο της πυρίνης σφαίρας δημιουργείται κενό με αποτέλεσμα την εισροή αερίων μαζών από τη περιφέρεια προς το κέντρο.

(Θεοφίλου, 1984)

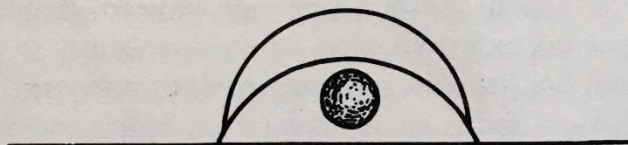
Σχ. 3.1. Οι διάφορες φάσεις μιας πυρηνικής έκρηξης.



Σχ. 3.1α 1.8 δευτερόλεπτα μετά την έκρηξη



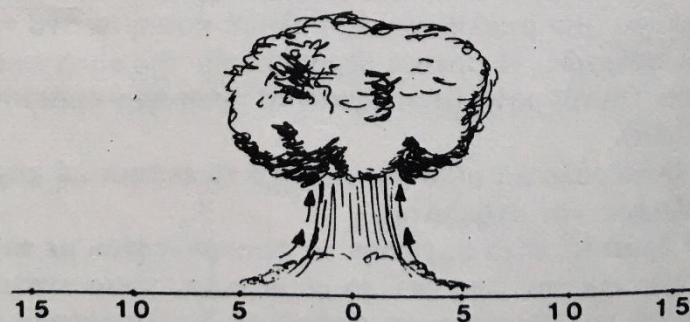
Σχ. 3.1β. 4.6 δευτερόλεπτα μετά την έκρηξη



Σχ. 3.1γ. 11 δευτερόλεπτα μετά την έκρηξη.



Σχ. 3.1δ. 37 δευτερόλεπτα μετά την έκρηξη.



Σχ. 3.1ε. 110 δευτερόλεπτα μετά την έκρηξη.

(Θεοφίλου, 1984)

2. Διαδραστικοί χάρτες και άλλα

Wellerstein, A. (n.d.). *Nukemap*. Restricted Data. A Nuclear History Blog.

<https://nuclearsecrecy.com/nukemap/>

Wellerstein, A. (n.d.). *Missilemap*. Restricted Data. A Nuclear History Blog.

<https://nuclearsecrecy.com/missilemap/>

Missile Threat. CSIS Missile Defence Project. (2017, April 19). *Missile Maps and Data Visualizations*.

<https://missilethreat.csis.org/missile-maps-infographics/>

Non-proliferation Policy Education Center (n.d.). *Atlas of the World's Nuclear Arsenals and Related*

<https://npolicy.org/interactive-nuclear-atlas/Facilities>.

Bulletin of the Atomic Scientists (n.d.). *Doomsday Clock*.

<https://thebulletin.org/doomsday-clock/>

Heroicrelics.org

<http://heroicrelics.org/index.html>

3. Επιπλέον πηγές προς μελέτη (e-Books)

Kristensen, H. M. (2005). *U.S. Nuclear Weapons in Europe. A Review of Post-Cold War Policy, Force Levels, and War Planning*. Natural Resources Defense Council.

<https://media.ellinikahoaxes.gr/uploads/2024/07/%CE%AD%CE%B3%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%BF.pdf>

Smyth, H. D. (1945). *Atomic energy for military purposes; the official report on the development of the atomic bomb under the auspices of the United States Government, 1940-1945*. Internet Archive.

<https://archive.org/details/atomicenergyform00smytrich/page/n3/mode/2up>

Fehner, T. R., & Gosling, F. G. (2006). *Atmospheric Nuclear Weapons Testing 1951 – 1963*. Battlefield of the Cold War. The Nevada Test Site. United States Department of Energy.

<https://www.energy.gov/sites/prod/files/DOENTSAAtmospheric.pdf>

U.S. Department of Energy (1982). *The First Reactor*.

<https://www.energy.gov/sites/prod/files/The%20First%20Reactor.pdf>

Headquarters, Departments of the Army, the Navy, and the Air Force, and Commandant, Marine Corps. (2001, December 20). *Treatment of Nuclear and Radiological Casualties*.

<https://irp.fas.org/doddir/army/fm4-02-283.pdf>

Weber, A. (2013, August 22/ 2020, July 21). *Nuclear Weapon Accident Response Procedures (NARP)*. Manual. U.S. Department of Defence.

https://irp.fas.org/doddir/dod/m3150_08.pdf

4. Γλωσσάρια

Κωνσταντίνου, Δ. (2006). *Γλωσσάρι όρων πυρηνικής φυσικής και φυσικής σωματιδίων*. Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών. Τομέας Φυσικής. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

https://www.physics.ntua.gr/POPPHYS/articles/GLWSSARI_KWNSTANTINOU.html

P5 Glossary of Key Nuclear Terms (2015).

<https://2009-2017.state.gov/documents/organization/243293.pdf>

Atomic Heritage Foundation (2014, June 18). *Atomic Glossary*. National Museum of Nuclear Science & History.

<https://ahf.nuclearmuseum.org/ahf/history/atomic-glossary/>

Davies, G. (2014). *Glossary of Nuclear Terms*. Burges Salmon LLP. Nuclear Institute.

[https://nuclearinst.com/write/MediaUploads/Resources/Burges_Salmon_Glossary_of_Nuclear_Terms_-_July_2014_\(FINAL_VERSION\).pdf](https://nuclearinst.com/write/MediaUploads/Resources/Burges_Salmon_Glossary_of_Nuclear_Terms_-_July_2014_(FINAL_VERSION).pdf)

NATO (2007). *Nuclear Terms and Definition in English*.

https://www.nato.int/docu/glossary/eng-nuclear/nuc_glos-e.pdf

World Nuclear Association (2025, January 8). *Nuclear Glossary*.

<https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/nuclear-glossary#A>

IAEA – International Atomic Energy Agency (2018). *IAEA Safety Glossary. Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection*.

https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1830_web.pdf

NTI – Nuclear Threat Initiative (n.d.). *Glossary*.

<https://www.nti.org/education-center/glossary/>

Βιβλιογραφία

Αναφέρονται η κύρια βιβλιογραφία, η ηλεκτρονική βιβλιογραφία (e-Books) και οι διαδικτυακές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν, με σύνεση και σεβασμό ως προς τους συγγραφείς τους, για την συγγραφή της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Οι επιπρόσθετες ηλεκτρονικές βιβλιογραφικές και διαδικτυακές πηγές, που αφορούσαν μεμονωμένα θεματικά τμήματα των εκάστοτε κεφαλαίων και υποκεφαλαίων, καθώς και του τμήματος της εισαγωγής και του epilόγου, είναι πλήρως υποσημειωμένες ως αναφορές εντός των ανάλογων σελίδων.

Βιβλία:

Λιόλιος, Θ. (2009). *Όπλα Εκφυλισμένου Ουρανίου και Ατυχήματα Πυρηνικών Όπλων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη.

Θεοφύλου, Α (1984). *Πυρηνικά Όπλα*. Αθήνα: Εκδόσεις ΕΠΕΔΙΚΑ.

Οικονόμου, Λ. (1991). *Πυρηνικά όπλα και Ανθρώπινος Πολιτισμός. Συμβίωση Χωρίς Μέλλον*. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Ζαλίδης, Β. Ν. (2023). *Το Νομικό Καθεστώς των Πυρηνικών Όπλων και η Συνθήκη Απαγόρευσής τους*. Αθήνα – Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΣΑΚΚΟΥΛΑ.

Κουσκουβέλης, Η. Ι. (2000). *Θεωρία Διεθνών Σχέσεων στο Ψυχρό Πόλεμο. Αποτροπή και Πυρηνική Στρατηγική*. Αθήνα: Εκδόσεις Ποιότητα.

Ντόκος, Θ. Π. (2024). *Πυρηνική Εποχή*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαδόπουλος.

Βερέττας, Μ. (2011). *Τα Πυρηνικά*. Ρόδος: Εκδόσεις Βερέττα.

Διαδικτυακές πηγές – e-Books:

Στην Ελληνική γλώσσα:

Τσίπης, Κ. (1999). *Εγχειρίδιο Πυρηνικών Όπλων* (Θ. Λιόλιος, Επιμ.). Ανώτατη Σχολή Πολέμου. Θεσσαλονίκη.

<https://www.ekeo.gr/wp-content/uploads/2010/04/tsipisasp99.pdf>

Λιόλιος, Θ. (1999). *Σημειώσεις Πυρηνικών Όπλων*. «Αθηνά» Ελληνικό Κέντρο Ελέγχου Όπλων.

<https://ekeo.gr/wp-content/uploads/reports/liolios/nuclear%20weapons%20notes.pdf>

Λιόλιος, Θ. (1999). *Το Παρόν και το Μέλλον των Πυρηνικών Όπλων*. «Αθηνά» Ελληνικό Κέντρο Ελέγχου Όπλων.

<https://ekeo.gr/wp-content/uploads/reports/liolios/presfuturenukes.pdf>

Μισαηλίδης, Π. *Ραδιοχημεία*. Σημειώσεις μαθημάτων. ΕΚΠΑ (Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών).

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/index.php?course=CHEM199&openDir=/59ca2285JzWl>

Neutron Physics Group. Σημειώσεις. Τμήμα Φυσικής. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.

<http://nuclear.physics.uoi.gr/classes/notes/>

Τι ακριβώς είναι το εξαντλημένο ουράνιο. ΕΚΠΑ (Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών).

http://users.uoa.gr/~nektar/science/environment/denriched_uranium.htm

Απεμπλουτισμένο Ουράνιο (Depleted Uranium, DU). Επίσημη Ιστοσελίδα Κυπριακής Δημοκρατίας. Gov.Cy.

[https://www.mlsl.gov.cy/mlsi/dli/dliup.nsf/0E955DD5C30CB26CC2257E29004201A9/\\$file/Depleted_Uranium.pdf](https://www.mlsl.gov.cy/mlsi/dli/dliup.nsf/0E955DD5C30CB26CC2257E29004201A9/$file/Depleted_Uranium.pdf)

Γαλδαδάς, Α. (2006, 19 Φεβρουαρίου). *Ατομική βόμβα, μικρό εγχειρίδιο για ανησυχούντες*. Βήμα της Κυριακής. ΕΚΠΑ (Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών).

http://users.uoa.gr/~nektar/science/physics/atomic_bomb.htm

Τσαλακός, Γ. (2005). *Ποιοι και πως κατασκεύασαν την Ατομική Βόμβα*. Μάθημα Φυσικής Μέσης Γενικής Εκπαίδευσης.

https://fyskm.schools.ac.cy/archeia/arthra_erevnes_meletes/atomiki_vomva.pdf

Κυπριακή Δημοκρατία. (1019). *Εθνική Πολιτική και Στρατηγική για την Πυρηνική Ασφάλεια και την Ακτινοπροστασία*. Υπουργείο Εργασίας, Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων. Τμήμα Επιθεώρησης Εργασίας. Υπηρεσία Ελέγχου και Επιθεώρησης για Ακτινοβολίες.

[https://www.mlssi.gov.cy/mlssi/dli/dliup.nsf/AC28D686289700F1C2257D12003F45DC/\\$file/%CE%95%CE%B8%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%A3%CF%84%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%B7%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%A0%CF%85%CF%81%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%91%CF%83%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CE%B1_%CE%BA%CE%B1%CE%B9_%CE%91%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1.pdf](https://www.mlssi.gov.cy/mlssi/dli/dliup.nsf/AC28D686289700F1C2257D12003F45DC/$file/%CE%95%CE%B8%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%A3%CF%84%CF%81%CE%B1%CF%84%CE%B7%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%A0%CF%85%CF%81%CE%B7%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%91%CF%83%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CE%B1_%CE%BA%CE%B1%CE%B9_%CE%91%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1.pdf)

Στην Αγγλική γλώσσα:

Acquisition & Sustainment. Office of the Under Secretary of Defense. (2020). *The Nuclear Matters Handbook [Revised]*.

<https://www.acq.osd.mil/ncbdp/nm/NMHB2020rev/index.html>

Erästö. T. (2023). *The Role of Umbrella States in the Global Nuclear Order*. SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute).

<https://www.sipri.org/publications/2023/sipri-insights-peace-and-security/role-umbrella-states-global-nuclear-order>

Song. H. H. (2017, December 7). *Nuclear Weapons 101: Back to the Basics*. Columbia K=1 Project. Center of Nuclear Studies. Columbia University.

<https://k1project.columbia.edu/news/nuclear-weapons-101-back-basics>

Wisconsin Project on Nuclear Arms Control (n.d.). *Nuclear Weapons Primer*.

<https://www.wisconsinproject.org/nuclear-weapons/>

Glasstone, S., & Dolan, P. J. (1977/ 2022). *The Effects of Nuclear Weapons*. Atomic Archive.
<https://atomicarchive.com/resources/documents/effects/glasstone-dolan/index.html>

Union of Concerned Scientists (2016, September 29/ 2023, August 23). *How Do Nuclear Weapons Work?*
<https://www.ucs.org/resources/how-nuclear-weapons-work>

Union of Concerned Scientists (2009, July 18/ 2024, August 28). *Fissile Materials Basics*.
<https://www.ucs.org/resources/fissile-materials-basics>

Institute for Science and International Security (n.d.). *I. Key Nuclear Explosive Materials*.
https://www.isis-online.org/publications/fmct/primer/Section_I.html

World Nuclear Association (2024, May 16). *What is Uranium? How Does it Work?*
<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/what-is-uranium-how-does-it-work>

IAEA (International Atomic Energy Agency) (n.d.). *Depleted Uranium*.
<https://www.iaea.org/topics/spent-fuel-management/depleted-uranium>

U.S.NRC (United States Nuclear Regulatory Commission). Protecting People and the Environment (2020, December 2). *Uranium Enrichment*.
<https://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/ur-enrichment.html>

Galindo, A. (2022, November 15). *What is Nuclear Energy? The Science of Nuclear Power*. IAEA (International Atomic Energy Agency).
<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-energy-the-science-of-nuclear-power>

Miller, J. (2023, October 10). *A Tale of Two Bomb Designs*. Los Alamos National Laboratory.
<https://www.lanl.gov/media/publications/the-vault/1023-a-tale-of-two-bomb-designs>

Wellerstein, A. (n.d.). *Manhattan Project*. Encyclopedia of the History of Science. Carnegie Mellon University.
<https://ethos.lps.library.cmu.edu/article/id/35/>

Wolfson, R., & Dalnoki-Veress, F. (n.d.). *The Devastating Effects of Nuclear Weapons*. The MIT Press Reader.

<https://thereader.mitpress.mit.edu/devastating-effects-of-nuclear-weapons-war/>

Wolfgang, R. B. (n.d.). *The Enhanced Nuclear Detonation Safety Theme – an Introduction*. Sandia National Laboratories. U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information.

<https://www.osti.gov/servlets/purl/1090221>

Donnell, A. P. (n.d.). *A Robust Approach to Nuclear Weapon Safety*. Sandia National Laboratories. U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information.

<https://www.osti.gov/servlets/purl/1120301>

Garwin, R. L. (1999). *Technical Aspects of Ballistic Missile Defense*. The Garwin Archive.

<https://rlg.fas.org/garwin-aps.htm>

Nuclear Threat Initiative. NTI Education Tutorials.

<https://tutorials.nti.org/>

Polmar, N., & Norris, R. S. (2010). *The Weird Nukes of Yesteryear*. Air & Space Forces Magazine.

<https://www.airandspaceforces.com/PDF/MagazineArchive/Documents/2010/September%202010/0910nukes.pdf>

Kristensen, H., Korda, M., Johns, E., Knight, M., & Kohn, K. (2024, March 29). *Status of World Nuclear Forces*. Federation of American Scientists.

<https://fas.org/initiative/status-world-nuclear-forces/>

Tuma, M. (2024, October 21). *Militarisation of Space and Nuclear Weapons*. Institute of International Relations Prague.

<https://www.iir.cz/en/militarisation-of-space-and-nuclear-weapons>

Buckley, C. (2017, September 4). *Star Wars Strikes Back: Return of Space-Based Missile Defense*. Air Power Strategy.

<https://www.airpowerstrategy.com/2017/09/04/space-missile-defense/>

Chernavskikh, V. (2024). *Nuclear Weapons and Artificial Intelligence: Technological Promises and Practical Realities*. SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute).

<https://www.sipri.org/publications/2024/sipri-background-papers/nuclear-weapons-and-artificial-intelligence-technological-promises-and-practical-realities>

McNamara, E. M. (2024). Nuclear arms control policies and safety in artificial intelligence: Transferable lessons or false equivalence? FIIA (Finnish Institute of International Affairs).

<https://fii.fi/en/publication/nuclear-arms-control-policies-and-safety-in-artificial-intelligence>

Rautenbach, P. (2022). *On Integrating Artificial Intelligence with Nuclear Control*. Arms Control Association.

<https://www.armscontrol.org/act/2022-09/features/integrating-artificial-intelligence-nuclear-control>

Meier, O. (2024, June 27). *The fast and the deadly: When Artificial Intelligence meets Weapons of Mass Destruction*. European Leadership Network.

<https://europeanleadershipnetwork.org/commentary/the-fast-and-the-deadly-when-artificial-intelligence-meets-weapons-of-mass-destruction/>

Σας ευχαριστώ!

Ιφιγένεια Δεριζιώτη

ΤΕΛΟΣ

