

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ 2021



Εργασία για το μάθημα της φυσικής

Καθηγητής: Τσιγαρίδας Γεώργιος

Σπουδαστές: Κεραμυδάς Πάυλος (περίληψη-
εισαγωγή-θεωρητικό υπόβαθρο)

Καραπιστόλης Δημήτρης (πρακτικές εφαρμογές-
δυνατότητες για μελλοντική εξέλιξη-βιβλιογραφία)

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΠΤΩΣΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	σελ.2
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ.3
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	
3.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ.....	σελ.4
3.2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	σελ.5
3.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ	
ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.....	σελ.7
4. ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	
4.1. ΑΛΕΞΙΠΤΩΤΟ.....	σελ.9
4.2. ΠΕΙΡΑΜΑ ZERO-GRAVITY.....	σελ.10
5. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ	
ΕΞΕΛΙΞΗ.....	σελ.13
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	σελ.15

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην προκείμενη εργασία θα διεξαχθεί ένα θέμα της μηχανικής φυσικής και συγκεκριμένα αυτό της ελεύθερης πτώσης. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να γίνει η σωστή κατανόηση και εμπέδωση των βασικών αρχών του κεφαλαίου αυτού καθώς και να προσφερθεί μια ευρύτερη γνώση στο αντικείμενο. Η ευρύτερη αυτή γνώση κυμαίνεται από σύγχρονες εφαρμογές στη καθημερινότητα μας έως μελλοντικές δυνατότητες που θα μπορούσε να δημιουργήσει για την εκάστοτε κοινωνία. Συνεπώς, το κείμενο πρόκειται για μια χρήσιμη αναφορά σε αυτόν τον ειδικό τομέα του κόσμου της φυσικής.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της ελεύθερης πτώσης αποτελεί υποενότητα της μηχανικής φυσικής και βασικό κεφάλαιο στις κινήσεις μίας διάστασης. Ο πρώτος που ανέπτυξε τις ιδέες και τους νόμους που διέπουν την κίνησης σωμάτων σε ελεύθερη πτώση στο σήμερα ήταν ο Γαλιλαίος (1564-1642) ο οποίος ήταν ιταλός φυσικός και αστρονόμος. Ο ίδιος λοιπόν διατύπωσε, περίπου το 1600, πως εάν η αντίσταση του αέρα θεωρηθεί αμελητέα, τότε όλα τα σώματα που ελευθερώνονται από κάποιο ύψος κοντά στην επιφάνεια της Γης πέφτουν προς αυτή με την ίδια σταθερή επιτάχυνση, υπό την επίδραση της γήινης βαρύτητας. Έως τότε οι επικρατούμενες απόψεις ήταν αυτές του Αριστοτέλη ο οποίος υποστήριζε διαφορετικά από τον Γαλιλαίο πως τα βαρύτερα σώματα πέφτουν πιο γρήγορα από τα ελαφρύτερα. Η πιο χαρακτηριστική του εφαρμογή είναι η πτώση των αλεξιπτωτιστών από ελικόπτερο. Άλλο παράδειγμα είναι αυτό που χρησιμοποίησε ο ίδιος ο Γαλιλαίος για να φτάσει στα συμπεράσματά του. Ανέβηκε δηλαδή, στον πύργο της Πίζας και άφησε δύο μεταλλικές σφαίρες διαφορετικής μάζας να πέσουν στο έδαφος και παρατήρησε πως έφτασαν και οι δύο την ίδια στιγμή. Όλα αυτά όμως θεμελιώθηκαν με τους γενικούς νόμους που διατύπωσε ο Νεύτωνας για κάθε μορφή κίνησης και η ελεύθερη πτώση έπαψε να αποτελεί ξεχωριστό αντικείμενο μελέτης.

3.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Όπως λοιπόν αναφέρθηκε και προηγουμένως, ως ελεύθερη πτώση χαρακτηρίζεται η κίνηση ενός σώματος, το οποίο αφήνεται να πέσει ελεύθερα κάτω από την επίδραση του βάρους και μόνο. Αυτό σημαίνει, ότι δεν παίρνεται υπόψη τόσο η αντίσταση του αέρα όσο και η περιστροφή της Γης. Η κίνηση αυτή δεν εξαρτάται από την αρχική κατάσταση/κίνηση του σώματος. Είτε δηλαδή προωθηθούν προς τα πάνω ή κάτω είτε βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας όλα εκτελούν ελεύθερη πτώση από τη στιγμή που αφεθούν.

Πρόκειται για μια ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση με επιτάχυνση ίση με την επιτάχυνση της βαρύτητας, η οποία είναι $g=9.80 \text{ m/s}^2$. Πολλές φορές το g γίνεται $g=10 \text{ m/s}^2$ για διευκόλυνση στις πράξεις, καθώς το ίδιο το g έχει μικρές διακυμάνσεις ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και ύψος της Γης στο οποίο συμβαίνει το πείραμα.

Θέτοντας την αρχική ταχύτητα $v_0=0$ και την επιτάχυνση $a=g$ για το διάστημα s , το διάστημα αυτό και το μέτρο της ταχύτητας v θα ισχύουν οι γνωστές από τη μελέτη της ευθύγραμμης ομαλά επιταχυνόμενης, χωρίς αρχική ταχύτητα κίνησης, σχέσεις:

$$s=(1/2)*gt^2$$

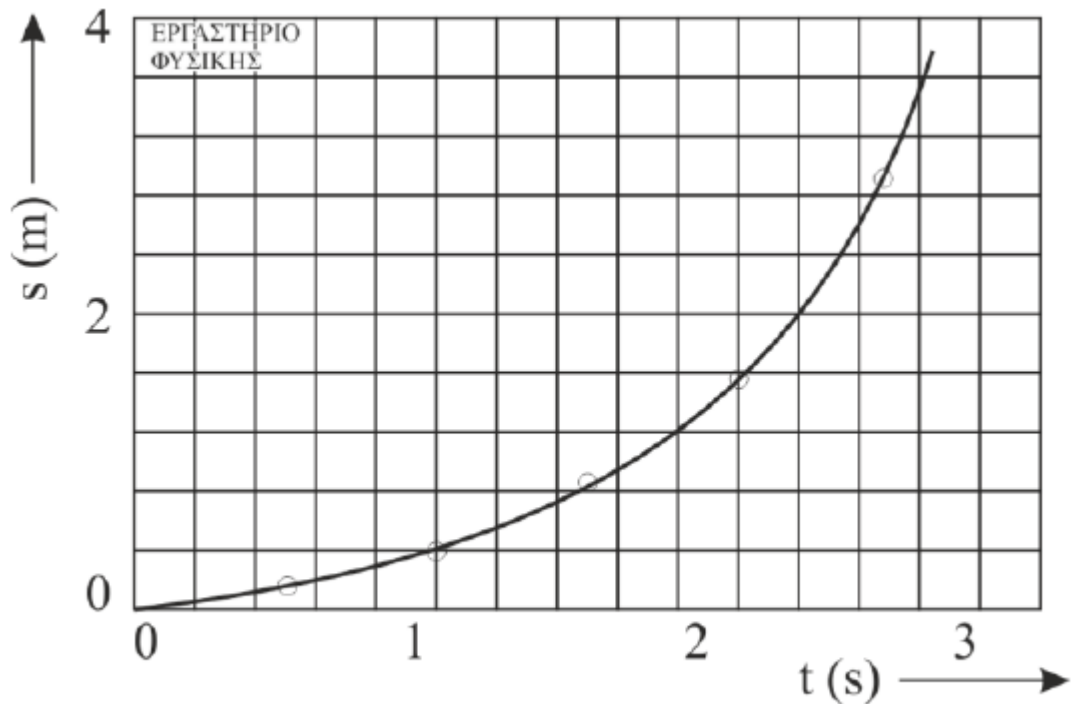
$$v=ds/dt=gt$$

,όπου t ο χρόνος.

Από την εξίσωση του διαστήματος φαίνεται ότι, το διάστημα που διανύει ένα σώμα κατά την ελεύθερη πτώση, είναι ανάλογο του τετραγώνου του χρόνου, ενώ από την εξίσωση της ταχύτητας φαίνεται ότι η τιμή της ταχύτητας είναι ανάλογη του χρόνου πτώσης.

3.2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

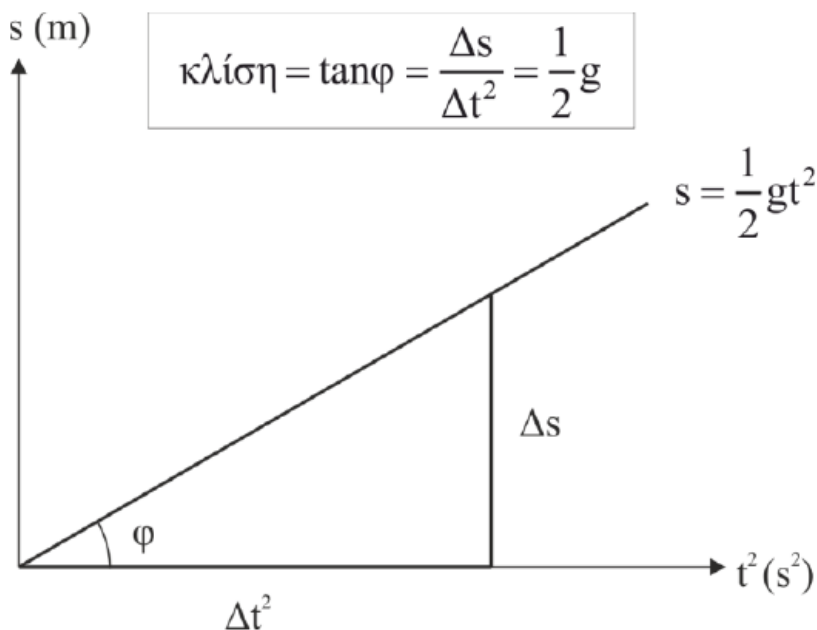
- Η γραφική παράσταση της συνάρτησης $s(t)$ θα μας δώσει μια παραβολή.



Εικόνα 8.1 Διάγραμμα $s(t)$.

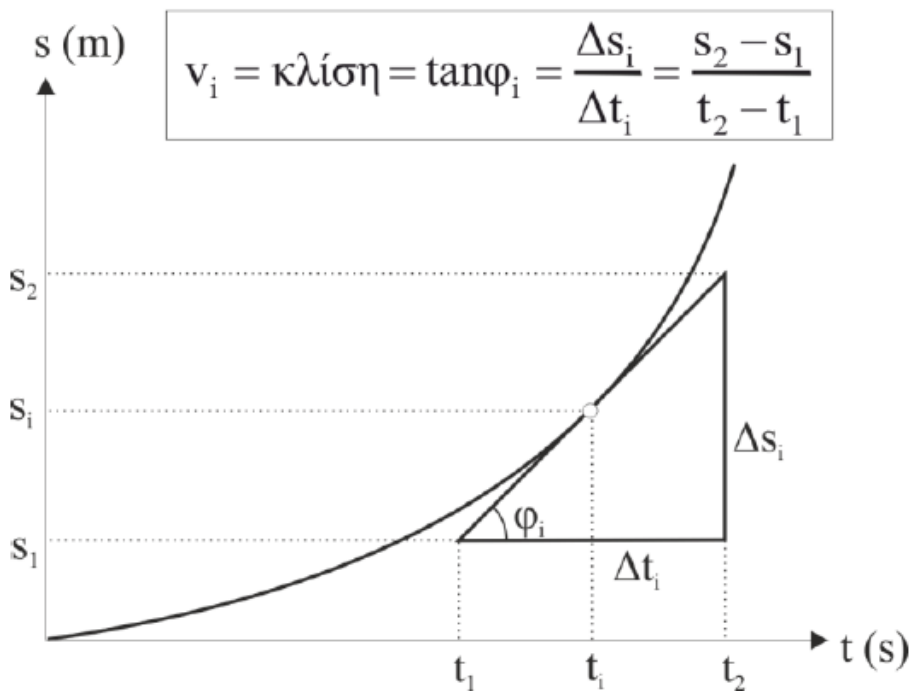
Μπορούμε να γραμμικοποιήσουμε την παραπάνω γραφική παράσταση, αντικαθιστώντας την με την γραφική παράσταση της συνάρτησης $s(t^2)$. Τότε παίρνουμε μια ευθεία της μορφής $y = ax$, όπου $y=s$, $x \equiv t^2$ και κλίση $\boxed{\alpha=g/2}$.

- Από την κλίση λοιπόν της παραπάνω ευθείας μπορούμε να υπολογίσουμε την επιτάχυνση της ελεύθερης πτώσης: $g=2 \cdot \text{κλίση}$



Εικόνα 8.2 Γραμμικοποίηση της παραβολής του διαγράμματος της Εικόνας 8.1 $s(t)$.

- Όπως εξάλλου ξέρουμε στην ευθύγραμμη κίνηση το μέτρο της ταχύτητας ισούται με την πρώτη παράγωγο του διαστήματος ως προς τον χρόνο. Η πρώτη δε παράγωγος ισούται με την κλίση της καμπύλης $s(t)$ κατά τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Μπορούμε λοιπόν να υπολογίσουμε την ταχύτητα $v(t_i)$ σε μια τυχαία χρονική t_i υπολογίζοντας την κλίση της καμπύλης $s(t)$ στο σημείο $(v(t_i), t_i)$.



Εικόνα 8.3 Υπολογισμός της ταχύτητας $v(t)$ ως κλίσης της καμπύλης $s(t)$.

3.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Όταν ένα σώμα πέφτει στον αέρα και η μετωπική επιφάνεια του είναι αρκετά μεγάλη ώστε η αεροδυναμική αντίσταση να μην είναι αμελητέα, τότε σώμα αποκτά μια σταθερή ταχύτητα που λέγεται οριακή ταχύτητα. Η οριακή ταχύτητα προσεγγίζεται όταν η δύναμη αεροδυναμικής αντίστασης $F_a = Ku^2$ ισούται με τη δύναμη του βάρους $B = mg$, εξαρτάται επομένως από τη μετωπική επιφάνεια, την ταχύτητα και τη μάζα. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει αντίσταση στην κίνηση και η πτώση δεν είναι ελεύθερη.

Έτσι, αν από το ίδιο ύψος αφήσουμε να πέσουν την ίδια χρονική στιγμή ένα φτερό και μια σφαίρα από μόλυβδο, το φτερό θα πέσει πολύ βραδύτερα από τη σφαίρα. Αυτό συμβαίνει γιατί η αντίσταση που προβάλλει ο αέρας στην κίνηση του φτερού είναι πολύ πιο μεγάλη απ' ότι στη σφαίρα, αλλά κυρίως διότι η αδράνεια (μάζα) του φτερού είναι πολύ μικρότερη με αποτέλεσμα το φτερό να πέσει πιο αργά. Αν η αντίσταση του αέρα ελαττωθεί πολύ, τότε και το φτερό πέφτει με την ίδια επιτάχυνση που πέφτει και η σφαίρα. Αυτό το απέδειξε πειραματικά ο Άγγλος Μπόιλ (1627-1691) με τη βοήθεια της αεραντλίας. Αφαίρεσε τον αέρα από ένα γυάλινο σωλήνα, μέσα στον οποίο είχε τοποθετήσει ένα φτερό και μια μολύβδινη σφαίρα. Όταν ανέστρεψε το σωλήνα, το φτερό και η σφαίρα έπεσαν ταυτόχρονα.

4. ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

4.1. ΑΛΕΞΙΠΤΩΤΟ

Μια από τις βασικότερες εφαρμογές της ελεύθερης πτώσης αποτελεί η χρήση του αλεξίπτωτου τόσο για ψυχαγωγικούς, όσο και για στρατιωτικούς λογούς(αλεξιπτωτιστές). Τα αλεξίπτωτα τα σημερινής εποχής αποτελούνται αρχικά από τον θολό, ο οποίος είναι ένα ορθογώνιο, τετραγωνικοί ημιελλειπτικό ύφασμα που αποτελείται από τρεις κυψέλες. Η μεσαία κυψέλη διαθέτει έναν κρίκο ο οποίος συνδέει το αλεξίπτωτο με τον ιμάντα του πιλότου, ενώ στο επάνω εξωτερικό μέρος της είναι τοποθετημένο ένα ενισχυμένο πανί, το οποίο συμβάλλει καθοριστικά στην προστασία του θολού από τυχόν τριβές, σκισίματα ή και καψίματα που είναι πιθανόν να προκληθούν από την αντίσταση του αέρα και από την πολύ μεγάλη πίεση που ασκείται εξαιτίας του υψομέτρου. Η επιφάνεια και το άνοιγμα τοιούτου θολού τείνουν να αποκτήσουν την μικρότερη δυνατή τιμή, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του βάρους, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος κοψίματος του ιμάντα. Παράλληλα ο θόλος αποτελείται από δυο αρτινές κατευθύνσεως οι οποίες είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο προκειμένου να αντέχουν σε εφελκυσμό τουλάχιστον 1000 lbs.

Ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της ελεύθερης πτώσης με αλεξίπτωτο, όπως αποδεικνύουν και οι τύποι της συγκεκριμένης κίνησης, εξαρτάται

αποκλειστικά από το υψόμετρο της εκκίνησης. Έτσι ένα άλμα το οποίο θα πραγματοποιηθεί από ύψος που κυμαίνεται μεταξύ των 11.500 – 14.000 ποδιών απαιτεί περίπου 10-15 λεπτά μέχρι την προσγείωση του αλεξιπτωτιστή στο έδαφος. Από τις παραπάνω πληροφορίες μπορεί εύκολα κανείς να υπολογίσει πως η ταχύτητα κίνησης του αλεξιπτωτου ισούται περίπου με 5 – 6 μέτρα το δευτερόλεπτο, αφού η επιτάχυνση είναι σταθερή. Έτσι το αλεξίπτωτο αποτελεί μια εφεύρεση η οποία εκμεταλλευομένη την θεωρία της ελεύθερης πτώσης δίνει στον άνθρωπο την δυνατότητα να παρατηρήσει τον κόσμο από ασύλληπτα ύψη και να αισθανθεί και ο ίδιος την σημασία και την ισχύ της συγκεκριμένης κίνησης.

4.2. ΠΕΙΡΑΜΑ ZERO-GRAVITY

Μια άλλη πολύ σημαντική εφαρμογή αποτελεί το πείραμα zero-gravity το οποίο πραγματοποιείται στην Αμερική. Πρόκειται για μια ομάδα επιστημόνων οι οποίοι έχουν καταφέρει να δημιουργήσουν μέσα σε ένα αεροσκάφος BOEING 727-200 συνθήκες παρόμοιες με αυτές που επικρατούν στο διάστημα, έχοντας εξουδετερώσει πλήρως δηλαδή τις βαρυτικές δυνάμεις.

Η παραπάνω διαδικασία ξεκινά με την πτήση αεροσκάφους σε υψόμετρο 24.000 ποδιών. Στη συνέχεια ο πιλότος αυξάνει σταδιακά την γωνία του αεροσκάφους μέχρι να δημιουργηθεί γωνία 45 μοιρών με τον ορίζοντα και το υψόμετρο τελικά να

αυξηθεί στα 32.000 πόδια. Κατά την διάρκεια της συγκεκριμένης φάσης οι αναβάτες εξακολουθούν να αισθάνονται την βαρύτιμη έλξη σε επίπεδα που κυμαίνονται περίπου σε 1,8 Gs. Υστέρα το αεροσκάφος ασκεί πίεση πάνω από την κορυφή του τόξου παραβολής και έτσι η διαδικασία της έλλειψης βαρύτητας ξεκινά. Ως εκ τούτου οι επιβάτες για τα επόμενα 20-30 δευτερόλεπτα αρχίζουν να αιωρούνται στον αέρα δίχως να είναι σε θέση να αισθανθούν οποιαδήποτε βαρύτιμη δύναμη ή βαρύτιμη έλξη. Τέλος ο πιλότος επιστρέφει το αεροσκάφος στο έδαφος με αποτέλεσμα την επαναφορά των επιβατών στις θέσεις τους, γεγονός που σηματοδοτεί την λήξη του πειράματος. Υπολογίζεται πως η παραπάνω μέθοδος αποτελεί συνδυασμό 15 διαφορετικών κινήσεων και ελιγμών που πραγματοποιούνται από τον κυβερνήτη του αεροσκάφους. Το συγκεκριμένο πείραμα αποτελεί πρωτεργάτη της σύγχρονης φυσικής, αφού πρόκειται για την πρώτη απόπειρα του ανθρώπου να ελέγξει τις βαρυτικές δυνάμεις άλλα ταυτόχρονα αποτελεί ίσως την κορυφαία προσέγγιση των διαστημικών συνθηκών που έχει γίνει ποτέ.

Στην πραγματικότητα , κατά την τέλεση του zero-gravity, η βαρύτητα δεν εκμηδενίζεται, αφού οι ελκτικές δυνάμεις απαντώνται σε κάθε μήκος και πλάτος της Γης. Αυτό που πραγματικά συμβαίνει είναι η αποτελεσματική μείωση της βαρύτητας, παραμελώντας βεβαία τις παλιρροιακές επιδράσεις.

Ως εκτατού εμφανίζεται η μικροβαρυτήτα (μg) η οποία χρησιμοποιείται σε καταστάσεις, κατά τις οποίες η επίδραση του βάρους είναι σχεδόν μηδενική, αφού η τάση της δύναμης g μέσα σε αντικείμενα λήγω παλιρροιακών επιδράσεων, είναι περίπου το ένα εκατοστό του αντιστοίχου αντικείμενου στην επιφάνεια της Γης (ελεύθεροι ανελκυστήρες). Εξαιτίας του παραπάνω φαινομένου τα επιταχυνσιόμετρα αδυνατούν να ανιχνεύσουν την παροντική επιτάχυνση, η οποία εμφανίζεται στους τύπους της ελεύθερης πτώσης. Για αυτόν τον λόγο οι επιβάτες μπορούν να αισθανθούν το υποτιθέμενο <<χάσιμο>> της βαρύτητας, το οποίο όμως θεωρητικά δεν συμβαίνει πλήρως. Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως το πείραμα zero-gravity αποτελεί την μοναδική περίπτωση κατά την οποία τα σώματα δεν είναι σε θέση να αισθανθούν την βαρύτιμη επιτάχυνση και ως εκ τούτου είναι η μοναδική περίπτωση που καταλύονται όλοι οι γνωστοί τύποι της ελεύθερης πτώσης.

5. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Το φαινόμενο της ελεύθερης πτώσης αποτελεί περίπτωση κίνησης η οποία απασχολεί έντονα τους φυσικούς, αφού συσχετίζεται άμεσα με τις ελκτικές δυνάμεις της Γης και την βαρυντική επιτάχυνση. Συνεπώς πραγματοποιούνται επανειλημμένες έρευνες με σκοπό τον εντοπισμό ή την σύνθεση υλικών ανθεκτικών στις υψηλές τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης και της αντίστασης του αέρα με απώτερο σκοπό την δημιουργία υπερσύγχρονων κατασκευών και μηχανημάτων που θα παρέχουν στον άνθρωπο την δυνατότητα να βρεθεί σε ακόμα υψηλότερα σημεία του ουρανού . Παράλληλα υψηλής σημασίας αποτελούν διάφορες τεχνολογικές έρευνες οι οποίες τείνουν να βρουν νέους τρόπους αξιοποίησης της ελεύθερης πτώσης, όπως με την κατασκευή νέων ελεύθερων ανελκυστήρων οι οποίοι θα λειτουργούν με πολύ υψηλές ταχύτητες, άλλα και γενικότερα μηχανισμοί οι οποίοι θα είναι σε θέση να υπεραπλουστεύσουν την ανθρώπινη μετακίνηση από ένα υψόμετρο προς ένα διαφορετικό, γεγονός που ακόμα απασχολεί την παγκόσμια κοινότητα, αφού η συγκεκριμένη πτυχή της επιστήμης δεν έχει εξελιχθεί σε τόσο μεγάλο βαθμό, όπως για παράδειγμα ο ηλεκτρομαγνητισμός ή τα ψηφιακά κύματα.

Βεβαία ο μεγαλύτερος και ο μακροβιότερος επιστημονικός στόχος σε σχέση με το συγκεκριμένο

είδος κίνησης αφορά σε μεγάλο βαθμό την εκμετάλλευση, την βελτίωση και την αναβάθμιση του πειράματος zero-gravity. Πιο συγκεκριμένα ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό των επιστημόνων ευελπιστούν πως η δημιουργία και η προσομοίωση των συνθηκών που επικρατούν στον διάστημα, είναι ικανές, φυσικά μετά από πολλά χρόνια και αμέτρητες πειραματικές διαδικασίες, να προσδώσουν στον άνθρωπο την δυνατότητα να ταξιδέψει ευκολότερα και ίσως να καταφέρει και να εγκατασταθεί σε διαφόρους πλανήτες του γαλαξία μας, εφόσον θα είναι σε θέση να ταξιδεύει χωρίς την έλλειψη των ελκτικών δυνάμεων που υφίσταται στις μέρες μας.

Από τα παραπάνω αντιλαμβάνεται κανείς πως μέσα στους επόμενους αιώνες υπάρχει η πιθανότητα της χρήσης της ελεύθερης πτώσης και διαφορών πρακτικών άλλα και θεωρητικών εφαρμογών της, η οποία θα επιφέρει τον πολλαπλασιασμό των ανθρωπίνων δυνατοτήτων και ικανοτήτων τόσο όντος του πλανήτη μας όσο και έκτος αυτού, εξερευνώντας και προοδεύοντας και σε διαφορετικά ουράνια σώματα, κατακτώντας με αυτόν τον τρόπο το διάστημα.

6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Φυσική Α' Λυκείου
- 2) Φυσική για επιστήμονες και μηχανικούς,
ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ
- 3) Βικιπαίδεια
- 4) Cengage learning(διαφάνειες)
- 5) ΑΛΕΞΙΠΤΩΤΟ -
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%AF%CF%80%CF%84%CF%89%CF%84%CE%BF>
- 6) ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΠΤΩΣΗ ΜΕ ΑΛΕΞΙΠΤΩΤΟ -
<http://www.athinodromio.gr/%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CF%8D%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%B7-%CF%80%CF%84%CF%8E%CF%83%CE%B7-%CE%BC%CE%B5-%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%AF%CF%80%CF%84%CF%89%CF%84%CE%BF-%CE%B7-%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%BA/>
- 7) ΑΛΕΞΙΠΤΩΤΟ ΕΔΑΑΠ -
<http://www.athinodromio.gr/%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CF%8D%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%B7-%CF%80%CF%84%CF%8E%CF%83%CE%B7-%CE%BC%CE%B5-%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%AF%CF%80%CF%84%CF%89%CF%84%CE%BF-%CE%B7-%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%BA/>

[%CE%B7-](#)

[%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%BA/](#)

8) ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΑΛΕΞΙΠΤΩΤΟΥ -

http://www.mod.mil.gr/sites/default/files/inline-images/Dnsi_enimerosis/Pdf/GDAEE/12-14/3/kirio%20meros%20pfhs%20aepdnt.pdf

9) HOME LANDING - <https://www.gozerog.com/>

10) WEIGHTLESSNESS -

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

11) WHAT IS ZERO GRAVITY-

<https://economictimes.indiatimes.com/definition/zero-gravity>

12) WHAT IS MICROGRAVITY -

<https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-microgravity-58.html>

13) WEIGHTLESSNESS AND ITS EFFECTS ON

ASTRONAUTS - <https://www.space.com/23017-weightlessness.html>

14) ESA -

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Zero_gravity_Science

15) THE LIGHTER SIDE OF SCIENCE -

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Zero_gravity_Science