

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ,
ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ**

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠ/ΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Φυσική

**Ομάδας Προσανατολισμού Θετικών
Σπουδών**

Β΄ ΤΑΞΗ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

Τόμος 2ος

ΟΜΑΔΑ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ

**Ιωάννης Α. Βλάχος, Διδάκτορας,
Σχολικός Σύμβουλος του κλάδου
ΠΕ4.**

**Ιωάννης Γ. Γραμματικάκης, Επι-
κουρος Καθηγητής Φυσικής στο
Πανεπιστήμιο Αθηνών.**

**Βασίλης Α. Καραπαναγιώτης, Φυ-
σικός, Καθηγητής Πειραματικού
Σχολείου Πανεπιστημίου Αθηνών.**

**Περικλής Εμ. Περιστερόπουλος,
Φυσικός, Υποψήφιος Διδάκτορας,
Καθηγητής στο 3ο Λύκειο Βύρωνα.
Γιώργος Β. Τιμόθεου, Φυσικός, Λυ-
κειάρχης στο 2ο Λύκειο Αγ. Παρα-
σκευής.**

Αλέκος Ιωάννου

Γιάννης Ντάνος

Άγγελος Πήττας

Σταύρος Ράπτης

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΤΗΣ ΣΥΓΓΡΑΦΙΚΗΣ ΟΜΑΔΑΣ

Παναγιώτης Β. Κόκκοτας, Καθηγητής της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Οι συγγράφεις ευχαριστούν τον Ιωάννη Βαγιωνάκη, Φυσικό, για τη συμβολή του στη συγγραφή ασκήσεων και ερωτήσεων, για τις παρατηρήσεις και υποδείξεις του, καθώς και για τη βοήθειά του στην επιμέλεια έκδοσης.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΙΣΗΣ

Φλυτζάνης Νικόλαος (Πρόεδρος), Καθηγητής Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης.

Καλοψικάκης Εμμανουήλ, Φυσικός, τ. Σχολικός Σύμβουλος.

Ξενάκης Χρήστος, Δρ. Φυσικός, Σχολικός Σύμβουλος Φθιώτιδος.

Πάλλας Δήμος, Φυσικός, Υποδιευθυντής 1ου Λυκείου Λαμίας.

Στεφανίδης Κωνσταντίνος, Δρ. Φυσικός, Σχολικός Σύμβουλος Πειραιά

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας, η οποία δημιουργήθηκε με χρηματοδότηση από το ΕΣΠΑ / ΕΠ «Εκπαίδευση & Διά Βίου Μάθηση» / Πράξη «ΣΤΗΡΙΖΩ». Οι αλλαγές που ενσωματώθηκαν στην παρούσα επανέκδοση έγιναν με βάση τις διορθώσεις του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



**ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ**
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ**

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



**ΕΣΠΑ
2007-2013**
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ

**Ομάδα Εργασίας Ινστιτούτου
Εκπαιδευτικής Πολιτικής (Ι.Ε.Π.)
Μετατροπή: Αλογάριαστου Ευαν-
θία, Μάρκου Κωνσταντίνα**

Επιμέλεια: Άννα Σπανάκη

**Σχεδιασμός Γραφικών παραστά-
σεων: Μαγγιώρης Δημήτρης**

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠ/ΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

ΙΩΑΝΝΗΣ Α. ΒΛΑΧΟΣ

ΙΩΑΝΝΗΣ Γ. ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΑΚΗΣ

ΒΑΣΙΛΗΣ Α. ΚΑΡΑΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Β. ΚΟΚΚΟΤΑΣ

ΠΕΡΙΚΛΗΣ ΕΜ. ΠΕΡΙΣΤΕΡΟΠΟΛΟΣ

ΓΙΩΡΓΟΣ Β. ΤΙΜΟΘΕΟΥ

ΑΛΕΚΟΣ ΙΩΑΝΝΟΥ ΓΙΑΝΝΗΣ ΝΤΑΝΟΣ ΑΓΓΕΛΟΣ ΠΗΤΤΑΣ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΡΑΠΤΗΣ

Η συγγραφή και η επιμέλεια του βιβλίου

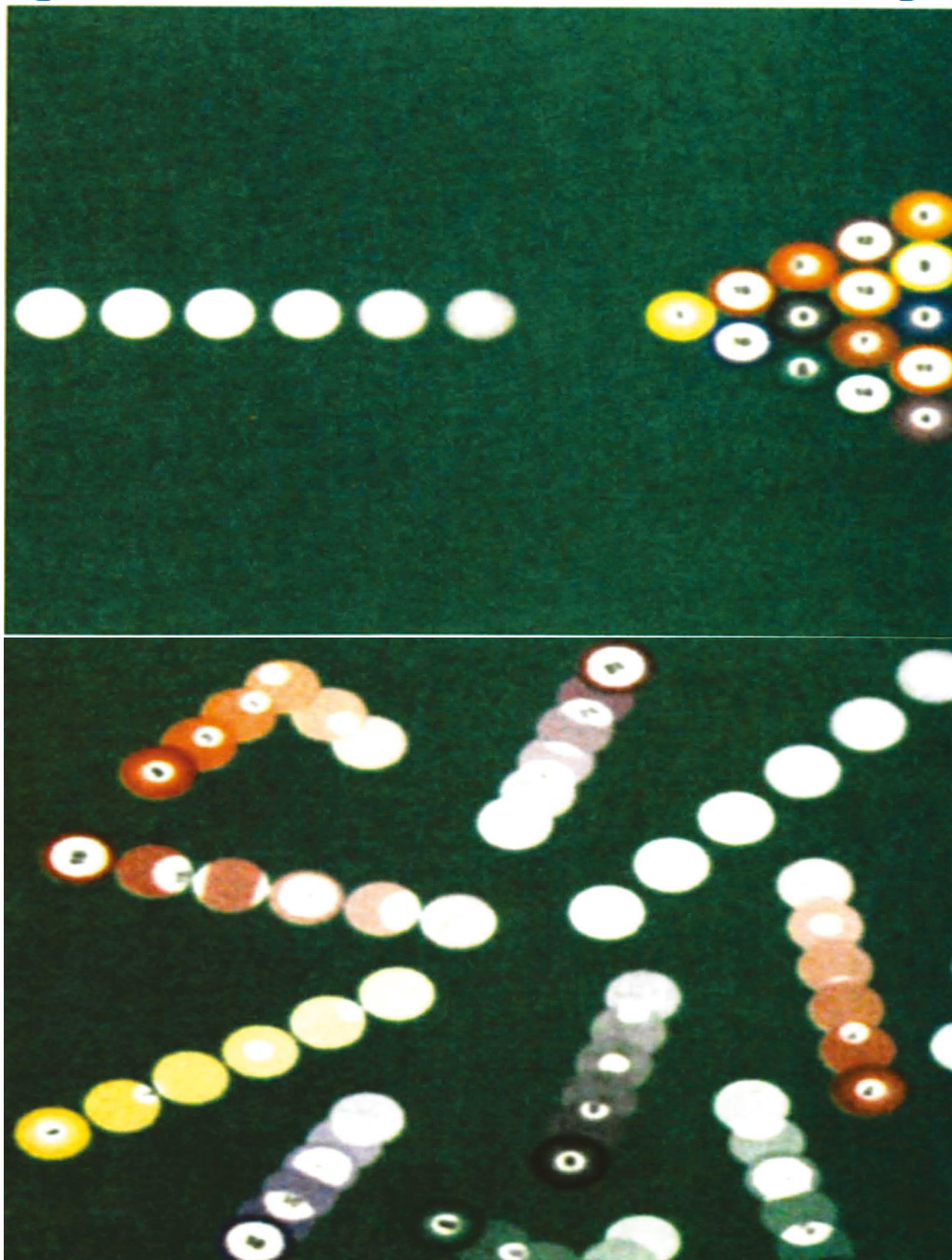
πραγματοποιήθηκε υπό την αιγίδα του Παιδαγωγικού
Ινστιτούτου

Φυσική **Ομάδας Προσανατολισμού** **Θετικών Σπουδών** **Β΄ τάξη** **Γενικού Λυκείου**

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ
«ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

(2

ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΟΡΜΗΣ



- 2.1. Η έννοια του συστήματος
Εσωτερικές και εξωτερικές
δυνάμεις**
- 2.2. Το φαινόμενο της κρούσης**
- 2.3. Η έννοια της ορμής**
- 2.4. Η δύναμη και η μεταβολή της
ορμής**
- 2.5. Η αρχή διατήρησης της ορμής**
- 2.6. Μεγέθη που δε διατηρούνται
στην κρούση**
- 2.7. Εφαρμογές της διατήρησης
της ορμής**

Στις προηγούμενες ενότητες, μελετήσαμε την κίνηση των σωμάτων και την αλλαγή της με τη βοήθεια των μεγεθών της ταχύτητας, της επιτάχυνσης και της δύναμης. Η κίνηση των σωμάτων και ειδικότερα η αλλαγή της ταχύτητάς τους μπορεί να περιγραφεί με τη βοήθεια περισσότερο αφηρημένων μεγεθών, όπως η ορμή. Η εισαγωγή του μεγέθους αυτού στη μελέτη των φαινομένων, μας επιτρέπει να δώσουμε ευρύτερο νόημα στο μέγεθος της δύναμης και να μελετήσουμε περισσότερο πολύπλοκα φαινόμενα, όπως η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο σωμάτων.

Στο κεφάλαιο αυτό, θα εισαχθεί η έννοια του συστήματος δύο σωμάτων και θα μελετήσουμε τις δυνάμεις που επηρεάζουν την κινητική κατάσταση των σωμάτων του συ-

στήματος. Θα μελετήσουμε τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά την αρχή διατήρησης της ορμής σε συστήματα δύο σωμάτων. Επίσης, θα χρησιμοποιήσουμε τη διατήρηση της ορμής στη μελέτη φαινομένων όπως η κρούση και η κίνηση των πυραύλων.

2-1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Σε προηγούμενες ενότητες ασχοληθήκαμε με τα θέματα της δύναμης και της κίνησης. Χαρακτηριστικό του τρόπου μελέτης ήταν ότι εστιάζαμε την προσοχή μας σε ένα μόνο σώμα. Επιπλέον παραβλέπαμε αν το κινούμενο σώμα ήταν αυτοκίνητο, άνθρωπος, αεροπλάνο κ.τ.λ. Τα πραγματικά σώματα τα αντιπροσώπευε μία συμβολική οντότητα: το σωμάτιο. Στην πορεία της μελέτης μάθαμε ότι πρέπει στην περιγραφή μας να συμπεριλάβουμε εκτός από το κινούμενο σώμα, την αιτία της αλλαγής της κίνησης, δηλαδή τη δύναμη.

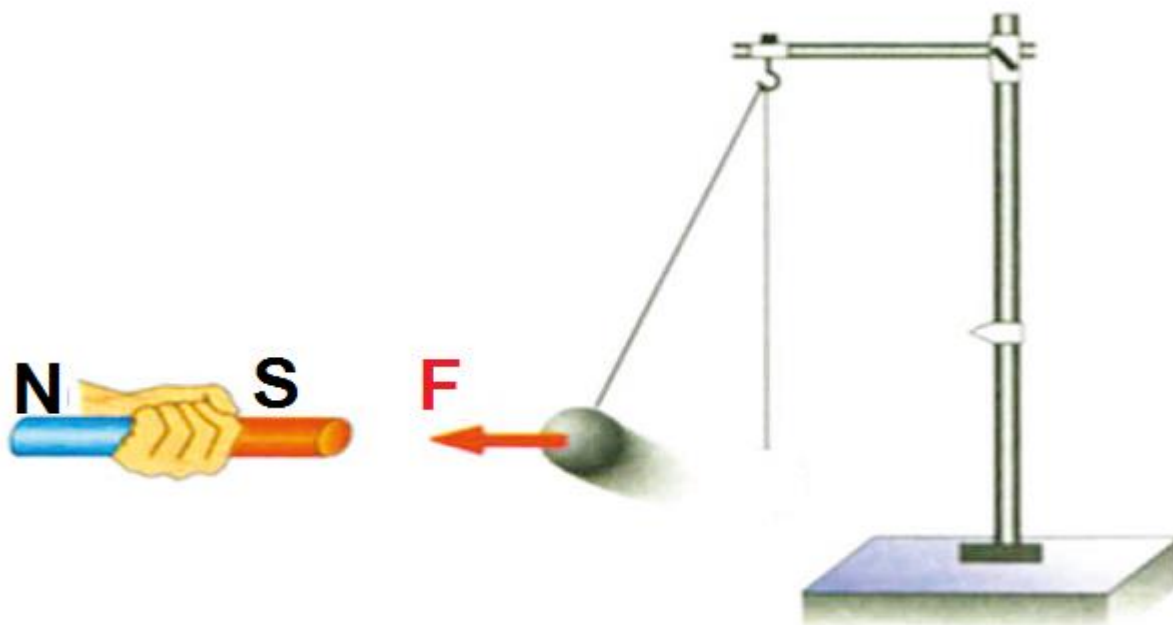
Έτσι η περιγραφή του φαινομένου της κίνησης έγινε πιο πλήρης.

Οι δύο πρώτοι νόμοι του Νεύτωνα αφορούσαν την κίνηση ενός μόνο σώματος. Όμως ο τρίτος νόμος μας υποχρέωσε να συμπεριλάβουμε στην περιγραφή εκτός από το κινούμενο σώμα ένα δεύτερο, αυτό με το οποίο αλληλεπιδρά το πρώτο.

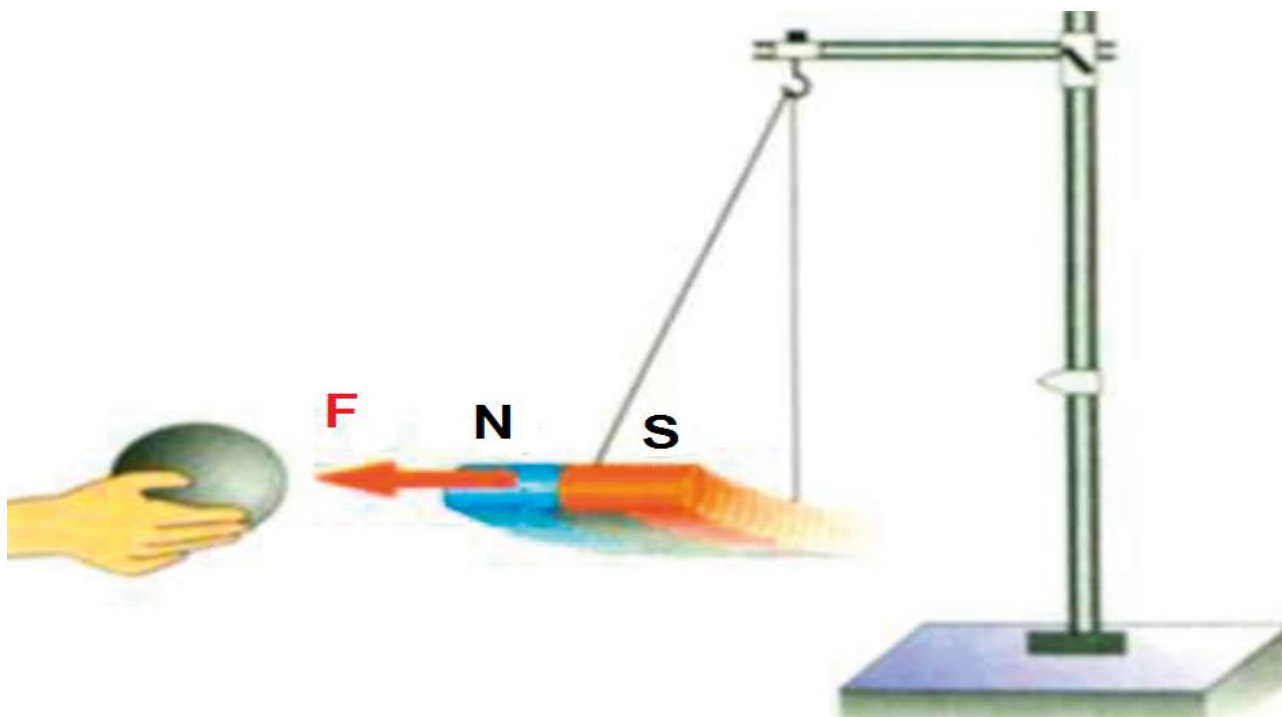
Το βήμα αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς εισάγει στην περιγραφή του φαινομένου της κίνησης και γενικότερα στην περιγραφή της φύσης δύο νέες έννοιες: την έννοια της αλληλεπίδρασης και την έννοια του συστήματος των σωμάτων.

Δύο σώματα αλληλεπιδρούν όταν ασκούν μεταξύ τους δυνάμεις. Για παράδειγμα η μεταλλική σφαίρα αλληλεπιδρά με τον μαγνήτη (Εικ. 2.1). Αν και σε εμάς φαίνεται, ότι μόνο ο μαγνήτης έλκει τη μεταλ-

λική σφαίρα, η πραγματικότητα είναι διαφορετική.

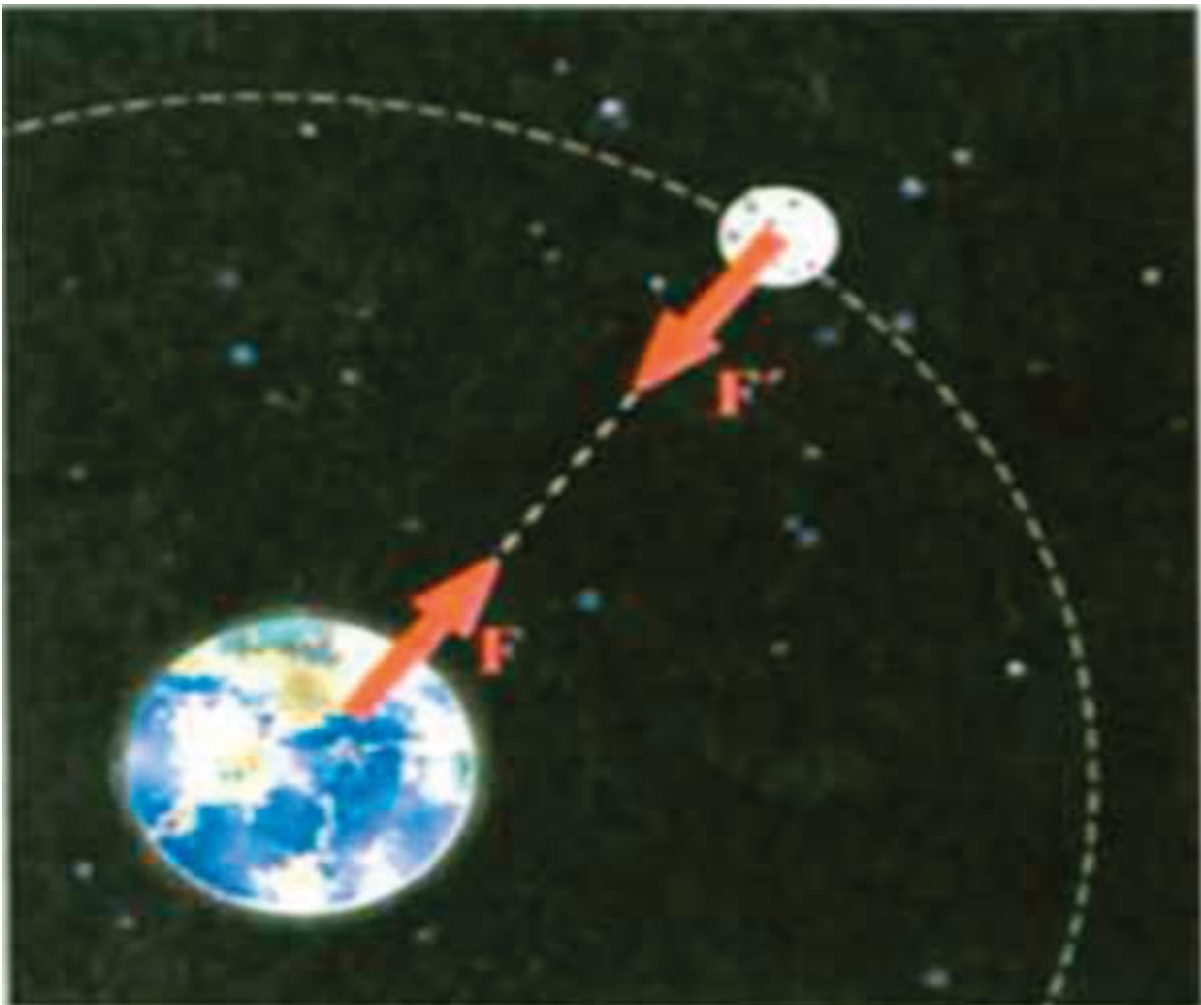


**Ο μαγνήτης έλκει τη σφαίρα.
Εικόνα 2-1.**



**Η σφαίρα έλκει το μαγνήτη.
Εικόνα 2-2.**

Πράγματι αν κάνουμε το πείραμα που φαίνεται στην εικόνα 2.2, θα δούμε ότι και η μεταλλική σφαίρα έλκει το μαγνήτη. Αυτό λοιπόν που συμβαίνει στη φύση είναι ότι ο μαγνήτης και η μεταλλική σφαίρα αλληλεπιδρούν.

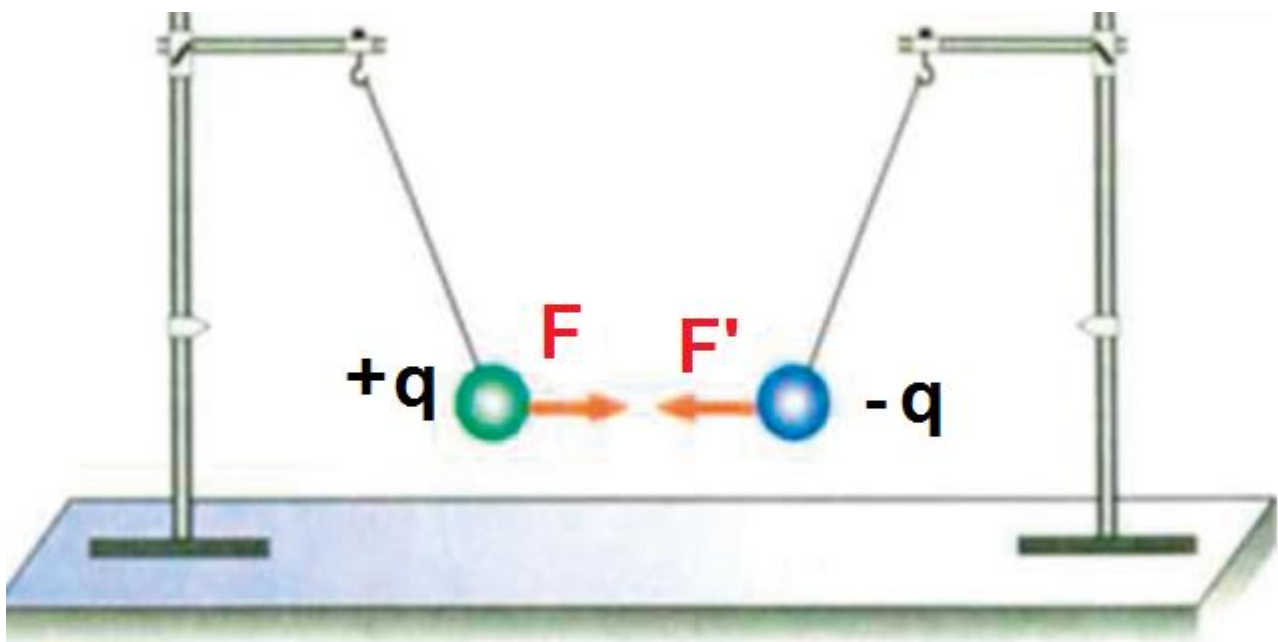


**Η βαρυτική αλληλεπίδραση
Γης - Σελήνης. Εικόνα 2-3.**

Παραδείγματα αλληλεπίδρασης είναι η έλξη μεταξύ Γης και Σελήνης (Εικ. 2.3), μεταξύ φορτισμένων σωμάτων (Εικ. 2.4), κ.τ.λ.

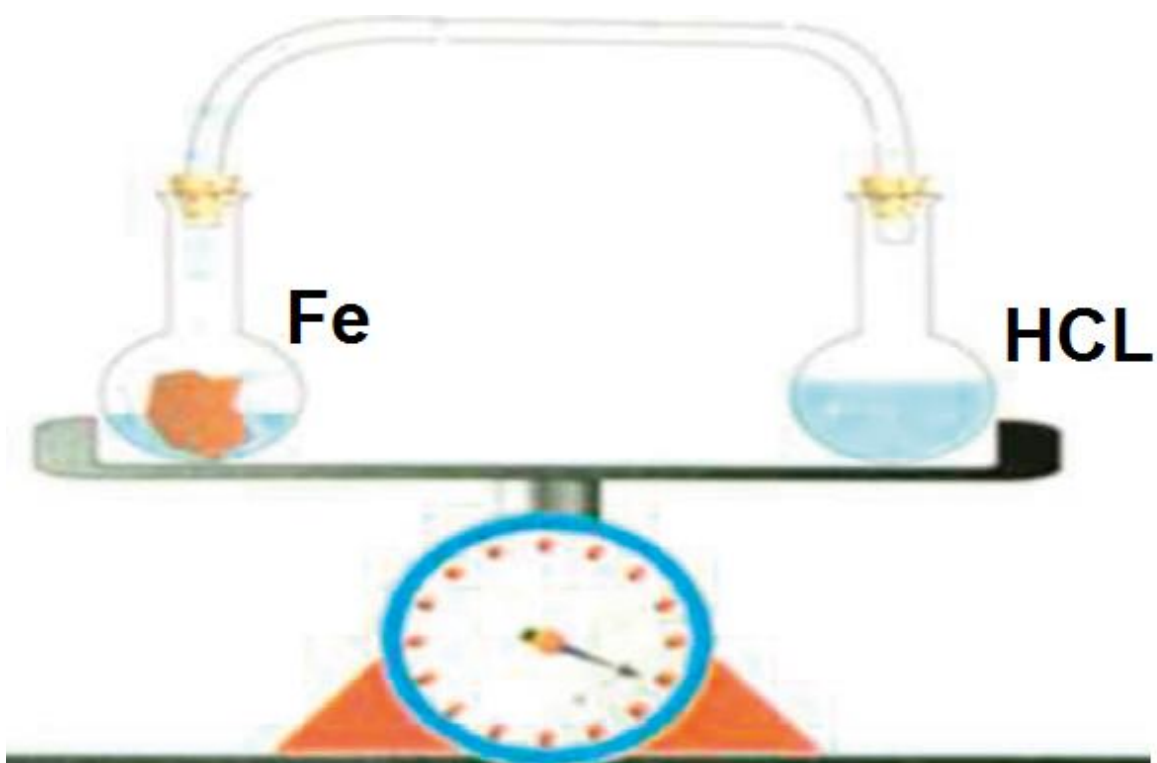
Η έννοια του συστήματος μας είναι γνωστή και από το νόμο διατήρησης της μάζας τον οποίο διατύπωσε ο Lavoissier.

Σύμφωνα με το νόμο αυτό: η μάζα ενός συστήματος σωμάτων που αλληλεπιδρούν χημικά παραμένει σταθερή.

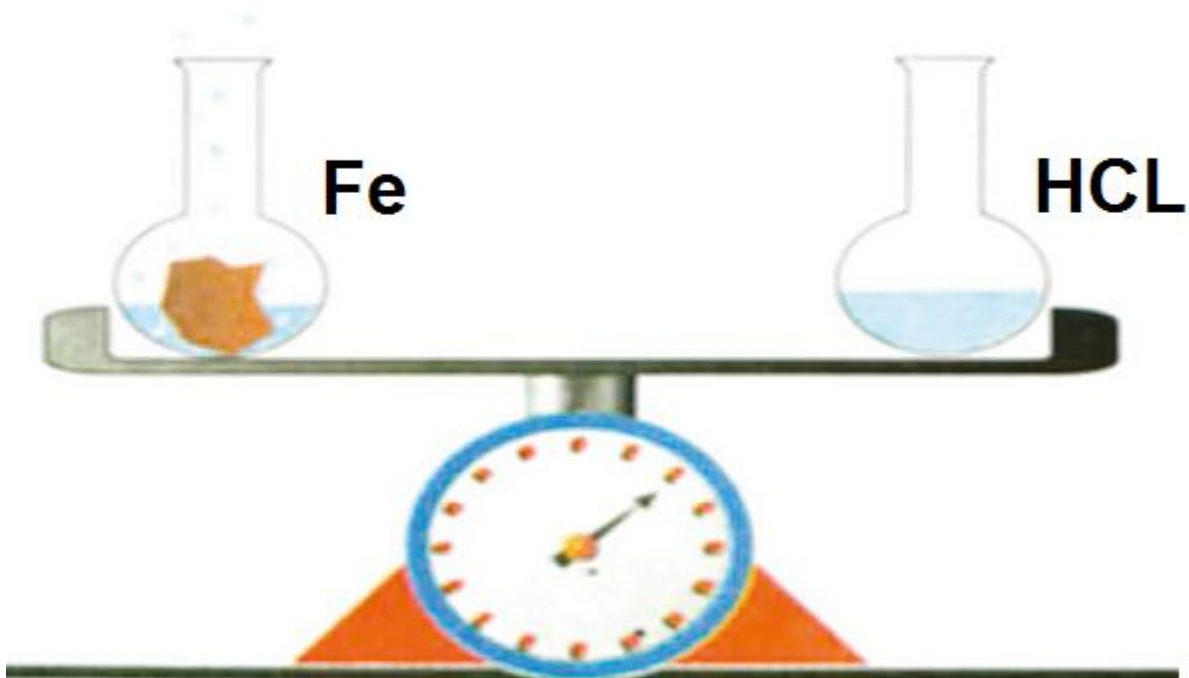


Εικόνα 2-4.

Γνωρίζουμε ότι ο σίδηρος (Fe) και το υδροχλωρικό οξύ (HCl) αλληλεπιδρούν χημικά. Ας θεωρήσουμε το σύστημα που φαίνεται στην εικόνα 5. Αν ανυψώσουμε τη φιάλη που περιέχει το HCl ώστε αυτό να έρθει σε επαφή με το Fe θα γίνει χημική αντίδραση και θα παραχθούν H₂ και FeCl₂. Θα παρατηρήσουμε ότι τόσο στη διάρκεια του φαινομένου, όσο και μετά απ' αυτό η ένδειξη του ζυγού παραμένει η ίδια (Εικ. 2.5). Αν όμως κάνουμε το ίδιο πείραμα με ανοικτά τα δύο δοχεία (Εικ. 2.6), τότε η ένδειξη του ζυγού θα γίνει μικρότερη διότι θα έχει διαφύγει στην ατμόσφαιρα το H₂.



Κλειστό σύστημα. Εικόνα 2-5.



Ανοικτό σύστημα. Εικόνα 2-6

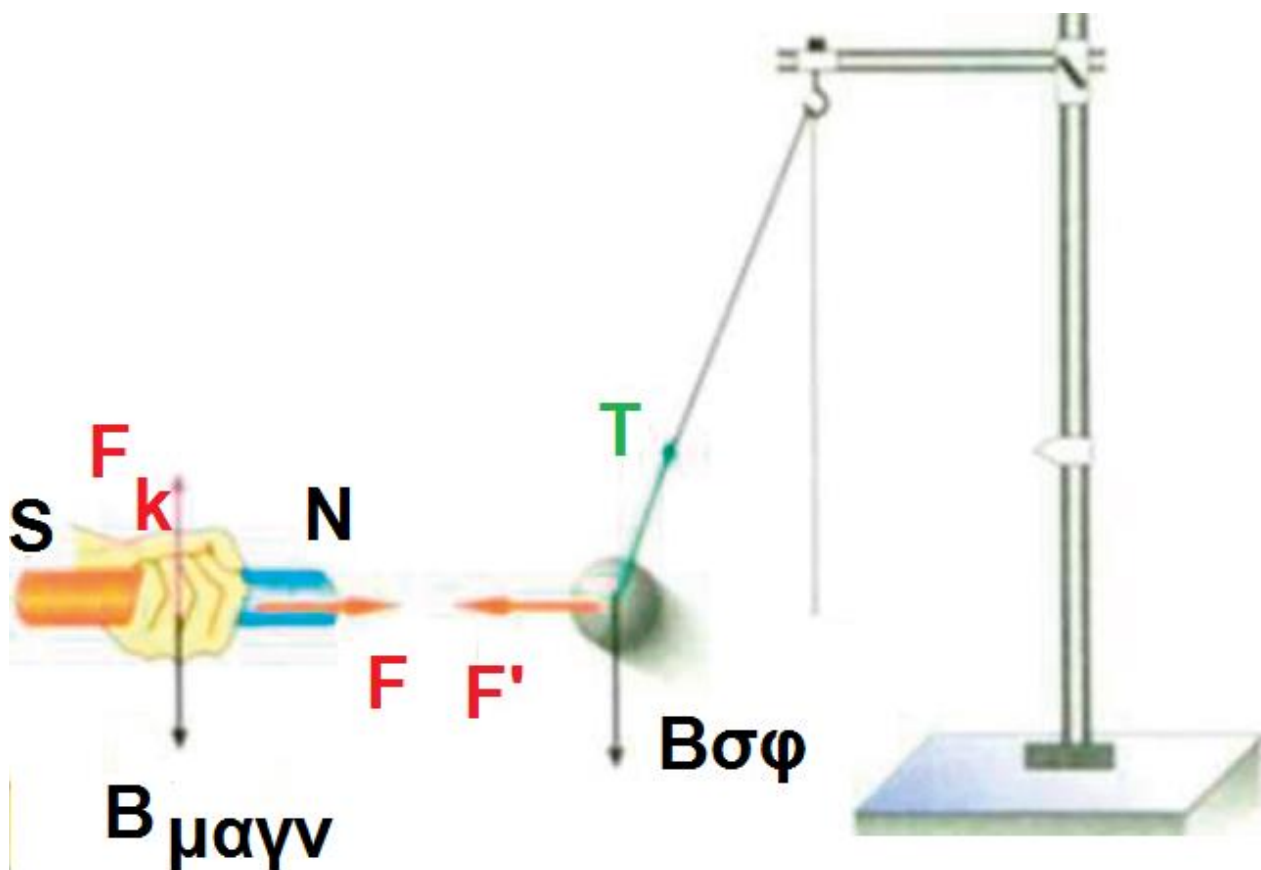
Συνεπώς η αρχή διατήρησης της μάζας στα χημικά φαινόμενα ισχύει όταν το σύστημα είναι κλειστό, δηλαδή δεν εισέρχεται, ούτε εξέρχεται μάζα στο σύστημα.

Αν στη Χημεία είναι εύκολο να απομονώσουμε ένα σύστημα σωμάτων από το περιβάλλον του, για παράδειγμα τον αέρα που είναι και αυτός σώμα, στη Φυσική τα πράγματα είναι πιο πολύπλοκα. Για παράδειγμα ο μαγνήτης αλληλεπιδρά με τη μεταλλική σφαίρα (Εικ. 2.1 και Εικ. 2.2). Αποτελούν όμως ένα σύστημα;

Η απάντηση είναι ΝΑΙ. Στη Φυσική μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ένα σύνολο δύο ή περισσότερων σωμάτων που αλληλεπιδρούν, αποτελούν σύστημα. Ωστόσο τα σώματα αυτά επειδή αλληλεπιδρούν και με άλλα σώματα μπορούν να

ανήκουν και σε άλλα συστήματα. Παραδείγματος χάρη στο μαγνήτη εκτός από την έλξη από τη μεταλλική σφαίρα ασκείται δύναμη από το χέρι μας και δύναμη από τη Γη (Εικ. 2.7). Στη μεταλλική σφαίρα ασκείται εκτός από την έλξη του μαγνήτη, το βάρος της και η τάση του νήματος (Εικ. 2.7). Επίσης στα σώματα ασκούνται δυνάμεις και από το μαγνητικό πεδίο της Γης τις οποίες θεωρούμε αμελητέες διότι δεν επηρεάζουν την εξέλιξη του φαινομένου. Προκειμένου να αποδώσουμε τις διαφορές μεταξύ αυτών των δυνάμεων χρησιμοποιούμε τους όρους:

εσωτερικές και εξωτερικές δυνάμεις.



Εικόνα 2-7.

Έτσι για το σύστημα μαγνήτης - σφαίρα, για μεν το μαγνήτη:
Εξωτερικές δυνάμεις είναι το βάρος

$B_{\text{μαγν}}$ και η δύναμη F_k από το χέρι.
Εσωτερική δύναμη είναι η ελκτική δύναμη F από τη σφαίρα.

Για δε τη μεταλλική σφαίρα:

Εξωτερικές δυνάμεις είναι το βάρος της $B_{σφ}$ και η τάση T του νήματος.

Εσωτερική δύναμη είναι η ελκτική δύναμη F του μαγνήτη.

Γενικεύοντας, μπορούμε να συμφωνήσουμε ότι σε ένα σύστημα σωμάτων διακρίνουμε δύο είδη δυνάμεων:

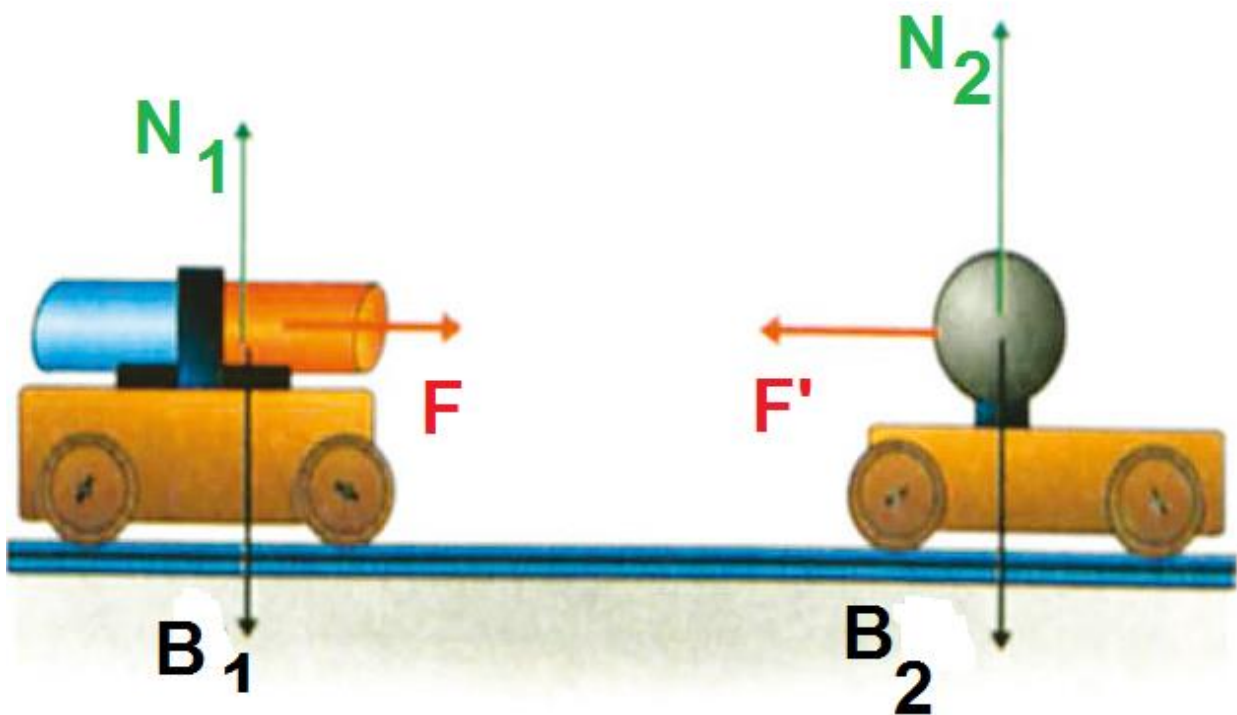
α) αυτές που προέρχονται αποκλειστικά από τα σώματα που αποτελούν το σύστημα και τις οποίες ονομάζουμε εσωτερικές,

β) δυνάμεις που προέρχονται από άλλα σώματα και οι οποίες ονομάζονται εξωτερικές.

Αν στην περίπτωση της διατήρησης της μάζας στη χημική αλληλεπίδραση μπορέσαμε να “στεγανοποιήσουμε” το σύστημα από το

περιβάλλον του, στη Φυσική δύσκολα μπορούμε να “απομονώσουμε” ένα σύστημα από την επίδραση των εξωτερικών δυνάμεων. Αν όμως οι εξωτερικές δυνάμεις έχουν συνισταμένη μηδέν, τότε το σύστημα αυτό θα ονομάζεται **μονωμένο**.

Ας εξετάσουμε το σύστημα που φαίνεται στην **εικόνα 2.8**. Ο μαγνήτης και η σφαίρα έχουν στερεωθεί πάνω σε αμαξάκια τα οποία μπορούν να κινούνται χωρίς τριβές σε ένα οριζόντιο τραπέζι.



Εικόνα 2-8.

Ποιες είναι οι εσωτερικές και ποιες οι εξωτερικές δυνάμεις που ασκούνται στα σώματα που αποτελούν το σύστημα;

Ας τις προσδιορίσουμε αναλυτικά.

Στο μαγνήτη ασκούνται οι δυνάμεις

α) Το βάρος του B_1 .

β) Η αντίδραση N_1 από την επιφάνεια στην οποία βρίσκεται.

γ) Η έλξη F από τη μεταλλική

σφαίρα.

Στη μεταλλική σφαίρα ασκούνται οι δυνάμεις

α) Το βάρος της B_2 .

β) Η αντίδραση N_2 από την επιφάνεια στην οποία βρίσκεται.

γ) Η έλξη από το μαγνήτη.

Για τα σώματα του συστήματος το βάρος και η αντίδραση είναι εξωτερικές δυνάμεις, ενώ οι μεταξύ τους έλξεις είναι εσωτερικές.

Η συνισταμένη των εξωτερικών δυνάμεων για κάθε ένα από τα σώματα είναι μηδέν, διότι ισχύει:

$$\mathbf{B_1=N_1 \text{ και } B_2=N_2.}$$

Συνεπώς το σύστημα μαγνήτης-μεταλλική σφαίρα είναι μονωμένο. Έτσι η κίνησή τους θα καθορίζεται αποκλειστικά από τις εσωτερικές δυνάμεις.

Γενικότερα, σε ένα μονωμένο σύστημα δεν ασκούνται εξωτερικές δυνάμεις ή αν ασκούνται έχουν μηδενική συνισταμένη.

Πρέπει να τονίσουμε ότι στη φύση δεν υπάρχουν μονωμένα συστήματα. Μπορούμε όμως να θεωρήσουμε ένα σύστημα μονωμένο κάνοντας προσεγγίσεις στις οποίες θεωρούμε αμελητέες διάφορες εξωτερικές δυνάμεις.

Για παράδειγμα στο σύστημα που μελετήσαμε δεχθήκαμε ότι δεν υπάρχουν τριβές και αγνοήσαμε την αντίσταση του αέρα.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ

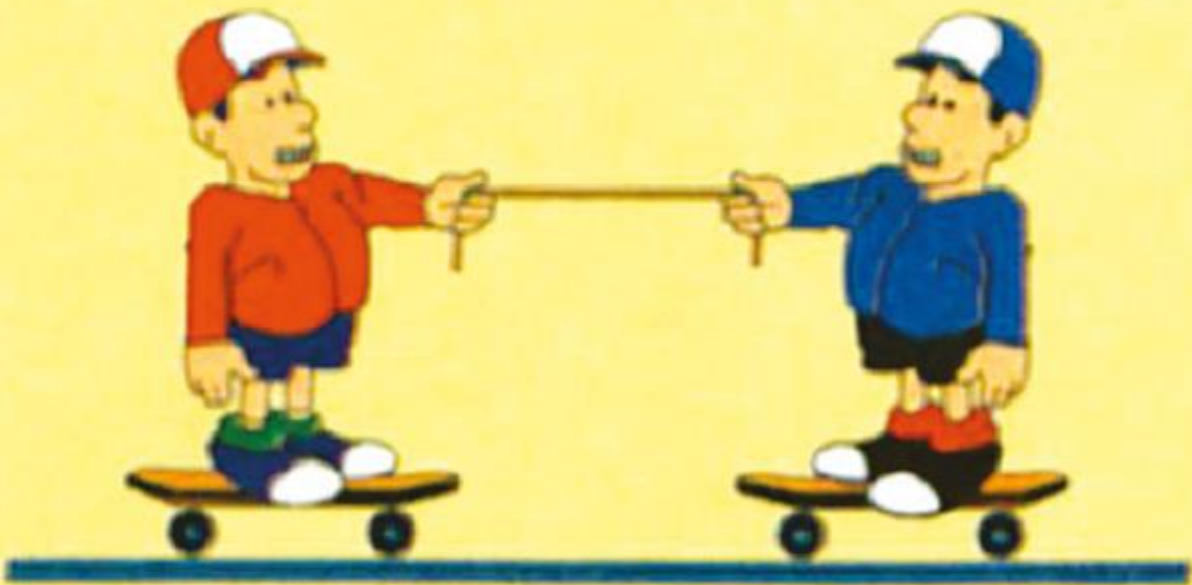
Τα δύο συστήματα που φαίνονται στις εικόνες α, β, μπορούν να

θεωρηθούν μονωμένα; Να εξηγήσετε την άποψή σας.



Το ελατήριο είναι συσπειρωμένο και τα αμαξάκια συγκρατούνται με ένα σκοινί

(α)



Και τα δυο παιδιά τραβούν προς το μέρος τους το σκοινί

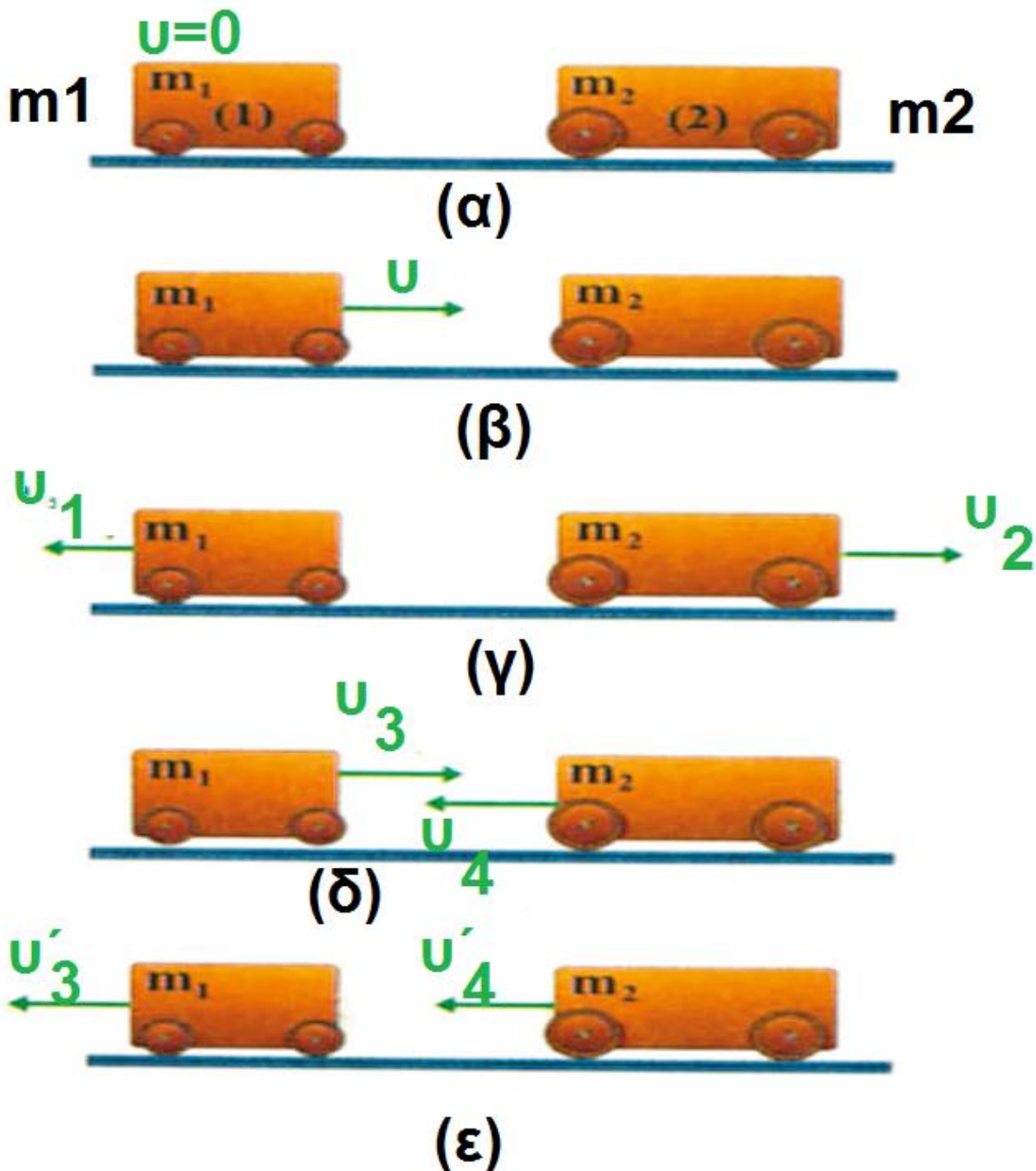
(β)

2-2. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΚΡΟΥΣΗΣ

Ας θεωρήσουμε το μονωμένο σύστημα της εικόνας 2.9α. Το αμαξάκι (1) έχει μάζα m_1 , το αμαξάκι (2) έχει μάζα m_2 και γνωρίζουμε ότι $m_1 < m_2$.

Αν σπρώξουμε το πρώτο αμαξάκι, αυτό θα αρχίσει να κινείται (Εικ. 2.9β). Στη συνέχεια θα χτυπήσει το δεύτερο και μετά τα δύο αμαξάκια θα κινούνται έστω σε αντίθετες κατευθύνσεις με διαφορετικές ταχύτητες (Εικ. 2.9γ). Μπορούμε να σπρώξουμε ταυτόχρονα τα δύο αμαξάκια, ώστε αυτά να πλησιάσουν το ένα το άλλο (Εικ. 2.9δ). Ανάλογα με τις ταχύτητες που θα δώσουμε μπορεί να προκύψουν μετά τη σύγκρουση διάφορα αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα να κινούνται

όπως φαίνεται στην εικόνα 2.9ε.



Οι ταχύτητες πριν από την κρούση (β), (δ). Οι ταχύτητες μετά την κρούση (γ), (ε), έχουν αλλάξει.
Εικόνα 2-9.

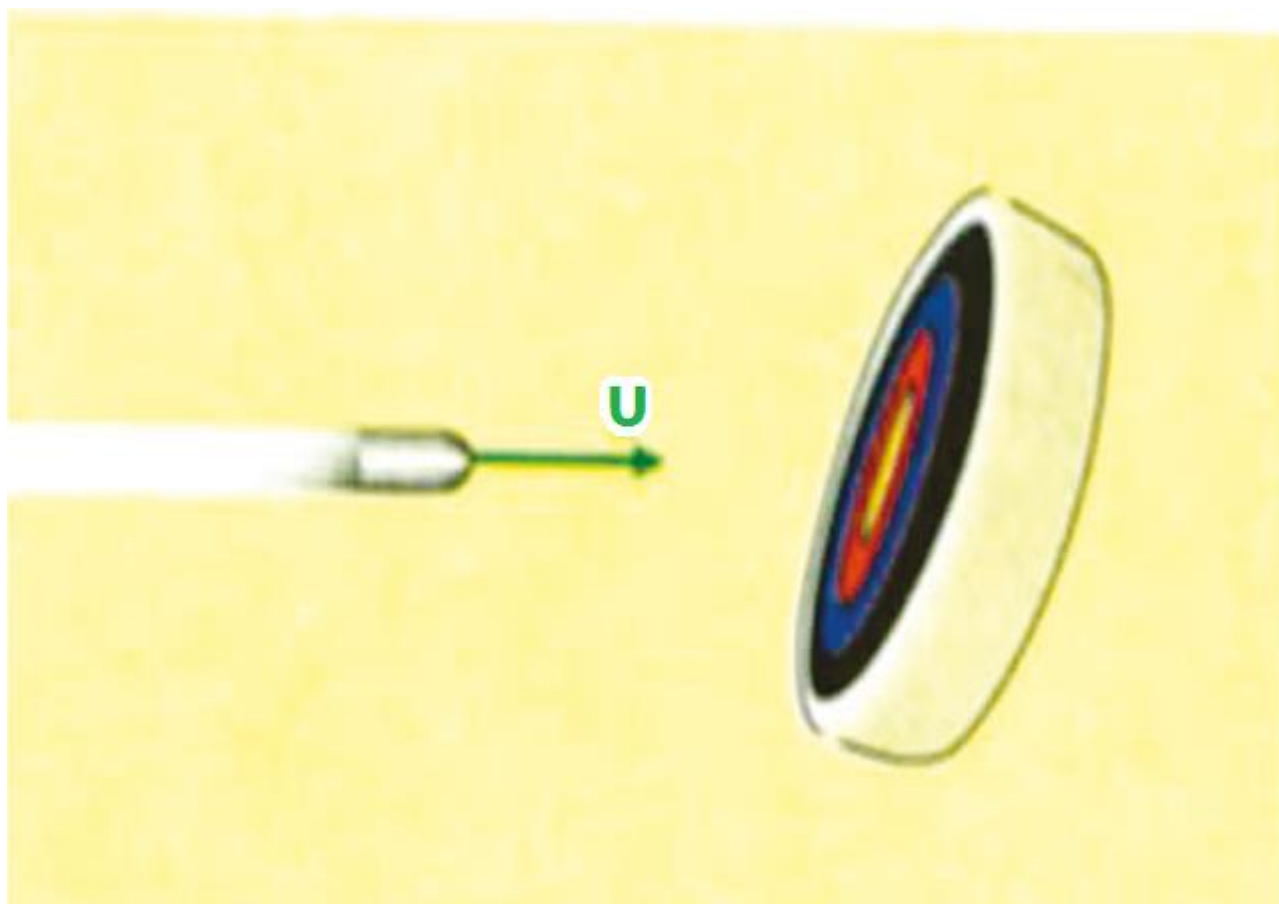


Εικόνα 2-10.

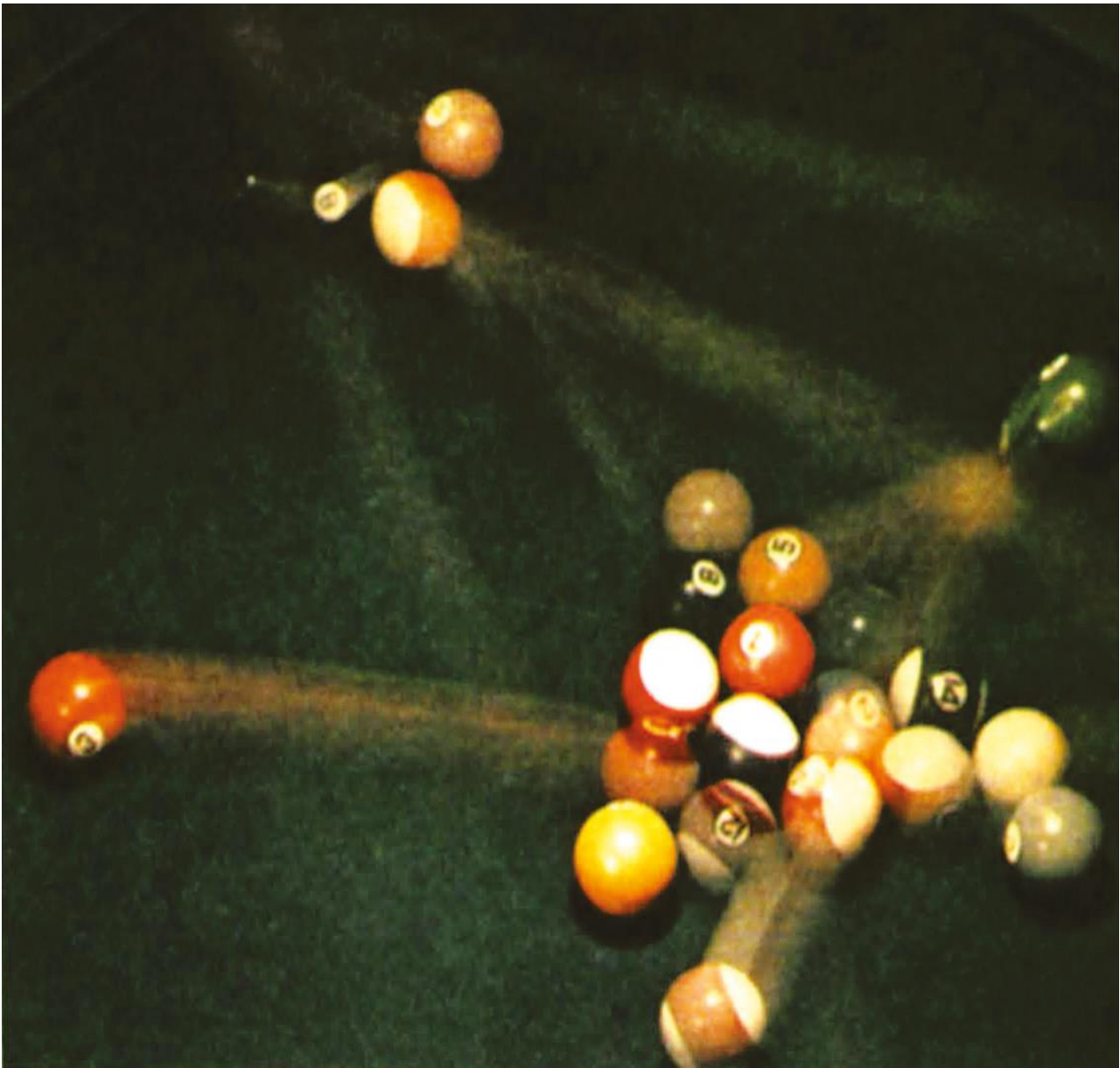
Οι παραπάνω περιπτώσεις ανήκουν σε μία γενικότερη κατηγορία φαινομένων τα οποία ονομάζονται φαινόμενα κρούσης.

Στην κατηγορία αυτή υπάγονται φαινόμενα όπως η σύγκρουση δύο αυτοκινήτων (Εικ. 2.10), το σφήνωμα του βλήματος στο στόχο (Εικ. 2.11), κ.ά. Υπάγονται ακόμα φαινόμενα, όπως η σύγκρουση των σφαιρών του μπιλιάρδου (Εικ.

2.12), ο βομβαρδισμός των πυρήνων των ατόμων με σωματίδια, όπως τα πρωτόνια, κ.τ.λ.



Εικόνα 2-11.



Εικόνα 2-12.

Μπορούμε όμως να περιγράψουμε όλα αυτά τα φαινόμενα με έναν απλό και ενιαίο τρόπο; Η απάντηση είναι καταφατική και στηρίζεται στην έννοια του συστήματος. Πράγματι, σε όλες τις περιπτώσεις:

α) τα σώματα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους,

β) μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αποτελούν ένα μονωμένο σύστημα.

Ακόμα και στην περίπτωση των αυτοκινήτων (Εικ. 2.10) στην οποία οι εξωτερικές δυνάμεις δεν έχουν συνισταμένη μηδέν, επειδή υπάρχουν τριβές, οι δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη σύγκρουση είναι τόσο μεγάλες ώστε μπορούμε να αγνοήσουμε όλες τις εξωτερικές δυνάμεις. Δηλαδή να θεωρούμε το σύστημα μονωμένο.

2-3. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΟΡΜΗΣ

Η μελέτη του φαινομένου της κρούσης και η περιγραφή του με τη βοήθεια κατάλληλα επινοημένων μεγεθών, απασχόλησε τους επιστήμονες πολύ πριν από την εποχή του Νεύτωνα. Το αποτέλεσμα ήταν να καταλήξουν, περί τα τέλη του 17ου αιώνα, στην εισαγωγή ενός νέου φυσικού μεγέθους που σήμερα χαρακτηρίζεται με το όνομα ορμή. Το ερώτημα που προέκυπτε κάθε φορά που μελετούσαν μία σύγκρουση ήταν: το φαινόμενο θα είναι άραγε πιο έντονο αν τα συγκρουόμενα σώματα έχουν μεγάλη μάζα, ή μεγάλη ταχύτητα;

Η απάντηση στην οποία κατέληγαν και που σήμερα και εμείς επιβεβαιώνουμε με την καθημερινή

μας εμπειρία ήταν πως το αποτέλεσμα της κρούσης επηρεάζεται τόσο από τη μάζα, όσο και από την ταχύτητα των συγκρουόμενων σωμάτων.

Έτσι ορίζουμε την ορμή p ενός σώματος ως το φυσικό μέγεθος που η τιμή του εξαρτάται από τη μάζα και την ταχύτητα του σώματος.

Συγκεκριμένα είναι:

$$\vec{p} = m\vec{u} \quad (1)$$



Η ορμή, όπως προκύπτει από τη σχέση (1), είναι μέγεθος διανυσματικό που έχει κατεύθυνση την κατεύθυνση της ταχύτητας του σώματος και η τιμή του είναι:

$$p = mu.$$

Η μονάδα μέτρησής της στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων S.I. είναι το 1kgm/s .

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, η σημασία της έννοιας της ορμής είναι πολύ μεγάλη για τη Φυσική, αφού με αυτήν μπορούμε να μελετήσουμε φαινόμενα κρούσης. Ωστόσο, πολλές φορές χρησιμοποιούμε την έννοια της ορμής για να μελετήσουμε εξίσου καλά μία κίνηση.

Όπως θα δούμε στις επόμενες παραγράφους, η περιγραφή της κρούσης με τη βοήθεια της έννοιας της ορμής, πλεονεκτεί της περιγραφής με τη βοήθεια της έννοιας της ταχύτητας, γιατί η ορμή ως φυσικό μέγεθος διατηρείται.

Η ιδιότητα αυτή της ορμής είναι πολύ χρήσιμη, αφού μας επιτρέ-

πει να κάνουμε προβλέψεις και να καταλήγουμε σε συμπεράσματα που αφορούν στην κίνηση ενός σώματος ή ενός συστήματος, χωρίς να χρειάζεται ο κουραστικός υπολογισμός όλων των λεπτομερειών της κίνησης.

Ένας μαθητής ισχυρίζεται ότι, αν ένα σώμα το οποίο κινείται με ταχύτητα u , είναι εκτός του πεδίου βαρύτητας, δεν μπορεί να έχει ορμή.

Συζητήστε στην ομάδα σας αν αληθεύει αυτός ο ισχυρισμός.

Μερικοί μαθητές θεωρούν την ορμή ενός σώματος παρόμοια έννοια με τη δύναμη που “έχει” το σώμα ή τη δύναμη που ασκείται στο σώμα .

Ποια είναι η δική σας άποψη;

2-4 Η ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ Η ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΟΡΜΗΣ

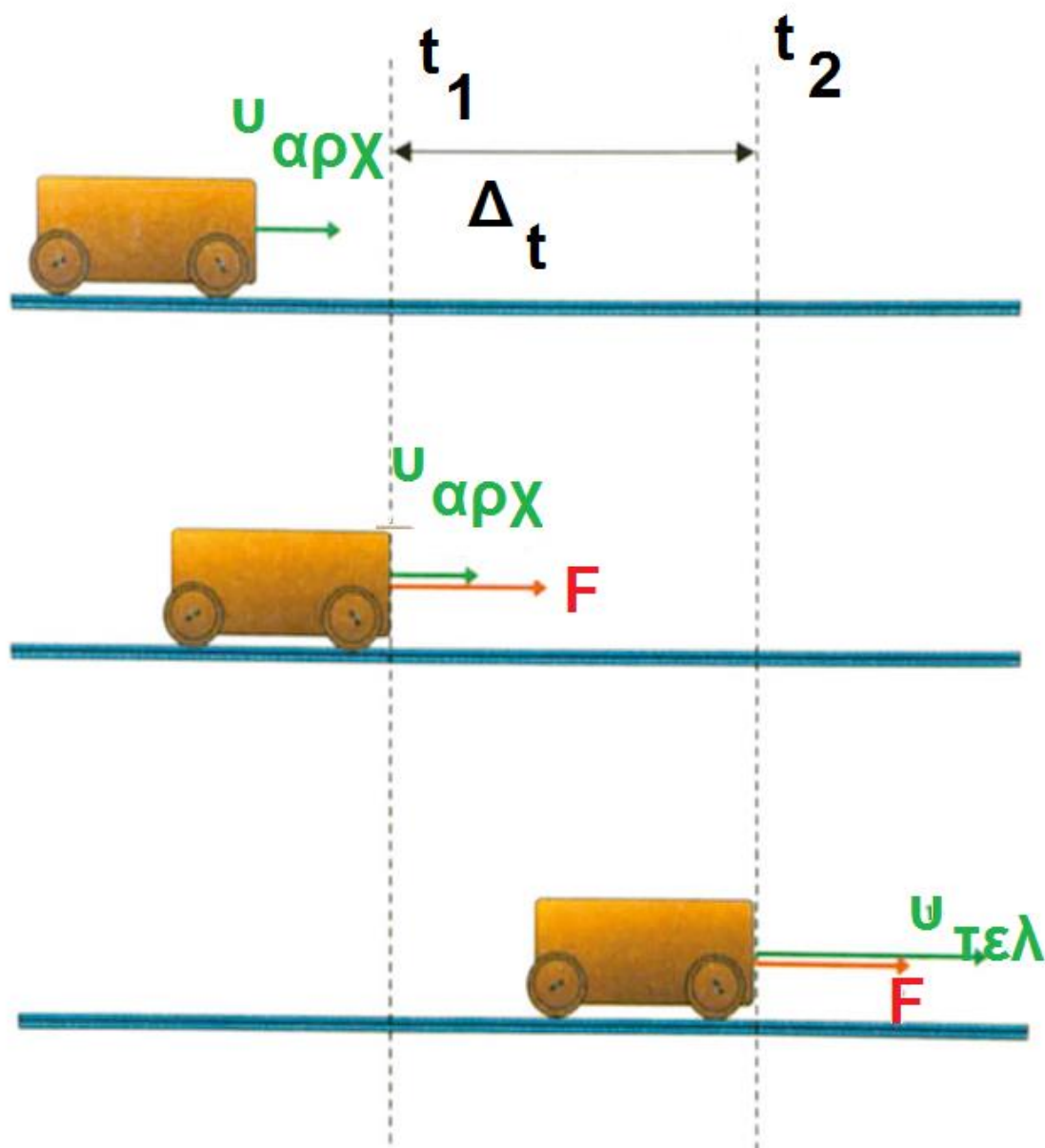
Όπως είδαμε στην παράγραφο 2.2, κατά τη διάρκεια της κρούσης εμφανίζονται δυνάμεις μεγάλου μέτρου. Αυτές οι δυνάμεις προκαλούν τις αλλαγές στην ταχύτητα και την ορμή των σωμάτων που συγκρούονται.

Συνεπώς πρέπει να αναζητήσουμε σχέση μεταξύ δύναμης και ορμής, εικόνα 2.13.

Τη σχέση αυτή μπορούμε να τη βρούμε, αν συνδυάσουμε το θεμελιώδη νόμο της Μηχανικής

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad \text{με τη σχέση}$$
$$\vec{a} = \frac{\vec{u}_{\text{τελ}} - \vec{u}_{\text{αρχ}}}{\Delta t}$$

που ορίζει την επιτάχυνση.



Η άσκηση της δύναμης F προκάλεσε την αύξηση της ταχύτητας από $u_{\text{αρχ}}$ σε $u_{\text{τελ}}$ και συνεπώς αύξηση της ορμής του σώματος.
Εικόνα 2 -13.

Αντικαθιστώντας στην πρώτη την τιμή της επιτάχυνσης από τη δεύτερη προκύπτει ότι:

$$\vec{F} = m \frac{\vec{u}_{\text{τελ}} - \vec{u}_{\text{αρχ}}}{\Delta t} \quad \text{ή}$$

$$\vec{F} = \frac{m\vec{u}_{\text{τελ}} - m\vec{u}_{\text{αρχ}}}{\Delta t}$$

Γνωρίζουμε όμως ότι το γινόμενο $m\vec{u}_{\text{τελ}}$ είναι η τελική ορμή $\vec{P}_{\text{τελ}}$ του σώματος και $m\vec{u}_{\text{αρχ}}$ η αρχική ορμή του $\vec{P}_{\text{αρχ}}$.

Η παραπάνω σχέση γράφεται έτσι:

$$\vec{F} = \frac{\vec{P}_{\text{τελ}} - \vec{P}_{\text{αρχ}}}{\Delta t} \quad (2)$$

Στην περίπτωση που τα διανύσματα $\vec{P}_{\text{αρχ}}$ και $\vec{P}_{\text{τελ}}$ είναι συγγραμικά, η σχέση (2) γράφεται:

$$F = \frac{P_{\text{τελ}} - P_{\text{αρχ}}}{\Delta t} \quad (3)$$

Από τη σχέση (2) προκύπτει ότι η μεταβολή της ορμής $(\vec{P}_{\text{τελ}} - \vec{P}_{\text{αρχ}})$ διά του χρόνου Δt εντός του οποίου συμβαίνει αυτή, ισούται με τη δύναμη $\vec{F}$ που την προκαλεί.

Συνεπώς για να αλλάξει η ορμή ενός σώματος απαιτείται η άσκηση δύναμης.

Ας εξετάσουμε το νόημα που έχει αυτό το συμπέρασμα μέσα από

ένα παράδειγμα.



Εικόνα 2 -14.

**Όλοι μας λέμε ότι στο ποδό-
σφαιρο για να αποκτήσει η μπάλα
μεγάλη ταχύτητα και συνεπώς με-
γάλη ορμή πρέπει να της δώσουμε
μία “δυνατή κλωτσιά” (Εικ. 2.14). Τι
σημαίνει όμως αυτό;**

Σημαίνει ότι πρέπει στη μπάλα να ασκηθεί μεγάλη δύναμη. Έτσι, όπως προκύπτει από τη σχέση (3) όσο πιο μεγάλη είναι η δύναμη, τόσο πιο μεγάλη θα είναι η μεταβολή της ορμής της μπάλας. Θεωρώντας ότι η μπάλα ήταν αρχικά ακίνητη, προκύπτει ότι:

$$F = \frac{mu}{\Delta t} = \frac{P_{\text{μπάλας}}}{\Delta t}$$

όπου $P_{\text{μπάλας}}$ είναι η ορμή της μπάλας και Δt η διάρκεια της επαφής του ποδιού με τη μπάλα. Συνεπώς η σχέση (3) περιγράφει ικανοποιητικά την εμπειρία μας. Ας εξετάσουμε την ακόλουθη περίπτωση.

Ένας ποδοσφαιριστής δίνει μία “δυνατή κλωτσιά” και η μπάλα

αποκτά ταχύτητα 23m/s. Από μετρήσεις βρέθηκε ότι στις δυνατές κλωτσιές η επαφή της μπάλας με το παπούτσι του ποδοσφαιριστή διαρκεί 0,008s. Η μάζα της μπάλας, σύμφωνα με τους κανονισμούς είναι 0,425kg. Μπορούμε χρησιμοποιώντας τη σχέση (3) να υπολογίσουμε τη δύναμη.

Αντικαθιστούμε τα παραπάνω δεδομένα και έχουμε:

$$F = \frac{0,425\text{kg} \cdot 23\text{m} / \text{s}}{0,008\text{s}} = 1381,25\text{N}$$

Για να εκτιμήσουμε το πόσο μεγάλη είναι αυτή η δύναμη μπορούμε να τη συγκρίνουμε με το βάρος του ποδοσφαιριστή. Αν δεχθούμε ότι η μάζα του ποδοσφαιριστή είναι 70kg, το βάρος του είναι $70\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 686,7\text{N}$.

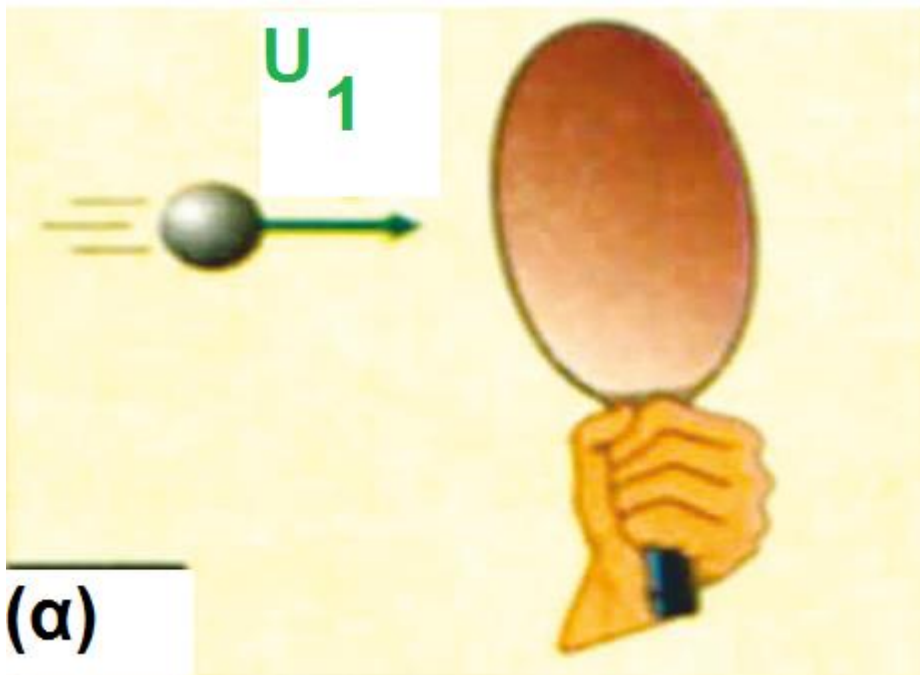
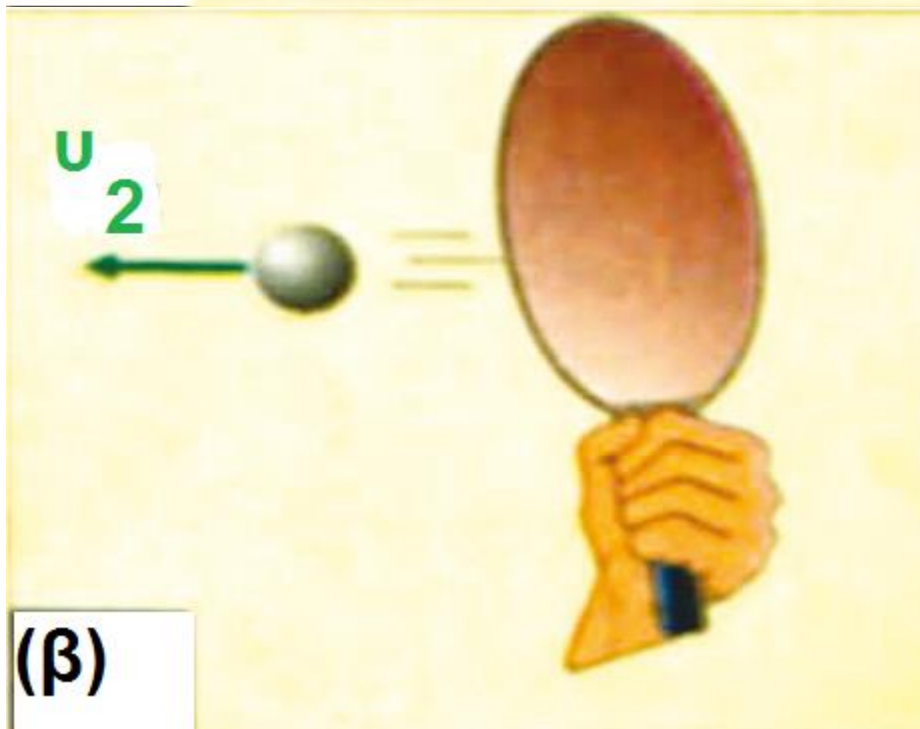
Συγκρίνοντας τα μέτρα των δύο αυτών δυνάμεων προκύπτει ότι η δύ-

ναμη που άσκησε ο ποδοσφαιριστής στη μπάλα είναι περίπου διπλάσια από το βάρος του.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

Ένα μπαλάκι του πινγκ - πονγκ προσπίπτει κάθετα πάνω στη ρακέτα με ταχύτητα u_1 και ανακλάται με ταχύτητα αντίθετης κατεύθυνσης u_2 . Αν γνωρίζουμε ότι το μπαλάκι έχει μάζα m μπορούμε με τη βοήθεια της σχέσης (3) να υπολογίσουμε τη δύναμη που ασκήθηκε. Δοκιμάστε διάφορα ζεύγη τιμών και συζητήστε τα αποτελέσματα που βρίσκετε. Η μάζα που έχει το μπα-

λάκι είναι 10g και το $\Delta t \approx 0,1\text{s}$.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

Στις προηγούμενες παραγράφους μελετήσαμε την έννοια ορμής και τη σχέση της με τη δύναμη. Με

η βοήθεια των σχέσεων

$$p = mv \quad \text{και} \quad F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad \text{μπορού-}$$

με:

α) Να υπολογίσουμε, κατ' εκτίμηση, την ορμή που έχει ένα μικρό ή μεγάλο κινούμενο σώμα.

β) Να εκτιμήσουμε τη δύναμη που απαιτείται για να το σταματήσουμε.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται κατ' εκτίμηση τιμές για τη μάζα και την ταχύτητα.

A/A	Περιγραφή	Τιμές ταχύτητας
1	Αθλητής δρόμου 100m	$u=10\text{m/s}$
2	Βλήμα πυροβόλου όπλου	$u=500\text{m/s}$
3	Κουνούπι που πετάει	$u=7\text{m/s}$
4	Μόριο N_2 του ατμοσφαιρικού αέρα σε θερμοκρασία 23°C	$u=800\text{m/s}$
5	Πετρελαιοφόρο πλοίο ($1\text{mi/h}=1669\text{km/h}$)	$u=10\text{mi/h}$
6	Μπάλα ποδοσφαί- ρου που κινείται	$u=12\text{m/s}$

Τιμή μάζας

Τιμή ορμής

$$m=80\text{kg}$$

$$m=10\text{g}$$

$$m=2\text{g}$$

$$m = \frac{28}{23 \cdot 6 \cdot 10} \text{ g}$$

$$m=2 \cdot 10^8$$

$$m=425\text{g}$$

1. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του πίνακα να υπολογίσετε την ορμή σε κάθε μία περίπτωση. Γράψτε το αποτέλεσμα στην πέμπτη στήλη του πίνακα.

2. Ποιο από τα σώματα έχει τη μεγαλύτερη ορμή και ποιο έχει τη μικρότερη;

3. Υποθέστε ότι όλα τα σώματα ακινητοποιούνται στο ίδιο χρονικό διάστημα Δt . Για ποιό απ' όλα απαιτείται μεγαλύτερη δύναμη;

4. Χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του πίνακα και τα δικά σας αποτελέσματα, να ερμηνεύσετε τα εξής δεδομένα:

α) Ζώντας στην ατμόσφαιρα της Γης βομβαρδιζόμαστε διαρκώς από

κινούμενα μόρια, αλλά δεν “αισθανόμαστε τίποτα”.

β) Στους κλειστούς στίβους και συγκεκριμένα στο τέλος της διαδρομής των 100m υπάρχουν κατακόρυφοι τοίχοι καλυμμένοι με παχύ αφρώδες υλικό.

γ) Τα πλοία παθαίνουν μεγάλες ζημιές όταν συγκρούονται με την προβλήτα του λιμανιού, ακόμα και όταν κινούνται με μικρή ταχύτητα.

5. Γιατί μας τραυματίζει μία σφαίρα και όχι η μπάλα ποδοσφαίρου αν και έχουν περίπου ίσες ορμές;

2-5 Η ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΜΗΣ

Με τη βοήθεια της έννοιας της ορμής οι επιστήμονες απλοποίησαν τη μελέτη των πολύπλοκων φαινομένων της κρούσης και κατέληξαν στο ακόλουθο συμπέρασμα:

Η συνολική ορμή ενός μονωμένου συστήματος σωμάτων διατηρείται σταθερή.

Η πρόταση αυτή είναι άμεση συνέπεια του τρίτου νόμου του Νεύτωνα σύμφωνα με τον οποίο η δράση είναι ίση με την αντίδραση.

Ας θεωρήσουμε δύο σώματα που αλληλεπιδρούν. Εφ' όσον οι δυνάμεις που ασκούνται σ' αυτά είναι αντίθετες, θα ισχύει $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$

$$\text{ή } m_1 \frac{\Delta \vec{u}_1}{\Delta t} = -m_2 \frac{\Delta \vec{u}_2}{\Delta t}$$

Όμως ο χρόνος αλληλεπίδρασης Δt είναι ίδιος και για τα δύο σώματα και κατά συνέπεια

$$m_1 \Delta \vec{u}_1 = -m_2 \Delta \vec{u}_2$$

Συνεπώς για τις μεταβολές της ορμής θα ισχύει:

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2 \quad \text{ή} \quad \Delta \vec{p}_1 + \Delta \vec{p}_2 = 0$$

Εφ' όσον όμως το άθροισμα των μεταβολών των ορμών είναι μηδέν, έπεται ότι το άθροισμα των ορμών των σωμάτων του συστήματος δε μεταβάλλεται, διότι από την προηγούμενη σχέση προκύπτει:

$$\vec{p}_1(\text{τελ}) + \vec{p}_2(\text{τελ}) =$$

$$\vec{p}_1(\text{αρχ}) + \vec{p}_2(\text{αρχ})$$

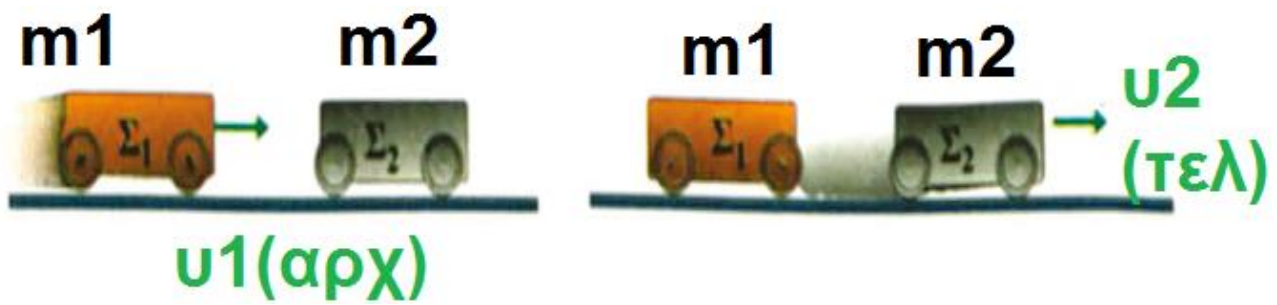
$$\text{ή } \vec{p}_{\text{ολ(τελ)}} = \vec{p}_{\text{ολ(αρχ)}} \quad (4)$$

Δηλαδή η ορμή του συστήματος είναι σταθερή.

Εφαρμογή

Τα αμαξάκια Σ_1 και Σ_2 τα οποία φαίνονται στην εικόνα έχουν ίσες μάζες και μπορεί να κινηθούν χωρίς τριβές. Θέτουμε σε κίνηση το αμαξάκι Σ_1 το οποίο φτάνει στο Σ_2 με ταχύτητα u_1 .

Μετά τη σύγκρουση παρατηρούμε το αμαξάκι Σ_1 να ακινητοποιείται, ενώ το Σ_2 να αποκτά ταχύτητα u_2 .



Όπως προκύπτει από τη σχέση

$$\vec{p}_{1(\text{τελ})} + \vec{p}_{2(\text{τελ})} = \vec{p}_{1(\text{αρχ})} + \vec{p}_{2(\text{αρχ})}$$

η ταχύτητα u_2 είναι ίση με την ταχύτητα u_1 , δηλαδή τα δύο αμαξάκια αντάλλαξαν τις ταχύτητές τους.

Τα πορίσματα που προκύπτουν αν εφαρμόσουμε τη διατήρηση της ορμής για την κίνηση των σωμάτων που συγκρούονται, έχουν ελεγχθεί πειραματικά πάρα πολλές φορές, ώστε σήμερα δεν υπάρχει καμία αμφιβολία για την εγκυρότητά τους.

Έτσι η διατήρηση της ορμής έχει αναβαθμιστεί στη σκέψη των επιστημόνων και ονομάζεται Αρχή διατήρησης της ορμής. Η αρχή αυτή δεν περιορίζεται σε απλές περιπτώσεις, όπως αυτή που ξετάσαμε στο παράδειγμα, αλλά επεκτείνεται και σε περιοχές όπως η Πυρηνική Φυσική, όπου πυρήνες βομβαρδίζονται με σωμάτια όπως τα πρωτόνια ή τα νετρόνια.

Στη Φυσική ισχύουν και άλλες αρχές όπως π.χ. η αρχή διατήρησης της ενέργειας, του ηλεκτρικού φορτίου, κ.τ.λ.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

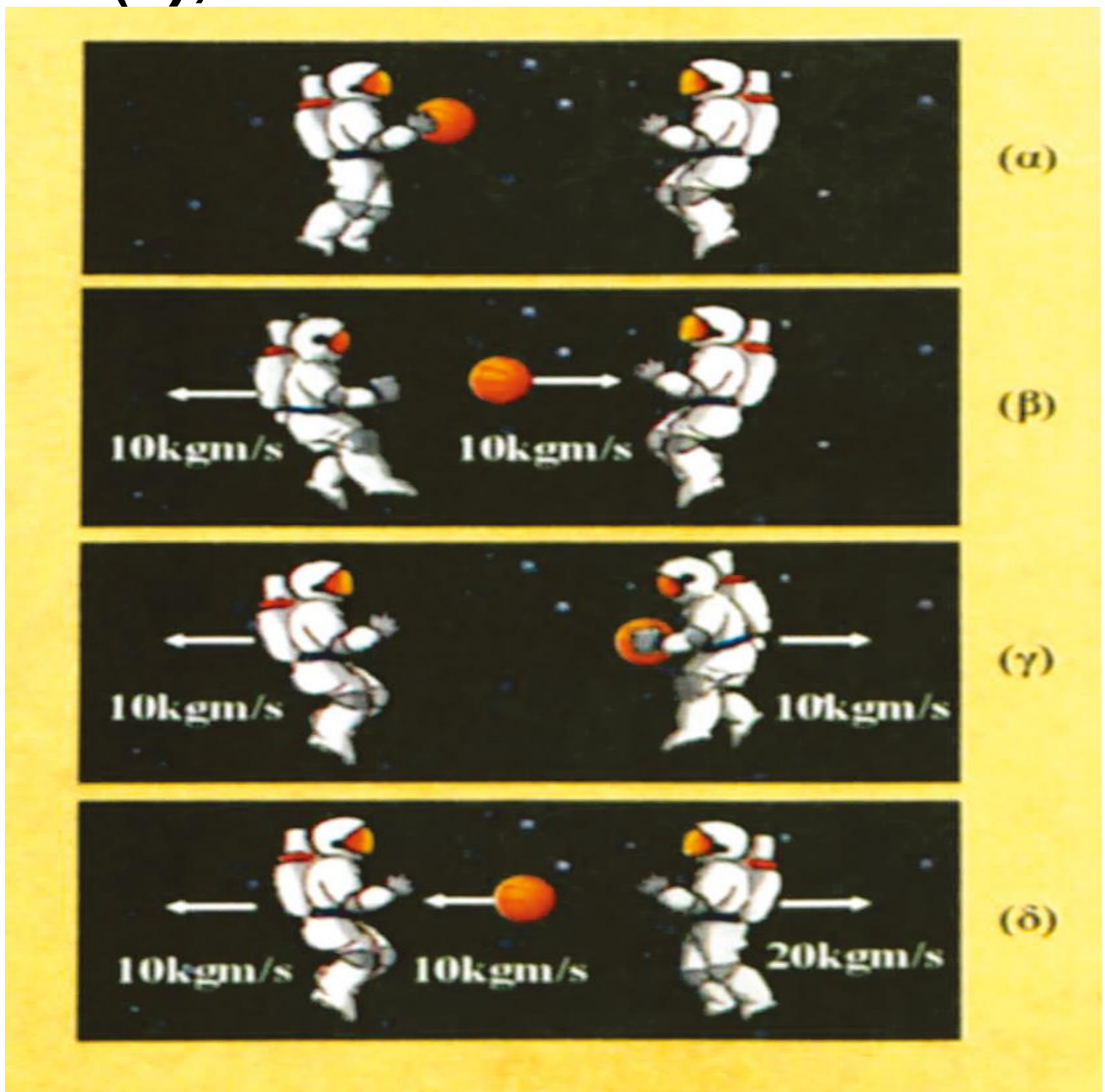
Δύο αστροναύτες βρίσκονται στο διάστημα και σε μία περιοχή όπου η βαρυτική έλξη από τα γειτονικά ουράνια σώματα είναι αμελητέα.

Οι αστροναύτες αποφάσισαν να παίξουν μπάλα. Έτσι ο αστροναύτης A πετάει στον αστροναύτη B μία μπάλα δίνοντάς της ορμή $p=10\text{kg}\cdot\text{m/s}$. Το ίδιο κάνει και ο αστροναύτης B όταν φτάσει η μπάλα σ' αυτόν. Στην εικόνα έχουν σχεδιαστεί τα διανύσματα των ορμών που αποκτούν οι αστροναύτες.

I) Χρησιμοποιώντας τις τιμές της ορμής που αναγράφονται στην εικόνα να δείξετε ότι η ολική ορμή του συστήματος αστροναύτες-μπάλα παραμένει σταθερή σε όλα τα στιγμιότυπα.

II) Να εξηγήσετε γιατί στο στιγμιότυπο (δ) ο αστροναύτης A έχει ορμή $10\text{kg}\cdot\text{m/s}$ και ο B $20\text{kg}\cdot\text{m/s}$

III) Ποια θα είναι η ορμή του A όταν πετάξει τη μπάλα στο B με ορμή $10\text{kg}\cdot\text{m/s}$, μετά το στιγμιότυπο (δ);



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

Δύο μαθητές αποφάσισαν να ελέγξουν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την αρχή διατήρησης της ορμής.

Χρησιμοποιώντας τα πατίνια τους κινήθηκαν πάνω σε μία οριζόντια πίστα και δοκίμασαν τρεις συνδυασμούς κρούσεων. Ένας φίλος τους με τη βοήθεια ειδικού οργάνου μέτρησε τις ταχύτητές τους σε κάθε περίπτωση. Οι ταχύτητες αναγράφονται δίπλα από τον καθένα τους πριν και μετά την κρούση. Επίσης ζυγίστηκαν με όλο τον εξοπλισμό τους και βρήκαν ότι έχουν ίσες μάζες.

Κατόπιν συζήτησαν για να δουν αν επαλήθευσαν την αρχή διατήρησης της ορμής.

Εσείς τι νομίζετε ότι θα συμπέραναν;

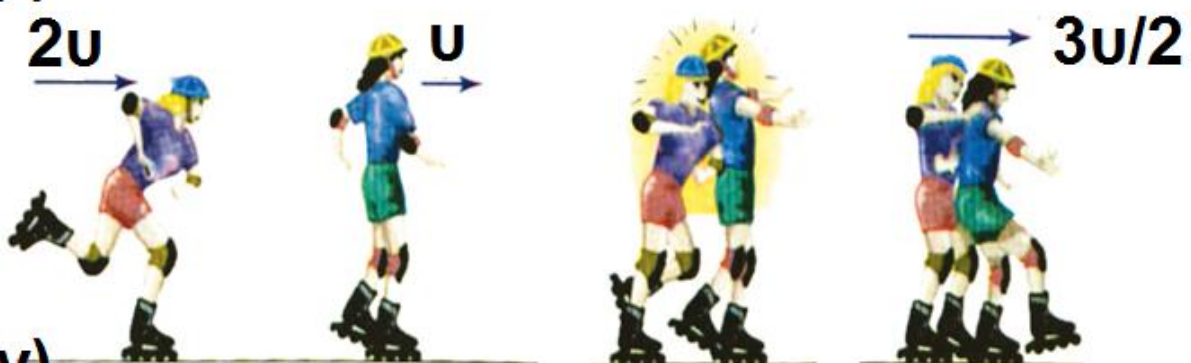
Να αιτιολογήσετε αναλυτικά την άποψή σας.



(α)



(β)



(γ)

2-6 ΜΕΓΕΘΗ ΠΟΥ ΔΕΝ ΔΙΑΤΗ- ΡΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΡΟΥΣΗ

Το πειραματικό γεγονός της διατήρησης της ορμής μας κάνει να διερωτηθούμε εάν και άλλα μεγέθη όπως για παράδειγμα η κινητική ενέργεια, διατηρούνται κατά την κρούση. Ας μελετήσουμε το εξής παράδειγμα:

Έστω δύο αμαξάκια μαζών m_1 και m_2 με ταχύτητες $u_1 \neq 0$ και $u_2 = 0$, αντίστοιχα (Εικ. 2.15). Κατά την κρούση το καρφί που υπάρχει στο αμαξάκι (1) σφηνώνεται στο αμαξάκι (2) και τα δύο κινούνται ως ένα σώμα με μάζα που είναι $(m_1 + m_2)$ και ταχύτητα V . Η κρούση αυτή ονομάζεται πλαστική.



Εικόνα 2 -15. Η πλαστική κρούση δύο αμαξιδίων.

Εφαρμόζοντας την αρχή διατήρησης της ορμής έχουμε:

$$m_1 u_1 = (m_1 + m_2) V \quad (1)$$

Από την σχέση (1) επειδή $m_1 < m_1 + m_2$ έπεται ότι θα πρέπει:

$$u_1 > V \quad (2)$$

Πολλαπλασιάζοντας κατά μέλη τις σχέσεις (1), (2) και διαιρώντας το γινόμενό τους δια 2 προκύπτει:

$$\frac{1}{2} m_1 u_1^2 > \frac{1}{2} (m_1 + m_2) V^2 \quad (3)$$

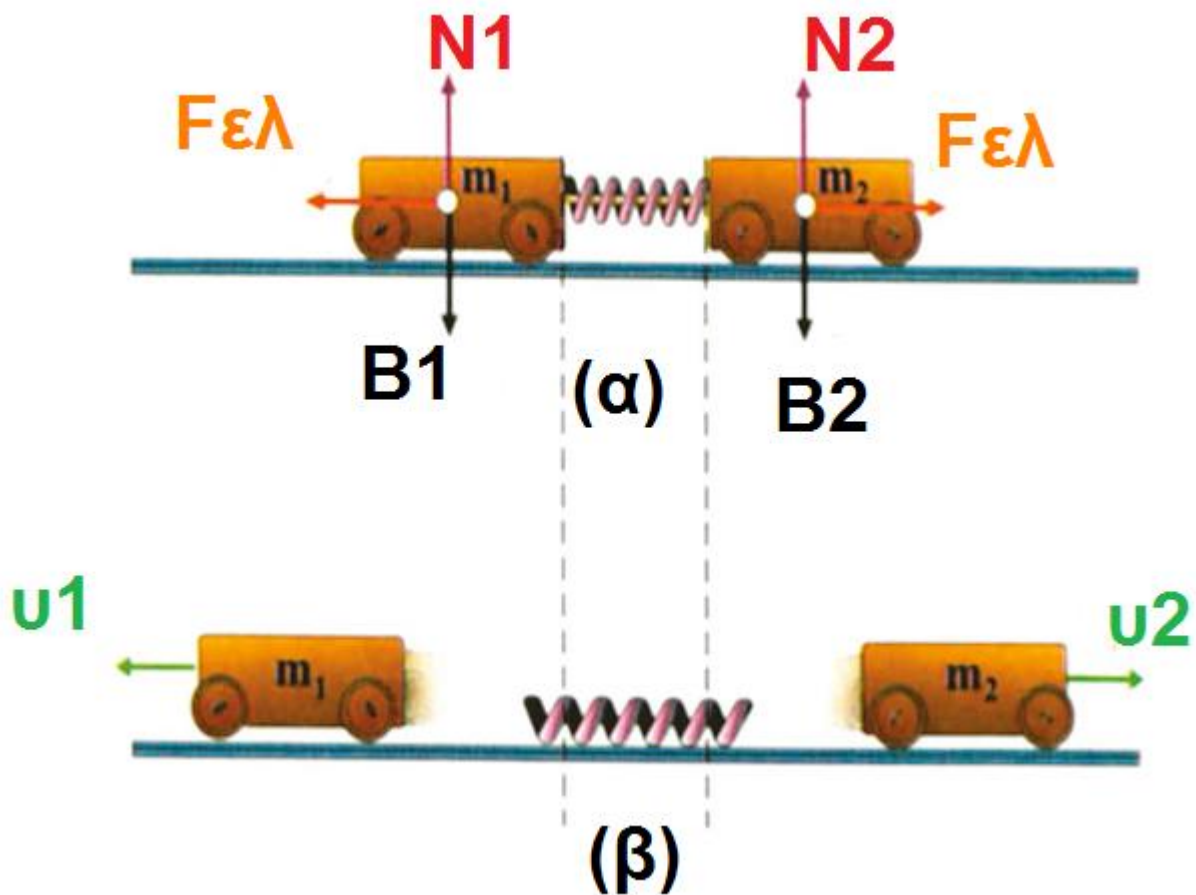
Το πρώτο μέλος της παραπάνω σχέσης είναι η αρχική κινητική

ενέργεια που έχουν τα αμαξάκια και το δεύτερο η τελική. Η σχέση (3) μας επιτρέπει να συμπεράνουμε ότι η κινητική ενέργεια του συστήματος (τα δύο αμαξάκια) μειώθηκε κατά την κρούση. Δηλαδή η κινητική ενέργεια του συστήματος δεν διατηρείται.

2-7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΜΗΣ

1.Σύστημα ελατήριο-μάζα.

Ας θεωρήσουμε το σύστημα με τα δυο αμαξάκια που φαίνονται στην εικόνα 2.16α. Αυτά κινούνται χωρίς τριβές πάνω στο οριζόντιο δάπεδο. Αρχικά το ελατήριο που βρίσκεται μεταξύ τους είναι συμπιεσμένο, επειδή αυτά συγκρατούνται με ένα λεπτό νήμα. Αν εξετάσουμε τις δυνάμεις που ασκούνται στα αμαξάκια θα συμπεράνουμε ότι αποτελούν ένα μονωμένο σύστημα διότι οι εξωτερικές δυνάμεις (βάρος, αντίδραση) έχουν συνισταμένη μηδέν.



Εικόνα 2 -16 .

Συνεπώς στο σύστημα η ορμή
θα διατηρείται, δηλαδή

$$\vec{p}_{ολ(αρχ)} = \vec{p}_{ολ(τελ)}$$

ή

(1)

Τι θα συμβεί αν με ένα ψαλίδι
κόψουμε το νήμα; Όπως φαίνεται
στην εικόνα 2.16β, τα αμαξάκια θα

κινηθούν σε αντίθετες κατευθύνσεις με ταχύτητες u_1 και u_2 αντίστοιχα. Επειδή κινούνται στην ίδια ευθεία τα διανύσματα της ορμής έχουν αντίθετη κατεύθυνση.

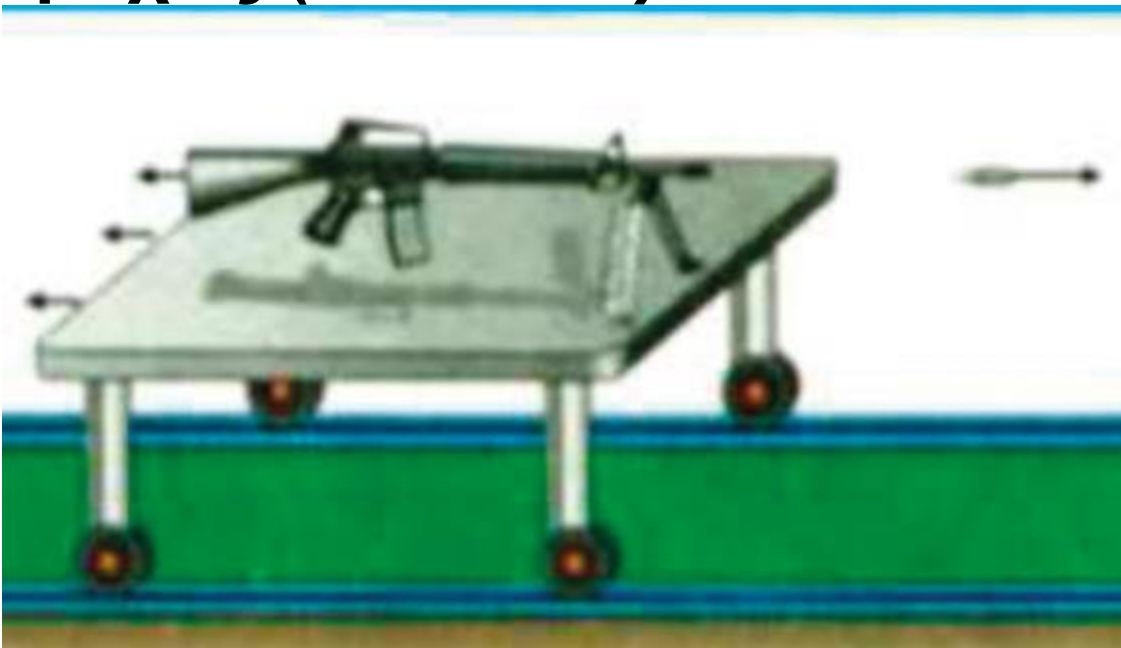
Άρα η διανυσματική σχέση (1) γίνεται αλγεβρική. Αν μάλιστα επιλέξουμε την προς τα δεξιά κατεύθυνση ως θετική, η σχέση αυτή γράφεται:

$$\begin{aligned} 0+0 &= -m_1u_1+m_2u_2 && \text{ή} \\ m_1u_1 &= m_2u_2 && (2) \end{aligned}$$

Από τη σχέση (2) μπορούμε να συμπεράνουμε ότι μετά την απελευθέρωση των σωμάτων, τα αμαξίδια αποκτούν αντίθετες ορμές, ώστε η συνολική ορμή να είναι ίση με την αρχική, δηλαδή ίση με μηδέν.

2. Η αρχή της κίνησης των πυραύλων

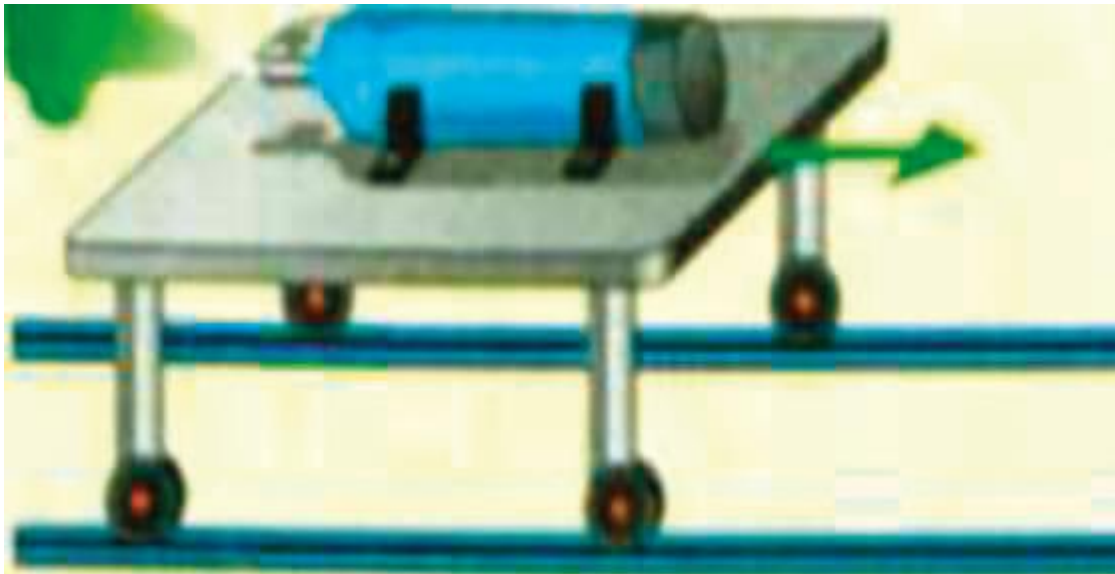
Την αρχή διατήρησης της ορμής μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε στην κίνηση των πυραύλων. Ας θεωρήσουμε το αυτόματο όπλο που βρίσκεται πάνω σε ένα βαγόνι το οποίο μπορεί να κινηθεί χωρίς τριβές πάνω σε οριζόντιες σιδηροτροχιές (Εικ. 2.17).



Εικόνα 2-17.

Αν εκτοξευθεί ένα βλήμα, το όλο σύστημα θα κινηθεί σε αντίθετη

κατεύθυνση, ώστε η αρχικά μηδενική ορμή του συστήματος να διατηρηθεί. Αν ενεργοποιήσουμε το μηχανισμό της συνεχούς εκτόξευσης βλημάτων το βαγόνι με το όπλο θα αρχίσει να κινείται με ταχύτητα που συνεχώς αυξάνεται. Τι νομίζετε ότι θα συμβεί αν πάνω στο βαγόνι, αντί για το όπλο τοποθετήσουμε μία φιάλη που περιέχει αέρα υπό πίεση και ανοίξουμε τη στρόφιγγα; Σε αναλογία με το πυροβόλο όπλο μπορούμε να πούμε ότι το σύστημα βαγόνι - φιάλη επιταχύνεται επειδή “μοριακές σφαίρες” εκτοξεύονται σε αντίθετη κατεύθυνση (Εικ. 2.18).



Εικόνα 2-18.

Τα παραδείγματα αυτά μας βοηθούν να κατανοήσουμε τον τρόπο με τον οποίο κινούνται οι πύραυλοι. Πρέπει όμως να επισημάνουμε, ότι τα αέρια που εξέρχονται από το ακροφύσιο του πυραύλου δεν είναι αποθηκευμένα υπό πίεση μέσα σ' αυτόν αλλά προέρχονται από την καύση ειδικού μίγματος.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1



Το πιστόλι μάζας M που φαίνεται στην εικόνα εκτυρσοκροτεί και εκτοξεύει βλήμα μάζας m με ταχύτητα U .

1. Μπορείτε να εφαρμόσετε σ' αυτήν την περίπτωση την αρχή διατήρησης της ορμής;
2. Σχετικά με την εκτυρσοκρότηση των όπλων υπάρχει έκφραση “α-

νάκρουση όπλου”. Τι νομίζετε ότι σημαίνει;

3. Μπορείτε να υπολογίσετε την ταχύτητα ανάκρουσης του πιστολιού;

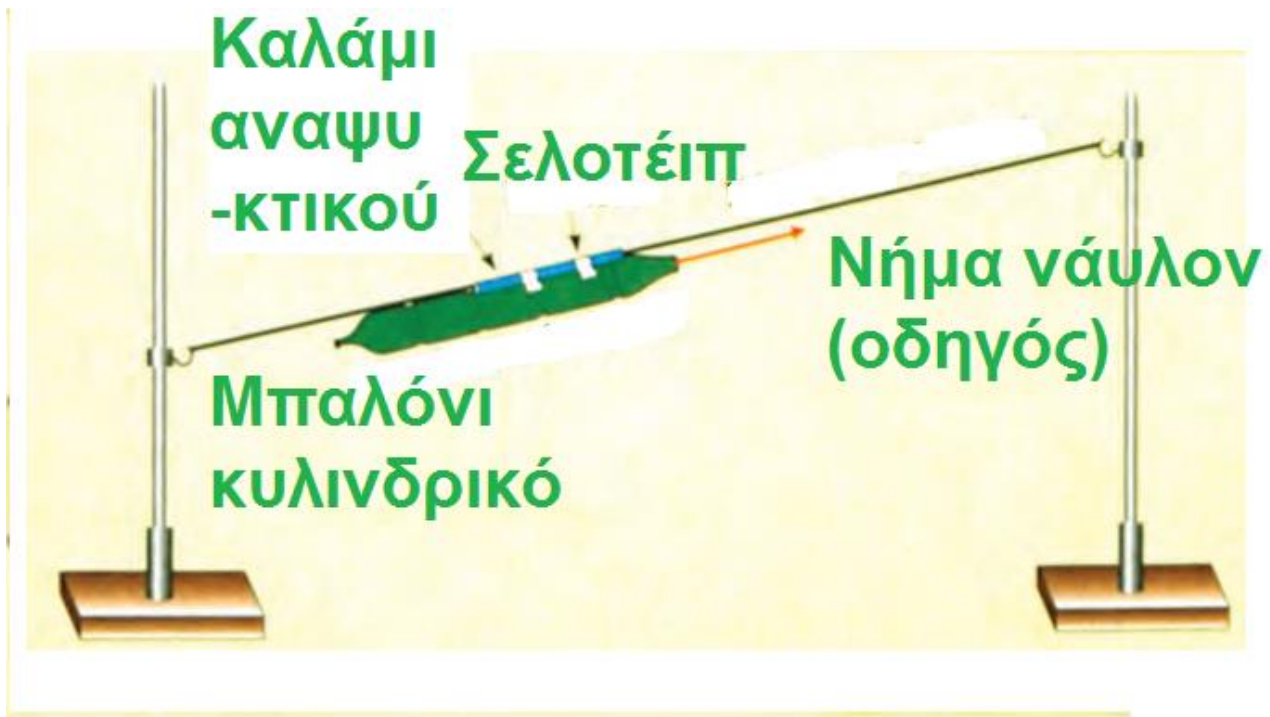
Συζητήστε στην ομάδα σας προκειμένου να απαντήσετε στις παραπάνω ερωτήσεις.

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

Αρχή λειτουργίας του πυραύλου.

1. Φουσκώστε ένα μπαλόνι (κατά προτίμηση κυλινδρικό) και δέστε το στόμιό του.

2. Πραγματοποιήστε τη διάταξη της εικόνας στερεώνοντας το καλαμάκι επάνω στο μπαλόνι με σελοτέϊπ. Το μήκος του νήματος να είναι 3 έως 4m.



3. Φέρετε το μπαλόνι κοντά στο ένα άκρο του νήματος. Λύστε το στόμιο του μπαλονιού και αφήστε το ελεύθερο. Τι παρατηρείτε;

4. Να ερμηνεύσετε την κίνηση του μπαλονιού - πυραύλου με βάση την αρχή διατήρησης της ορμής.

5. Να ερμηνεύσετε την προώθηση ενός πλοίου και ενός ελικοφόρου αεροπλάνου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο κεφάλαιο αυτό εισάγονται δύο νέες έννοιες στην περιγραφή του φαινομένου της κίνησης και γενικότερα στην περιγραφή της φύσης. Η μία είναι η έννοια της ορμής και η άλλη η έννοια του συστήματος των σωμάτων. Δύο σώματα αλληλεπιδρούν όταν ασκούν μεταξύ τους δυνάμεις. Δύο ή περισσότερα σώματα που αλληλεπιδρούν αποτελούν σύστημα. Σε ένα σύστημα σωμάτων διακρίνουμε δύο είδη δυνάμεων:

α) αυτές που προέρχονται αποκλειστικά από τα σώματα που αποτελούν το σύστημα και τις οποίες ονομάζουμε εσωτερικές, και

β) αυτές που προέρχονται από άλλα σώματα εκτός του συστήμα-

τος και οι οποίες ονομάζονται εξωτερικές.

Τα φαινόμενα όπως η σύγκρουση δύο αυτοκινήτων, το σφήνωμα του βλήματος στον στόχο, ο βομβαρδισμός των πυρήνων των ατόμων με σωματίδια όπως τα πρωτόνια, κ.λπ., υπάγονται σε μία γενικότερη κατηγορία και ονομάζονται φαινόμενα κρούσης. Κατά τη διάρκεια τους αναπτύσσονται πολύ μεγάλες δυνάμεις αλληλεπίδρασης και αυτό μας επιτρέπει να θεωρούμε τα συστήματα πρακτικά μονωμένα.

Η αλλαγή της κινητικής κατάστασης ενός σώματος μπορεί να περιγραφεί με το διανυσματικό μέγεθος που ονομάζουμε ορμή $\vec{p}$. Η ορμή δίνεται από τη σχέση $\vec{p} = m\vec{v}$ και έχει κατεύθυνση την κατεύθυνση της ταχύ-

τητας του σώματος. Η δύναμη που προκαλεί τη μεταβολή της ορμής δίνεται από τη σχέση:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{\vec{p}_{\text{τελ}} - \vec{p}_{\text{αρχ}}}{\Delta t}$$

η οποία αποτελεί και τη γενικότερη διατύπωση του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα. Σε ένα μονωμένο σύστημα η ορμή διατηρείται σταθερή, ή όπως λέμε ισχύει η αρχή διατήρησης της ορμής. Η αρχή διατήρησης της ορμής διατυπώνεται ως εξής:

$$\vec{p}_{\text{ολ(αρχ)}} = \vec{p}_{\text{ολ(τελ)}}$$

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

1. Να δώσετε την έννοια του συστήματος σωμάτων και να εξηγήσετε τι σημαίνει ο όρος μονωμένο σύστημα.

2. Η μονάδα μέτρησης της ορμής στο Διεθνές Σύστημα (S.I.) είναι:

A. $1\text{kg}\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ B. $1\text{N}\cdot\text{s}$ Γ. $1\text{kg}\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Δ. $1\frac{\text{N}\cdot\text{m}}{\text{s}}$

3. Πάνω στην ακίνητη βάρκα βρίσκεται ένας άνθρωπος, όπως φαίνεται στην εικόνα.

A. Να σχεδιάσετε όλες τις δυνάμεις για το σύστημα βάρκα-άνθρωπος.

Β. Ποιες από τις δυνάμεις αυτές, είναι εξωτερικές και ποιες είναι εσωτερικές;



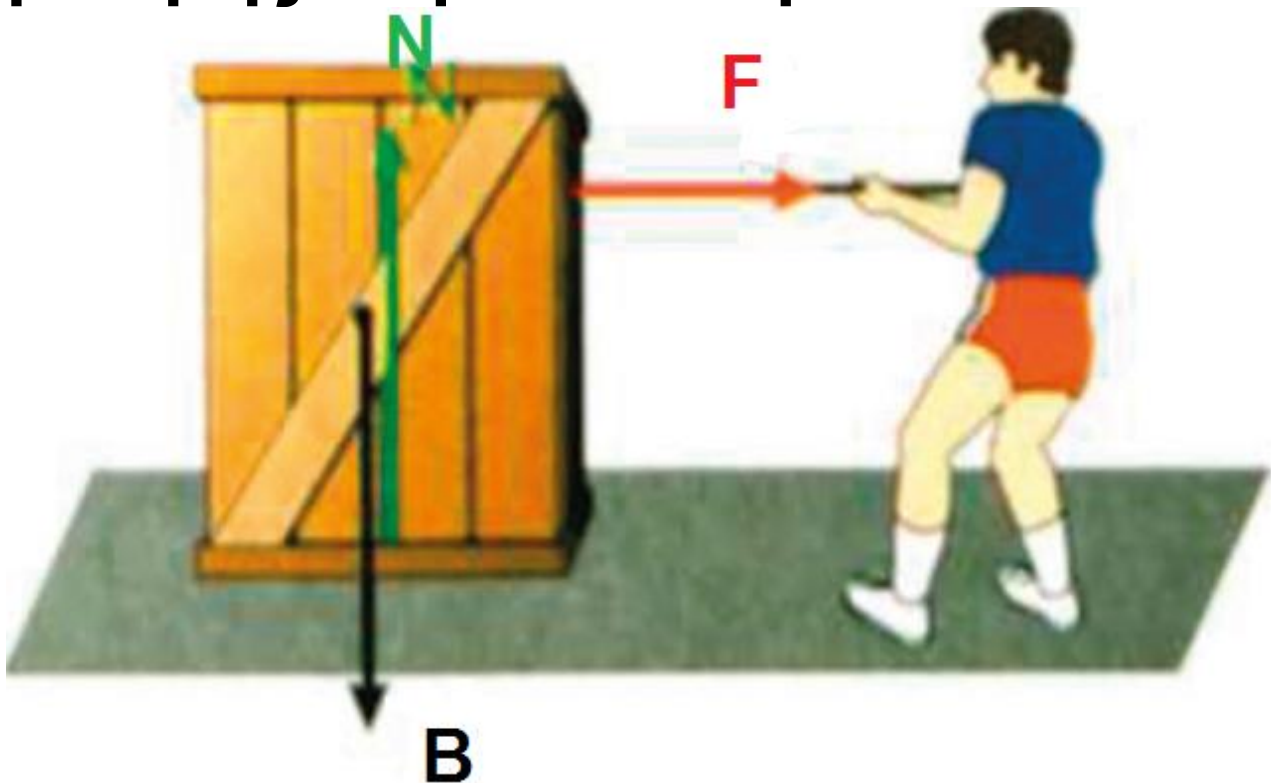
4. Ένας μαθητής τραβάει προς το μέρος του το κιβώτιο, με τη βοήθεια ενός σχοινιού. Να ελέγξετε την ορθότητα των παρακάτω προτάσεων.

Α. Η δύναμη F που ασκεί ο μαθητής, είναι εσωτερική δύναμη για το σύστημα μαθητής – κιβώτιο - Γη.

Β. Η δύναμη F είναι εξωτερική δύναμη για το σύστημα κιβώτιο -Γη.

Γ. Το βάρος του κιβωτίου, είναι εσωτερική δύναμη για το σύστημα μαθητής - κιβώτιο.

Δ. Το βάρος του κιβωτίου, είναι εξωτερική δύναμη για το σύστημα μαθητής - κιβώτιο - Γη.



5. Ένας ψαράς έχει πιασμένο στην λεπτή πετονιά του, ένα μεγάλο ψάρι, το οποίο έχει πάψει να αντιστέκεται. Αν τραβήξει την πετονιά απότομα, αυτή, μάλλον θα σπάσει,

ενώ αν τραβήξει σιγά-σιγά θα αντέξει. Μπορείτε να εξηγήσετε γιατί;

6. Ένας μαθητής πέφτει με άνεση από μία βάρκα στη θάλασσα. Όταν όμως ο ίδιος μαθητής πέφτει στη θάλασσα από μία εξέδρα ύψους αρκετών μέτρων, η πρόσκρουση στο νερό είναι τόσο δυνατή, ώστε το αποτέλεσμα να είναι δυσάρεστο. Ποια νομίζετε ότι είναι η εξήγηση;

***7. Κάποιος ισχυρίζεται ότι είναι δυνατόν κάποια στιγμή που η ορμή ενός σώματος είναι μηδέν, ο ρυθμός μεταβολής της να είναι διάφορος του μηδενός. Αν συμφωνείτε να δώσετε ένα παράδειγμα.**

8. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές και γιατί:

A. Ένα σύστημα δύο σωμάτων μπορεί να έχει μηδενική ορμή ακόμη και αν τα σώματα κινούνται.

B. Η έλξη που ασκεί η Γη στη Σελήνη δεν είναι εσωτερική δύναμη του συστήματος, γιατί προκαλεί την περιφορά της Σελήνης γύρω από τη Γη.

Γ. Δύο σώματα με διαφορετικές μάζες έχουν πάντα διαφορετικές ορμές.

Δ. Δύο ίσες δυνάμεις που ασκούνται σε δύο σώματα με διαφορετικές ορμές, προκαλούν στον ίδιο χρόνο ίσες μεταβολές στην ορμή των σωμάτων.

9. Ένας μαθητής ρίχνει κατακόρυφα προς τα πάνω μία μπάλα, η οποία επιστρέφει στο χέρι του με ταχύτητα ίδιου μέτρου. Ο μαθη-

τής θεωρεί, ότι στην περίπτωση αυτή παραβιάζεται ο θεμελιώδης νόμος του Νεύτωνα επειδή θεωρεί τη μεταβολή της ορμής της μπάλας μηδέν.

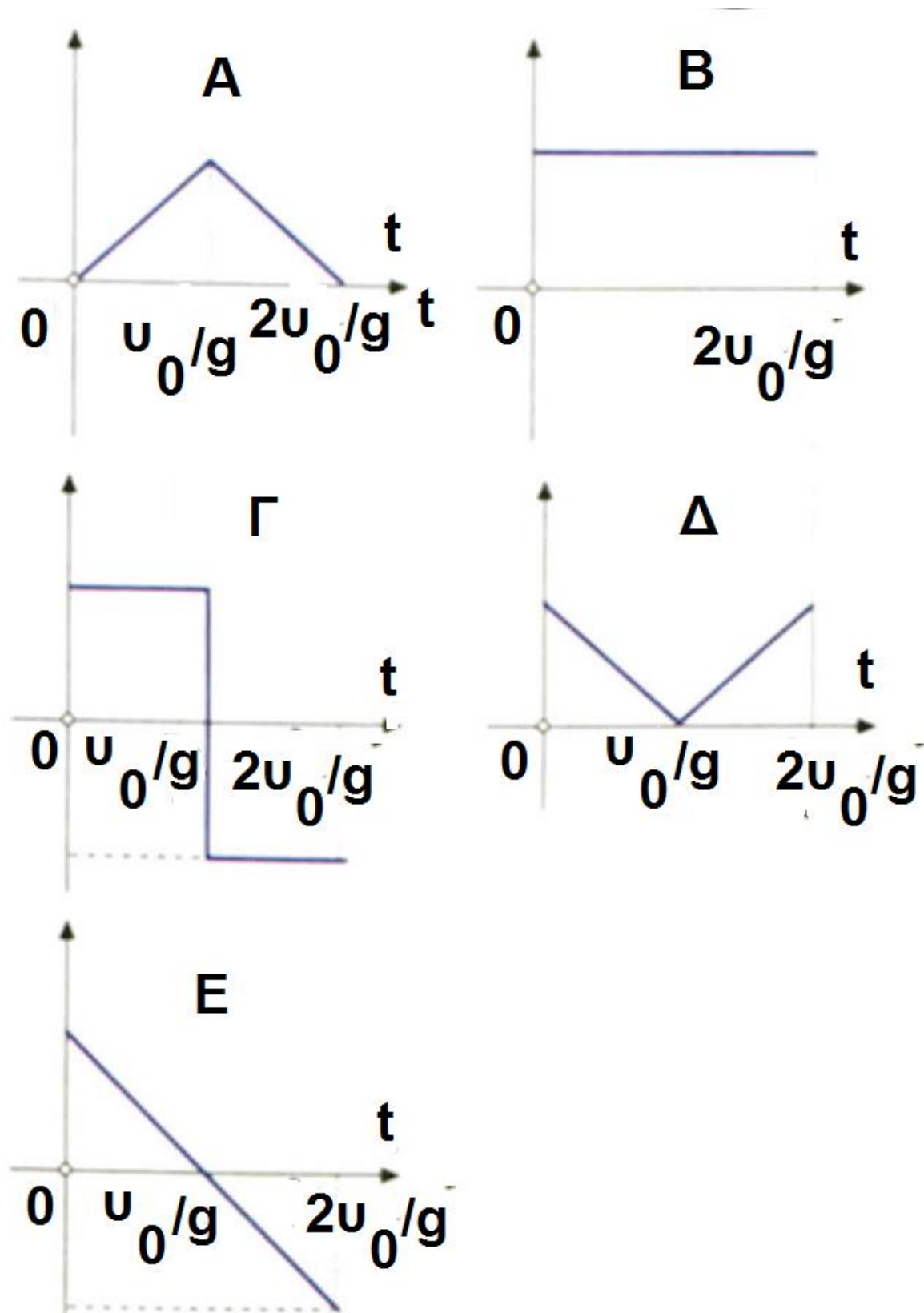
Ποια είναι η δική σας άποψη;

10. Ένα σώμα ρίχνεται κατακόρυφα προς τα πάνω με αρχική ταχύτητα u_0 και κινείται μόνο με την επίδραση του βάρους του. Το σώμα φτάνει στο μέγιστο ύψος

σε χρόνο $\frac{u_0}{g}$. Ποιο από τα

παρακάτω διαγράμματα αντιστοιχεί στη συνάρτηση $p=f(t)$

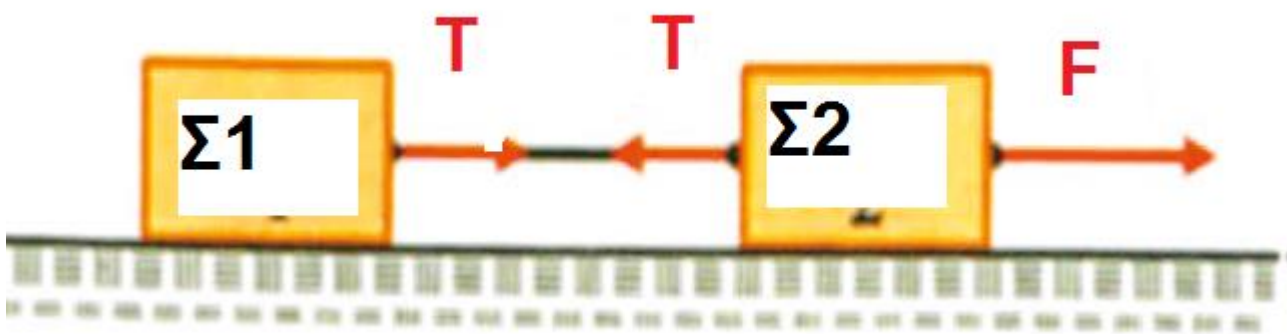
και ποιο στη $\frac{\Delta p}{\Delta t} = f(t)$;



11. Στο σύστημα των δύο σωμάτων Σ_1 και Σ_2 που έχουν ίδια μάζα

m , ασκούμε σταθερή οριζόντια δύναμη F και το κινούμε στο λείο οριζόντιο επίπεδο.

Ποια ή ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές και γιατί:



- A. Το σύστημα $\Sigma_1 - \Sigma_2$ δεν είναι μονωμένο.
- B. Ο ρυθμός μεταβολής της ορμής του σώματος Σ_1 είναι μικρότερος, από τον αντίστοιχο ρυθμό μεταβολής του σώματος Σ_2 .
- Γ. Οι ρυθμοί μεταβολής της ορμής και για τα δύο σώματα είναι ίσοι.
- Δ. Για τις δυνάμεις που δέχονται

τα δύο σώματα ισχύει: $F-T=T$.

12. Ένα σώμα εκτοξεύεται κατακόρυφα προς τα πάνω και όταν φτάνει στο μέγιστο ύψος διασπάται σε δύο κομμάτια m_1 και m_2 . Αν το m_1 αμέσως μετά τη διάσπαση έχει οριζόντια ταχύτητα u_1 , να βρείτε την κατεύθυνση και την τιμή της ταχύτητας u_2 που έχει το κομμάτι m_2 αμέσως μετά τη διάσπαση. Υποθέτουμε ότι κατά τη διάσπαση ισχύει η αρχή διατήρησης της ορμής.



13. Δύο παγοδρόμοι Α και Β έχουν μάζα m και $0,9 m$ αντίστοιχα και στέκονται ακίνητοι ο ένας απέναντι στον άλλο. Κάποια στιγμή ο πρώτος σπρώχνει το δεύτερο με αποτέλεσμα να κινηθούν απομακρυνόμενοι. Αν η ορμή που αποκτά ο πρώ-

τος παγοδρόμος είναι p , η ορμή του δεύτερου θα είναι:

A. p B. $0,9p$ Γ. $-p$ Δ. $-0,9p$

Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

14. Υποθέστε ότι ένα ακίνητο βλήμα διασπάται σε δύο κομμάτια m και $2m$. Ποια ή ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές και γιατί:

A. Τα δύο κομμάτια αποκτούν ίσες ορμές.

B. Τα δύο κομμάτια αποκτούν αντίθετες ταχύτητες.

Γ. Τα δύο κομμάτια αποκτούν αντίθετες ορμές.

Δ. Το κομμάτι μάζας $2m$ αποκτά διπλάσια ορμή από την ορμή του κομματιού μάζας m .

Ε. Οι ταχύτητες για κάθε κομμάτι είναι αντίθετης κατεύθυνσης και

διαφορετικής τιμής.

15. Ένα σώμα που έχει ορμή p συγκρούεται πλαστικά με ακίνητο σώμα διπλάσιας μάζας. Να εξετάσετε ποια ή ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές:

A. Το συσσωμάτωμα αμέσως μετά την κρούση έχει ορμή p .

B. Η ορμή του αρχικά κινούμενου σώματος ελαττώνεται κατά $p/2$.

Γ. Η ορμή του αρχικά ακίνητου σώματος αυξάνει κατά $2p/3$.

16. Σε μία μετωπική σύγκρουση δύο αυτοκινήτων, που έχουν μάζες m και $M=2m$, δημιουργείται συσσωμάτωμα που παραμένει ακίνητο στο σημείο της σύγκρουσης. Ποιες από τις πα-

ρακάτω προτάσεις είναι σωστές και γιατί;

A. Το αυτοκίνητο μάζας M είχε διπλάσια ταχύτητα από το αυτό κίνητο μάζας m .

B. Τα αυτοκίνητα πριν τη σύγκρουση είχαν ίσες ορμές.

Γ. Η ορμή του συστήματος πριν τη σύγκρουση ήταν ίση με μηδέν.

Δ. Τα αυτοκίνητα έχουν αντίθετες μεταβολές στην ορμή τους.

17. Μπαλάκι του πινγκ-πονγκ πέφτει κάθετα πάνω σε ακίνητη ρακέτα. Η ταχύτητα πρόσπτωσης έχει μεγαλύτερη τιμή από την ταχύτητα απομάκρυνσης.

Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή και γιατί;

A. Η δύναμη που προκάλεσε την αλλαγή στην ορμή έχει τιμή

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \text{ όπου } \Delta t \text{ η χρονική διάρ-}$$

κεια επαφής με την ρακέτα.

Β. Η κατεύθυνση της δύναμης που προκάλεσε την αλλαγή της ορμής είναι ίδια με της ταχύτητας πρόσπτωσης.

Γ. Η κατεύθυνση της δύναμης που προκάλεσε την αλλαγή της ορμής είναι ίδια με της ταχύτητας απομάκρυνσης.

18. Οι αθλητές του καράτε δίνουν απότομα και “κοφτά” κτυπήματα και πετυχαίνουν να σπάσουν στερεά σώματα όπως τούβλα, καδρόνια, κ.τ.λ. Νομίζετε ότι αυτό σχετίζεται με την σχέση:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} ;$$

19. Ποιες από τις παρακάτω προ

τάσεις που αναφέρονται στην έννοια της ορμής και τη διατήρησή της είναι σωστές;

A. Η ορμή δεν είναι διάνυσμα.

B. Η διατήρηση της ορμής ισχύει μόνο στις κρούσεις σωμάτων.

Γ. Η διατήρηση της ορμής ισχύει σε κάθε μονωμένο σύστημα σωμάτων.

Δ. Η διατήρηση της ορμής ισχύει πάντοτε στις κρούσεις σωμάτων.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ-ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- 1. Πόση είναι η ορμή ενός λεωφορείου μάζας $m = 2.500\text{kg}$ που κινείται με ταχύτητα $u=72\text{km/h}$;**
- 2. Πόση είναι η δύναμη που επιβραδύνει ένα Boeing 747, αν αυτό αγγίζει το διάδρομο προσγείωσης με ταχύτητα $u=216\text{km/h}$ και ακινητοποιείται μετά από χρόνο $t=120\text{s}$;
(Η μάζα του Boeing είναι περίπου 10^5kg)**
- 3. Ένας ποδοσφαιριστής κτυπάει μία ακίνητη μπάλα και αυτή αποκτά ταχύτητα 24m/s . Αν η μπάλα έχει μάζα $0,5\text{kg}$ και η διάρκεια της επαφής του ποδιού του πο-**

δοσφαιριστή με τη μπάλα είναι $0,03s$, ποια είναι η μέση τιμή δύναμης που ασκήθηκε στην μπάλα;

4. Ένας αλεξιπτωτιστής εγκαταλείπει το ελικόπτερο και πέφτει με το αλεξίπτωτό του να μην έχει ανοίξει ακόμη. Αν η συνολική του μάζα είναι $m=90kg$, ποιος νομίζετε ότι είναι ο ρυθμός μεταβολής της ορμής του; Πόση ταχύτητα θα αποκτήσει ο αλεξιπτωτιστής μετά από ένα δευτερόλεπτο;
Δίνεται: $g=10m/s^2$

5. Μια μπάλα μάζας $0,5kg$ αφήνεται να πέσει από τέτοιο ύψος, ώστε να φτάσει στο δάπεδο με ταχύτητα $u_1=30m/s$. Η μπάλα αναπηδά κατάκορυφα με ταχύτητα

$u_2=10\text{m/s}$, αφού μείνει σ' επαφή με το δάπεδο για χρόνο

$\Delta t=0,25\text{s}$. Να βρείτε:

A. Τη μεταβολή της ορμής της μπάλας κατά τη διάρκεια Δt .

B. Τη μέση δύναμη που δέχθηκε η μπάλα.

Δίνεται: $g=10\text{m/s}$

6. Ένα σπορ αυτοκίνητο Maserati ξεκινάει από την ηρεμία και αποκτά, κινούμενο σε οριζόντιο δρόμο, ταχύτητα 90km/h σε χρόνο $t=5\text{s}$. Αν η μάζα του αυτοκινήτου είναι 1.600kg να βρείτε:

A. Τη μεταβολή της ορμής του αυτοκινήτου.

B. Τη δύναμη που μπορεί να προκαλέσει μία τέτοια μεταβολή ορμής στο χρόνο αυτό.

7. Κατά τη διάρκεια μίας καταιγίδας πέφτουν κάθετα σ' ένα υπόστεγο 500 σταγόνες βροχής ανά δευτερόλεπτο με μέση ταχύτητα 17m/s . Οι σταγόνες, που έχουν μέση μάζα $3 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$ δεν αναπηδούν κατά την πτώση τους στο υπόστεγο, και γλιστρούν χωρίς να συσσωρεύονται σ' αυτό.

A. Πόση είναι η μεταβολή της ορμής κάθε σταγόνας καθώς πέφτει στο υπόστεγο;

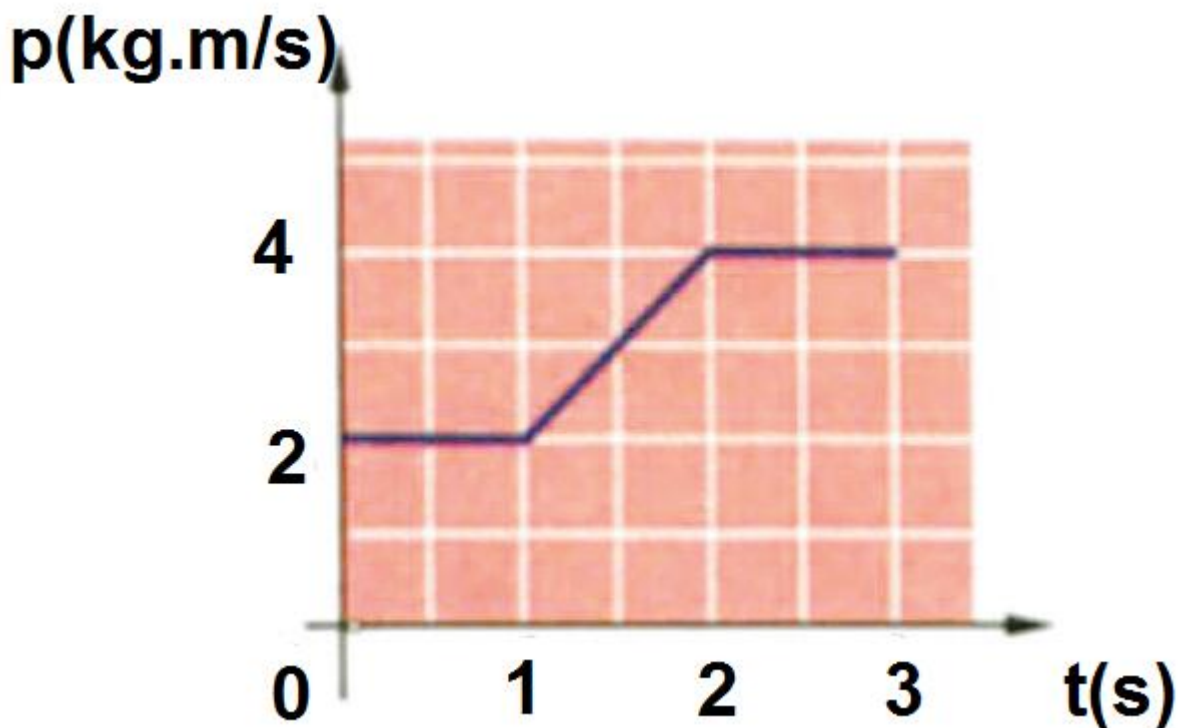
B. Πόση είναι η μέση δύναμη που προκαλείται από τις σταγόνες της βροχής στο υπόστεγο;

8. Η ορμή ενός σώματος μάζας $m=1\text{kg}$ μεταβάλλεται όπως φαίνεται στην εικόνα. Η αρχική και η τελική ορμή έχουν την ίδια κατεύθυνση.

A. Πόση είναι η ελάχιστη και πό-

ση είναι η μέγιστη ταχύτητα του σώματος;

Β. Να παραστήσετε γραφικά τη συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο σώμα σε συνάρτηση με το χρόνο.



9. Ένα βαρύ κιβώτιο μάζας 200kg , ωθείται από έναν εργάτη πάνω σε οριζόντιο δάπεδο με το οποίο το κιβώτιο έχει συντελεστή τριβής ολίσθησης $\mu=0,1$. Ο εργάτης ασκώντας στο αρχικά ακίνητο

κιβώτιο οριζόντια μέση δύναμη $F=500\text{N}$, το μετακινεί για χρόνο $t=4\text{s}$.

Πόση νομίζετε ότι θα είναι τότε η ταχύτητα του κιβωτίου; Δίνεται: $g=10\text{m/s}^2$

10. Ένα μπαλάκι του τένις μάζας $m=100\text{g}$ πέφτει με οριζόντια ταχύτητα $u_1=10\text{m/s}$ σε κατακόρυφο τοίχο και ανακλάται με επίσης οριζόντια ταχύτητα $u_2=8\text{m/s}$.

Να βρείτε:

A. Την ορμή που έχει το μπαλάκι πριν και μετά την επαφή του με τον τοίχο.

B. Τη μεταβολή της ορμής του, λόγω της σύγκρουσης με τον τοίχο.

Γ. Τη μέση δύναμη που δέχθηκε

το μπαλάκι από τον τοίχο, αν η επαφή διαρκεί χρόνο $\Delta t = 0,1\text{s}$.

***11. Από ακίνητο πυροβόλο, του οποίου η μάζα είναι $M = 1.000\text{kg}$, εκτοξεύεται βλήμα μάζας $m = 1\text{kg}$ με οριζόντια ταχύτητα $u_0 = 1000\text{m/s}$.**

A. Πόση ταχύτητα αποκτά το πυροβόλο μετά την εκπυροκρότηση;

B. Αν το πυροβόλο έχει με το δάπεδο συντελεστή τριβής ολίσθησης $\mu = 0,05$, για πόσο χρόνο θα κινηθεί;



***12. Δύο σώματα $m_1=2\text{kg}$ και $m_2=4\text{kg}$ κινούνται πάνω σε λείο οριζόντιο επίπεδο με ταχύτητες $u_1=10\text{m/s}$ και $u_2=6\text{m/s}$ αντίστοιχα.**

A. Να βρείτε την ορμή του συστήματος $m_1 - m_2$, στην περίπτωση που οι ταχύτητες των σωμάτων έχουν ίδια κατεύθυνση και στην περίπτωση που η κατεύθυνση των ταχυτήτων είναι αντίθετη.

B. Υποθέστε, πως ενώ τα σώματα κινούνται με ταχύτητες αντίθετης κατεύθυνσης, συγκρούονται πλαστικά. Ποια νομίζετε ότι θα είναι η ταχύτητα του συσσωματώματος μετά τη σύγκρουση;

13. Ένα βλήμα μάζας $m_1=100\text{g}$ κινείται με οριζόντια ταχύτητα

$u_1=400\text{m/s}$ και διαπερνά ένα ακίνητο κιβώτιο μάζας $m_2=2\text{kg}$, που βρίσκεται πάνω σε λείο οριζόντιο επίπεδο. Αν το βλήμα βγαίνει από το κιβώτιο με ταχύτητα $u_1=100\text{m/s}$ σε χρόνο $\Delta t=0,1\text{s}$ να βρείτε:

A. Την ταχύτητα που αποκτά το κιβώτιο.

B. Τη μέση οριζόντια δύναμη που ασκεί το βλήμα στο κιβώτιο.

***14. Ένας πύραυλος συνολικής μάζας $M=1.000\text{kg}$ κινείται κατακόρυφα απομακρυνόμενος από τη Γη. Κάποια στιγμή και ενώ η ταχύτητά του είναι $u=500\text{m/s}$, ο πύραυλος διαχωρίζεται σε δύο κομμάτια. Το ένα κομμάτι έχει μάζα $m_1=800\text{kg}$ και η ταχύτητά του**

αμέσως μετά τη διάσπαση είναι $u_1=1000\text{m/s}$, ίδιας κατεύθυνσης με αυτήν της ταχύτητας u . Να βρείτε την ταχύτητα που έχει το άλλο κομμάτι αμέσως μετά τη διάσπαση.

15. Ένας μικρός μαθητής μάζας $m=60\text{kg}$, ταξιδεύει με αυτοκίνητο που κινείται με ταχύτητα $u=72\text{km/h}$. Ο μαθητής, υπακούοντας στον κώδικα οδικής κυκλοφορίας, φοράει ζώνη ασφαλείας. Το αυτοκίνητο που έχει συνολικά μάζα $M=1.200\text{kg}$, συγκρούεται μετωπικά και πλαστικά με άλλο αυτοκίνητο που κινείται αντιθέτως, με αποτέλεσμα και τα δύο να ακινητοποιηθούν σε χρόνο $t=0,12\text{s}$. Να βρείτε:
- A. Την ορμή του δεύτερου αυτοκινήτου πριν τη σύγκρουση.

B. Τη δύναμη που δέχτηκε ο μαθητής από τη ζώνη ασφαλείας. Να συγκρίνετε αυτή τη δύναμη με το βάρος του μαθητή.

- 16. Ένα όχημα μάζας 2.000kg συγκρούεται πλαστικά με ένα όχημα μάζας 1.000kg το οποίο είναι ακίνητο και με λυμένο το χειρόφρενο. Τα δύο οχήματα κινούνται, μετά τη σύγκρουση, ως ένα σώμα με ταχύτητα 4m/s .**
- A. Ποια ήταν η ταχύτητα του οχήματος των 2.000kg πριν τη σύγκρουση;**
- B. Ποια η μεταβολή της ορμής του οχήματος των 1.000kg ;**
- Γ. Ποια η μεταβολή της ορμής του οχήματος των 2.000kg ;**

- *17. Δύο σώματα με μάζες $m_1=0,4\text{kg}$ και $m_2=0,6\text{kg}$,**

κινούνται πάνω σε οριζόντιο επίπεδο με το οποίο έχουν συντελεστή τριβής ολίσθησης $\mu=0,2$. Τα σώματα κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις και συγκρούονται πλαστικά έχοντας κατά τη στιγμή της σύγκρουσης ταχύτητες $u_1=20\text{m/s}$ και $u_2=5\text{m/s}$ αντίστοιχα. Να υπολογίσετε:

Α. Την ταχύτητα του συσσωματώματος αμέσως μετά την κρούση.

Β. Την απώλεια στην κινητική ενέργεια του συστήματος λόγω της κρούσης.

Γ. Το διάστημα που θα διανύσει μετά την κρούση το συσσωμάτωμα ($g=10\text{m/s}^2$).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ 2^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

2. ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΟΡΜΗΣ

2.1 Η έννοια του συστήματος. Εσωτερικές και εξωτερικές δυνάμεις	9
2.2 Το φαινόμενο της κρούσης.....	25
2.3 Η έννοια της ορμής.....	31
2.4 Η δύναμη και η μεταβολή της ορμής.....	35
2.5 Η αρχή διατήρησης της ορμής.....	49
2.6 Μεγέθη που δε διατηρούνται στην κρούση.....	58
2.7 Εφαρμογές της διατήρησης της ορμής.....	61
Περίληψη.....	70
Ερωτήσεις.....	73
Ασκήσεις – Προβλήματα.....	88

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.