

סמסטר ב', תשס"א  
מועד ב'  
5.9.2001

בחינה במבוא לאסטרופיזיקה  
לתלמידי פיזיקה שנה ג'

מרצה: פרופ' יואל רפאלי

משך הבחינה: שעתיים וחצי  
חומר עזר מותר לשימוש: דף נוסחאות אישי, ומחשבון

הוראות לנבחן:

א. בבחינה ארבע שאלות ויש לענות על שלוש מתוכן. מספר הנקודות זהה בכל השאלות, אך מספר הנקודות בסעיפי השאלה אינו בהכרח זהה.

ב. את החישובים יש לבצע במחברת המשמשת טיוטה. מחברת הטיוטה לא תיבדק.

ג. על השאלות יש לענות בגוף השאלון בעמוד השאלה, ובמידת הצורך גם בעמוד העוקב. יש לפרט בגוף השאלון את כל שלבי הפתרון.

ד. בתום הבחינה, סמן קו בטבלה הבאה במשבצת המתאימה למספר השאלה שלא פתרת או שאינך רוצה שתיבדק.

ה.

$$R_o = 7 \times 10^{10} \text{ cm}, \quad M_o = 2 \times 10^{33} \text{ g}, \quad L_o = 4 \times 10^{33} \text{ erg/s}, \quad \sigma_T = 6.65 \times 10^{-25} \text{ cm}^2$$

$$G = 6.67 \times 10^{-8} \frac{\text{cm}^3}{\text{g} \cdot \text{s}^2}, \quad k = 1.38 \times 10^{-16} \text{ erg/K}, \quad \sigma = 5.67 \times 10^{-5} \frac{\text{erg}}{\text{s} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{K}^4},$$

$$\hbar = 1.05 \times 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s}, \quad 1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

מספר סידורי: \_\_\_\_\_

מספר תלמיד: \_\_\_\_\_

שאלה	ציון
1	
2	
3	
4	
ציון הבחינה	

## בהצלחה!!!

### שאלה 1

א. הקוטר הזויתי של ערפילית פלנטרית הוא 15 דקות קשת, ומרחקה מכדור הארץ הוא 120 pc. מאז הווצרותה, הערפילית מתפשטת במהירות ממוצעת של 20 km/s. מהו גיל הערפילית?

ב. ממשוואת המאזן ההדרוסטטי עבור גז אדיאלי, ומיחס המתכונתיות במשוואת המעבר הקרינתי של אנרגיה:

$$L(r) \propto \frac{r^2 T^3}{\rho} \cdot \frac{dT}{dr}$$

(כאשר  $L$ ,  $T$  ו- $\rho$  הם ההארה, טמפרטורה, וצפיפות מסה, בהתאמה), קבל את יחס המתכונתיות בין הארת הכוכב ומסתו.

ג. קצב יצור אנרגיה (בתהליך התוך תרמו-גרעיני) בכוכב מסיבי הוא:

$$\varepsilon = 3 \cdot 10^{25} \cdot \rho \left( \frac{10^6}{T} \right)^{2/3} \exp[-152.3 \left( \frac{10^6}{T} \right)^{1/3}] \frac{\text{erg}}{\text{g.s}}$$

כאשר  $\rho$  היא צפיפות המסה ו- $T$  היא הטמפרטורה. מסת כוכב צעיר היא  $M = 10M_{\odot}$ , ורדיוסו  $R = 3.6R_{\odot}$ . מירב יצור האנרגיה הוא בליבה שרדיוסה הוא  $0.15R$ , צפיפותה

$$\rho = 10 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \text{ . והטמפרטורה בה היא } T = 2.7 \times 10^7 \text{ K .}$$

חשב את הטמפרטורה על פני הכוכב, ואת משך הזמן לבעירת כל המימן בליבה בהנחה שקצב יצור האנרגיה הוא קבוע.

## שאלה 2

א. בספקטרום של כוכב יש ירידה תלולה בשטף באורך גל של  $3647\text{\AA}$ . זהה את התהליך הגורם לירידה, והסבר בפירוט כיצד ניתן לקבוע את הטמפרטורה באזור בו מתרחש התהליך ממדידת גודל הירידה בשטף (רמז:  $13.6 = 3.4 kT$ )

ב. הלחץ המרכזי בשמש הוא  $P = 2 \cdot 10^{17} \frac{\text{erg}}{\text{cm}^3}$ , והצפיפות המרכזית היא פי מאה מערכה הממוצע. חשב את מהירות הקול במרכז השמש בהנחה שהגז אדיאבטי.

ג. טמפרטורת קרינת הרקע הקוסמית בעידן הנוכחי היא  $T_0 = 2.725\text{ K}$ . צופה במנוחה במרכז גלקסיה הנמצאת בהיסט לאדום  $z = 0.1$  מסיק שההתפלגות המרחבית של הקרינה היא דיפולית, ומודד ערך טמפרטורה מירבי  $T = 3.0175\text{ K}$ . מהי מהירות הגלקסיה במערכת יחוס בה הקרינה איזוטרופית?

### שאלה 3

א. מהם רדיוס שוורצשילד והצפיפות האופינית של חור שחור שמסתו היא  $10^8 M_\odot$ ?

ב. הנח שתנועת פוטונים בשמש היא אקראית בשל פזור תומסון. חשב במקורב את הזמן האופייני למעבר פוטון מהמרכז לפני השמש בהנחה שהחומר מימני וצפיפותו אחידה.

ג. מעקרון אי הוודאות ועקרון האסור, קבל באופן מפורש בטוי מקורב עבור אנרגיית פרמי בגז לא-יחסותי כפונקציה של הצפיפות המספרית של האלקטרונים,  $n$ . מהשוואת אנרגיה זו לאנרגיה החומנית הממוצעת של אלקטרון, קבל את התנאי לנוון, מובע בעזרת הטמפרטורה,  $T$ , ו- $n$ . הנח כי בהתפתחות ליבת כוכב מתקיים הקשר

$$\frac{T}{T_0} = \left( \frac{n}{n_0} \right)^{0.1}$$

כאשר  $T_0 = 2 \times 10^7 \text{ K}$  ו-  $n_0 = 10^{26} \text{ cm}^{-3}$ . בדוק האם גז האלקטרונים בליבה מנוון כאשר  $n = 3 \times 10^{29} \text{ cm}^{-3}$ .

## שאלה 4

א. שטף הנוטרינים הכולל (מספר ליחידת שטח) מסופרנובה 1987A היה  $1.3 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ , כאשר האנרגיה הממוצעת לנוטרינו היתה 4.2 MeV. הסופרנובה התרחשה בענן המגלני הגדול שמרחקו מכדור הארץ הוא 50 kpc.

1. חשב את האנרגיה הכוללת שנפלטת בנוטרינים.
2. ההתפוצצות נבעה מקריסת ליבת הברזל של ענק כחול שגודל ההארה שלו היה  $m = 12$ . חשב את הזמן שהיה דרוש לכוכב על מנת לקרן את האנרגיה שנפלטת בנוטרינים. (גודל ההארה המוחלט של השמש הוא  $M = 4.76$ ).

ב. פתרון המשוואות הקוסמולוגיות במודל הסטנדרטי נתן להצגה על ידי זווית התפתחות  $\theta$ , עבור  $k=1$ , הזווית מוגדרת באופן

$$0 \leq \theta \leq 2\pi \quad 1 - \cos \theta = \frac{(2q_0 - 1) a(t)}{q_0 a_0}$$

כאשר  $a(t)$  ו- $q$  הם פקטור הסקלה וקבוע ההאטה, בהתאמה; האינדקס 0 מציין ערכים בעידן הנוכחי. הזמן הקוסמולוגי הוא

$$t = \frac{q_0}{H_0 (2q_0 - 1)^{3/2}} (\theta - \sin \theta)$$

$$\text{במודל קוסמולוגי בו } q_0 = \frac{3}{4} \text{ ו- } H_0 = 50 \frac{\text{km}}{\text{s} \cdot \text{Mpc}}$$

1. מהו גיל היקום בעידן הנוכחי?
2. בעידן ההתפשטות המירבית נפלט קו ספקטרלי במעבר מהרמה המעוררת הראשונה של הליום ניטרלי לרמת היסוד. מהו אורך הגל שימדוד צופה בעידן בו היקום חוזר לממדו הנוכחי? (פוטנציאל הינן הראשון של הליום הוא 24.6 eV).