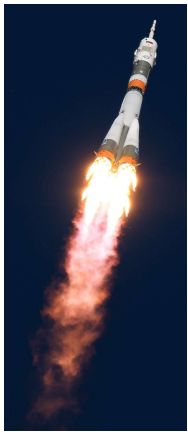




Η Φυσική του Πυραύλου

Ηλίας Καλογήρου, Τάσος Νέζης

Παρουσίαση για το Θερινό Σχολείο της Ε.Ε.Φ. στα Κρέστενα Ηλείας
Ιούλιος 2019



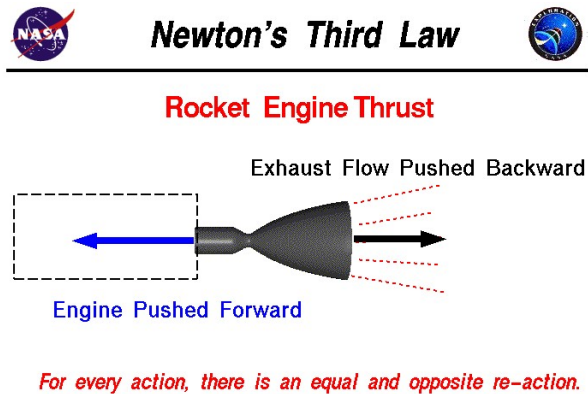
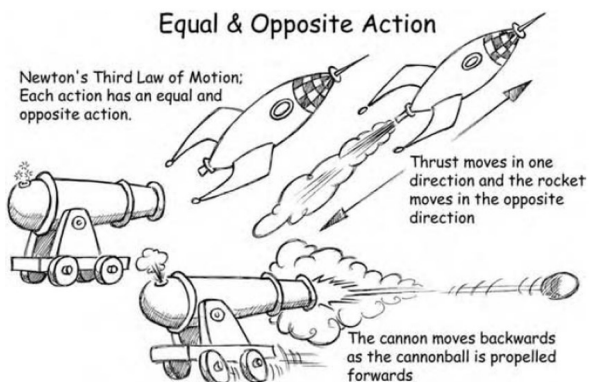
- **Προβάλλουμε** βίντεο μικρού μήκους για την προσελήνωση της 20^{ης} Ιουλίου του 1969. πχ <https://www.youtube.com/watch?v=OCjhCL2iqIQ>
- **Επίδειξη** μοντέλων διαφόρων πυραύλων (Saturn V, Vostok, Space Shuttle, Ariane):



- Δράση – Αντίδραση (3^{ος} v. Newton)
 - Εισαγωγή της έννοιας με μαθητές που σπρώχνουν ο ένας τον άλλον
 - Ισότητα δυνάμεων με **επίδειξη** δυναμόμετρων:



- Εξήγηση αποτελέσματος βάσει της μάζας (ίσες δυνάμεις, άνισες επιταχύνσεις, 2^{ος} v. Newton).
- Εκμετάλλευση του νόμου, στην αρχή κίνησης του πυραύλου:



- Αναφορά στην “Ορμή” και στην “Α.Δ.Ο.” για την περίπτωση της μεταβλητής μάζας.
- Τρεις απλές **επιδείξεις** δράσης – αντίδρασης (βλήματα):



Πύραυλος Αέρα

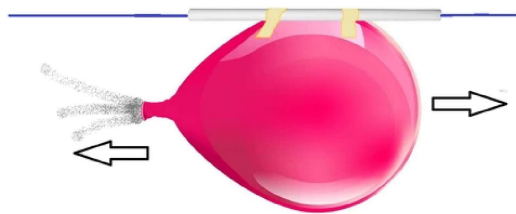


Πιστόλι Αέρα



“Κλάξον”

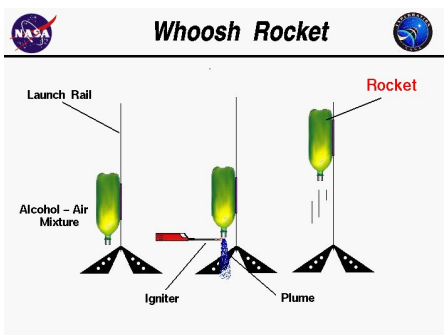
- Ανάγκη μεταφοράς των καυσίμων μέσα στον πύραυλο, για να μεταβούμε από το **βλήμα** στον **πύραυλο**.
- **Επίδειξη:** Μπαλόνι σε τροχιά από σχοινί (τρόπος προώθησης: πίεση αέρα)



- **Επίδειξη:** Πύραυλος οιοπνεύματος (τρόπος προώθησης: καύση)

πχ <https://www.youtube.com/watch?v=uz6V3FWZxlo>

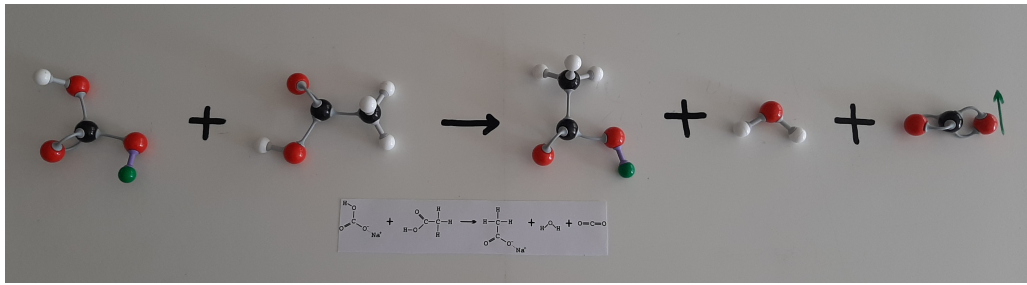
https://www.youtube.com/watch?time_continue=147&v=KKzWu_9FPJY



- **Επίδειξη:** Πύραυλος Σόδα – Ξύδι, safe version (τρόπος προώθησης: χημική αντίδραση)



- Πριν την επίδειξη **δείχνουμε** (με μοντέλα) την χημική αντίδραση και εξηγούμε ότι το παραγόμενο CO₂ είναι αυτό που παρέχει την απαιτούμενη πίεση στο εσωτερικό του πυραύλου.



Η ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΟΥ ΠΥΡΑΥΛΟΥ

- Κέντρο Μάζας. **Επιδείξεις:**

- Μπάρα 80 cm χωρίς βάρη. Ισορροπία με το δάχτυλο στο κέντρο της.
- Μπάρα 80 cm με άνισα βάρη. Ισορροπία με το δάχτυλο εκτός κέντρου.

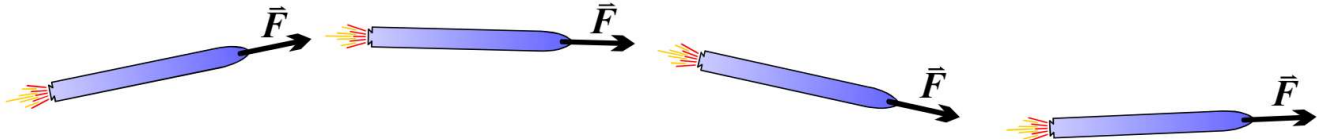


- Πύραυλος με εσωτερική δομή (καύσιμα – κινητήρας):

- **Επίδειξη** κλειστού. Ισορροπία εκτός κέντρου. Ρωτάμε γιατί;
- Τον ανοίγουμε και δείχνουμε το εσωτερικό του, εξηγώντας γιατί το CM του δεν είναι στο (αναμενόμενο) κέντρο συμμετρίας.



- Περιστροφή γύρω από το CM . Το CM λειτουργεί σαν κέντρο περιστροφής (pivot point) για οποιαδήποτε “τυχαία” περιστροφή. Το συμβολίζουμε έτσι: \oplus
- Μικρά κατασκευαστικά λάθη ή αλλαγές στην ατμοσφαιρική πίεση προκαλούν μικροπεριστροφές στον πύραυλο (γύρω από το CM του), άρα αστάθεια στην κίνησή του. Η δύναμη προώθησης (που είναι παράλληλη στον πύραυλο) αλλάζει κατεύθυνση μαζί με τον πύραυλο και η αστάθεια στην κίνηση γίνεται εντονότερη:



- Χρήση του Μωβ-Juno για την **επίδειξη** της παραπάνω πορείας:

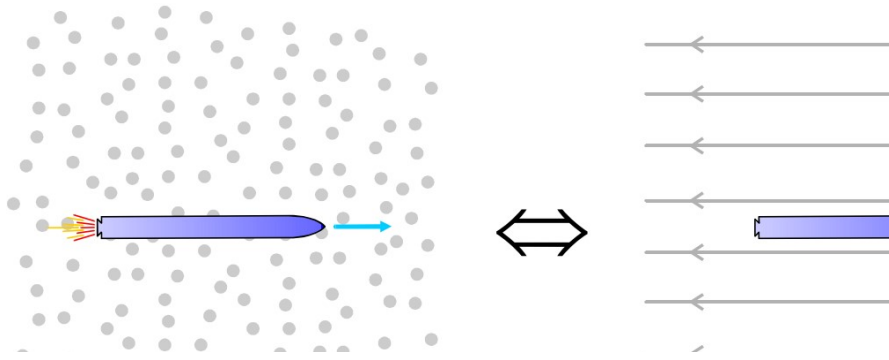


- Τρόπος διόρθωσης:
- Ζητάμε από μαθητή να ισορροπήσει μια ράβδο με το δάχτυλό του. Ρωτάμε τι κάνει: μετακινεί συνεχώς το δάχτυλό του αντίθετα από την τάση ανατροπής της.
- Το ίδιο κάνει και ο πύραυλος με πολλαπλούς κινητήρες. Δείχνουμε τους κινητήρες του Κρόνου-V. Με τη βοήθεια των τεσσάρων από τους πέντε ο πύραυλος διόρθωνε συνεχώς την πορεία του (ενώ ταυτόχρονα έκαίγε 15 τη καύσιμο το δευτερόλεπτο).

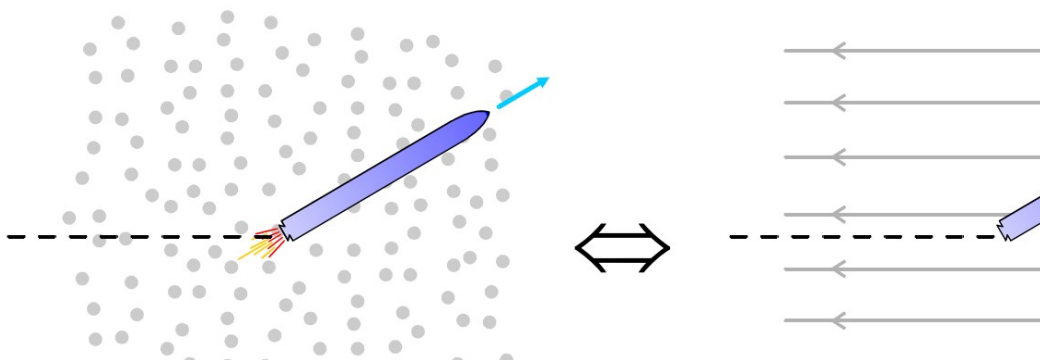


- Τι γίνεται, όμως, όταν δεν έχουμε πολλούς κινητήρες αλλά μόνο έναν, όπως στην περίπτωση των δικών μας μικρών πυραύλων;
- Εκμεταλλευόμαστε τον ατμοσφαιρικό αέρα και τις δυνάμεις που ασκεί.

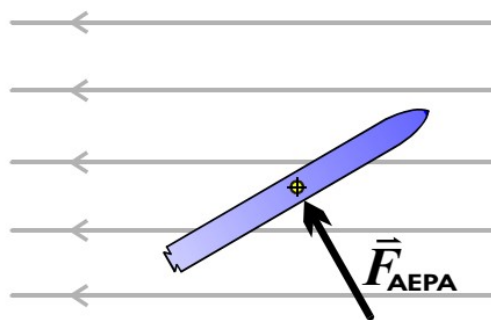
- Έστω ότι ο πύραυλος κινείται προς τα δεξιά, ως προς τον ακίνητο αέρα. Είναι σαν να κινείται ο αέρας προς τ' αριστερά, ως προς τον ακίνητο πύραυλο (σχετική κίνηση).



- Όταν ο πύραυλος αλλάξει πορεία (έστω και λίγο) είναι σαν να έχουμε τον αέρα να τον χτυπάει από το πλάι:



- Άρα ασκείται μια δύναμη στον πύραυλο από τον αέρα, που είναι κάπως έτσι:



- Θεωρώντας ότι η συνολική δύναμη του αέρα ασκείται σε ένα σημείο, ονομάζουμε αυτό το σημείο Κέντρο Πίεσης (CP) και το συμβολίζουμε έτσι: \oplus

- Το κέντρο πίεσης του πυραύλου μπορούμε να το βρούμε με μια απλή διαδικασία:

- Φτιάχνουμε ένα μοντέλο του πυραύλου μας σε δύο διαστάσεις, με ένα χαρτόνι. Το μοντέλο είναι το προφίλ του πυραύλου, δηλαδή η συνολική επιφάνεια που ο αέρας “χτυπάει” τον πύραυλο.
- Αν “ζυγίσουμε” τον πύραυλο βρίσκουμε το κέντρο μάζας (CM \ominus), ενώ αν “ζυγίσουμε” τη δισδιάστατη διατομή του βρίσκουμε το κέντρο πίεσης (CP \oplus).

- Το CP είναι, ουσιαστικά, το σημείο που χωρίζει τον πύραυλο σε δύο ίσες επιφάνειες (όπως θα δούμε και στη συνέχεια με τα μπλε – κίτρινα μοντέλα).
- Στη διάρκεια της προηγούμενης περιγραφής κάνουμε **επίδειξη** του Juno και της δισδιάστατης διατομής του:



- Τι σημαίνει, όμως, σταθερός πύραυλος; Και πως εμπλέκονται τα CP και CM στην ευστάθεια;
- **Επίδειξη**: κόκκινο & πράσινο μοντέλο πυραύλου με ανεμιστήρα.



- Πρώτα το κόκκινο: αστάθεια.
- Στη συνέχεια δείχνουμε το πράσινο: ευστάθεια.
- Τι άλλαξε λοιπόν; Όταν το CP είναι πίσω από το CM , ο πύραυλος είναι σταθερός.
- Και πως μπορεί να γίνει αυτό;
 - i. Μετατοπίζοντας το CM μπροστά: προσθέτοντας βάρος εμπρός. Αυτό όμως είναι ασύμφορο, ειδικά όταν μιλάμε για διαστημικούς πυραύλους.
 - ii. Μετατοπίζοντας το CP πίσω: προσθέτοντας πτερύγια στο πίσω μέρος του.
- Λέμε ότι τα φτερά κάνουν τη διαφορά, προσθέτοντας επιφάνεια, χωρίς πρόσθεση βάρους. Η προσθήκη επιφάνειας μετατοπίζει το CP πίσω από το CM και ο πύραυλος γίνεται σταθερός.
- Η θεωρία λέει πως ένας ευσταθής πύραυλος πρέπει να έχει το κέντρο πίεσής του, τουλάχιστον, σε απόσταση d πίσω από το κέντρο μάζας του, όπου d το πάχος του πυραύλου.
- Δείχνουμε τώρα τα κίτρινα – μπλε μοντέλα κάνοντας αντιστοιχη **επίδειξη** με ανεμιστήρα.



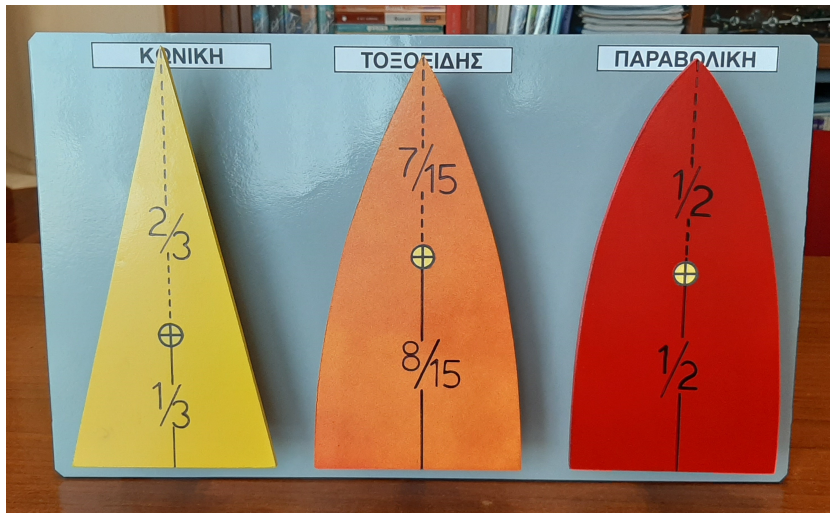
- Τέλος για να ολοκληρώσουμε την ιδέα της σχέσης $CP - CM$ κάνουμε την **επίδειξη** με τις κόκκινες και τις πράσινες σαΐτες:



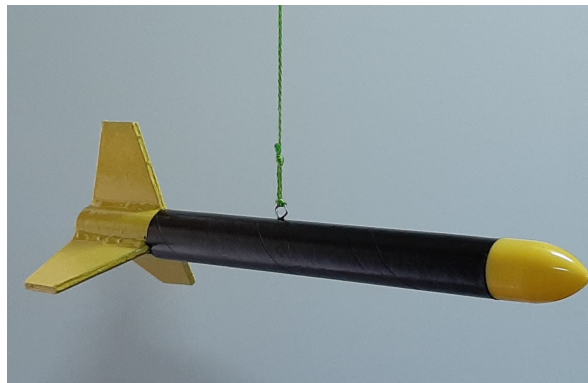
- Έχουν μοιραστεί, από πριν, στους μαθητές σαΐτες δύο διαφορετικών χρωμάτων.
 - Κόκκινες με έναν συνδετήρα πίσω (που μετατοπίζει το CM πίσω) και πράσινες με συνδετήρα μπροστά (που μετατοπίζει το CM μπροστά).
 - Λέμε ότι οι σαΐτες έχουν το ίδιο CP , αφού ουσιαστικά είναι πανομοιότυπες και έχουν το CM τους σε διαφορετικό σημείο.
 - Ζητάμε από τους κατόχους των κόκκινων σαϊτών να μας πετύχουν. Τίποτα!
 - Ζητάμε, τώρα, από τους κατόχους των πράσινων σαϊτών να κάνουν το ίδιο. Επιτυχία!!!
 - Κρατάμε και μια ομπρέλα για... προστασία!
 - Βλέπουμε, λοιπόν, την ανάγκη μεταφοράς του CP πίσω από το CM ώστε να έχουμε μια ευσταθή πτήση των σαϊτών άρα και των πυραύλων.
- **Δείχνουμε**, τώρα, τα είδη των φτερών των πυραύλων εξηγώντας ότι σε έναν καλά μελετημένο πύραυλο, τίποτα δεν πρέπει να αφήνεται στην τύχη του. Και τα φτερά θα πρέπει να ικανοποιούν συνθήκες και εξισώσεις που θα τοποθετούν το CP τους στο σωστό σημείο.



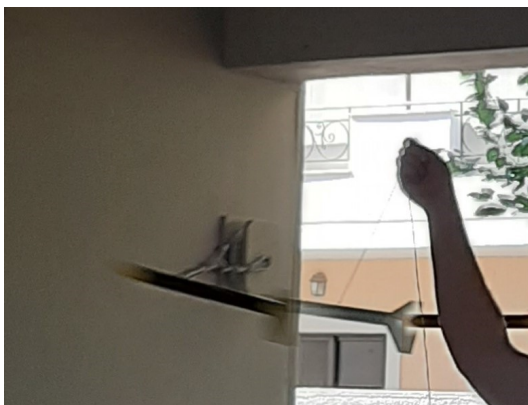
- Αν θέλουμε να ξεφύγουμε από τα τυπικά σχέδια (γκρι) πρέπει τουλάχιστον να κρατήσουμε σταθερά κάποια χαρακτηριστικά τους: α) την ακμή επαφής με το σώμα του πυραύλου και β) την συνολική επιφάνεια. Έτσι έχουμε τις χρωματιστές εκδοχές των φτερών.
- Τις ίδιες μελέτες πρέπει να κάνουμε και για τις μύτες των πυραύλων. **Δείχνουμε** τις μύτες.
- Πρόκειται για τις τρεις πιο διαδεδομένες μύτες σε πυραύλους: κωνική, τοξοειδής και παραβολική.
- Η, περισσότερο διαδεδομένη, στους πυραύλους είναι η παραβολική ενώ η τοξοειδής χρησιμοποιείται κυρίως στις σφαίρες των πυροβόλων όπλων.



- Ο τελικός έλεγχος για την ευστάθεια ενός πυραύλου: *the string method*.
- Αν ένας πύραυλος είναι σταθερός ή όχι θα το δείξει πάντα η πράξη: η εκτόξευση!
- Μπορούμε, όμως, να κάνουμε έναν επιπλέον έλεγχο σταθερότητας, **πριν** τον εκτοξεύσουμε, γιατί **μετά** δεν έχει γυρισμό!
 - **Δένουμε** τον πύραυλο από το *CM* του και τον κρατάμε. Πρέπει να ισορροπεί οριζόντιος:

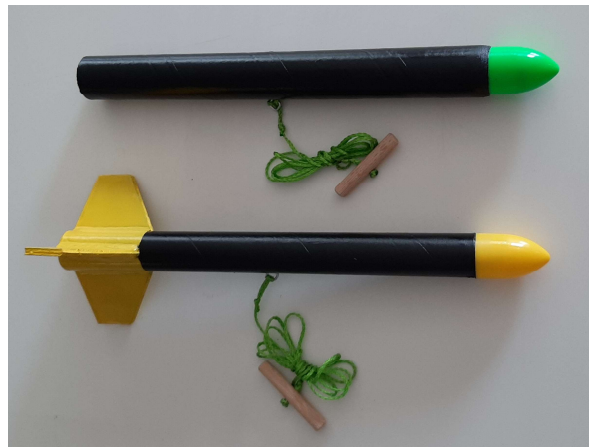


- Στη συνέχεια **περιστρέφουμε** τον πύραυλο σε οριζόντιο κύκλο, πάνω από το κεφάλι μας:



- Αν ο πύραυλος είναι σωστά φτιαγμένος, θα εκτελέσει μια σωστή – σταθερή περιστροφή.
- Αν όχι, τότε καλό είναι να μην τον εκτοξεύσουμε γιατί δεν ξέρουμε που (και πως) θα πάει.

- **Δείχνουμε** τη μέθοδο με τον κίτρινο – μαύρο πύραυλο (με φτερά) και με το πράσινο – μαύρο πύραυλο (χωρίς φτερά). Ο πρώτος, όπως και να τον εκκινήσουμε (ορθά ή ανάποδα), περιστρέφεται πάντα ορθά. Ο δεύτερος περιστρέφεται άλλοτε ορθά και άλλοτε ανάστροφα.



- Εδώ τελειώνουμε την παρουσίασή μας: **Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ ΠΥΡΑΥΛΟΥ.**



Βιβλιογραφία – Πηγές:

1. **It's Rocket Science! with Professor Chris Bishop**
<https://www.youtube.com/watch?v=HESOat2iPzU&t=1229s>
2. **Breakthrough: The ideas that changed the world (Part 5) "The Rocket"**
<https://www.youtube.com/watch?v=NMtc5g98Gfg>
3. **Make: Rockets (Down-to-Earth Rocket Science) by Mike Westerfield, 2014**
<https://www.public.gr/product/books/paidika/aggliki-glossa/childrens-and-teen-literature/make-rockets/prod29923mm/>

