**Η αρχής της σχετικότητας**

Η αρχή της σχετικότητας πρεσβεύει ότι:

**Οι νόμοι της φυσικής είναι οι ίδιοι για όλους τους αδρανειακούς παρατηρητές.**

Σύμφωνα με την αρχή αυτή, οι νόμοι της φυσικής έχουν την ίδια μαθηματική μορφή στα αδρανειακά συστήματα αναφοράς. Αν δύο αδρανειακοί παρατηρητές εκτελέσουν το ίδιο πείραμα, ο καθένας στο δικό του σύστημα αναφοράς, τότε θα πρέπει να καταλήξουν στα ίδια αποτελέσματα.

Αντικείμενο της παρούσης εργασίας είναι η ανάδειξη της δύναμης που έχει η αρχή αυτή στο να εξηγεί και να προβλέπει την συμπεριφορά των αντικειμένων κάτω από φαινομενικά άγνωστες συνθήκες.

Σε κάθε ερώτημα η απάντηση θα δίνεται εφαρμόζοντας την αρχή της σχετικότητας.

**Παράδειγμα 1**

**Ένα σώμα που ηρεμεί θα εξακολουθήσει να ηρεμεί αν δεν διαταραχθεί από κάποια δύναμη.**

Η πρόταση αυτή αντιπροσωπεύει την ειδική περίπτωση του 1ου νόμου του Νεύτωνα.

**Ερώτημα:**

Να δειχθεί ότι η γενικότερη περίπτωση του νόμου (**ένα σώμα που κινείται με σταθερή ταχύτητα θα εξακολουθεί να συμπεριφέρεται έτσι αν δεν διαταραχθεί από κάποια δύναμη**) , είναι απόρροια της ειδικής περίπτωσης και της αρχής της σχετικότητας.

**Απάντηση:**

Ας θεωρήσουμε την περίπτωση ενός σώματος που έχει κάποια στιγμή ταχύτητα 5m/s και δέχεται μηδενική συνισταμένη δύναμη. Αν θέλουμε να προβλέψουμε την μετέπειτα κίνησή του, θα πρέπει να εφαρμόσουμε τον ειδικό νόμο σε κατάλληλο αδρανειακό σύστημα αναφοράς. Τέτοιο είναι το σύστημα ενός παρατηρητή που κινείται με ταχύτητα ίση σε μέτρο και κατεύθυνση με την ταχύτητα του σώματος.

Ο παρατηρητής αυτός βλέπει ένα σώμα ακίνητο που δέχεται μηδενική δύναμη οπότε εφαρμόζοντας την ειδική περίπτωση του νόμου συμπεραίνει ότι θα εξακολουθεί να είναι ακίνητο.

Αλλά οτιδήποτε είναι ακίνητο σε αυτό το σύστημα αναφοράς σημαίνει ότι κινείται με σταθερή ταχύτητα στο αρχικό σύστημα.

**Παράδειγμα 2**

Σύμφωνα με τον ακίνητο παρατηρητή (Α), το σώμα που αφήνεται ελεύθερο να κινηθεί από κάποιο ύψος στο πεδίο βαρύτητας, εκτελεί ελεύθερη πτώση.

**Ερώτημα:** Πως θα κινηθεί το σώμα σύμφωνα με τον ίδιο παρατηρητή αν εκτοξευθεί από το

ίδιο ύψος οριζόντια με κάποια ταχύτητα;

**Απάντηση:**

Θεωρούμε τον επιβάτη (Γ) ενός βαγονιού το οποίο κινείται ευθύγραμμα και ισοταχώς με ταχύτητα Vως προς τον (Α). Ο επιβάτης εκτελεί το ίδιο πείραμα, δηλαδή αφήνει ένα σώμα ελεύθερο να κινηθεί από ύψος h. Τότε σύμφωνα με την αρχή της σχετικότητας θα πρέπει οι δύο παρατηρητές να συμφωνούν ως προς τους νόμους που διέπουν την κίνηση του σώματος, επομένως ο επιβάτης αποφαίνεται ότι το σώμα εκτελεί ελεύθερη πτώση.

Σύμφωνα με τον παρατηρητή (Α) το σώμα πέφτει λόγω βαρύτητας και ταυτόχρονα μετατοπίζεται προς τα δεξιά με την ταχύτητα του βαγονιού., δηλαδή εκτελεί οριζόντια βολή. Η εικόνα αυτή είναι ισοδύναμη με αυτήν που θα προέκυπτε αν ο (Α) εκτόξευε το σώμα οριζόντια.



**Παράδειγμα 3** (Κρούσεις και η αρχή της σχετικότητας)

**1)** Οι δύο σφαίρες που εικονίζονται στο παρακάτω σχήμα είναι απόλυτα ελαστικές και η κόκκινη έχει πολύ μεγαλύτερη μάζα από την μπλε. Αν συγκρουστούν μετωπικά, τότε με βάση τους νόμους διατήρησης ορμής και ενέργειας, η μπλε μετά την κρούση θα αναπηδήσει προς τα πίσω διατηρώντας το μέτρο της ταχύτητάς της, ενώ η κόκκινη θα παραμείνει ακίνητη.

ΠΡΙΝ ΜΕΤΑ

****

**(Α)**

ακίνητη ακίνητη

**Ερώτημα:**

Θεωρώντας γνωστό το αποτέλεσμα της παραπάνω κρούσης, να βρεθούν οι ταχύτητες των σφαιρών μετά την κρούση, αν πριν από αυτή:

α) Αντιστρέψουμε τις ταχύτητές τους, β) Πλησιάζουν η μια σφαίρα την άλλη με την ίδια ταχύτητα 5m/s.

**Τα αποτελέσματα στα οποία θα καταλήξουμε μπορούν να επιβεβαιωθούν με τους τύπους της ελαστικής κρούσης.**

**Απάντηση:**

**α)**

ΠΡΙΝ ΜΕΤΑ

**(Α)**

****

**;**

ακίνητη

Ας δούμε τη σύγκρουση από το σύστημα αναφοράς ενός βαγονιού (παρατηρητής Β) που κινείται με σταθερή ταχύτητα 10m/s προς τα αριστερά, όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα. Τότε ο παρατηρητής (Β) θα βλέπει την παρακάτω εικόνα πριν και μετά την κρούση.

ΠΡΙΝ ΜΕΤΑ

**(Β)**



****

****

ακίνητη ακίνητη

Οι δύο παρατηρητές ως αδρανειακοί θα πρέπει να συμφωνούν για το αποτέλεσμα της κρούσης.

Σύμφωνα με τον παρατηρητή (Α):

Η μπλε μπάλα σε 1 δευτερόλεπτο κερδίζει 10 m προς τα αριστερά ως προς το βαγόνι, το οποίο με τη σειρά του κερδίζει 10 m προς τα αριστερά ως προς τον παρατηρητή (Α), επομένως η μπάλα κερδίζει 20 m προς τα αριστερά σύμφωνα με τον (Α), δηλαδή κινείται με ταχύτητα **20m/s**.

Η κόκκινη μπάλα φαίνεται ακίνητη από το βαγόνι. Το βαγόνι κινείται με ταχύτητα 10m/s ως προς τον (Α), ο οποίος συμπεραίνει ότι για να συμβαίνει αυτό πρέπει η ταχύτητα της κόκκινης μπάλας να είναι ίδια με την ταχύτητα του βαγονιού.

ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΡΟΥΣΗ

(Α)



**β)**

ΠΡΙΝ ΜΕΤΑ

**(Α)**

**;**



**Απάντηση:** Αν δούμε τη σύγκρουση από το σύστημα αναφοράς ενός βαγονιού (παρατηρητής Β) που κινείται με ταχύτητα 5m/s προς τα αριστερά, τότε θα έχουμε την παρακάτω εικόνα πριν και μετά την κρούση.

**(Β)** ΠΡΙΝ ΜΕΤΑ





ακίνητη ακίνητη

ΜΕΤΑ



Παρατηρητής (Α)

**2)** α) Ας υποθέσουμε ότι δύο σφαίρες έχουν το ίδιο μέγεθος και συγκρούονται μετωπικά και ελαστικά με ίσες κατά μέτρο ταχύτητες όπως δείχνει το σχήμα, σύμφωνα με τον αδρανειακό παρατηρητή (Α).

(Α) ΠΡΙΝ ΜΕΤΑ

υ υ υ υ

Τότε με βάση τους νόμους διατήρησης ορμής και ενέργειας, οι μπάλες μετά την κρούση αναπηδούν προς τα πίσω διατηρώντας το μέτρο της ταχύτητας.

**Ερώτημα:**

Ποιες είναι οι ταχύτητες μετά την κρούση, αν πριν από αυτή, η μπλε μπάλα κινείται με ταχύτητα V και η κόκκινη είναι ακίνητη;

(Α) ΠΡΙΝ ΜΕΤΑ

V ακίνητη ;

**Απάντηση:** Ας δούμε τη σύγκρουση από το σύστημα αναφοράς ενός βαγονιού (παρατηρητής Β) που κινείται με σταθερή ταχύτητα V/2 προς τα δεξιά, όπως φαίνεται παρακάτω. Τότε αυτός βλέπει την παρακάτω εικόνα πριν και μετά την κρούση.

 (Β) ΠΡΙΝ ΜΕΤΑ

V/2

V/2 V/2 V/2 V/2

Με βάση τον μετασχηματισμό ταχυτήτων του Γαλιλαίου η κόκκινη σύμφωνα με τον παρατηρητή (Α) κινείται με ταχύτητα (V/2)+(V/2)=V προς τα δεξιά και η μπλε με (V/2)-(V/2=0

ΜΕΤΑ THN ΚΡΟΥΣΗ

(Α) V

ακίνητη

**β)** Αν η κρούση των δύο σφαιρών είναι μετωπική και πλαστική με το ίδιο μέτρο ταχύτητας τότε το συσσωμάτωμα ακινητοποιείται.

(Α) ΠΡΙΝ ΜΕΤΑ

V V

ακίνητο

**Ερώτημα:** Αν θεωρήσουμε δεδομένο το αποτέλεσμα της παραπάνω κρούσης, τότε:

i) Ποιες είναι οι ταχύτητες μετά την κρούση, αν πριν από αυτή, η μπλε μπάλα κινείται με ταχύτητα υ και η κόκκινη είναι ακίνητη;

ii) Να δειχθεί ότι, αν η ορμή του συστήματος διατηρείται για τον παρατηρητή (Α) τότε θα διατηρείται και για τον παρατηρητή (Β). Θεωρήστε ότι η σχετική ταχύτητα u του (Β) ως προς τον (Α) είναι προς τα δεξιά και πάνω στην ευθεία κίνησης των σφαιρών.

iii) Να δειχθεί ότι η απώλεια ενέργειας λόγω της πλαστικής κρούσης είναι η ίδια και για τους δύο παρατηρητές.

**Απάντηση:**

**i)**

(A) ΠΡΙΝ ΜΕΤΑ

υ

**;**

ακίνητη

**** (Β)ΠΡΙΝ ΜΕΤΑ

υ/2 υ/2 υ/2 ακίνητο

Σύμφωνα με τον παρατηρητή (Β) το συσσωμάτωμα είναι ακίνητο, επομένως σύμφωνα με τον παρατηρητή (Α) κινείται με ταχύτητα ίση με αυτήν του (Β) δηλαδή με υ/2.

**ii)** Διατήρηση ορμής για τον παρατηρητή (Α):  **(1),** όπου Vκ η κοινή ταχύτητα μετά την κρούση.

Για τον παρατηρητή (Β):  

**iii)** Απώλεια ενέργειας για τον (Α):  **(2)**

Απώλεια ενέργειας για τον (Β):





**Παράδειγμα 4** (Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή και η αρχή της σχετικότητας)

Ο ευθύγραμμος αγωγός ΚΛ που κινείται με ταχύτητα  ως προς τον παρατηρητή (Α), εισέρχεται σε ομογενές μαγνητικό πεδίο, κάθετα στις δυναμικές γραμμές του. Τότε όπως είναι γνωστό στα άκρα του αγωγού αναπτύσσεται ΗΕΔ λόγω επαγωγής. Αυτό συμβαίνει διότι σύμφωνα με τον παρατηρητή (Α) τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού, κινούνται με την ταχύτητα του αγωγού και ωθούνται προς το ένα άκρο του εξαιτίας της δύναμης Lorentz που δέχονται. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού είναι η δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου εντός του αγωγού και τα ηλεκτρόνια αισθάνονται επιπλέον της μαγνητικής και μια ηλεκτρική δύναμη.

 Κ

 (Α)



**Λ**

**Ερώτημα:**

Επιλέγοντας κατάλληλο αδρανειακό σύστημα αναφοράς, να δειχθεί ότι το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο.

**Απάντηση:** Θεωρούμε αδρανειακό παρατηρητή (Β) που κινείται με ταχύτητα ίση με αυτήν της ράβδου. Ως προς αυτόν, ο αγωγός είναι ακίνητος και το μαγνητικό πεδίο πλησιάζει με ταχύτητα , δηλαδή αντιλαμβάνεται ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Ο παρατηρητής αυτός βλέπει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού ακίνητα και συμπεραίνει ότι δεν δέχονται δύναμη Lorentz. Παράλληλα θα πρέπει στα άκρα του αγωγού να δημιουργείται ΗΕΔ από επαγωγή, διότι σύμφωνα με την αρχή της σχετικότητας πρέπει να συμφωνεί με τον παρατηρητή (Α) ως προς αυτό. Για να εξηγήσει την δημιουργία της τάσης αυτής και ελλείψει της δύναμης Lorentz δέχεται ότι στο εσωτερικό του αγωγού δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο το οποίο ωθεί τα ηλεκτρόνια στο ένα άκρο του και αναγνωρίζει ως αίτιο δημιουργίας του το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.