

## 3ο φύλλο ασκήσεων.

1. Η σημερινή σωματιδιακή πυκνότητα των ηλεκτρονίων (όπως και των πρωτονίων),  $n_e$ , στο Σύμπαν είναι  $\sim 0.2 \text{ m}^{-3}$ . Θεωρείστε τη χρονική στιγμή όταν  $R(t) \sim 10^{-6} R_0$ . Ποια ήταν η τιμή του  $n_e$  τότε; Α)  $mc^2 = 0.511 \text{ MeV}$ , περιμένετε τα ηλεκτρόνια να ήταν σχετικιστικά ή όχι; β) Η ενεργός διατομή της αέδασης Thomson φωτονίων από ηλεκτρόνια είναι  $\sigma_e = 6.7 \times 10^{-29} \text{ m}^2$ . Δεδομένου ότι η μέση ελεύθερη διαδρομή ενός φωτονίου σε "αέριο" ηλεκτρονίων με πυκνότητα  $n_e$  είναι  $l = \frac{1}{n_e \sigma_e}$ , υπολογίστε το  $l$  εκείνη τη χρονική στιγμή και το μέσο χρόνο αλληλεπίδρασης. Αρ η "ηλικία" του Σύμπαντος ήταν  $\sim 100.000$  χρόνια εκείνη τη στιγμή, τι συμπέρασμα βγάζετε;

2. Το κανάλι 6 των τηλεόρασή σας καταγράφει φωτόνια με μήκος κύματος  $3.41 - 3.66 \text{ m}$ . Θεωρείστε σταθμό τηλεόρασης ισχύος  $25 \text{ kW}$ , που απέχει απόσταση  $70 \text{ km}$  από το δέκτη σας & εκπέμπει ισσοτροπικά. Υπολογίστε το πηχίο "αριθμός φωτονίων που εκπέμπονται από το σταθμό" προς "αριθμό φωτονίων της αιτιοβχίας υποβάθρου" που ανιχνεύει ο δέκτης της τηλεόρασή σας στο κανάλι 6.

3. Αποδείξτε ότι, αν παρατηρητής κινείται με ταχύτητα  $u$  ως προς τη πηγή Hubble, τότε θα μετράει θερμοκρασία της αιτιοβχίας υποβάθρου ίση με:

$$T_{\text{moving}} = T_{\text{rest}} \frac{\sqrt{1 - (u/c)^2}}{1 - \frac{u \cos \theta}{c}}, \quad \text{όπου } \theta \text{ η γωνία μεταξύ της αυτών}$$

παρατήρησης και του διανύσματος της ταχύτητας του παρατηρητή (Δίνεται η σχέση Doppler:  $\nu_{\text{obs}} = \frac{\nu_{\text{rest}} \sqrt{1 - (u/c)^2}}{1 + \frac{u \cos \theta}{c}}$ , όπου  $\theta$  η γωνία μεταξύ της ταχύτητας της πηγής και της αυτών παρατήρησης).

β). Δείξτε ότι η παραπάνω σχέση γίνεται:

$T_{moving} = T_{res} \left[ 1 + \frac{v \cos \theta}{c} \right]$ , όταν  $v \ll c$ . γ) Υπολογίστε το μέγεθος της μεταβολής της θερμοκρασίας της μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου λόγω της ίδιας κίνησης του Ήλιου (ο οποίος κινείται με ταχύτητα  $v = 370.6 \text{ km/s}$  ως προς τη ροή Hubble).

4) Παρατηρήσεις έχουν δείξει γραμμές απορρόφησης άνθρακα στο φάσμα ενός κβάζαρ (που ονομάζεται Q1331+70) που οφείλονται στο γεγονός ότι το φως από αυτό το αντικείμενο διέρχεται από νέφη αερίου που βρίσκονται σε "απόσταση"  $z = 1.776$  από μας. Η σχετική ένταση απορρόφησης των διάφορων γραμμών δείχνει ότι η θερμοκρασία του νέφους πρέπει να είναι  $7.4 \pm 0.8 \text{ K}$ . Τι συμπέρασμα βγάξετε για τη χρονική μεταβολή της θερμοκρασίας της ακτινοβολίας υποβάθρου;