

מבוא לאסטרופיזיקה - תרגיל בית מס' 5

11 באפריל 2022

שאלה מס' 1

הניחו כי כל הניוטונים החופשיים מוצאים את גורלם בגרעיני הליום בתום הווצרות הרגעיים. הראו כי במקרה זה הערך של Y (Helium fraction) נתון על ידי

$$Y = \frac{2f}{1+f},$$

כאשר $f = \frac{n_n}{n_p} \leq 1$ הוא היחס בין צפיפות הניוטונים לצפיפות פרוטונים בזמן הווצרות הגרעינים (Y מוגדר להיות היחס בין מסת ההליום למסה הכוללת).

שאלה מס' 2

זמן מחצית החיים של ניוטרון (614 שניות) הוא ארוך במיוחד בסטנדרטים של ריאקציות גרעיניות. מה תהיה ההשלכה על הווצרות ההליום אם זמן מחצית החיים של הניוטון היה קצר בסדרי גודל, נאמר כ-1 מיקרו-שניה? הסבירו את תשובתכם.

שאלה מס' 3

1. הטמפרטורה בליבת השמש היא כ- 10^7 K . מה היה גיל היקום כאשר זו הייתה הטמפרטורה? האם הוא היה נשלט חומר או קרינה בזמן זה?

2. במאיץ החלקיקים ב-CERN מואצים חלקיקים לאנרגיות של TeV . מה היה גיל היקום כאשר האנרגיה האופיינית לחלקיק הייתה מסדר גודל דומה? מה הייתה הטמפרטורה בזמן זה?

שאלה מס' 4

נתונה אינטראקציה בין חומר לקרינה אשר הקצב שלה (מספר האינטראקציות שעובר חלקיק ביחידת זמן) מקיים $\Gamma \propto T^m$, כאשר T זו טמפרטורת הקרינה ו- $n > 3$ קבוע (עבור $n = 3$ מתקיים ש- $\langle \sigma v \rangle$ לא תלוי בטמפרטורה ובדרך כלל חתך הפעולה יורד או נשאר קבוע כאשר הטמפרטורה יורדת). נתון גם שקבוע הסקאלה מקיים $R \propto t^m$, כאשר $m > \frac{1}{2}$.

($m = \frac{1}{2}$) עבור יקום נשלט קרינה וגדול יותר עבור יקום נשלט חומר). רשמו את מספר האינטראקציות הממוצע שעובר חלקיק בין t_0 ל- ∞ כתלות בקבוע האבל $H(t_0)$, $\Gamma(t_0)$, m ו- n . הראו שאם ב- t_0 מתקיים $\frac{\Gamma}{H} = 1$ אז מספר האינטראקציות הממוצע קטן מ-1.

שאלה מס' 5

הבהירות (הספק) הכוללת של הכוכבים בגלקסיה שלנו היא $L \approx 2.3 \times 10^{10} L_\odot$, כאשר $L_\odot = 3.84 \times 10^{33} \frac{\text{erg}}{\text{s}}$ היא הבהירות של השמש. הניחו שהבהירות של הגלקסיה שלנו הייתה קבועה ב-10 Gyr האחרונות.

1. כמה אנרגיה הגלקסיה שלנו פלטה בדמות אור כוכבים בפרק זמן זה?
2. המקור של רוב הקרינה מכוכבים הוא היתוך של H ל- ^4He , תוך שחרור של 28.4 MeV על כל גרעין הליום שנוצר. כמה גרעיני הליום נוצרו בתוך כוכבים בגלקסיה שלנו בפרק זמן זה, בהנחה שהיתוך זה הוא מקור האנרגיה היחיד?
3. אם המסה הבריונית של הגלקסיה שלנו היא $M \approx 10^{11} M_\odot$ ($M_\odot = 1.99 \times 10^{33} \text{g}$) היא מסת השמש) ונמצאת כולה בכוכבים, בכמה השתנה הערך של Y (fraction Helium) מהערך המקורי שנקבע בזמן יצירת הגרעינים $Y = 0.24$?

שאלה מס' 6 (שאלת חישובית - חובה)

1. ציירו גרף של דרגת היינון של גז מימן, $x = \frac{n_e}{n}$, כתלות בטמפרטורה, כאשר n_e צפיפות האלקטרונים החופשיים ו- n צפיפות הנוקלאונים. הניחו צפיפות מסה $\rho = 10^{-20} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. הראו שהמעבר ממימן למימן נטרלי מתרחש על פני טווח טמפרטורות קטן, והסבירו ביחס למה הוא קטן.
2. ציירו גרף במישור ρ ו- T של $x = 0.5$. מצאו את טמפרטורת היינון של מימן בתווך הבין כוכבי ($n \sim 1 \text{cm}^{-3}$) ובמעטפת של סופרנובה כשבוע לאחר הפיצוץ ($n \sim 10^{12} \text{cm}^{-3}$). פי כמה משתנה טמפרטורה זו כאשר הצפיפות גדלה בשניים-עשר סדרי גודל?