


Διάλεξη 1
Αδρανειακά συστήματα και οι μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου
18.10.2011

- I. Αδρανειακό σύστημα ονομάζεται ένα σύστημα αναφοράς στο οποίο ισχύει ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα: Όταν η συνολική δύναμη η οποία εξασκείται πάνω σε ένα σώμα είναι μηδέν τότε το σώμα κινείται με σταθερή ταχύτητα.
- II. Παρατηρητές σε διαφορετικά συστήματα αναφοράς είναι εφοδιασμένοι με χάρακες και χρονόμετρα με τα οποία μετρούν τις συντεταγμένες και το χρόνο διαφορετικών γεγονότων. Έτσι κάθε γεγονός/συμβάν σε ένα σύστημα αναφοράς χαρακτηρίζεται από τις συντεταγμένες του: $(t; x, y, z)$.
- III. Οι μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου (Galileo Galilei) χρησιμοποιούνται για να σχετίσουν τις συντεταγμένες γεγονότων τα οποία παρατηρούνται/μετρούνται σε διαφορετικά αδρανειακά συστήματα αναφοράς. Υποθέστε δύο αδρανειακά συστήματα O και O' με το O' να κινείται σε σχέση με το O με ταχύτητα \mathbf{V} κατά τη διεύθυνση του άξονα- x . Οι συντεταγμένες ενός γεγονότος στο O' σχετίζονται με τις συντεταγμένες στο O μέσω των μετασχηματισμών:

$$x' = x - Vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

Ο χρόνος κατά τον Γαλιλαίο είναι απόλυτος και ο ίδιος σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς :

$$t' = t$$

Οι μετασχηματισμοί αυτοί μπορούν να γενικευθούν σε διανυσματική μορφή:

$$\vec{x}' = \vec{x} - \vec{V} \cdot t \quad (\vec{V} = |\vec{V}| \hat{x}_0) \quad \text{και} \quad t' = t$$

(όπου \hat{x}_0 είναι το μοναδιαίο διάνυσμα στον άξονα των x).



Φυσικό Τμήμα Παν/μιο Ιωαννίνων - Ειδική Σχετικότητα

Διάλεξη 1

- IV. Οι μετασχηματισμοί του Γαλιλαίου για ταχύτητα και επιτάχυνση προέρχονται από τους μετασχηματισμούς συντεταγμένων (η ταχύτητα είναι η παράγωγος της συντεταγμένης και η επιτάχυνση η παράγωγος της ταχύτητας):

$$v_x' = v_x - V \quad \alpha_x' = \alpha_x$$

$$v_y' = v_y \quad \alpha_y' = \alpha_y$$

$$v_z' = v_z \quad \alpha_z' = \alpha_z$$

- V. Η αρχή της σχετικότητας του Γαλιλαίου:

Οι νόμοι της Φυσικής παραμένουν αναλλοίωτοι σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς.

Στο μάθημα δείξαμε ότι οι νόμοι της Νευτώνειας μηχανικής δεν αλλάζουν από αδρανειακό σύστημα σε αδρανειακό σύστημα. Σαν παράδειγμα χρησιμοποιήσαμε το νόμο του Hook (κίνηση αντικειμένου κάτω από την επίδραση της δύναμης από ένα ελατήριο).

$$-k(x-x_0) = m \frac{d^2 x}{dt^2} \quad \Rightarrow \quad -k(x'-x_0') = m \frac{d^2 x'}{dt'^2}$$

Ένας άλλος τρόπος να εκφράσει κανείς την ίδια αρχή είναι: **Όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς είναι ισοδύναμα ως προς τους νόμους της Νευτώνειας μηχανικής: Ένας παρατηρητής σε αδρανειακό σύστημα αναφοράς δεν μπορεί να σχεδιάσει πείραμα με το οποίο να μετρήσει την ταχύτητα του συστήματος του.** Προφανώς εάν δεν ήταν ισοδύναμα διαφορετικοί παρατηρητές θα κατέληγαν σε διαφορετικά συμπεράσματα για τους νόμους της μηχανικής και έτσι το κάθε σύστημα θα είχε κάτι το ιδιαίτερο βάση του οποίου ο συγκεκριμένος παρατηρητής θα μπορούσε να συμπεράνει σε ποιο σύστημα βρίσκεται και με τι ταχύτητα κινείται. **Συνεπώς νόμοι/εξισώσεις που δεν παραμένουν αναλλοίωτες σε διαφορετικά αδρανειακά συστήματα δεν περιγράφουν φυσικά φαινόμενα και απορρίπτονται.**

Φυσικό Τμήμα Παν/μιο Ιωαννίνων - Ειδική Σχετικότητα

Διάλεξη 1

- VI. Οι εξισώσεις του Maxwell προβλέπουν την διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο κενό. Από τις εξισώσεις του Maxwell χρησιμοποιώντας διανυσματικό λογισμό, καταλήγουμε στην ακόλουθη εξίσωση κύματος

$$\frac{1}{c^2} \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} - \nabla^2 \vec{E} = 0 \quad (A)$$

όπου η ταχύτητα του φωτός συμβολίζεται με c και το πεδίο δίδεται από την σχέση:

$$\vec{E}(\vec{x}, t) = \vec{E}_0 [A \cos(\vec{k} \cdot \vec{x} - \omega \cdot t) + B \sin(\vec{k} \cdot \vec{x} - \omega \cdot t)] \quad (B)$$

Όπως φαίνεται στην (A) το ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο περιγράφεται από την (B) κινείται με την ταχύτητα του φωτός στο κενό.

- VII. Δυστυχώς (η ευτυχώς) η κυματική εξίσωση δεν είναι συμβατή με τους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου. Δηλαδή η μαθηματική της μορφή αλλάζει από σύστημα σε σύστημα και συνεπώς δεν είναι αναλλοίωτη στα διαφορετικά αδρανειακά συστήματα.



Εικόνα 1: Galileo Galilei (1564-1642).



Εικόνα 2: James C. Maxwell (1831-1879).