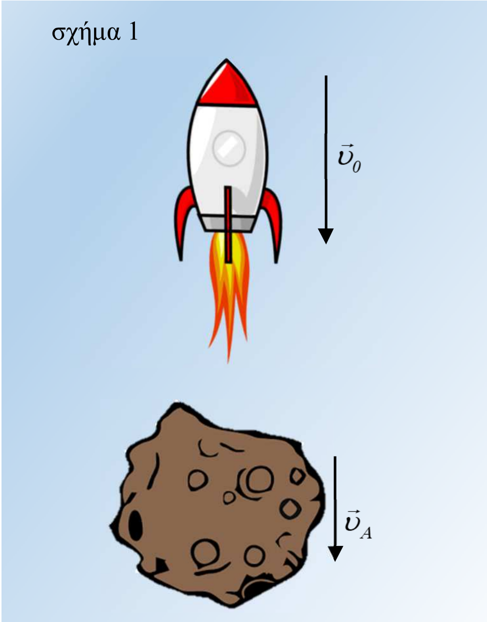
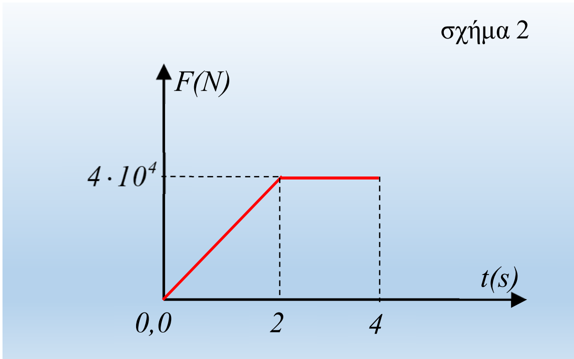
Προσγείωση εξερευνητικού σκάφους





Ένας αστεροειδής κινείται στο διάστημα με σταθερή ταχύτητα $\upsilon_A = 5km/s$. Θέλουμε να προσγειώσουμε στην επιφάνειά του ένα εξερευνητικό, μη επανδρωμένο όχημα, μάζας $m = 1200kg$. Η ταχύτητα του οχήματος είναι ίδιας κατεύθυνσης με την $\vec{\upsilon}_A$ και μέτρου $\upsilon_0 = 5{,}1km/s$. Για να επιβραδύνουμε το σκάφος, θέτουμε σε λειτουργία τους ανασχετικούς πυραύλους του για $\Delta t = 4s$, εκτοξεύοντας καυσαέρια προς την κατεύθυνση της κίνησης, όπως φαίνεται στο σχήμα 1, με αποτέλεσμα να ασκείται στο διαστημικό όχημα δύναμη, που το μέτρο της μεταβάλλεται χρονικά όπως στο διάγραμμα του σχήματος 2.

i) Γιατί η εκτόξευση καυσαερίων, προς την κατεύθυνση της κίνησης, επιβραδύνει το όχημα;

ii) Την απαιτούμενη δύναμη πέδησης στο όχημα δημιουργεί

α) ένα αλεξίπτωτο που ανοίγει την κατάλληλη στιγμή.

β) ένα ειδικό φρένο όπως στα αυτοκίνητα, που ενεργοποιεί ο υπολογιστής του σκάφους.

γ) τα καυσαέρια καθώς εξέρχονται από τα ακροφύσια των κινητήρων.

iii) Ποια μεταβολή ορμής προκαλούν στο σκάφος οι ανασχετικοί πύραυλοι; Να κάνετε κατάλληλο σχήμα με τα διανύσματα των ορμών.

iv) Υποθέτοντας αμελητέα την μεταβολή μάζας του οχήματος εξαιτίας της εκροής των καυσαερίων βρείτε ποια θα είναι η ταχύτητα του οχήματος στο τέλος αυτής της διαστημικής μανούβρας.

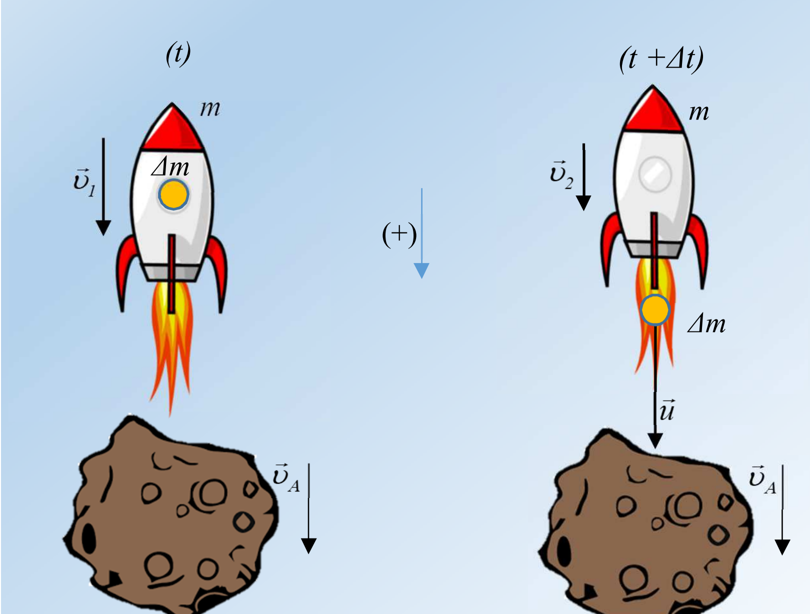
v) Αν η θερμαντική ικανότητα της υδραζίνης (N_2H_4), δηλαδή του καυσίμου, είναι $20MJ/kg$, υπολογίστε τη μάζα που κάηκε, αν η ενεργειακή απόδοση του κινητήρα είναι $60{,}6\%$.

Η βαρυτική αλληλεπίδραση μεταξύ του οχήματος και του αστεροειδούς είναι αμελητέα και οι ταχύτητες είναι υπολογισμένες ως προς ακίνητο παρατηρητή.

Απάντηση

i) Στο σχήμα 3 βλέπουμε το διαστημικό όχημα κάποια χρονική στιγμή *t*, να πλησιάζει τον αστεροειδή με ταχύτητα $\vec{\upsilon}_1$.

Μια μάζα *Δm* καυσίμου εντός του οχήματος, αφού αναφλεγεί, εξέρχεται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα Δt, με μορφή καυσαερίου ταχύτητας $\vec{u}$ με $|u|>|\upsilon_1|$. Η βαρυτική αλληλεπίδραση μεταξύ του οχήματος και του αστεροειδούς είναι αμελητέα, έτσι το σύστημα όχημα *m* – καύσιμο *Δm*, μπορεί να θεωρηθεί μονωμένο.



σχήμα 3

Η ορμή του συστήματος διατηρείται, άρα:

$$\vec{p}_t = \vec{p}_{t+\Delta t} \Leftrightarrow$$

$$(m+\Delta m)\vec{\upsilon}_1 = m\vec{\upsilon}_2 + \Delta m \cdot \vec{u}$$

Θεωρούμε θετική φορά προς τα κάτω. Η τελευταία εξίσωση γράφεται με αλγεβρικές τιμές (που είναι και όλες θετικές):

$$(m+\Delta m)\upsilon_1 = m\upsilon_2 + \Delta m \cdot u \Leftrightarrow m\upsilon_2 = m\upsilon_1 - \Delta m(u-\upsilon_1) \Leftrightarrow$$

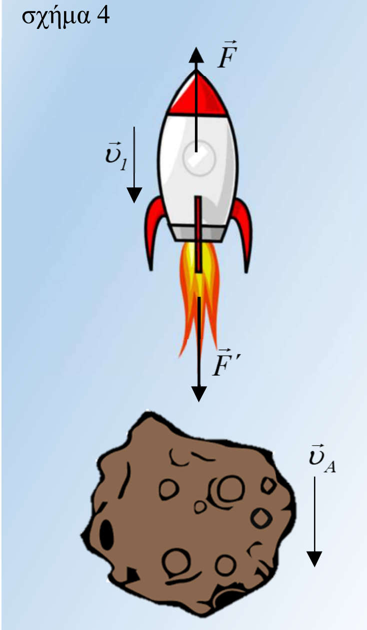
$$\boxed{\upsilon_2 = \upsilon_1 - \frac{\Delta m}{m}(u-\upsilon_1)}$$

Στην τελευταία σχέση η ποσότητα $\frac{\Delta m}{m}(u-\upsilon_1)$ είναι θετική, άρα $\boxed{\upsilon_2 < \upsilon_1}$, δηλαδή το όχημα **επιβραδύνεται**.

ii) Στο διάστημα δε μπορεί να λειτουργήσει αλεξίπτωτο, διότι απαιτεί αντίσταση αέρα. Επίσης δεν υπάρχει κανένα ειδικό φρένο, όπως στα αυτοκίνητα, αφού αυτό θα απαιτούσε ύπαρξη τριβής με το περιβάλλον, για να έχει το αναμενόμενο αποτέλεσμα.

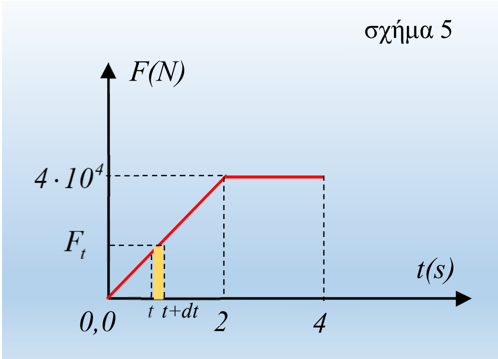
Ο υπολογιστής του σκάφους ενεργοποιεί την διαδικασία καύσης (burn), για κατάλληλο χρονικό διάστημα. Η δημιουργία των καυσαερίων στο θάλαμο καύσης, είναι μια διαδικασία ίδια με αυτή που συμβαίνει στην εκπυρσοκρότηση όπλου. Τα καυσαέρια έχοντας υψηλή πίεση δημιουργούν την αλληλεπίδραση $\vec{F} \leftrightarrow \vec{F}'$ με τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης, που φυσικά υπακούει στον 3^o Νόμο Newton. Η δράση $\vec{F}$ επί του θαλάμου επιβραδύνει το όχημα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.

σχήμα 4



Σωστή απάντηση → **γ**

iii) Στο διάγραμμα $F \to t$, ας θεωρήσουμε δύο χρονικές στιγμές *t* και *t+dt*, όπου $dt \to 0$ (σχήμα 5). Η δύναμη έχει περίπου το ίδιο μέτρο F_t και τις δύο χρονικές στιγμές. Το γραμμοσκιασμένο σχήμα που δημιουργείται έτσι, είναι σχεδόν ορθογώνιο. Το (στοιχειώδες) εμβαδό αυτού του ορθογωνίου θα έχει τιμή



$$dE = F \cdot dt \Leftrightarrow dE = |dp|$$

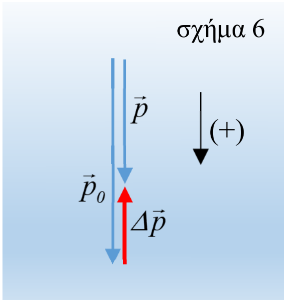
δηλαδή ισούται αριθμητικά με την απόλυτη τιμή της στοιχειώδους μεταβολής της ορμής που προκάλεσε η δύναμη F_t.

Αν θέλουμε τη συνολική κατ΄απόλυτη τιμή μεταβολή, μπορούμε να χωρίσουμε σε όλη τη χρονική διάρκεια από *0→4s*, στοιχειώδη χρονικά διαστήματα και να αθροίσουμε τα αντίστοιχα στοιχειώδη εμβαδά.

$$|\Delta p| = \sum dp \Leftrightarrow |\Delta p| = E\mu\beta(o\lambda)$$

$$\Leftrightarrow |\Delta p| = \frac{4+2}{2} 4 \cdot 10^4 \Leftrightarrow$$

$$\boxed{|\Delta p| = 12 \cdot 10^4 \, kgm/s}$$



Με βάση το σχήμα 6, η αλγεβρική τιμή της μεταβολής της ορμής του οχήματος, θα είναι

$$\boxed{\Delta p = -12 \cdot 10^4 \, kgm/s}$$

iv) Η τελική ταχύτητα θα βρεθεί αν σκεφτούμε ότι η μεταβολή της ορμής του οχήματος είναι:

$$\Delta\vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0 \Leftrightarrow \Delta p = m\upsilon - m\upsilon_0 \Leftrightarrow \upsilon = \upsilon_0 + \frac{\Delta p}{m} \Leftrightarrow \upsilon = 5{,}1 \cdot 10^3 - \frac{12 \cdot 10^4}{12 \cdot 10^2}$$

$$\Leftrightarrow \upsilon = 5{,}1 \cdot 10^3 - 0{,}1 \cdot 10^3 \Leftrightarrow$$

$$\boxed{\upsilon = 5 \cdot 10^3 \, m/s}$$

Παρατηρούμε ότι το διαστημικό όχημα έχει πλέον την ίδια ταχύτητα με τον αστεροειδή. Η σχετική ταχύτητα του οχήματος ως προς τον αστεροειδή είναι μηδενική. Αυτή είναι μια **τέλεια προσέγγιση**, αρκεί να φροντίσουμε να συμβεί αυτό, ακριβώς τη στιγμή που το όχημα φτάνει στην επιφάνεια του ουράνιου σώματος και όχι νωρίτερα ή αργότερα…

v) Πρώτα θα υπολογίσουμε πόση ενέργεια απαιτήθηκε από τα καύσιμα για την επιβράδυνση. Παίρνουμε το Θ.Μ.Κ.Ε. για το όχημα:

$$\Delta K = \Sigma w \Leftrightarrow K - K_0 = w_F \Leftrightarrow w_F = \frac{1}{2}m\upsilon^2 - \frac{1}{2}m\upsilon_0^2 \Leftrightarrow w_F = 6 \cdot 10^2 \cdot (25 \cdot 10^6 - 26{,}01 \cdot 10^6)$$

$$\Leftrightarrow w_F = -6{,}06 \cdot 10^8 \, J$$

Το έργο αυτό εκφράζει την ωφέλιμη ενέργεια που απαιτήθηκε από τα καύσιμα για την επιβράδυνση του οχήματος, η οποία προφανώς θα είναι $E = |w_F| = 6{,}06 \cdot 10^8 \, J$.

Η απόδοση όμως του κινητήρα είναι *60,6%*, άρα ο συντελεστής απόδοσης θα είναι *e = 0,606*, οπότε:

$$e = \frac{E_{\omega\varphi}}{E_{\delta\alpha\pi}} \Leftrightarrow E_{\delta\alpha\pi} = \frac{E_{\omega\varphi}}{e} \Leftrightarrow E_{\delta\alpha\pi} = \frac{6{,}06 \cdot 10^8}{0{,}606} \Leftrightarrow E_{\delta\alpha\pi} = 10^9\,J$$

$$\left.\begin{array}{ll} 1kg \text{ καυσίμου αποδίδει} & 20 \cdot 10^6\,J \\ M =; & 10^9\,J \end{array}\right\} \rightarrow M = \frac{10^9}{2 \cdot 10^7} \Leftrightarrow \boxed{M = 50kg}$$

Σχόλιο

Τον Οκτώβρη του 2020, μετά από 4 χρόνια ταξίδι, το ρομποτικό διαστημόπλοιο «Osiris-Rex» της NASA, έφτασε στον αστεροειδή Bennu (Μπεννού) και συνέλεξε δείγματα από βράχο και σκόνη. Μόλις 16 δευτερόλεπτα κράτησε το... άγγιγμα στην επιφάνεια του αστεροειδούς, ο οποίος έχει διάμετρο 490m, απέχει 330 εκατομμύρια km από τη Γη, κινείται σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τον ήλιο με ταχύτητα 28km/s αλλά και περιστρέφεται με περίοδο 4h.

Με το Osiris-Rex, η NASA κατάφερε να συλλέξει ένα δείγμα τουλάχιστον 60g, το οποίο ελπίζει ότι θα αποκαλύψει τα αρχικά συστατικά του ηλιακού μας συστήματος.

Ο αστεροειδής Μπεννού ταξινομείται ως **δυνητικά επικίνδυνος** για τη Γη, αφού η τροχιά του τον φέρνει σε απόσταση 0,0032AU από τον πλανήτη μας και υπάρχει πιθανότητα σύγκρουσης με τη Γη…

1AU = 1 Αστρονομική μονάδα = Μέση απόσταση Γης – Ήλιου = 150 εκατομμύρια km.

Δείτε και ένα μικρό Video από την προσέγγιση:

OSIRIS-REx Touches Asteroid Bennu(Video).

Υλικό Φυσικής-Χημείας

Γιατί το να μοιράζεσαι πράγματα, είναι καλό για όλους…

Επιμέλεια:

Ανδρέας Ριζόπουλος