

# מבוא לאסטרופיזיקה - תרגיל בית מס' 6

## שאלה מס' 1

חשבו עבור היקום שלנו

1. את ה-proper distance למסך הפיזור האחרון.
  2. את ה-luminosity distance למסך הפיזור האחרון.
- הניחו כי מסך הפיזור האחרון נמצא ב- $z = 1100$ .

## שאלה מס' 2

דמיינו יקום בו בזמן הרקומבינציה, הרכיב הבריוני של היקום היה מורכב מ- ${}^4\text{He}$  בלבד. אנרגיית היינון של הליום (האנרגיה הנדרשת להמרה של  $\text{He}$  ל- $\text{He}^+$ ) היא

$$Q_{\text{He}} = 24.6 \text{ eV}.$$

1. חשבו באיזוטמפרטורה דרגת היינון של הליום תהיה  $x = \frac{1}{2}$  עבור  $\eta = 5.5 \times 10^{-10}$ . ניתן להניח כי צפיפות ההליום המיון פעמיים  $\text{He}^{++}$  זניחה, וכי

$$\frac{g_{\text{He}}}{g_e g_{\text{He}^+}} = \frac{1}{4}.$$

2. מצאו את ה-redshift של מסך הפיזור האחרון.
3. מצאו את הזווית של השיא הראשון ב-power spectrum של הפלקטואציות ביקום זה.

## שאלה מס' 3

ידוע מתצפיות כי התווך הבין גלקטי ביקום המקומי מיון. לכן ניתן להסיק כי בזמן מסויים (אותו נסמן ב- $t_*$ ) בין  $t_{\text{rec}}$  ו- $t_0$  התווך הבין גלקטי יונן מחדש. (reionization) ניתן להשתמש בפלקטואציות של קרינת הרקע על מנת למצוא חסם על ה-redshift בו התרחש היינון

מחדש באמצעות הטיעון הבא: על מנת שנראה את התמונה של הפלקטואציות בקרינת הרקע בתצפיות היום, צריך לדרוש שמספר הפיזורים שפוטון מקרינת הרקע עובר בדרכו אלינו ממסך הפיזור האחרון יהיה קטן מאוד (כלומר הפוטונים חופשיים לנוע בקו ישר), אחרת הפלקטואציות היו נמחקות. מספר אינטראקציות זה נקרא גם עומק אופטי ומסומן באות  $\tau$ . הניחו כי היינו התרחש רגעית בזמן  $t_*$ , ומצאו חסם תחתון עבור  $t_*$  באמצעות הדרישה שהעומק האופטי לפיזור תומסון מ- $t_*$  ועד  $t_0$  קטן מאוד. הניחו יקום שטוח ונשלט חומר ומצאו את  $t_*$  ואת ה-redshift המתאים לחסם הזה.

## שאלה מס' 4 - שאלת חישוב (חובה)

שרטטו את אחוז היינון  $x$  של מימן (היחס בין צפיפות המימן המיון לצפיפות המימן הכוללת) עבור טווח הטמפרטורות

$$3000 \text{ K} < T < 4500 \text{ K}$$

עבור  $\eta = 4 \times 10^{-10}$  ועבור  $\eta = 8 \times 10^{-10}$ . מצאו את טמפרטורת הרקומבינציה  $T_{rec}$  עבור  $x = \frac{1}{2}$ . מה ההשפעה של אי הוודאות בערכו של  $\eta$  עבור חישוב  $T_{rec}$ ?

## שאלה מס' 5

עבור טמפרטורה  $T < \frac{13.6 \text{ eV}}{k_B}$ , מהו אחוז הפוטונים בקרינת גוף שחור בעלי אנרגיה הגדולה מ-13.6 eV? חשבו את ערך זה עבור  $T = T_{rec} = 3740 \text{ K}$ .

## שאלה מס' 6

צפיפות האלקטרונים הנוכחית ביקום זהה לזו של הפרוטונים והיא כ- $0.2 \text{ m}^{-3}$ . חישובו על זמן רב לפני הפיזור האחרון של קרינת הרקע הקוסמית, כאשר קבוע הסקאלה היה  $10^{-6}$  מערכו כיום.

- מה הייתה צפיפות האלקטרונים אז?
- בהנתן שאנרגיית המנוחה של אלקטרונים היא  $0.511 \text{ MeV}$ , האם הם היו יחסיתיים בזמן זה?
- חתך הפעול לפיזור תומסון הוא  $\sigma_T = 6.65 \times 10^{-25} \text{ cm}^{-3}$ . בהנתן שהמהלך החופשי של הפוטונים בגז האלקטרונים הוא  $d \sim \frac{1}{n_e \sigma_T}$ , חשבו את המהלך החופשי של הפוטונים בזמן זה.
- השתמשו בתוצאה זו על מנת לחשב את הזמן האופייני בין פיזורים. השוו את התוצאה לגיל היקום בזמן זה. מהי החשיבות של השוואה זו?