

אסטרופיזיקה והחיים ביקום*

אביב יעיש

1. מעגלים:

(א) היקף מעגל: $2\pi r$

(ב) שטח: πr^2

(ג) שטח פנים של כדור: $4\pi r^2$

2. חוק ניוטון:

(א) $M = \frac{v^2 r}{G}$

(ב) $G \approx 6.67 \cdot 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}$

3. רדיוסים:

(א) רדיוס מאדים $3400 km$

4. כדור"א:

(א) רדיוס כדור"א $6400 km$

(ב) מרחק כדור"א מהשמש $150 \cdot 10^6 km$

(ג) מהירות סיבוב כדור"א סביב השמש: $30 \frac{km}{s}$. ניתן לחשב כך: רדיוס הסיבוב של כדור"א הוא $r = 150 \cdot 10^6 km$, לכן היקף המעגל הוא $2\pi r$. כדור"א מקיף מעגל זה בשנה, לכן נחלק במספר השניות בשנה $365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$ ונקבל את המהירות.

(ד) כדור"א ממוקם 25000 שנות אור ממרכז הגלקסיה.

5. $1 ly \approx 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 300000 = 9.5 \cdot 10^{12} km$

6. המרחק לגלקסיית אנדרומדה: $3 \cdot 10^6 ly$

7. ירחים:

(א) לאירופה יש אוקיינוס קרח ומקור אנרגיה (כוח הכבידה של צדק מעוות את אירופה, דבר שיוצר חום בליבה של אירופה ולכן האוקיינוס נוזלי מתחת לציפוי הקרח).

*מרצה: עמרי ונדל, תשע"ו

(ב) טיטאן, ירחו של שבתאי, מכוסה בעננים ויש עליו נחלי מתאן נוזלי. הירח היחיד במערכת השמש עם אטמוספירה.

$$8. \text{ חוק קפלר השלישי } A^3 = T^2$$

9. חללית מכדורה"א למאדים: המסלול הוא חצי מאליפסה שחציה מסלול כדורה"א וחציה

$$\text{הוא מסלול מאדים: } r_{trip} = \frac{r_{earth} + r_{mars}}{2} \Rightarrow t_{trip} = \frac{\sqrt{r_{trip}^3}}{2}$$

$$10. \text{ הבהירות הנראית יורדת עם ריבוע המרחק: } B = \frac{L}{4\pi d^2} . b \sim \frac{L}{d^2}$$

11. כמות האור המוחזר מכוכב לכת יחסית לגודלו:

$$\frac{L_{planet}}{L_{sun}} = \left(\frac{r_{planet}}{d_{planet-sun}} \right)^2$$

12. גילוי כוכבי לכת:

(א) שיטת הריקוד - תנועת כוכב האם בשל המשיכה שמפעילה עליה הפלנטה. כיוון שהמשיכה הגרביטציונית הינה יחסית למסה ויחסית הפוכה למרחק, התגלו בשיטה זו בעיקר כוכבי לכת ענקיים הקרובים מאוד לשמש שלהם, דבר שהופך אותם לבלתי מתאימים להתפתחות חיים (הן בשל ההרכב והן בשל הטמפרטורה הגבוהה). עקרון הנדנדה:

$$\begin{aligned} M_1 r_1 &= M_2 r_2 \\ M_1 v_1 &= M_2 v_2 \end{aligned}$$

(ב) שיטת הליקוי - הסתרת כוכב האם על ידי הפלנטה גורמת לירידה קלה בהארת הכוכב. בשימוש על ידי טלסקופ קפלר. מאפשר לגלות כוכבי לכת קטנים יחסית שאינם קרובים מאוד לשמש שלהם.

$$\begin{aligned} \text{amount of light obscured during eclipse} &= \left(\frac{r_{planet}}{r_{sun}} \right)^2 \\ \text{transit time} &= \frac{2r_{sun}}{v_{planet}} \end{aligned}$$

(ג) אם נמצא חמצן באטמוספירה של כוכב לכת זה יהיה גילוי מרעיש - חמצן פעיל ומתרכב עם האדמה. חמצן באטמוספירה אומר שמשוהו מייצר אותו באופן אקטיבי.

13. גלי רדיו מלאכותיים משודרים בתחום תדירויות צר (מטעמי יעילות), לעומת גלי רדיו שמשודרים באופן טבעי, שהם בתחום גדול מאוד. טווח התדירויות המתאים ביותר לתקשורת בין כוכבית הוא $1 - 10GHz$.

14. שמש

(א) רדיוס שמש $700000km$

(ב) טמפרטורה: $5,778K = 5,505^{\circ}C$

(ג) קבוע השמש: 1370 ואט למ"ר. עוצמת האנרגיה שמגיעה מהשמש לכדור"א.

(ד) תפוקת אנרגיה: זהו שטח הפנים של הכדור המקיף את השמש ברדיוס מרחק כדור"א מהשמש, כפול קבוע השמש: $4 \cdot 10^{26}watt$

(ה) גודל זוויתי ברקיע: 0.01 רדיאן. בזוויות קטנות הגודל הזוויתי כפול המרחק שווה לקוטר של העצם עצמו:

$$diameter - of - sun = 0.01 \cdot 150000000 = 1500000 = 1.5 \cdot 10^6 km$$

(ו) פני השמש: ממנה מגיע כמעט כל האור, נקראת פוטוספרה, עוביה כמה מאות ק"מ והיא אטומה. הטמפ' הממוצעת בה היא 6000 מעלות עד 2000 ק"מ מעליה יש את הכרומוספרה, שכבה דלילה ושקופה (יש שפריצים של כרומוספרה שמגיעים ל-10000 ק"מ). הטמפ' הממוצעת בה היא קצת קרה יותר מהפוטוספרה. מעליה יש שכבה דלילה מהאוויר שנקראת קורונה, היא הרבה יותר חמה והיא פולטת קרני רנטגן. הטמפ' בה גבוהה מאוד, ויכולה אפילו להגיע מעל $10^6 c$. הנוסחה שאנרגיה ליחידת שטח מתנהגת כמו t^4 נכונה רק עבור גוף אטום ולכן היא לא מסבירה למה הקורונה הדלילה פולטת יותר חום מהפוטוספרה.

(ז) כתמי שמש לא זזים, אלא השמש זזה. הם קרים יותר מהשמש. יש לשמש מחזוריות של 11 שנים בין תקופות עם הרבה כתמים לתקופות דלילות.

(ח) מקור אנרגיה: בעירה גרעינית - 4 פרוטונים הופכים לגרעין הליום:

i. 2 פרוטונים מתחברים לגרעין דאוטריום, ומשתחרר ניוטרון. הדאוטריום תופס עוד פרוטון, ונוצר גרעין הליום³. 2 גרעיני הליום³ נפגשים ויוצרים גרעין הליום⁴ תוך שחרור 2 פרוטונים.

ii. בתהליך זה ק"ג מימן הופך ל-993 גרם הליום. מהנוסחה $E = mc^2$ נקבל שנוצרה אנרגיה: $E = 7 \cdot c^2 = 6 \cdot 10^{14} \frac{J}{kg}$

iii. רק 10% הפנימיים של השמש יכול לבעור. מכאן השמש תבער 10 מיליארד שנה.

(ט) השמש כה דחוסה שפרוטונים צריכים 100000 שנה כדי לצאת מהמרכז החוצה (כולה מרחק של 600000 ק"מ).

(י) תעלומת הנייטרינואים: גלאי נייטרינואים גילה רק 50% מהננייטרינואים שחזינו שהשמש תפלוט. גילו שזה קורה כי יש 3 סוגי נייטרינואים והנייטרינואים עוברים בין הסוגים. הגלאי גילה רק חלק. הנייטרינואים יכולים להסביר 30% מהחומר האפל.

15. קשר בהירות אזור ישיב: $R \sim \sqrt{L}$

16. חוק $Wien$: חומר בטמפ' גבוהה יותר פולט יותר קרינה ובאורך גל קצר יותר $\lambda_{max} = \frac{0.29}{T}$

17. קשר בין אורך גל לתדירות: $\lambda = \frac{c}{f}$

18. דיאגרמת HR :

- (א) בהירות מוחלטת (הארה) לעומת צבע (או טמפ. שפה).
 (ב) יש אלכסונים שווי רדיוס: האלכסון של השמש הוא $1r_{sun}$, כשהאלכסונים מעל הם $10r, 100r, \dots$ והאלכסונים מתחת הם $0.1r, 0.01r, \dots$.
 (ג) $OBAFGKM - oh be a fine girl kiss me$
 (ד) 90% מהכוכבים בסדרה הראשית, 1% ענקים אדומים, 10% ננסים לבנים.
 (ה) קשרי מסה:

i. $L \sim M^{3.5}$ מסה-בהירות מוחלטת של כוכבים בסדרה הראשית:

ii. $t \sim \frac{1}{M^{2.5}}$ מסה-אורך חיים בסדרה הראשית:

iii. $T \sim M^{0.5}$ מסה-טמפרטורה בסדרה הראשית:

(ו) חוק סטפן: $L = 4\pi\sigma R^2 T^4$

19. קרינה ליחידת שטח X שטח פני הכוכב = הארה כוללת $= L = 4\pi R^2 \times F$

20. שיטת הפרלקסה למדידת מרחקים:

- (א) מחשבים את הזווית בין 2 קווי ראייה בין 2 נקודות המדידה ומשתמשים בה כדי למצוא את היתר. למשל, אם מודדים פעם אחת מכדור"א ואז עוד פעם חצי שנה אחרי. בזווית קטנות $\tan\alpha = \alpha$

(ב) $1 \text{ parsec} = 3 \text{ ly}$

(ג) הפרלקסה של כוכב שהמרחק אליו הוא פרסק אחד תהיה שניית קשת אחת.

(ד) $d = \frac{1}{p}$ כש d הוא המרחק ב parsec ו p הוא גודל הפרלקסה בשניות קשת.

(ה) ניתן למדוד באמצעים מודרניים זוויות עד למאית של שניית קשת, לכן ניתן להשתמש בשיטת הפרלקסה רק עבור כוכבים שמרחקם הוא 100 parsec .

21. נתון שלכוכבים A, A' אותה בהירות מוחלטת, אבל הבהירות הנראית של A' קטנה פי: $\frac{b_A}{b_{A'}} = \frac{1}{x}$. נתון שהמרחק מ A הוא d . אז המרחק A' הוא $\frac{d}{\sqrt{x}}$.

22. $\frac{R_{star}}{R_{sun}} = \sqrt{\frac{L_{star}}{L_{sun}}} \left(\frac{T_{star}}{T_{sun}} \right)^{-2}$

23. $\frac{b_{star}}{b_{sun-from-10-parsec}} = \left(\frac{\frac{L_{star}}{L_{sun}}}{\left(\frac{d_{star}}{d_{sun-from-10-parsec}} \right)^2} \right)^2$

24. הסדר הנכון למדידת מרחקים הוא: 1. פרלקסה, 2. הסדרה הראשית, 3. כוכבים משתנים, 4. סופרנובות, 5. חוק הבל

25. גודל כוכבים: בין עשירית ל-100 מסות שמש.

26. סוף חיי כוכבים:

- (א) המסה הגבולית של צ'נדרסקר: המסה המקסימלית עבורה כוכב יהפוך לננס לבן $1.4M_{sun}$

(ב) מעל לכך (ומתחת ל $20M_{sun}$) הכוכב יקרוס לכוכב ניוטרונים

(ג) אם השריד שנשאר אחרי פיצוץ סופרנובה הוא פי 2.5 ממסת השמש הוא יקרוס לחור שחור.

(ד) הדרך היחידה לגלות חור שחור היא אם יש לו בן זוג רגיל.

27. צפאידים - כוכבים שהאור שלהם משתנה ככל שזמן המחזור יותר גדולת ההארה המוחלטת יותר גדולה. בעזרת זמן המחזור נחשב את ההארה המוחלטת ונשתמש בה כדי למצוא את המרחק באמצעות הנר הסטנדרטי.

28. ברזל לא יכול לבעור.

29. סדר בעירה לפי שכבות (מחיצונית לפנימית): מימן < הליום < פחמן < ניאון < חמצן < צורן < ברזל.

30. יסודות החיים: פחמן, חמצן, חנקן ומימן

31. גלקסיות

(א) האבל גילה שבכל הגלקסיות ההסטה היא לאדום, ולכן כולן מתרחקות, כשהתרחקות ביחס ישר למרחק.

$$(ב) \text{ חוק האבל } v = H_0 d, \text{ כש } H_0 = 70 \frac{km/s}{Mpc}$$

i. גיל היקום: חוק האבל הוא: $V = H_0 R$ כאשר V זו מהירות, R זה מרחק, H_0 הוא קבוע האבל. מכאן נקבל: $\frac{1}{H_0} = \frac{R}{V}$. נשים לב ש $\frac{R}{V}$ הוא זמן, לכן נקבל

$$\begin{aligned} Age - Of - Universe &= \frac{1}{H_0} = \frac{1}{70 \frac{km/s}{Mpc}} = \frac{1}{70} \cdot \frac{3.086 \cdot 10^{19} km}{1 km} s = 4.4 \cdot 10^{17} \frac{1}{3.154 \cdot 10^7} years = \\ &= 13977715372.8 years = 1.4 \cdot 10^{10} years \end{aligned}$$

(ג) אפקט דופלר: רלוונטי רק עבור z קטן.

$$\begin{aligned} \Delta \lambda &= \lambda_{obsv} - \lambda_{emit} \\ z &= \frac{\Delta \lambda}{\lambda_{emit}} = \frac{v}{c} \\ \Downarrow \\ v &= zc = \frac{\Delta \lambda}{\lambda_{emit}} c = \left(\frac{\lambda_{obsv}}{\lambda_{emit}} - 1 \right) c \quad Mpc \end{aligned}$$

(ד) הזרועות של גלקסיות לולייניות נוצר מהפרשים בצפיפות החומר - הצפיפות גורמת ל"פקקי תנועה".

(ה) סוגי סיבוב:

- i. קשיח - כל נק' על הדיסק מסתובבת באותה מהירות זוויתית.
- ii. חוק קפלר - ככל שמתרחקים מהמרכז, המהירות הזוויתית נמוכה יותר.
- iii. דיפרנציאלי - מהירות הסיבוב משתנה עם המרחק.

iv. במציאות ככל שמתקרבים למרכז הגלקסיה, המהירות נמוכה יותר, והחל ממרחק מסויים המהירות היא $200 \frac{km}{s}$. מכאן מסיקים שכל החומר בגלקסיה משתתף בכוח המשיכה, וככל שמתרחקים מהמרכז כוח המשיכה גדל כי יש יותר חומר.

32. שביל החלב

(א) 10^{11} כוכבים.

(ב) משלים סיבוב סביב צירו ב-200 מיליון שנה.

(ג) כדור הארץ בערך ממוקם 25,000 שנות אור מהמרכז.

33. הגיאומטריה של היקום

(א) שטוח. סכום הזוויות במשולש הוא 180 מעלות, 2 קווים מקבילים ישארו מקבילים, שטח אינסופי. קורה אם צפיפות החומר שווה לגודל הקריטי.

(ב) סגור. היקום כדורי - סכום הזוויות גדול מ-180, 2 קווים מקבילים נפגשים, שטח סופי. קורה אם צפיפות החומר גדולה מספיק.

(ג) פתוח. הסכום הזוויות קטן מ-180, 2 קווים מקבילים יכולים להתבדר. קורה אם צפיפות החומר קטנה מספיק.

(ד) קרינת הרקע שנוצרה במפץ הגדולה תואמת לתחזיות שנעשו למקרה שהיקום שטוח. הפרשי הטמפרטורה בקרינה הם כתוצאה מתנועת כדור"א דרך הקרינה האחידה.

(ה) העקרון האנטרופי: אם היקום היה יותר צפוף, הוא היה קורס מהר מאוד ולכן חיים לא היו יכולים להתפתח. אם הצפיפות הייתה נמוכה מדי, החומר לא היה מתגבש לגלקסיות והיקום היה נשאר גז, שוב דבר שמונע יצירת חיים.

(ו) נחשב את הצפיפות הקריטית: נתון שרדיוסו של היקום הוא R , כיוון שהוא כדורי נפחו הוא $\frac{4\pi R^3}{3}$. כיוון שצפיפותו היא ρ , משקלו הוא $M := \rho \cdot \frac{4\pi R^3}{3}$. לפי הרמז, נעריך את האנרגיה הקינטית של ההתפשטות של חפץ בעל מסה m שנמצא על קצה היקום: $0.5mv^2 = 0.5mH_0^2 R^2$. האנרגיה הפוטנציאלית הגרוויטציונית שלו היא: $\frac{GmM}{R}$, נשווה:

$$= 0.5mH_0^2 R^2 = \frac{GmM}{R} = \frac{Gm\rho \cdot \frac{4\pi R^3}{3}}{R} \Rightarrow 3H_0^2 = 8G\rho\pi \Rightarrow \rho = \frac{3}{8} \frac{H_0^2}{G\pi} \approx 9 \cdot 10^{-27} kg^1 m^{-3}$$

34. רדיוס שוורצשילד: כוכב בעל מסה M כדי שמהירות הבריחה ממנו תהיה מהירות האור $R = \frac{2GM}{c^2}$

35. פרלקסה, הסדרה הראשית, צפאידים, סופרנובות, חוק הבל. פה צ סח!

36. כוכבי לכת עם טבעות: שבתאי, צדק, אורנוס, נפטון.