

## Θέμα 2

1. Γράψτε μια μικρή (το πολύ 15 σειρές) περίληψη για:

α) Ποιοι ήταν οι λόγοι που δημιούργησαν την ανάγκη για την θεωρία της ειδικής σχετικότητας του A. Einstein.

β) Ποια είναι αξιώματα της ειδικής σχετικότητας όπως ορίστηκαν από τον από τον A. Einstein.

γ) Δώστε δυο από τις βασικές προβλέψεις της θεωρίας αυτής.

δ) Δώστε ένα πειραματικό παράδειγμα που επαληθεύει τη θεωρία της ειδικής σχετικότητας.

(1.00 μονάδα)

2. Σύμφωνα με την ειδική σκεπτικότητα η ολική ενέργεια ενός σώματος δίδεται από την σχέση

$E = \gamma mc^2$  όπου  $m$  και  $c$  είναι η μάζα του σώματος και η ταχύτητα του φωτός και

$\gamma = 1/\sqrt{1-V^2/c^2} = 1/\sqrt{1-\beta^2}$  και  $V$  η ταχύτητα του σώματος. Θεωρήστε ένα

πρωτόνιο το οποίο έχει μάζα ηρεμίας  $m_p c^2 = 938 \text{ MeV}$  και κινείται με ταχύτητα  $V = 0.1c$ .

α) Χρησιμοποιήστε την διωνυμική σειρά και δείξτε ότι η ολική ενέργεια του πρωτονίου με ακρίβεια της τάξης του  $\sim \beta^4$  δίνεται από τη σχέση:

$$E \approx mc^2 + mc^2 \frac{\beta^2}{2} + \frac{3}{8} mc^2 \beta^4 \quad (0.5 \text{ μονάδες})$$

β) Υπολογίστε την ολική και κινητική ενέργεια του πρωτονίου σε MeV. (0.5 μονάδες)

γ) Εξηγήστε τη φυσική σημασία που έχει ο κάθε ένας από τους τρεις όρους που συνεισφέρουν

στην ολική ενέργεια του πρωτονίου.

(0.5 μονάδες)

## ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ

$$(1+x)^N = \sum_{i=0}^N \left( \frac{N!}{i!(N-i)!} \right) x^i \quad E = \sqrt{(pc)^2 + m^2 c^4}$$

### Απάντηση:

1

(α) Οι εξισώσεις του Maxwell και κατ' επέκταση η εξίσωση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος δεν ήταν αναλλοίωτες ως προς τους μετασχηματισμούς του Γαλιλαίου. Επί πλέον το πείραμα των Michelson-Morley απέδειξε ότι δεν υπήρχε αιθέρας και η ταχύτητα του φωτός ήταν η ίδια σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς.

(β)

**Αξίωμα-1:** Οι νόμοι της φυσικής παραμένουν αναλλοίωτοι στα διάφορα αδρανειακά συστήματα αναφοράς.

**Αξίωμα-2:** Το φως και όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s σε όλα τα αδρανειακά συστήματα αναφοράς ανεξάρτητα από τη σχετική ταχύτητα του συγκεκριμένου συστήματος αναφοράς. Κανένα σωματίδιο ή κύμα δε μπορεί να υπερβεί την ταχύτητα του φωτός στο κενό.

*Ο προσεκτικός φοιτητής θα παρατηρήσει ότι το δεύτερο αξίωμα περιλαμβάνεται ουσιαστικά στο πρώτο διότι όταν λέμε 'Οι νόμοι της φυσικής παραμένουν αναλλοίωτοι' εννοούμε τους νόμους της μηχανικής και του ηλεκτρομαγνητισμού. Από το αναλλοίωτο των νόμων του ηλεκτρομαγνητισμού (εξισώσεις Maxwell και εξίσωση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος) συνάγεται ότι η ταχύτητα του φωτός είναι η ίδια σε όλα τα αδρανειακά συστήματα.*

(γ) Η συστολή του μήκους και η διαστολή του χρόνου.

(δ) Σωματίδια με μικρό χρόνο ζωής τα οποία κινούνται με μεγάλες ταχύτητες (κοντά στην ταχύτητα του φωτός) ως προς το σύστημα του εργαστηρίου μετρούνται να έχουν πολύ μεγαλύτερο χρόνο ζωής από αυτόν που θα είχαν σε κατάσταση ηρεμίας.

2.

(α)

$$E = \gamma mc^2 = mc^2(1-\beta^2)^{-1/2} = mc^2\left[1 + (-1)\left(-\frac{1}{2}\right)\beta^2 + \frac{1}{2}\left(-\frac{1}{2}\right)\left(-\frac{1}{2}-1\right)\beta^4\right] =$$
$$mc^2\left[1 + \frac{1}{2}\beta^2 + \frac{3}{8}\beta^4\right] = mc^2 + mc^2\frac{\beta^2}{2} + \frac{3}{8}mc^2\beta^4$$

(β)

$$E = 938 \text{ MeV} + 938 \text{ MeV} \times \frac{(0.1)^2}{2} + \frac{3}{8} \times 938 \text{ MeV} \times (0.1)^4 =$$
$$= 938 \text{ MeV} + 4.69 \text{ MeV} + 0.0352 \text{ MeV} = 942,7 \text{ MeV}$$

(γ) Ο πρώτος όρος είναι η μάζα ηρεμίας, ο δεύτερος όρος γράφεται ως

$$mc^2\frac{\beta^2}{2} = mc^2\frac{V^2}{2c^2} = \frac{1}{2}mV^2$$

και συνεπώς είναι η κλασσική κινητική ενέργεια. Ο τρίτος όρος αποτελεί σχετικιστική διόρθωση στην κλασσική κινητική ενέργεια. Ο δεύτερος μαζί με τον τρίτο όρο αποτελούν την σχετικιστική κινητική ενέργεια.