

# אוניברסיטת תל-אביב הפקולטה למדעים מדויקים בית הספר לפיזיקה ולאסטרונומיה

בחינת מעבר בקורס מבוא לאסטרופיזיקה  
סמסטר ב' תשס"ג, מועד א'  
29/6/03

המורה: פרופ' דן מעוז  
מתרגלים: ערן אופק ודובי פוזננסקי  
-----

מספר ת.ז: \_\_\_\_\_

## הוראות:

1. מותר להשתמש במחשבון בלבד.
2. דפי עזר מצורפים בסוף השאלון.
3. תשובות יש לכתוב אך ורק על דפי השאלון מתחת לכל שאלה. יש לכלול את שלבי הפתרון העיקריים.
4. המחברות הן לטיוטה בלבד, ולא תיבדקנה.
5. יש לענות על ארבע מתוך שש שאלות.
6. לכל שאלה משקל של 25 נקודות + מספר נקודות נוספות עבור סעיף הבנוס.
7. משך הבחינה  $3\frac{1}{2}$  שעות.
8. פתרון השאלות אינו כרוך בפתרון אינטגרלים, משוואות דיפרנציאליות או ביטויים אלגבריים סבוכים, בעלי יותר מכמה איברים. אם אתם עוסקים בחשבונות מעין אלה, אינכם בדרך הנכונה.

בהצלחה !

1. השמש מוקפת ב"קורונה", גז מיון וחם בצפיפות נמוכה. הניחו שהגז אידיאלי, כולו מימן,

בטמפרטורה קבועה  $T = 5 \cdot 10^6 \text{ K}$ , ובשווי משקל הידרוסטטי:  $\frac{dp}{dr} = -\frac{GM(r)\rho}{r^2}$ . בשל

צפיפותו הנמוכה, לגז בקורונה תרומה זניחה למסה המוכלת בתוך רדיוס  $r$ ; כלומר

$$M(r > r_\odot) = M_\odot$$

א. פתרו את המשוואה ההידרוסטטית, עד כדי תנאי שפה, ומצאו את התלות הרדיאלית של צפיפות הקורונה,  $\rho(r)$ .

ב. בהנחה שהקורונה מתחילה על שפת השמש,  $r = r_\odot$ , מצאו באיזה רדיוס יורדת צפיפות

הקורונה ל  $\frac{1}{e}$  מערכה ההתחלית. הביעו את התשובה ביחידות של  $\frac{1}{r_\odot}$ .

ג. הניחו צפיפות אחידה  $n$  לגז בקורונה, ורשמו ביטוי לחלק היחסי מהפוטונים היוצאים מהשמש שעוברים פיזור תומסון תוך כדי מעבר בקורונה, אשר גודלה חושב בסעיף ב'. נתון חתך הפעולה לפיזור תומסון  $\sigma_T = 6.6 \times 10^{-25} \text{ cm}^2$ .

ד. בעת ליקוי חמה ניתן לראות את הקורונה ולמצוא ש-  $5 \times 10^{-5}$  מאור השמש מפוזר על ידה. בהסתמך על נתון זה וסעיף ג', חשבו את הצפיפות האופיינית  $n$  בקורונה. מהי צפיפות המסה  $\rho$ ?

2. חוק Hubble,  $v = Hr$ , מקשר בין המהירות  $v$  והמרחק  $r$  של גלקסיה מצופה כלשהו ביקום.

א. משיקול ניוטוני של שימור אנרגיה, ובהנחת חוק Hubble, מצאו את הצפיפות הקריטית  $\rho_c(H)$  שמתחתיה היקום יתפשט לנצח (רמז: גלקסיה על שפת התפלגות מסה כדורית בעלת צפיפות קבועה).

ב. קבוע Hubble כיום הוא  $H_0 = 70 \frac{km}{s \cdot Mpc}$ . מהו ערכו של  $H_0^{-1}$  ביחידות c.g.s? מהו ערכו

של  $\rho_c$  כיום?

ג. העריכו בקירוב את  $\rho_*$ , צפיפות המסה בכוכבים, מתוך הנתונים הבאים: צפיפות

הגלקסיות היא  $2 \times 10^{-2} Mpc^{-3}$ , בכל גלקסיה  $5 \times 10^{10}$  כוכבים, לכל כוכב מסה  $\frac{1}{2} M_\odot$ . מהו

היחס  $\frac{\rho_*}{\rho_c}$ ?

3.

א. מהי צפיפות הפוטונים  $n_{ph}$  במרחק  $r$  ממקור של פוטונים בעלי אנרגיה  $\varepsilon$ , עם הספק  $L$ ?

(רמז: צפיפות = שטף \ מהירות)

ב. מהו קצב פיזור תומסון על אלקטרון הנמצא בשדה הקרינה מסעיף א' ? נתון  $\sigma_T$ , חתך הפעולה לפיזור תומסון.

ג. כל פיזור של פוטון עם אנרגיה  $\varepsilon$  מעביר בממוצע לאלקטרון תנע  $\frac{\varepsilon}{c}$ . מתוך סעיפים א' וב',

מהו קצב העברת התנע לאלקטרון (כלומר הכוח הפועל עליו) עקב שדה הקרינה?  
ד. רשמו את כוח הכבידה על פרוטון שמפעילה מסה  $M$  במרחק  $r$ . עקב משיכה קולומבית יפעל כוח זה אפקטיבית גם על כל אלקטרון. השוו בין כוח משיכה זה לכוח הדחיה מסעיף ג', וקבלו את ההספק המירבי שיכול להיות לגוף בעל מסה  $M$  מבלי שיאבד גז עקב לחץ קרינה. הספק זה נקרא הארת Eddington.

ה. מצאו מספרית את  $L_{Edd}$  עבור מסת שמש אחת. מהו  $\frac{L_{\odot}}{L_{Edd}}$  עבור השמש? נתון

$$\sigma_T = 6.6 \times 10^{-25} \text{ cm}^2$$

4.

א. בשביל החלב, בסביבת רדיוס ההקפה של השמש ומעבר לו, קיימת עקומת סיבוב "שטוחה", כלומר  $v(r) = v_c$  כאשר  $v_c$  קבועה. בהנחה של גלקסיה כדורית, מהי התלות

הרדיאלית של צפיפות המסה,  $\rho(r)$ , אשר תביא לעקומת סיבוב שכזו?

ב. נניח שקיים רדיוס קטעון  $R$ , אשר מעבר לו צפיפות המסה היא אפס. הוכיחו כי מהירות

$$v_e^2 = 2v_c^2 \left(1 + \ln \frac{R}{r}\right) \text{ היא } r \leq R$$

ג. המהירות הגבוהה ביותר שנמדדה לכוכב בסביבת השמש היא  $440 \text{ km/sec}$ . בהנחה שכוכב זה קשור כבידתית לגלקסיה, מצאו את גבול תחתון (ביחידות  $kpc$ ) לרדיוס הקטעון  $R$ , וגבול תחתון (ביחידות  $M_\odot$ ) למסה של הגלקסיה. נתונה מהירות ההקפה של השמש,

$$v_c(r = 8kpc) = 220 \text{ km/sec}.$$

5. ליבת כוכב מסיבי קורסת לכוכב ניוטרונים בעל מסה של  $1.4M_{\odot}$  ורדיוס של  $10km$ , תוך פיצוץ שאר הכוכב בסופרנובה.

א. מהו סדר גודל האנרגיה הכובדית המשתחררת בפיצוץ?

ב. הסופרנובה מתפוצצת בגלקסיה שבה קו הפליטה  $H_{\alpha} (n=3 \rightarrow n=2)$  של מימן מופיע

באורך גל  $\lambda = 6583\text{\AA}$ . מהי מהירות ההתרחקות של הגלקסיה מאיתנו?

ג. קבוע Hubble  $H_0 = 70 \frac{km}{s \cdot Mpc}$ . מה מרחק בגלקסיה מאיתנו? מודדים שטף

אלקטרומגנטי ממוצע של  $f = 10^{-9} \frac{erg}{s \cdot cm^2}$  מהסופרנובה במשך חודש. מהי תפוקת

האנרגיה האלקטרומגנטית?

ד. עקומת הדעיכה האקספוננציאלית של הארת הסופרנובה מלמדת שתפוקת האור

שחושבה בסעיף ג' מונעת על ידי קרני  $\gamma$ , מההתפקרות הרדיואטיבית של ניקל בריאקציה

$^{56}Ni \rightarrow ^{56}Co \rightarrow ^{56}Fe + 6MeV + 2\nu_e$ . בהסתמך על התוצאה מסעיף ג', העריכו את מסת

הברזל (ביחידות  $M_{\odot}$ ) שנוצרה בפיצוץ.