

אסטרונומיה כללית - תרגול 4

מתרגל: עידו אופיר

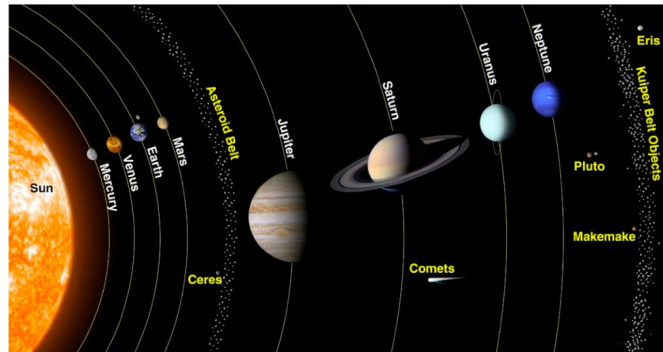
תוכן עניינים

2.....	1. מערכת השמש וגלקסיות.....
2.....	1.1 מערכת השמש.....
2.....	1.2 גלקסיות.....
3.....	1.3 גלקסיית שביל החלב.....
4.....	1.4 התאוריה של MOND.....
5.....	2. תרגילים.....
5.....	2.1 תרגיל 1.....
5.....	2.2 תרגיל 2.....
5.....	2.3 תרגיל 3.....
5.....	2.4 תרגיל 4.....

1. מערכת השמש וגלקסיות

1.1 מערכת השמש

מערכת השמש היא מערכת כוכבי לכת שבה כוכבי הלכת וגופים רבים נוספים מקיפים את השמש.



איור 1: מערכת השמש

הגופים העיקריים שסובבים את השמש הם שמונת כוכבי הלכת. כוכב לכת הוא מי שעומד בשלושה תנאים:

1. נמצא במסלול סביב השמש.
2. בעל מסה גדולה כך שכח הכבידה שלו ייצור צורה הקרובה לצורה כדורית.
3. דומיננטי במסלול - מפנה את מסלולו מעצמים אחרים.

ישנן שתי חגורות אסטרואידים במערכת השמש: הראשונה בין מאדים לצדק והשנייה אחרי נפטון. במרחק גדול יותר מסביב לכל מערכת השמש ישנו ענן אורט ענק של שביטים.

גופים נוספים במערכת השמש הם גופים קטנים אשר אינם מתאימים לגדרה של כוכב לכת, כוכב לכת ננסי או ירח של עצם אחר במערכת השמש. הגופים הקטנים מחולקים לשלוש קבוצות עיקריות:

- א. כוכבי לכת מינוריים הם גופים שאינם: כוכבי לכת, כוכבי לכת ננסיים, שביטים או מטאורואידים.
 - אסטרואידים: נמצאים בעיקר בחגורת האסטרואידים שבין מאדים לצדק. המבנה שלהם סלעי.
 - קנטאורים: גופים קטנים במערכת השמש התיכונה בין צדק לנפטון.
 - גופים טרנס-נפטוניים בחגורת קויפר ובדיסק המפוזר: כל הגופים שמעבר לכוכב הלכת נפטון הנמצאים בחגורת קויפר ובדיסק המפוזר.
- ב. מטאורואידים: גופים הקטנים מאסטרואידים וגדולים מחומר בין כוכבי.
- ג. שביטים: גופים קטנים שלפחות בחלק ממסלולם יש להם מעטפת עשויה מקרח ואבק או "זנב". בעלי מסלול אליפטי, פרבולי או היפרבולי.

1.2 גלקסיות

גלקסיות הן אוסף של סדר גודל $10^7 - 10^{11}$ כוכבים בהן הכוכבים ביקום מרוכזים (כוכבים ומערכות שמש). הגלקסיות הן ענני גז ענקיים שקרסו והתאגדו.

גלקסיה מורכבת מכמה רכיבים:

- א. דיסק שטוח של כוכבים במבנה ספירלי הכולל מספר זרועות. מסת הדסקה היא $M_{disk} \sim 10^{10} M_{\odot}$.
- ב. חור מסיבי מרכזי.
- ג. ליבה (bulge) של כוכבים במרכז. מבנה הליבה היא כדורי או ספירואידאל. הכוכבים בליבה הם כוכבים זקנים אשר נוצרו כאשר היו מעט מתכות בסביבה. גודלו הטיפוסי הוא כ- $1 kpc$ והצפיפות שלו דועכת בקצב:

(1)
$$\rho(r) \sim \frac{1}{r^3}$$

- ד. קרניים קוסמיות: חלקיקים אנרגטיים הכבולים בשדה המגנטי של הדיסק.
- ה. הילה (halo) של גז כוכבים וצבירי כוכבים כדוריים.
- ו. הילה אפלה המורכבת כנראה מחומר אפל והרבה יותר גדולה מכמות החומר הנראה. פרופיל ההילה האפלה הוא:

(2)
$$\rho(r) \sim \frac{1}{r^2}$$

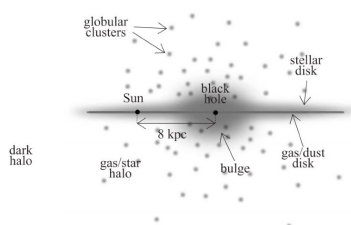
1.3 גלקסיית שביל החלב

גלקסיית שביל החלב היא גלקסיה ספירלית הבנויה ממספר זרועות המתוארות באיור הבא:



איור 2: מבנה גלקסיית שביל החלב

מערכת השמש נמצאת בדסקה כ- 8 kpc ממרכז הגלקסיה ויושבת על זרוע אוריון:



איור 3: מיקום מערכת השמש ביחס למרכז הגלקסיה

הגלקסיה מונה כ- $4 \cdot 10^{11} - 2 \cdot 10^{11}$ כוכבים אשר מקיפים את מרכז הגלקסיה במהירות של כ- $240 \frac{km}{s}$. נחשב את מסת הגלקסיה.

מסת הגלקסיה:

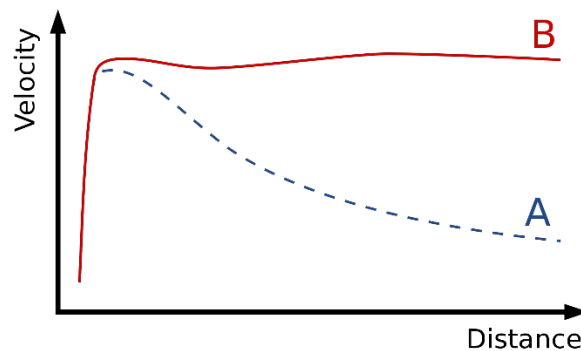
$$(3) \quad M(R_{\odot}) \approx \frac{R_{\odot} v_{\odot}^2}{G} = \frac{(8.3 \cdot 3.1 \cdot 10^{21} \text{ cm}) \cdot \left(24 \cdot 10^7 \frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)^2}{6.7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{erg} \cdot \text{cm}}{\text{g}^2}} \approx 2.2 \cdot 10^{44} \text{ g}$$

$$\approx 1.1 \cdot 10^{11} M_{\odot}$$

זו תוצאה אשר קרובה מאוד לתוצאה המקורית. מסת הגלקסיה היא כ $5.8 \cdot 10^{11} M_{\odot}$.

1.4 התאוריה של MOND

דינמיקה ניוטונית מתוקנת (MOND – Modified Newtonian dynamics) - תאוריה המנסה למצוא פתרון לבעיית המסה החסרה ביקום (the missing mass problem).



איור 4: עקומת הסיבוב של גלקסיות ספירליות - העקומה A חוזה את חוקי ניוטון ו - B היא העקומה הנמדדת בפועל מהירויות הסיבוב הנמדדות של הכוכבים סביב הגלקסיה לא תואמות את המהירויות המצופות מחוקי ניוטון. לכן, בהכרח אחד משני הדברים מתקיים:

- א. קיים בגלקסיה חומר נוסף, שלא ניתן לראותו, בכמות גבוהה אשר מגביר את מהירויות הכוכבים מעבר למה שמצופה מהמסה הנצפית לבד.
- ב. חוקי ניוטון לא תקפים בסדרי גודל של גלקסיות.

מאופציה (א) מקבלים את התאוריה לגבי חומר אפל. מאופציה (ב) מקבלים את התאוריה של MOND. בתאוריה זו מתקנים את החוק השני של ניוטון לחוק "מילגרום" באופן הבא:

$$(4) \quad F = \frac{ma^2}{a_0}$$

כאשר $a_0 \approx 1.2 \cdot 10^{-10} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. שימו לב כי התיקון של MOND לחוק השני באופן זה מתאים רק בגבול בו $a \ll a_0$. בעזרת תיקון זה, מדידת מהירות הסיבוב של גלקסיות נמדדת בצורה מדויקת יותר מתאוריות אחרות. את מהירות הכוכבים ניתן למצוא מחוק הגרביטציה של ניוטון והשוואתו לחוק שני המתוקן של MOND:

$$(5) \quad v^4 = GMa_0$$

מקבלים את מהירות הסיבוב של כוכבים ללא תלות במרחק שלהם ממרכז הגלקסיה.

2. תרגילים

2.1 תרגיל 1

הניחו שבאזור שלנו בגלקסיה צפיפות המספר של הכוכבים $n(L)$ בנוהר מסוים L אינה תלויה במיקום. הראו שמספר הכוכבים האלו, עבור כוכבים בעלי שטף גדול מ- f_0 הולך לפי $f_0^{-\frac{3}{2}}$. אם נראה שהמספר לא גדל עם הקטנת f_0 (לפי הקשר הנתון), מה עשויה להיות הסיבה לכך?

2.2 תרגיל 2

בתרגיל זה נרצה למצוא את הביטוי עבור "*Gravitational focusing*" (מיקוד כבידתי - מתייחס להגדלה של שטח החתך האפקטיבי להתנגשות בין שני חלקיקים עקב המשיכה הגרביטציונית ביניהם). הניחו מסה נקודתית המתקדמת לעבר אובייקט במסה M ורדיוס r_0 . עבור מרחק מספיק גדול, המהירות היחסית בין המסה הנקודתית לאובייקט היא $v_{relative}$ ופרמטר הפגיעה b . עקב משיכה כבידתית בין השניים, המסה מוסטת אל האובייקט ושורטת את פני השטח שלו במהירות v_{max} . הראו ששטח החתך האפקטיבי לפגיעה שווה לחתך הגיאומטרי המוכר מוכפל בפקטור של $(1 + \frac{v_{esc}^2}{v_{rel}^2})$.

2.3 תרגיל 3

לשביל החלב באזור מערכת השמש יש מהירות סיבוב קבועה v_c (כלומר $M \sim r$). הניחו יש קיים רדיוס R שמעליו צפיפות המסה מתאפסת.

- א. הראו כי מהירות הבריחה מהגלקסיה עבור רדיוס $r < R$ מקיימת $v_{esc}^2 = 2v_c \left(1 + \ln\left(\frac{R}{r}\right)\right)$.
- ב. נמדדה מהירות מקסימלית במערכת השמש ($r \approx 8 \text{ kpc}$) של $440 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. בהנחה שהכוכב עדיין קשור לגלקסיה, מצאו גבול תחתון ב- kpc עבור R וגבול תחתון ב- M_\odot עבור מסת הגלקסיה. בנוסף נתון כי $v_c = 240 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

2.4 תרגיל 4

בהרצאה חישבתם את ההסתברות שכוכב יעבור עידוש ע"י *MACHO'S* במידה והם מרכיבים את ההילה האפלה. בתרגיל זה נחזור על החישוב, אך כעת נניח כי כוכבים הם אלו היוצרים את העידוש. העריכו את ההסתברות שכוכב במרכז הגלקסיה יעבור עידוש על ידי כוכב אחר בדיסק הגלקטי, קרוב לקו הראייה שלנו למרכז הגלקסיה. הניחו כי המרחק שלנו ממרכז הגלקסיה הוא 8 kpc , מסה טיפוסית עבור כוכב היא $0.5 M_\odot$ והמסה הכוללת בתוך הרדיוס עליו אנו מסתכלים היא $5 \cdot 10^{10} M_\odot$. נתון שעובי הדיסק עליו אנו מסתכלים הוא $h = 1 \text{ kpc}$.