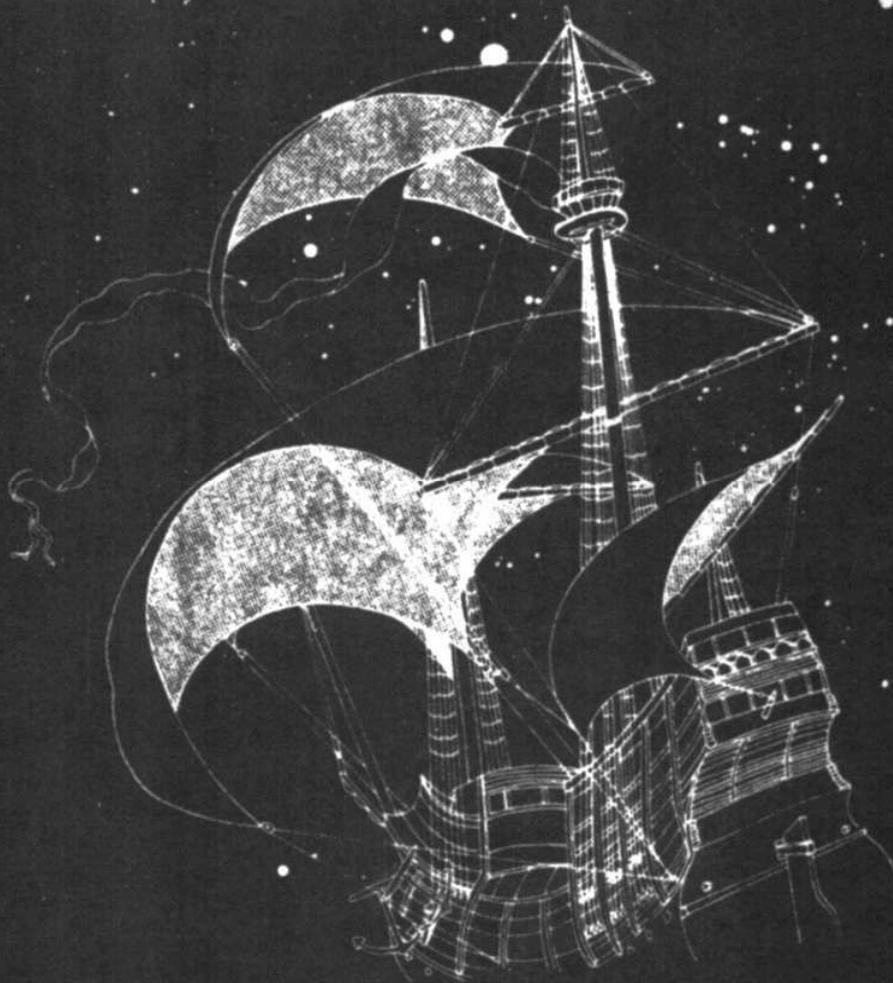


# סל סופר' אינ'י



\*18\*

1 / 1977

אסטרונומיה  
אסטרופיסיקה  
סהר, סהרל

יולי 1977  
תמוז תשל"ז

July, 1977

כרך IV  
שנת הוצאה רביעית

Kol Kohvey Or (The Starlight)  
Vol. IV, No. 1

ה ת ו כ ן

<u>עמ'</u>	
1	מכתב אל חברי האגודה
3	תכנית הכנס השנתי באשקלון
5	חדשות מעולם האסטרונומיה (דוד גבאי)
6	מבוא לאסטרונומיה - פרק I (נתן אריה)
8	מבוא לאסטרופיסיקה - פרק I (נח ברוש)
10	טיסות בין כוכבים (יצחק שלוסמן)
16	פינת החובב (נפתלי תשבי)
19	קבוצת החודש (אהרון אופיר)
21	יומן השמיים (חודש יולי)

**המערכת:**

יצחק שלוסמן (עורך ראשי)  
נתן אריה, אהרון אופיר, נח ברוש, דוד גבאי, נפתלי תשבי.  
כתובת המערכת: מצפה כוכבים, גבעתיים, גן עליה השנייה.

מען למכתבים: מצפה הכוכבים, גבעתיים, ת.ד. 405  
טל. 730117

כל הזכויות שמורות

Copyright by "Starlight"

תמונת השער: ספינת החלל (ראה עמ' 10).  
תמונת השער האחורי: צביר כדורי M13 בקבוצת הרקולס.

## מכתב אל חברי האגודה

זמן רב, רב מדי, חלף עד אשר נשלח מכתב זה. אנסה לתאר בו, בקצרה, את הארועים שפקדו את אגודתנו בשנים האחרונות, על צלליהם הארוכים, אך גם על אורותיהם.

האגודה, כידוע, נקלעה למשבר חמור, עד כדי שתוק פעולותיה, מזה שנים רבות. מחלתו של היו"ר המסור, מיסד האגודה והרוח החיה בה, דר' דוד זיצ'ק היתה הסיבה העיקרית למשבר זה. הפסקת פעולות הבטאון "הכולבים בחודשם", אי עריכת כנסים, חוסר תקשורת בין החברים שתקו את האגודה כליל. למרות שיתוק האגודה המשיכו חובכים כוודדים לערוך תצפיות והיתה פעילות בחלק מסניפיה. הפעילות העיקרית בשטח האסטרונומיה בארץ בוצעה בשנים אלה בין כתלי מצפה הכוכבים בגבעתיים, אשר גם ממנו פרש מיסדו ואביו המסור, אינג' יוסף פוקס, אך כוחות צעירים ורעננים מלאו את השורות. המצפה, אשר ינק את תקציבו מתמיכת מחלקת הנוער בעיריית גבעתיים, המשיך להתקיים ולפעול במרץ כיחידה עצמאית. המצפה קיים יום תצפית שבועי, ערך הרצאות לקהל מדי פעם, אך כראש וראשונה קיים חוגים, בעיקר לנוער. אלפי אנשים, נוער בעיקר, פקדו את דלתו. המצפה החל אף להוציא בטאון בשם "כל כוכבי אור" שנשלח אל חברי האגודה הותיקים ואל קוראים חדשים, שהצטרפו למעגל (אם כי לא לאגודה - שלא היתה פעילה). בטאון זה, אשר החל את דרכו כעלון נתונים מודפס ע"י מחשב (עבודת יחיד של עמנואל גרינגרד), הפך אח"כ לעתון יפה, רב חומר (חברי הצוות של גבעתיים) ועריכה גרפית נאה (גורית ענור).

ב-1974 החליט צוות המצפה כי יש לעשות להחייאת האגודה. לחצים דומים הגיעו מחובכים במקומות ישוב שונים. נערכו מספר ישיבות (בח"א) בראשותו של דר' זיצ'ק ובהשתתפותו של מר וייס המסור (גזבר האגודה) מירושלים, חברי צוות גבעתיים (חיים לוי, גבי וייסמן, דוד גבאי, אנריקו ברנשטיין ונתן אריה) עירא כהן (אשקלון) יוסי צור (שובל), מנחם אלון (יבנה) ועוד, אך כמשך קרוב לשנתיים לא הושגה התקדמות משמעותית.

לבסוף החליט צוות גבעתיים לערוך את הכנס בכוחות עצמו. (תמיכתם של יתר החברים נתנה לנו). עיריית גבעתיים העמידה לרשותנו את אולם בית הראשונים, כבוד קל וסיוע רב ממדים כממון ארוחת הצהריים המשותפת אשר הוגשה באולם סמוך. כמו כן קבלנו שרותי מזכירות וכל עזרה שנדרשה. הכנס התקיים ב-1.12.75, כמשך יום אחד בלבד, ללא לינה, ונסתיים במסיבת חברים במצפה הכוכבים. רמתו האיכותית של הכנס היתה גבוהה (במרכזו עמדו הרצאותיהם של דר' אירנה קופו ודוד גבאי) אך לצערנו, כנראה בשל אחר במשלוח ההזמנות, לא היה הכנס רב משתתפים.

לפי המסורת המקובלת בכנסי האגודה כלל החלק הארגוני דיווחי סניפים, דיווחי תקציב, ויכוח כללי ודיון בהצעות שונות ובחירת מוסדרות האגודה. קשה קצת לכתוב על ההחלטות שנתקבלו כי מקץ שנה ומחצה עלי לציין שהמטרות לא הושגו. העתון "כל כוכבי אור" אשר הפסיק את הופעתו חדשים מספר לפני הכנס, מחוסר תקציב, לא הצליח לחדש את הופעתו - תקציבים הובטחו ע"י גורמים מספר אך הם לא הצליחו לעמוד בהבטחתם. צוות גבעתיים והגיע למצב "מינימה" בעקומת הזוהר שלו וחלק גדול מהאנשים צמצם עד מאוד את פעולתו (זמנית, כך אני מקוה), ואנוכי, שנבחרתי ליו"ר, נקלעתי לכעיות בלתי צפויות ולא הצדקתי כלל את בחירתי הנ"ל. ועד האגודה החדש התכנס פעם אחת בלבד, ב-31.3.76 - פגישה מוצלחת אשר לא היתה לה המשכיות. החברים הותיקים והמסורים במקומות ישוב אחרים תמכו לא במעט -

אך חולשת המרכז וחוסר תקציבים מנעו את החיאת האגודה. עם זאת - לא פסקה הפעילות אף לרגע. המצפה - פעל ותפקד כרגיל. נעשו נסיונות בלתי פוסקים להחיות "כל כוכבי אור", מאמצים אשר הוכתרו סוף סוף בהצלחה. תודות למאמצייהם של חיים לוי וגבי וייסמן נקשרו קשרים רבי ברכה עם הצוות המקצועי לאסטרונומיקה באוניברסיטת ת"א, אשר תרם לנו לא מעט מן הידע שלו. נקשרו קשרים עם "נוער שוחר מדע" ליד אוניברסיטת ת"א וגולת הכותרת של שתוף פעולה זה היתה קיום מחנה קיץ בינלאומי לחובבי אסטרונומיה בשדה בוקר, אשר זכה לתשבחות רבות מאורחי חו"ל והכניס כח ישראלי חדש לפעולה.

בתקופה זו נתמנה גם נח ברוש, חבר האגודה, למנהל הפלנטריום על לסקי בת"א, לאחר פטירתו של מר הקה ז"ל. עם התמנותו נוצר שתוף פעולה הדוק בין המצפה בגבעתיים והפלנטריום בת"א, כששני הגופים מפרסמים זה את זה וחברי חוגים (כולל האוניברסיטה העממית בת"א) עורכים בקורים בשני המוסדות, המשלימים זה את זה.

בשלהי 1976 פרש גבי וייסמן מתפקידו כמנהל מצפה גבעתיים והתמסר ללימודים. גבי, אשר תרומתו למצפה הכוכבים, לאגודה ולעתון, היתה מכרעת, דאג לממלא מקום והנ"ל נמצא בדמותו של יצחק שלוסמן, אסטרונומיקה מאוניברסיטת ת"א, אשר רוב חברינו טרם מכירים אותו. יצחק הגביר עוד יותר את שתוף הפעולה עם אוניברסיטת ת"א, והכניס מימד יותר מקצועני ומדעי למצפה. מאמציו, אשר נשענו על מאמצי קודמיו, להוציא לאור את בטאון האגודה, הוכתרו בסופו של דבר בהצלחה. במקביל, יש לציון את הישגיו של עירא כהן מאשקלון, אשר הצטרף לצוות של החברה להגנת הטבע. הוא פעל רבות לשתוף פעולה בין החברה לבין האגודה שלנו, שתוף פעולה שהוא טבעי ביותר והתבקש במשך שנים רבות. כמסגרת שתוף פעולה זה מתבצעים עתה שני דברים עיקריים:

א. הדרכה במבוא לאסטרונומיה תנתן לכ-30 מדריכים בכירים של החברה אשר יתכנסו ליומיים מרוכזים ב-8-7 לאוגוסט. בין היתר יושם דגש על עבודת תצפית, בעיקר במשקפת שדה (שהיא "כלי הנשק" העיקרי של חברי החברה להגנת הטבע). כמו כן יוכשרו המדריכים במיוחד לתצפית במטאורים ויתכוננו לתצפית בפרסאידיים 1977. עם תום ההדרכה יעבירו מדריכים אלה, כל אחד במקומו, הדרכה לצוות גדול של מדריכים וכבר 3 ימים אח"כ תערך תצפית סגמולטנית בפרסאידיים בנקודות ישוב רבות. כצורה זו יוכנסו כל מדריכי החברה ולאחר מכן רבים מאלפי חבריה להכרה ועניין באסטרונומיה.

ב. החברה להגנת הטבע עומדת להוציא, בעריכת עירא כהן ובהשתתפות חברים נוספים מן האגודה, מדריך לחובבי המתחיל באסטרונומיה, חוברת זו אשר חסרונה בעברית מורגש מזה דור, ואשר נסיונות קודמים להוצאתה לא נשאו פרי, תצא בסוף יולי-כך שתחגלק למדריכי החברה בימיהעיון שלהם ולחברי האגודה בכנס הארצי (ראה להלן). המדריך יהיה, כשמו כן הוא מדריך לעבודה מעשית בתצפית (בעיקר במשקפת שדה) ובהכרת השמיים. כן יכלול המדריך פרקי מבוא באסטרונומיה ואסטרונומיקה ברמה שמן הראוי שכל מתחיל ידע אותה, המדריך יומצא לאחר מכן למכירה בחברה להגנת הטבע, בפלנטריום, במצפה ועוד.

לכסוף, בתאום עם עירית אשקלון ובסיועה הוחלט על קיום "שבוע האסטרונומיה" באשקלון 7-12 באוגוסט. במסגרת שבוע זה יערכו: ימי עיון מרוכזים למדריכי החברה להגנת הטבע, הכנס הארצי של אגודתנו ותצפית בפרסאידיים אשר תעודר גם את תושבי העיר ונופשיה להצטרף. פרטים אודות הכנס מובאים לחוד.

תקותי, היא, שהופעתו המחודשת של "כל כוכבי אור", הופעת המדריך לחובבי המתחיל, שתוף הפעולה ההדוק עם הפלנטריום, החברה להגנת הטבע, אוניברסיטת ת"א ועוד ועל כולם הכנס הארצי - באשקלון - לא זו בלבד שיחיו את האגודה מחדש אלא גם יביאו להישגים חדשים, לחדוש התנופה ולהגדלת מספר החברים, הסניפים, המכשירים וכו'.

## תכנית הכנס השנתי באשקלון

ביוזמתו של החבר עירא כהן מאשקלון ובתמיכתה ובעידודה של עיריית אשקלון הוחלט לערוך השנה את כנס האגודה באשקלון, לשלבו בפעילות נופש, כארועי שבוע האסטרונומיה ובתצפית רבת משתתפים בפרסאידיים.

הכנס ייערך בימים 12 - 11 באוגוסט (ד - ה בשבוע) "בבית עלי" בשכונת אפרידר באשקלון. אנו מארגנים מדורי לינה בתשלום בבונגלוס במסגרת החניון של הפרק הלאומי באשקלון. כמו כן קיימת אפשרות לינה ללא תשלום בין כתלי בית הספר. אך המעוניינים בכך יצטרכו לדאוג לסדורי לינה. מספר חברים שיבקשו זאת במפורש יוכלו להתארח בבתי פרטיים.

במסגרת הכנס הוקצבו 7-8 שעות להרצאות מקצועיות, כולל הקרנת סרט ו- 3-4 שעות לסדורים ארגוניים, דוחי חברים וסניפים, דיונים שונים וכו'.

תכנית ההרצאות טרם נקבעה ואנו עוסקים בה כעת. חברים המעוניינים להשתתף בהרצאות, דווחים וכו' יציינו זאת בטופס המצורף.

הושם דגש על עבודת תצפית. בערב הראשון תחקים תצפית כללית בעזרת טלסקופים ניידים ומשקפות שדה וכן תערך השתלמות בהכרת השמיים. בערב השני תערך תצפית רבת משתתפים בפרסאידיים אשר תכלול, בקבוצה נפרדת, את כל המעוניינים להשתתף מבין נופשי הפארק ותושבי העיר.

תצפית זו תתקיים באורח סימולטני גם במקומות ישוב אחרים, בעיקר בשתדף פעולה ויוזמה של החברה להגנת הטבע. כמו כן הושם דגש על פעילות חברתית ונופש, אשר מרכזת יהיה במסיבת האגודה בערב הראשון, בחוף חניון הפארק, מסיבה אשר תכלול גם ארוחת ערב משותפת ומאורגנת. נקבעו שני מועדי רישום: בשעה 9 00 בבוקר יום ד' למשתתפים אשר ירצו להשתתף ברחצה משותפת בחוף ימה של אשקלון וב- 14 00 באותו יום לפתיחת הכנס.

לוח זמנים לכנס (ללא פרוט ההרצאות)

11 / 8

10:00 - 9:00 מפגש ורישום המשתתפים (קבוצה א') וכבוד קל.

12:30 - 10:00 רחצה בים ובילוי חברתי משותף

14:00 - 12:30 התארגנות ללינה, ארוחת צהריים (בלתי מאורגנת)

14:30 - 14:00 מפגש לפתיחת הכנס, רשום קבוצה ב'

15:00 - 14:30 פתיחה וברכות

18:00 - 15:00 תכנית רשמית

19:00 - 18:00 התארגנות ללינה (קבוצה ב')

21:00 - 19:00 מסיבה חברתית בחניון הפארק, כולל ארוחת ערב מאורגנת

23:00 - 21:00 תצפית בתחומי הפארק

9.00 - 12.30	תכנית רשמית
12.30 - 14.00	הפסקה כולל ארוחת צהריים משותפת
14.00 - 18.00	תכנית רשמית, נעילת הכנס.
18.00 - 23.00	חופשי לבילוי והתארגנות קבוצתית
23.00 - 1.00	תצפית סימולטנית בפרסאידים

הצלחת הכנס חלויה בעיקר בכך, במשתתפים, ככל שהכנס יהיה רב משתתפים יותר כן יצליח יותר. להזכירכם, הכנס כגובעתיים מ - 1.12.75 הצליח ביותר מבחינה איכותית אך היה דל במספר משתתפיו. לפיכך דאגו לשתף את עצמכם ואת מכירכם חובבי האסטרונומיה. (אפשר לשלב משפחות בתכנית הנופש) בשל כל הבעיות הכרוכות בארגון ובעיקר הבטחת מקומות לינה - עשו זאת כבר עכשיו!

מלאו במפורט את השאלון המצורף ושלחו לנו אותו.

להתראות בכנס

המארגנים

עירא כהן      נתן אריה

# חדשות מעולם האסטרונומיה - ליקט ד. גבאי

## מטאוריט גדול נתגלה באנטארטיקה:

משלחת אמריקאית-יפנית גילתה לאחרונה את אחת המטאוריטים הגדולים ביותר הידועים לנו. המטאוריט לא נמצא בגוש אחד אלא ב-33 שברים שהיו מפוזרים על פני שטח של כ-8 דונמים. משקלם הכולל 407 ק"ג והחלק הגדול שקל 113 ק"ג.

## מצפה אנרגיה שוגר לחלל:

בתאריך 15 באפריל שוגר לחלל הראשון מסדרה של שלושה לויינים שהיו מצפה אנרגיה חלליים) (High Energy Astronomical Observatory). הלויין הנ"ל יקיף את כדור הארץ במסלול מעוף בגובה של 450 ק"מ ויתור אחר מקורות X ומקורות גמא חלליים. בשלושה החודשים הראשונים תהיה משימתו לסקור מקורות אנרגיה אלה. לאחר מכן תהיה אפשרות ע"י פקודה מהאדמה לנעול אותו על מקורות מסויימים שנתגלו קודם לכן לצורך מדידות ומחקר. יצויין שהיום ידועים כ-200 מקורות X בחלל.

ובהקשר זה - לחלוץ חוקרי מקורות הX וקרינה קוסמית ברונו רוסי (Rossi) מהמכון הטכנולוגי במסצ'וסט (MIT) הוענקה מדליית רמפורד של האקדמיה האמריקאית לאומנויות ומדע. רוסי היה הראשון שגילה מקור X בנוסף לשמש וכן קרינת גמא מהחלל.

## האם התפשטות היקום תיפסק:

רוכ הקוסמולוגים מסכימים שהיקום מתפשט ושהנלכסיות המרוחקות ביותר מאיתנו מתפשטות במהירויות הקרובות למהירות האור. השאלה המטרידה רבים האם התפשטות זו היא נצחית או שמא יש בכוחה של כמות החומר המצוייה ביקום לעצור התפשטות זו. חישובים תיאורטיים מראים שדרושה צפיפות מסה של כ- $10^{-30} \times 6$  ק"ג לכל סמ"ק (קבוע Hubble) כדי לעצור את התפשטות היקום, אבל עד כה נכשלו המאמצים למצוא את הערך הקריטי הנ"ל. לדוגמא, החישובים שהתבססו על דינמיקה של מסות קיבלו צפיפות מסה של  $10^{-31} \times 5$  כלומר, סדר גודל אחד קטן יותר.

בשנת 1973 הציע רוברט וגוניר (Wagoner) מאוניברסיטת קורנל לחשב את צפיפות המסה הממוצעת ע"י התפלגות הדיטריום (מימן 2) בחלל. לפי תאוריית הנפץ הבראשית נוצרו הדיטריום ויסודות קלים אחרים (הליום, ליטיום, בריליום) דקות ספורות אחר שהיקום החל להתפשט שעה שהטמפרטורה היתה כמיליארד מעלות קלווין. וגוניר הוכיח (על סמך נקודות המוצא שלו כמובן) שהדיטריום יכול לשמש כאינדיקטור טוב לקבלת צפיפות המסה הממוצעת של היקום. הבדיקות על התפלגותו של הדיטריום בחלל הובילו גם כן למסקנה שחסרה המסה לעצירת התפשטות היקום.

# מבוא לאסטרונומיה

מאת נתן אריה

פרק I

## א. כדור הארץ

מכל העצמים שביקום - כדור הארץ הוא כמובן המוכר ביותר והחשוב ביותר לאדם. לגבי היקום - הריהו עצם בלתי נחשב לחלוטין. לגבי האדם - הריהו "כל העולם".

כדור הארץ הוא עצם מוצק (פרט לחלק הפנימי) שצורתו קרובה מאד לכדור. קטרו הממוצע 12.742 ק"מ והיקפו 40,000 ק"מ (זהו מרחק לא גדול - לו היתה דרך סלולה לכל היקפו, חופשיה מהגדלות סכסוכי מדינות, יכלו חוכבי צעדות לעבור את המרחק ב-3 שנות צעידה). מסת כדור הארץ  $5,975 \times 10^{21}$  טון, ופועל יוצר משני נחונים אלה הוא כי משקלו הסגולי 5,517. בשל סבובו סביב צירו גרמו הכוחות הצנטריפוגליים המתפתחים מסבוב זה לפחיסות מסוימת בקטבים, כאשר הקוטר המשוני גדול מהקוטר העובר דרך הקטבים. ברם, שיעור זה קטן ביותר -  $1/297$  כך שלגבי מרבית הצרכים המעשיים יש לראות את כדור הארץ ככדור ממש.

## ב. תנועות כדור הארץ

קדמונים האמינו כי כדור הארץ "קבוע" במקומו (זאת, לאחר שאמינו בכדוריות הארץ, שכן קדמו לכך אמונות בארץ שטוחה), וכי הוא מהווה את מרכז היקום, והשמים על כל גרמיהם סוככים סביבו אחת ליממה. כבר למן ימי קופרניקוס ידוע לנו שהדבר אינו נכון. למעשה תנועת השמים סביב כדור הארץ (ממזרח למערב) אחת ליממה היא תנועה מדומה ואלו כדור הארץ הוא זה שמסתובב סביב צירו (בכיוון הפוך כמובן). הכוכבים, שהם רחוקים ביותר, נראו גם בימי קופרניקוס כקבועים במקומם בשמש ("כוכבי שבת") - אך לגבי השמש כוכבי הלכת, אשר נחשבו כמקיפים גם הם את כדור הארץ (אחת ליממה בערך) קבע קופרניקוס כי השמש היא מרכז המערכת (מרכז העולם, לפי השקפות אותם ימים) וכי כל כוכבי הלכת, כולל כדור הארץ שאינו אלא אחד מהם, מקיפים את השמש. משך הקפת כדור הארץ סביב השמש - שנה אחת. לפנינו, אם כן, שתי תנועות של כדור הארץ: סבובו סביב צירו והקפתו את השמש. אמרנו כי הסבוב נמשך יממה וכי ההקפה נמשכת שנה - הבה נבהיר מושגים אלו.

## ג. הגדרת הזמן

יחידת הזמן בפניסיקה (וכמובן בכל המדעים) היא "שניה" וכמובן כל היחידות הנגזרות ממנה. בדרך כלל, כשנשאלות הכריות למהותה של שניה התשובה היא כי שניה היא חלק אחד מ-  $86,400 = 24 \times 60 \times 60$  ביממה, ולשאלה על מהות היממה - התשובה היא 24 שעות. לגבי מרבית הנשאלים היממה קשורה בזריחת השקיעת החמה, אך המושגים אינם ברורים שכן שעת זריחה והשקיעה שונה מיום ליומו. כן נוטים לענות כי משך זמן סבוב כדור הארץ סביב צירו הוא 24 שעות ולא כן הדבר.

היממה הרגילה, כפי שאנו מכירים אותה, קרוייה "יממה שמשית ממוצעת". יממה זו אכן מתחלקת ל-24 שעות וכל שעה ל-60 דקות וכל דקה ל-60 שניות. הגדרת "יממה שמשית" - פרק זמן העובר מצהריים לצהריים. מהי ההגדרה האסטרונומית ל"צהריים"? נמתח בשמיים קו (מדומה-כמובן) מן האופק הצפוני (צפון מדויק) דרך הזניט (הנקודה האנכית מעל ראשנו) אל האופק הדרומי.

קו זה יהיה אחד מקווי האורך השמימיים והוא מקביל בדיוק לקו אורך ארצי, קו האורך העובר בדיוק במקום בו אנו נמצאים. למעשה, אם נקרין דרך גלובוס שקוף ובעזרת מנורה קבועה במרכזו את הקואורדינטות (קו אורך ורוחב) של כדור הארץ כיפה נקבל את רשת הקואורדינטות השמימיות.

נחזור אם כן לקו אחד מסוים, קו האורך העובר דרך הזניט, הנקודה האנכית (יש לזכור כי כל קווי האורך עוברים מצפון לדרום, אך רק אחד מהם עובר דרך הזניט). קו זה קרוי באסטרונומיה מרידיאן - בעברית מיצהר. השמש, בתנועתה, חותכת קו זה מדי יום ביומו, אם כי מקום החיתוך משתנה: בחורף מקום החיתוך נמוך מעל לאופק ואלו בקיץ הוא גבוה וקרוב לזניט. הזמן המדויק של מעבר השמש (מרכז הדיסק הנראה של השמש) בקו המיצהר הוא הצהריים. אם נמדוד את פרק הזמן מצהריים לצהריים נקבל את אורך היממה השמשית. מדידות מדי יום ביומו יראו לנו כי היממה השמשית הוא גודל משתנה, אם כי לא בהרבה.

(סיבת הדבר תתברר לנו בפרק מאוחר ביותר)

מידי שנה בשנה חוזר המחזור על עצמו, לפיכך, בהיות היממה השמשית גודל משתנה נמצא את ממוצע כל היממות ונקרא לו "יממה שמשית ממוצעת". בהגדירנו מושג זה יש בידינו, אם כן, הגדרה חד משמעית של מושג הזמן, על כל נגזרותיו.

במבנה הירחון "כל כוכבי אור" הקדישה המערכת מדור קבוע לסדרת מאמרים שיהוו מכוא לאסטרונומיקה.

הכוונה היא להביא בסדרת מאמרים זו בסיס תיאורטי לחובבי אסטרונומיה, כך שמצד התצפיות יביאו תועלת לחובבים עצמם בהדגים תופעות פיסיקליות שיוסברו בסדרה, ומצד שני במאמרים תוצגנה בעיות במדע שאינן פתורות עדיין ובהן עזרתם של תצפיות חובבים יכולה להיות נכרת.

סדרת המאמרים מתוכננת להמשך כ- 3 שנים בקצב של מאמר חודשי בן 4 עמודים בערך, כך שיתקבל נפח של כ- 150 עמודים שיהווה מעין ספר יסוד באסטרונומיקה לחובבים.

הסדרה תהיה בנויה משלושה חלקים. הפרקים הראשונים, יביאו את עקרונות התורה של מבנה הכוכבים, זאת אומרת התצפיות האסטרונומיות הקשורות לנושא, חוקי הפיסיקה הבסיסיים והתהליכים העיקריים המתרחשים בכוכבים. החלק השני יביא תאור מפורט יותר של בנית מודלים (דגמים) תיאורטיים של כוכבים, לפי חוקי הפיסיקה שהוצגו בחלק הראשון. נתרכז בעיקר במודלים של כוכב על הסדרה הראשית ובמודלים של שלבי התפתחות מאוחרים. בחלק זה נזכיר גם את תהליך הווצרות הכוכבים. בחלק השלישי נציג מערכות של כוכבים, נדבר על גלכסיות וצבירי גלכסיות ועל יצירת היקום.

אין הכוונה לבנות ספר מקצועי, כך שלא נביא כאן את השיטות המתמטיות המסובכות, הדורשות ידע רב, אבל לרוצה להתעמק בנושא זה או אחר נביא רשימת ספרים הנוגעת לענין (לרוב בשפה האנגלית).

לעומת זאת נשתדל להביא בסדרה זו את הגישה המעודכנת ביותר לכל נושא הדיון- כי הרי אסטרונומיקה זהו שטח המתפתח במהירות גדולה וצריך לעקוב חמיד אחרי התגליות האחרונות.

ברשימה זו נגדיר מספר מושגים שישמשו אותנו בהמשך הסדרה.

ברקיע נראים כוכבים בהירים יותר ובהירים פחות. הסיבה להבדלי הבהירות הניכרים יכולה להיות הבדל בהירות אמיתי בין הכוכבים השונים או תוצאה של הבדלי מרחקים ביניהם. ולכן אפשר לומר שלכוכב יש שתי "בהירויות", הבהירות העצמית שלו והבהירות הניראית קטנה מזו האמיתית, והיא תוצאה של התרחקות הכוכב מאיתנו.

בהירות של כוכבים מודדים ע"י "גודל" (Magnitude). הסיבה לכך היא שהעין שלנו אינה מגיבה באופן ישיר לכמות הקרינה הנופלת עליה, אלא באופן לוגריטמי, כך שאפשר להבחין בכמויות זעירות מאוד של אור וגם בכמויות גדולות מאוד, זאת אומרת להבחין במקור בהיר. בין שני גדלים מבדיל גורם של פי 2,512. בנוסף, כדי לסבך את הענינים עוד למקור בהיר יותר יש גודל קטן יותר, כך שלמשל, כוכב בגודל 1 בהיר פי 2,512 יותר מכוכב בגודל 2. קל מאוד לזכור שהבדל של 5 גדלים מתאים בדיוק לגורם של פי 100 בבהירות - כוכב בגודל 1 בהיר פי 100 יותר מכוכב בגודל 6. הסיבה ההיסטורית היא חלוקה שרירותית, מזמן היוונים, שהעניקה לכוכבים הבהירים ביותר שנראו בעין את הגודל 1 ולכוכבים החלשים ביותר שנראו, גודל 6. נקודת האפס של השיטה נבחרה כך שלכוכב הצפון יהיה גודל 2.0.

ישנם כוכבים בהירים יותר מגודל 1. להם יש גדלים 0, ואפילו שלילי. לכוכב סיריוס ("אברק") למשל, יש גודל 1.4- . כוכבי הלכת מגיעים לעיחים לגדלים שליליים עוד יותר.

הגודל שנראה בעין, מכדור הארץ, הוא "הגודל הנראה" והוא מסומן ב-  $m_v$  . לעומתו, הגודל שמודד את הבהירות העצמית האמיתית של הכוכב הוא הגודל המוחלט. זהו גודל מחושב מידיעת הגודל הנראה, או גודל מוסק על סמך ידיעות מסוימות על סוג הכוכב. כדי לשחררו מהתלות במרחק. הגודל המוחלט מוגדר כגודל הנראה של הכוכב כשהוא במרחק 10 פארסק מאתנו.

נגדיר כעת יחידת המרחק השימושית ביותר באסטרונומיה ובאסטרופיסיקה. על כדור הארץ אנו מודדים מרחקים בקלומטרים. כיון שהכוכבים כה רחוקים מאתנו, לו היינו רוצים לכתוב את המרחק אליהם בק"מ היינו זקוקים למספר גדול מאוד של אפסים. כדי להקל על רישום המרחק הומצאה היחידה הקרויה "שנת אור". זהו המרחק אותו עוברת קרן אור בשנה אחת במהירות של כ- 300,000 ק"מ לשניה. שנת אור אחת שווה לכ- 10,000,000,000,000 ק"מ, או  $10^{13}$  ק"מ (אנו נשתמש בסמון חזקות לרוב - כי המספרים אותם נציג גדולים מאוד).

מידה יותר "אסטרונומית" היא הפארסק. זהו מרחק ממנו נראה רדיוס מסלולו של כדור הארץ סביב השמש בזווית קרקדית של משולש שגודלה שנית קשת אחת. פארסק אחד (1 pc) הוא בערך 3,26 שנות אור. במרחק 10 pc ייראה רדיוס מסלולו של כדור הארץ סביב השמש בזווית קרקדית של 0.1 שניות קשת בלבד.

במרחק כזה, שהוא כאמור 32.6 שנות אור, מציבים באופן דימיוני כוכב, במקרה זה, הגודל הנראה של הכוכב הוא גם הגודל המוחלט שלו. לדוגמא, השמש שלנו, והוא הכוכב הקרוב אלינו ביותר. השמש מרוחקת מאתנו כ- 8 דקות אור בלבד, לכן היא נראית כה בהירה וזוהרת. בגלל זה גם הגודל הנראה של השמש הוא 26- . אבל השמש היא כוכב בגודל ממוצע כך שהגודל המוחלט שלה הוא רק +4.5. זאת אומרת שאילו היו מציבים את השמש במרחק 10 pc מאיתנו היתה היא ניראית ככוכב בגודל +4.5 שאומנם אפשר לראותו בעין אבל אינו כוכב כולט במיוחד.

הקשר בין גודל נראה, מרחק וגודל מוחלט הוא:  $M_v = m_v + 5 - 5 \log D$  כאשר  $M_v$  - הגודל המוחלט ו-D המרחק לכוכב בפארסקים. לדוגמא, סיריוס, שהזכרנו קודם הוא בעל גודל נראה  $m_v = -1.4$  . מרחקו מאתנו רק 8.7 שנות-אור, שהם 2.7 pc. כאשר מציבים את סיריוס במרחק 10 pc מאתנו מרחיקים אותו פי 3.7. עוצמת האור יורדת לפי החזקה השניה של המרחק, לכן סיריוס ייראה חלש יותר פי 14 מאשר במרחקו האמיתי. גודלו המוחלט יהיה על כן  $M_v = 1.45$  . הציבו ותווכחו!

## טיסות בין כוכבים

צ'רלס דרווין בספרו "מליוני השנים הבאות" כלל לא הזכיר את הטיסות הבין-כוכביות. זה לא מקרי. גם היום רובם של בני-אדם לא מבינים את משמעות הדבר של יציאת האנושות אל מחוץ לכדור הארץ.

אין אנו יודעים לשפוט נכון מעשים גדולים ומאורעות גורליים. מה הביא את האדם לשכוח את בעיותיו על פני כדור הארץ? האם אין אנו צריכים להפנות את המשאבים והכוחות אל המאבק בעוני ומחלות, אל החינוך? למה לטוס לירח ומאדים ולבנות תחנת חלל קבועה כשכל אדם שלישי על פני כדור הארץ חי בתנאי תת-תזונה?

כל השאלות הללו הן מורכבות ואין עליהן תשובה משכנעת. אולם דבר זה לא מונע ממדענים לעסוק ולחקור בנושא טיסות בין הכוכבים.

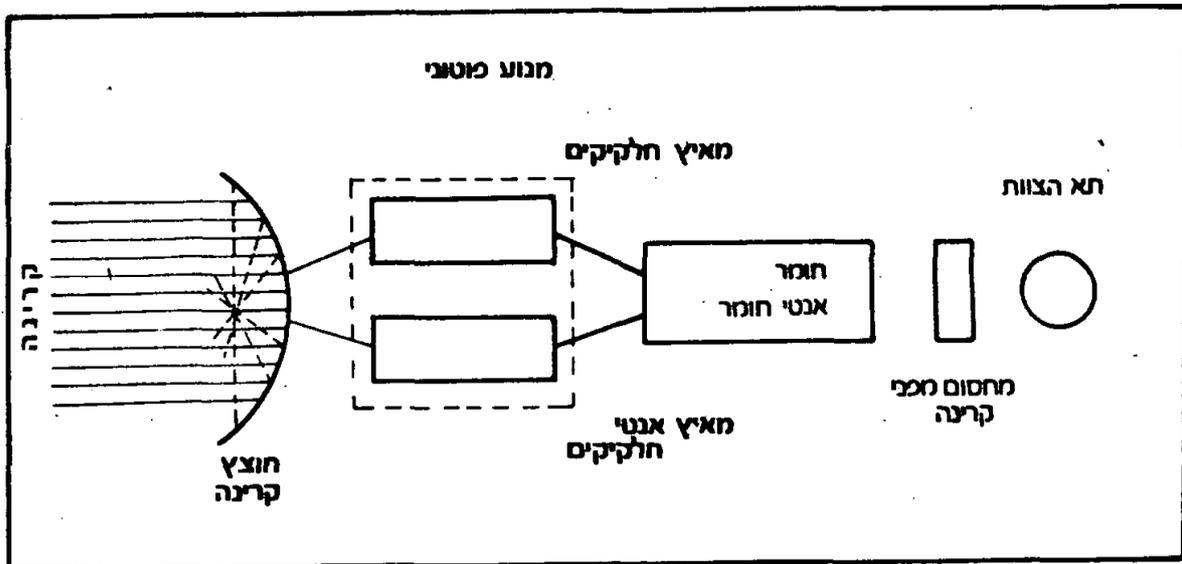
### בעזרת מנוע פוטוני

לטיסות בתוך מערכת השמש מספיקות מהירויות של 100-50 ק"מ/שני. אם נמשיך באותה מהירות אל הכוכב הקרוב ביותר נגיע אליו אחרי 12000 שנה. הקושי העיקרי של הטיסות הבין כוכביות הוא כמשכן.

נניח שברצוננו לבקר את הגלכסיה M 31 (אנדרומדה). המרחק עד לגלכסיה הזאת הוא כ-2000000 שנות אור. אם לטוס במהירות האור (ק"מ/שני  $C = 300000$ ) המהירות האפשרית הגדולה ביותר, אז לפי שעון של צופה ארצי המטרה תושג לאחר שני מליון שנה. ההערה על השעון של צופה היא לא מקרית. לגבי הקוסמונאוטים הנעים כמעט במהירות האור קיימת השהיית קצב זרימת הזמן; בהתקרב מהירות הרכב הבין-כוכבי אל מהירות האור זמן בו זורם לאט יותר.

לפי תורת היחסות של אינשטיין, אחד מן התאומים שיחליט לטוס עם החללית במהירות הקרובה למהירות האור יחזור אל כדור הארץ צעיר יותר מן האחר שבחר להישאר. זאת אומרת באופן עקרוני מסוגלים הקוסמונאוטים להגיע עד לגלקסיית אנדרומדה ולחזור, אף על פי שבמשך סיורם עברו על פני כדור הארץ ארבעה מיליון שנה.

כדי שבמשך החיים של דור אחד רכב החלל יגיע לכל נקודה מרוחקת ביקום, הוא צריך לנוע במהירות קרובה למהירות האור - C. האמצעי האפקטיבי ביותר (לפי ידיעתנו היום) להשגת מהירויות הללו הוא שמוש במנוע פוטוני. המנוע הזה עובד תודות לתגובת אניהלציה (Annihilation reaction) : חומר - אנטיחומר. תוצר התגובה הזאת הוא קרינה אלקטרומגנטית. מהירות יציאת הגזים ( $\gamma$  - פוטונים) תהיה שווה ל-C (ראה ציור מס' 1) :



צ י ו ר מ ס' 1 סכמת רכב החלל הפוטוני

כדי לאפשר לקורא בעצמו לבדוק את התוצאות המתקבלות נביע את נוסחאות היסודיות של תנועת הטיל הפוטוני.

אם  $b$  - תאוצת הטיל ו  $M_0$  - יחס של המסה התחלתית של הטיל אל המסה הסופית, אז זמן התאוצה (משך הטיסה עם מנוע פועל) במערכת האניה שווה ל (S. Hoerner, 1963):

$$(1) \quad \tau_0 = \frac{C}{b} \ln M_0$$

במערכת צופה נח (על פני כדור הארץ) משך הטיסה בתנועה מואצת:

$$(2) \quad \left( \frac{\Delta t}{\Delta \tau_0} \right) = \frac{1}{2} \left( M_0 + \frac{1}{M_0} \right)$$

יחסי פרקי הזמנים שעברו בחללית ועל פני כדור הארץ (ההשהיה הרלטיביסטית):

$$(3) \quad t_0 = \frac{C}{2b} \left( M_0 - \frac{1}{M_0} \right)$$

מרחק שהחללית עוברת בתנועה מואצת:

$$(4) \quad S_0 = \frac{C^2}{2b} \left( M_0 + \frac{1}{M_0} - 2 \right)$$

ומהירות שהחללית צברה במשך התאוצה:

$$(5) \quad v = C \frac{M_0^2 - 1}{M_0^2 + 1}$$

מכיון שמספר  $M_0$  יצריך להיות גדול ככל האפשר, נזניח את  $\frac{1}{M_0}$  בנוסחאות. נבחר את יחידת הזמן - שנה, יחידת התאוצה -  $10^3$  ש"מ/ש"מ<sup>2</sup> ויחידת המרחק - שנת אור נניח שהטיל נע בתאוצה  $b = 1g$  (  $10^3$  ש"מ/ש"מ<sup>2</sup> ) תאוצת נפילה חופשית על פני כדור הארץ) אז נקבל:  $S_0 \approx 0.5M_0$ ,  $t_0 \approx 0.5M_0$ ,  $\tau_0 \approx \ln M_0$

זמן תנועה מואצת של הטיל, מהירותו המקסימלית ומרחק שעבר עם תאוצת  $b=1g$  נתונים בטבלה I :

מס' (שנים)	זמן התאוצה		אורך תנועה עם מנוע פועל $S_0$ (שנות אור)	$M_0$	הפרש בין מהירות החללית ומהירות האור - $1 - \frac{v}{c}$
	במערכת ארצי $t_0$	במערכת החללית $\tau_0$			
1	1.4		0.5	2.7	0.24
2	3.7		2.8	7.4	0.04
3	10		9	$2 \times 10^1$	$5 \times 10^{-3}$
5	75		74	$1.5 \times 10^2$	$9 \times 10^{-5}$
7	550		549	$1.1 \times 10^3$	$2 \times 10^{-6}$
9	4050		4049	$8.1 \times 10^3$	$3 \times 10^{-8}$
12	80000		80000	$1.6 \times 10^5$	$8 \times 10^{-11}$
15	1600000		1600000	$3.3 \times 10^6$	$2 \times 10^{-13}$
18	32000000		32000000	$6.6 \times 10^7$	$5 \times 10^{-16}$
20	235000000		235000000	$4.8 \times 10^8$	$9 \times 10^{-18}$

אם משך התאוצה קטן, אז זרימת הזמן במערכת החללית לא שונה בהרבה מזרימת הזמן של צופה ארצי. כשמשך התאוצה הולך וגדל הפרש הזמנים מתחיל לגדול גם כן. עם תאוצת  $1g$  השהיית הזמן נכרת כבר אחרי כמה שנות טיסה. ככל שהמנוע פועל זמן ארוך יותר החללית תגיע למהירות גדולה יותר. ברור שלגבי מרחק טיסה נחון מראש זמן מינימלי מתקבל כשרכב החלל מואץ עד חצי הדרך, ובולם אחרי זה, כך שמהירות סופית שווה לאפס.

בדרך חזרה הכל מתרחש באותו אופן. מכיון שבתאוצה  $M_0$  לא השתנה, יחס הכולל של המסה התחלתית אל המסה הסופית (בדרך אל המטרה) שווה ל-  $M_0^2$  ובדרך חזרה גם כן  $M_0^2$ . היחס הזה לכל הדרך אל המטרה ובחזרה יהיה  $M_0^4$ . מרחק הטיסה הוא  $2S_0$ , זמן הטיסה במערכת החללית  $4\tau_0$  ובמערכת צופה ארצי  $4t_0$  חייאור כמותי של טיסה כזאת נמצא בטבלה II. אנו יכולים לראות שבמשך הזמן של דור אחד  $100 < \tau$  שנים אפשר להגיע עד "קצה היקום" ולחזור. אולם צריכת המסה והאנרגיה גדלה בצורה קטסטרופלית עם המרחק.

מרחק הטיסה (שנות אור) $2s_0$	$M = M_0^4$	זמן הטיסה אל המטרה ובחזרה (שנים)	
		במערכת החללית $4t_0$	במערכת צופה ארצי $4t_0$
4	1132	7	11
10	$2 \times 10^4$	10	23
$10^2$	$1 \times 10^8$	18	$2 \times 10^2$
$10^3$	$1 \times 10^{12}$	28	$2 \times 10^3$
$10^4$	$1 \times 10^{16}$	37	$2 \times 10^4$
$10^5$	$1 \times 10^{20}$	46	$2 \times 10^5$
$10^6$	$1 \times 10^{24}$	55	$2 \times 10^6$
$10^7$	$1 \times 10^{28}$	64	$2 \times 10^7$
$10^8$	$1 \times 10^{32}$	74	$1 \times 10^8$
$10^9$	$1 \times 10^{36}$	83	$1 \times 10^9$
$10^{10}$	$1 \times 10^{40}$	92	$1 \times 10^{10}$

טבלה II פרמטרים של טיסה הבין-כוכבית עם תאוצה (תאוצה) קבועה

כמה דוגמאות:

דוגמא 1

מרחק הטיסה 10 שנות אור (מרחק עד לכוכבים הקרובים). זמן הטיסה אל המטרה ובחזרה במערכת החללית 10 שנים ובמערכת צופה ארצי 23 שנים. מקבלים  $M = 2 \times 10^4$

בהשוואה לטכנולוגיה של היום המספר הזה גבוה מדי. באופן עקרוני ההגבלות שמענינות אותנו קשורות אך ורק לזמן הטיסה ומשאבים של דלק (אנרגיה) היבולים להמצא אצל תרבות מתקדמת. מבחינה זאת אפשר להסכים לגודל של  $M$  המתקבל.

דוגמא 2

מרחק הטיסה - 1000 שנות אור (מרחק אפשרי עד לתרבות הקרובה ביותר). זמן הטיסה מהווה 28 שנים. לצופה ארצי עובר 2000 שנה. מטבלה II מקבלים  $M_0^4 = 10^{12}$  במקרה שמסה סופית של רכב החלל שווה ל-1 טון, המסה ההתחלתית צריכה להיות  $10^{12}$  טון. זה עולה על כמות החומר בו משתמשת האנושות היום.

דוגמא 3

כשמרחק הטיסה הוא  $10^5$  שנות אור (קוטר הגלקסיה), אז מסה התחלתית שווה לכמות החומר במערכת השמש. זאת אומרת, לפני התחלת הטיסה מהסוג הזה האנושות צריכה לנצל את מערכות כוכבי הלכת שסביב הכוכבים הקרובים.

#### דוגמא 4

כדי לטוס לגלכסיות הקרובות צריכים מסה התחלתית העולה על מסת מערכת כוכבי-לכת, כאן יש להשתמש בחומר של הכוכבים. בזה יש לזכור את הצורך ליצור כמות מסוימת של אנטיחומר!  
בסופו של דבר כדי להגיע אל גבולות היקום הנצפה היום צריכים להתחיל את הטיסה עם חללית בעלת מסה העולה על מסת הגלכסיה.

בכל הדוגמאות הנ"ל הצריכה הענקית במסה קשורה בעבודה רצופה של המנוע. קיימת אפשרות להתגבר על הקושי הזה ע"י עצירת המנוע במהירות מסוימת בה כבר מורגשת השהית קצב זרימת הזמן. החישוב מראה שאפשר להקטין את צריכת המסה רק על חשבון הגדלה משמעותית במשך הטיסה (במערכת החללית)

#### דוגמא 5

מרחק הטיסה הוא 1000 שנות אור. נפסיק את פעולת המנוע כשרכב החלל יגיע למהירות  $0.98c$  (בלא עצירת המנוע אפשר להגיע למהירות  $0.999998c$  בחצי מרחק למטרה!)  $M_0$  - תהיה שווה ל-10, מרחק שהחללית עוברת בתנועה מואצת  $S_0$  - יהיה 4 שנות אור ומשך הטיסה במערכת עצמית של החללית יהיה 2.3 שנים. בשביל הבלימה גם כן נקבל שנה  $\tau_0 \approx 2.3$  ושנות אור  $S_0 = 4$ . זאת אומרת, המרחק אותו רכב החלל עובר בכוח ההתמדה (אנרציה) הוא 992 שנות אור.

במהירות של  $0.98c$  זמן טיסה החופשית (בלי מנוע) לצופה ארצי הוא שנים  $t = 1012$ . השהיית קצב זרימת הזמן (ראה נוסחא 3) היא  $\frac{\Delta t}{\Delta t} = 0.2$ . זאת אומרת, זמן טיסה החופשית במערכת עצמית של החללית הוא 202 שנה, וזמן הכולל של הטיסה שווה ל-: שנה  $\tau = 4 \times 2.3 + 2 \times 202 \approx 413$ . מתוכן 404 שנה הן בטיסה חופשית. לא עוזרת גם הגדלת התאוצה מכיוון שמהירות המקסימלית של התנועה תלויה רק ב- $M_0$  והשהיית זרימת הזמן תישאר כמו קודם.

עד עכשיו לא לקחנו בחשבון את ההיבט האנרגטי של הטיסה. לטיל הפוטוני הספק מנוע ליחידת מסה התחלתית שווה ל-:  $p/m_0 = cb$   
( $p$  - הספק המנוע,  $m_0$  - מסה התחלתית של הטיל)  
כשהתאוצה שווה ל-  $10^2$  מ'/שנ' (כמו על פני כדור הארץ) זה נותן וט/גר'  $3 \times 10^6$ . היום המספר הזה הוא בנדר של חלום. S. Hoerner מתאר רכב החלל בעל מסה סופית של 20 טון (כולל מנוע) הנע עם תאוצת  $10^2$  מ'/שנ' עד להשגת מהירות של כזאת  $0.98c$ . כדי להגיע למהירות כזאת ראינו כבר שנצטרך  $M_0 = 10$ , ז"א, מסה התחלתית של החללית - 200 טון והספק הכולל של המנוע:  
וט  $6 \times 10^{14}$  גר'  $(2 \times 10^6)$  אוט/גר'  $(3 \times 10^6)$   $P =$ . המספר הזה עולה פי 100 על הצריכה הנוכחית של אנרגיה על פני כדור הארץ.

ראינו שהמהירות של  $0.98c$  מספיקה לטיסות אל הכוכבים הקרובים ביותר. כדי לעבור את הגלקסיה ( $10^5$  שנות אור) יש צורך במהירות  $0.9999999998c$  ו  $M = 10^{20}$ . באותו זמן הספקו של המנוע שמשקלו כ-10 טון צריך לעלות על הספקם של כעשרה מליון כוכבים. קיימים גם קשויים אחרים. למשל התנגשויות עם חלקיקים של האבק הבין-כוכבי. לכל התנגשות כזאת במהירויות גדולות יכולה להיות תוצאה קטסטרופלית.

הספק ענק נוצר בטיסת טיל פוטוני. ההספק הזה בצורת קרינה אלקטרומגנטית (קרני-γ) מכוון אל מערכת השמש. בזמן הטיסה אל הכוכבים שטף הקרינה הזה נופל על כדור הארץ יעלה בהרבה על שטף האנרגיה הכולל המתקבל על פני כדור הארץ מן השמש. מכאן מקבלים שבתכנון רכב החלל צריך לדאוג לא רק להגנה על הצוות מפני הקרינה הנפלטת, אלא גם להגנת כדור הארץ וכל מערכת המשש.

### דרך אחרת?

המסקנה המתקבלת היא שבעזרת טילים פוטוניים אף פעם לא נטוס למרחקים. "כנראה שגם לא יבנו אותם" - כותב Y. S. Shklovsky - "נזכור שבמאה ה-אז דיברו ברצינות על התוכנית לטוס לירח בעזרת... מכונת קיטור!"

הטיסות הבין כוכביות במהירויות לא רלטיביסטיות אפשריות בהחלט, למשל, בעזרת טילים עם דלק גרעיני. כל הקשיים שדיברנו עליהם נעלמים, אבל מתעוררת השאלה של משך הטיסה: מחסום הזמן נשאר כמכשול בלתי-עביר. המרחקים ביקום הם עצומים והתפתחות של החברה האנושית על סקלת הזמן, המאפיינת את היקום היא מהירה ביותר.

מה ימצאו הקוסמונאוטים כשיחזרו מן הטיסה הארוכה? את החברה זרה ובלתי מובנת. אידאלים התחלפו, יתכן אפילו שאין ענין בטיסות הבין-כוכביות...

אפשר לחשוב שהקוסמונאוטים הטסים בטיילים פוטוניים עם מהירויות רלטיביסטיות לא צפויים למצבים עצובים כאלו. אבל גורל דומה מצפה גם להם, הרי הזמן מושהה רק לגביהם. על פני כדור הארץ הוא זורם כרגיל. כנראה שאכן הגורם הזה - פסיכולוגי ומוסרי ולא מגבלות פיזיקליות ימנעו טיסות ממושכות בין הכוכבים.

קיימת עוד אפשרות של "דיפוזיה" - התפשטות איטית של האנושות מכוכב אל הכוכב. נהשאלה, האם תבחר אנושות בדרך זו או אחרת קשורה יותר לשאלת כדאיות.

המטרה הראשונה של פינה חדשה זו, היא להביא את האסטרונומיה והאסטרופיסיקה אל הנער הסקרן או החובב המתחיל, בדרך פשוטה, מענינת ומעשית. ננסה להביא כאן שורה של תצפיות ומדידות, המצטיינות בכך שכל חובב מתחיל יוכל לבצען בקלות, שמטרתן להציג ולשכנע בעובדות היסודיות של האסטרונומיה והאסטרופיסיקה, מן הפשוטות ביותר אל המורכבות והמענינות יותר.

מטרתה השנייה והחשובה לא פחות של פינה זו, היא לאפשר לחובבי האסטרונומיה בארץ, הידועים בקשר המועט שביניהם, לתאר בכתב נושאים הקשורים לעיסוקם האסטרונומי בצופים, כבוני טלסקופים או כאסטרונומים עיוניים. מדור זה פתוח לכל חובב בכל רמה וגיל, המעוניין לתאר את עיסוקו או להציג פעילות המענינות חובבים אחרים, והוא יהיה לכן מגוון למדי ברמתו ובנושאים שיועלו בו.

## הקדמה

כל מי שניסה ללמד או לספר על האסטרונומיה לפני אנשים שאין זה עיסוקם הרגיל, נתקל כודאי מיד בשאלות נוסח: איך אתה יודע? היית שם? עובדות הנראות כמעט מובנות מאליהן לחובב הותיק, כמו המרחקים האסטרונומיים, טמפרטורות הכוכבים, תנועת גרמי השמיים וכו', נראות תמוהות ומוזרות ביותר לאדם השומע עליהן לראשונה. "את כל זה אתה יודע רק מתוך הסתכלות בנקודות האור המנצנצות האלה?"

ובנסותך לשכנע בנכונות דברייך, אתה מעלה בדרך כלל שורה ארוכה של הנחות פיסיקליות, מסובכות יותר ויותר, המגבירות עוד יותר את חשבותיו של המאזין. העדר המגע הישיר בין האסטרונום והעצמים שבהם הוא עוסק, יוצרת את התחושה, לפעמים אפילו אצל אנשי מדע רציניים, שאין האסטרונומיה והאסטרופיסיקה מבוססות מספיק מבחינה מדעית.

אי היכולת להכניס כוכב למבחנה ולבחון אותו במעבדה בצורה מבוקרת, ניראית לכאורה כליקוי רציני ביותר של האסטרונומיה והאסטרופיסיקה.

תפיסה "מעבדתית" זו של המדענים המדויקים מוטעית מיסודה, שכן אין שום מדען שיוכל לבצע במעבדתו כל ניסוי שעולה ברעתו. עליו לבחור לו מתוך קבוצה סופית של ניסויים אפשריים, את הנסוי שעונה בצורה הטובה ביותר על השאלה עליה הוא רוצה לענות.

במובן זה אין הוא אלא צופה הבוחר לעצמו את העצם הנכון, את הניסוי הנכון לצפות בו. בצורה זו אין הבדל בין האסטרונום ובין כל מדען "מעבדתי", אלא שמספר הניסויים המתרחשים בכל רגע ורגע לנגד עיניו של האסטרונום, גדול לאין שיעור ממספר הניסויים העומדים לרשותו של הפיסיקאי במעבדה, עליו רק לדעת להסתכל למקום הנכון בצורה הנכונה. זוהי כמובן בעיתו העיקרית של האסטרונום.

## מדידת מרחקים באסטרונומיה

בנסותינו לבנות בצורה שיטתית את האסטרונומיה ולהשתכנע בנכונות טענותיה, עלינו להתחיל בגודל הבסיסי ביותר, שממנו נובעות כמעט כל הבעיות של האסטרונומיה והפיסיקה: המרחק. חשוב ביותר שנשתכנע בנכונות המרחקים האסטרונומיים שכן האסטרונומיה תהיה שונה לחלוטין אם הכוכבים אינם רחוקים כפי שאנו חושבים.

כיצד אנו מודדים מרחק בכלל?

כדי למדוד למשל את אורכו של השולחן שאנו יושבים לידו, נשתמש בסרגל, כלומר נמצא את מספר הפעמים שנכנסת יחידת אורך בסיסית בין שתי נקודות שאת מרחקן אנו רוצים לדעת. זוהי מדידת מרחק ישירה, המבוססת ישירות על הגדרת המרחק. למרות פשטותה של מדידה זו הכנסנו כבר כאן שורה ארוכה של הנחות לוגיות עמוקות למדי, הנראות מובנות מאליהן ואנו נוטים להתעלם מהן. מגבלתה העיקרית של מדידה כזו היא בצורך להגיע אל שתי הנקודות שאת מרחקן מודדים, במלים אחרות עלינו לנודע בין שתי הנקודות.

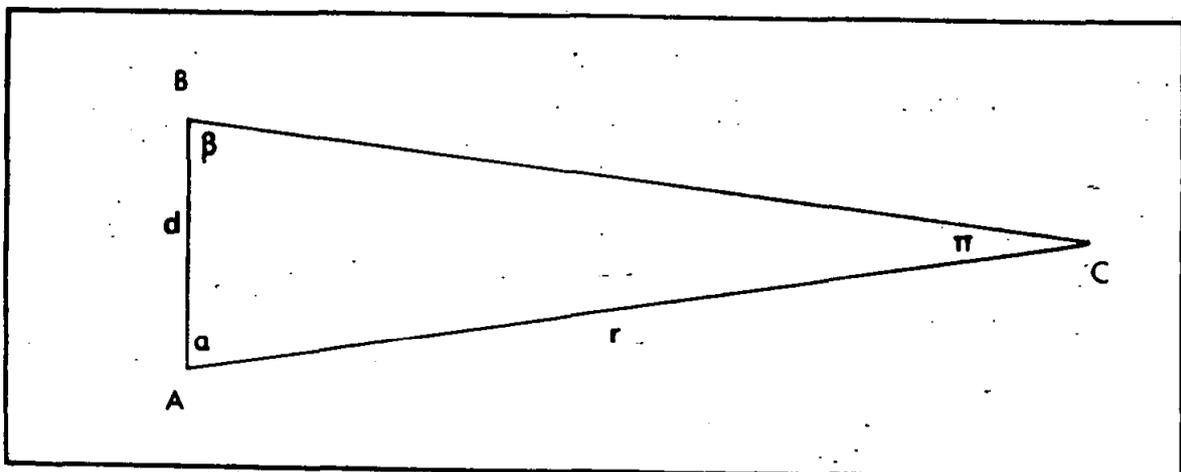
כלום חייבים אנו לנוע בעצמנו ביניהן? לאו דוקא, תנועה זו יכולה להעשות גם על ידי שליח שלנו. למשל אם נרצה את המרחק לקיר הקרוב, נוכל לגלגל אליו כדור במהירות ידועה ולמדוד את הזמן הלוקח לו להגיע לקיר. מדידה כזו כודאי שפחות ישירה מהקודמת, הכנסנו בה הנחה נוספת ועמוקה יותר: קשר בין זמן ומרחק דרך המהירות הידועה.

כבר בשלב כזה אנו יכולים להרגיש שקיים קשר פשוט בין מדידת מרחק ומדידת זמן דרך המושג החשוב של התנועה, המהירות. קשר זה המתבטא בקשר האלגברי התמים:

$$\text{זמן} \times \text{מהירות} = \text{אורך}$$

מאפשר לנו להמיר מדידת מרחקים במדידת זמנים, בעזרת שליחים שונים שמהירותם ידועה לנו.

השליח הטבעי ביותר בו אנו משתמשים ללא הרף, הוא כמובן האור. אם נניח שמהירות האור קבועה וידועה, הנחה הדורשת כמובן הסבר ושכנוע נוסף, נוכל כמובן להשתמש בו כבאותו כדור. אולם גם בלי לדעת את מהירותו של האור נוכל להשתמש בו כששליח מהיר ביותר, כדי לקבל מידע על נקודות רחוקות ולמדוד את המרחק אליהן מבלי להיות שם בעצמנו. נוכל להשתמש לשם כך בשיטות גיאומטריות פשוטות כמו שיטת הפרלכסה (parallax):



אנו יודעים שמשולש נקבע על ידי צלע ושתי זוויות שלידו. אם נדע לכן את המרחק  $d$  שבין הנקודות A ו-B, למשל על ידי מדידה ישירה בסרגל, נוכל לראות את הנקודה C מ A ומ B, (אנו נעזרים באור כשליח מ A ל C ומ B ל C) נוכל לקבוע את הזוויות  $\alpha$  ו  $\beta$  ומכאן את הצלעות  $\overline{AC}$  ו  $\overline{BC}$ . כלומר, ידיעת אורך יחיד  $d$  וכל הזוויות המשולש, מאפשרת לנו לקבוע את כל הצלעות - האורכים האחרים. שיטה גיאומטרית זו ניקראת שיטת הפרלכסה, הזווית  $\pi$  קרויה הפרלכסה של C מ A ו B. אם זווית  $\alpha = 90^\circ$  והזווית  $\pi$  מספיק קטנה, אזי המרחק:

$$\overline{AC} = r = \frac{d}{\operatorname{tg} \pi} \approx \frac{d}{\pi} \quad (\text{כאשר זווית } \pi \text{ - ברדיאנים})$$

למעשה אנו משתמשים בשיטה זו כל הזמן כאשר אנו מעריכים מרחקים בעינינו. המרחק בין שתי העיניים משמש כבסיס  $d$ . התמונות שונות במקצת שרואות שתי העיניים

יוצרות למעשה פרלכסות שונות לנקודות במרחקים שונים, ומכאן תחושת העומק שבראייתנו.

קל להוכיח בכך אם נתבונן בקצה אצבענו, פעם בעין שמאל ופעם בעין ימין, ונראה כיצד משתנה התמונה ביחס לרקע המרוחק יותר.

תצפית משכנעת יותר תהיה מדידת מרחקו של מגדל או עץ באמצעות תצפית משתי נקודות קרובות (מרחק מטרים אחדים) שמרחקן ידוע, בשיטת פרלכסה. כל שאנו צריכים הוא מד זווית וסרגל. למרות פשטותה העקרונית של שיטת הפרלכסה. נראה שכדי לקבל תוצאה סבירה נצטרך לבצע אותה בזהירות ובדייקנות.

נשים לב שגם אם המרחק  $d$  איננו ידוע, אנו יודעים את היחס  $r/d$  מתוך הזווית בלבד ובכך יכולים להשתמש ב- $d$  כיחידת אורך הבסיסית שלנו.

הרי לפניכם אתגר מחשכתי ראשון:

הבה נניח שאנו חיים על פני כדור מסתובב וננסה בהנחה זו בלבד, למדוד את רדיוס כדור הארץ. רדיוס כדור הארץ ישמש לנו אמת מידה ראשונה למרחקים אסטרונומיים ו נראה כיצד באמצעותו נוכל להמשיך למרחקים גדולים יותר.

## קשת

קבוצת כוכבים זו ממוקמת במישור המילקה בין גדי ממזרח לה ובין עקרב ממערב לה. שמה הלועזי הוא סגיטריוס. קו ישר העובר מדגב בכרבור עד אלחאיר שבקבוצת נשר ונמשך הלאה אותו מרחק מגיע אל קבוצת קשת.

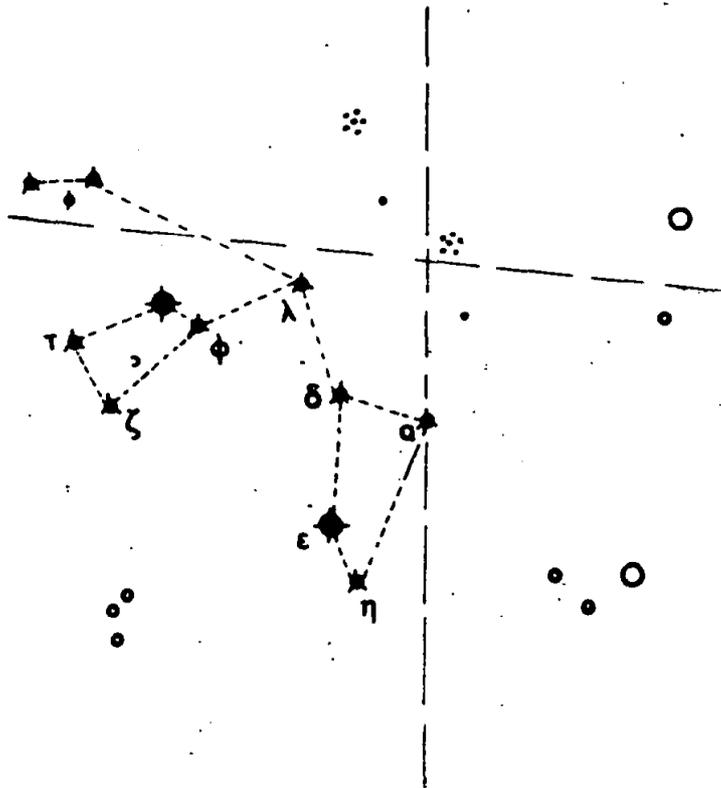
שתי קבוצות הכוכבים קשת ועקרב נמצאות זו בקרבת זו מפני שהקשת תואר עוד בזמנים קדומים כמכוון את קשתו אל לבו של העקרב.

לפי אגדה יונית, קשת מייצג את הקנטאורוס המפרוס חירון - חצי סוס וחצי אדם. יצור זה היה כנס של סאטורן ופילירה ונאמר שהוא שינה עצמו לסוס כדי לברוח מאשתו הקנאית. חירון היה מפורסם בזמנו בידיעת הרפואה, מוסיקה ובכך שהיה צלף. נאמר שהוא לימד את האנושות את השימוש בצמחים ובעשבים לצרכים רפואיים. נחשב לאישיות מפורסמת כמו אפולו, הרקולס, אכילס, ג'יסון ואחרים. לפי תאורי האגדה מת הקנטאורוס כתוצאה משריטת חץ מורעל. יופיטר ריחם עליו וכיבד אותו במקום בין הכוכבים.

במקומות מסויימים בצפון אירופה (באיזור קו הרוחב  $57^{\circ}$ ) נקרא קשת בשם "הורג השור" אשר מציינים את העובדה שכאשר עולים כוכבי קבוצת קשת במזרח הם דוחפים את כוכבי קבוצת שור אל מתחת לאופק במערב. ניתן לראות בעזרת משקפת שדה או תיאטרון את האזורים השחורים בשכיל החלב העובר דרך קבוצת קשת ובמיוחד בין הכוכבים  $\gamma$ - $\delta$  קשת. הם ידועים כעת כעננים לא מוארים של חומר אפל בדומה ל"שקי פחם" שבקבוצת בכרבור.

קשתו של הקשת מיוצגת ע"י קבוצת כוכבים המתארת קו עקום. כוכבים אלו הם  $\delta, \lambda$

ו- $\epsilon$  קשת.



## הכוכבים הכולטים בקבוצה זו הם:

$\alpha$  קשת - רקבט, משמעות השם הוא - ברך, כוכב זה ממוקם בברך רגלו השמאלית של הציד. שם נוסף של כוכב זה הוא אלרמי. בהירותו של כוכב זה הוא 4.11 וסומן בטעות כ-  $\alpha$ . הוא מרוחק מאיתנו 250 שנות אור ושייך לקבוצה הספקטרלית B9

$\delta$  קשת - קאוס מדיוס - משמעות השם הוא החלק האמצעי של הקשת. זהו כוכב ענק השייך לקבוצה ספקטרלית K2. מרוחק מאתנו 112 שנות אור. בהירות נראית 2.84 ובהירות מוחלטת 0.1.

$\epsilon$  קשת - קאוס בורליס, החלק הצפוני של הקשת. כוכב זה הוא בעל בהירות ניראת 2.94 ובהירות מוחלטת 0.9 זהו כוכב ענק השייך לקבוצה הספקטרלית K1. מרוחק מאיתנו 84 שנות אור.

$\sigma$  קשת - ננקי, כוכב זה ממוקם מחלק העליון של זרוע הקשת. שייך לקבוצה ספקטרלית B3, מרוחק מאיתנו 180 שנות אור, בהירות נראית 2.14 ובהירות מוחלטת 1.6-.

מבין הצבירים הפתוחים הממוקמים בקבוצת כוכבים זו הבהירים ביותר הם: M23, M24, ו M25. מבין הערפיליות הגאזיות ישנן: M20 (NGC-6514), M8 (NGC-6523) ערפילית הלגונה ו- M17 (NGC-6618) ערפילית האומגה.

נקבע בודאוח שמרכז הגלכסיה שביל החלב ממוקם באזור זה של השמיים.

# יומן שמים

(חודש יולי)

תופעה	שעה	תאריך
ירח מלא	04 .4	1
כדור הארץ באפליאון, מרחק הגדול ביותר מן השמש = 152100000 ק"מ	21 .7	5
ירח - רביע אחרון	05 .6	8
ירח באפוגאון	09	12
הירח (0.06, גילו 27.0 ימים) בהתקבצות עם צדק	19.5	13
תחילת מעבר מאדים ליד הכימה (5° דרומית)		14
בהירות מקסימלית לכוכב משתנה $\alpha$ Tri (max = 5.4)		15
נגה בהתקבצות עם $\alpha$ Tau	20	15
סיום של המעבר של מאדים ליד הכימה		16
מולד הירח	09.6	16
כוכב חמה מתחרק מהשמש - תחילת ההופעה שלו בדמדומי הערב. שבתאי מתקרב לשמש - סיום הופעתו.		19
התקבצות שבתאי וכוכב חמה (0°, 4) - לא נראית בארץ	02 .1	20
ירח - רביע ראשון	20 .6	23
הירח בפריגאון	03 .0	28
התקבצות כוכב חמה ו- $\alpha$ Leo	03 .7	28
התקבצות נגה וצדק	07.4	30
ירח מלא	11 .9	30

