

אוניברסיטת בר אילן

**שיטה חדשה לקביעת זמן "צאת הכוכבים" המבוססת על מדידות
פוטומטריות תוך השוואה לתצפיות אנושיות**

דוד בן יעקב

**עבודה זו מוגשת כחלק מהדרישות לשם קבלת תואר מוסמך
בביה"ס לחינוך של אוניברסיטת בר-אילן**

עבודת מחקר זו, מוגשת בהנחייתו של

ד"ר דרור פיקסלר

תוכן עניינים:

5	תקציר
8	רקע - הלכתי ומדעי
9	רקע הלכתי
9	תחילת הלילה בהלכה
11	צפייה בצאת הכוכבים בדורות הקודמים
12	היחס ההלכתי לשימוש בכלים מדעיים
12	חישוב מדעי כבקרה לקביעה הלכתית
12	מתי ההגדרה היא הלכתית גרידא ומתי יש לברר על פי המדע
14	רקע מדעי
14	הכוכבים
15	מקורות המידע התצפיתי
15	אסטרומטריה
19	פוטומטריה
21	ספקטרוסקופיה
26	הטלסקופ
28	המחקר
29	מטרת המחקר
29	מערכת התצפיות
32	עיבוד הנתונים
39	תוצאות המחקר
40	כוכב אלטאייר
42	כוכב אנטרס

44	-----	כוכב ארקטורוס
46	-----	כוכב וגה
48	-----	כוכב פרוקיון
50	-----	כוכב קפלה
52	-----	כוכב ריגל
54	-----	דיון מסקנות והצעות
56	-----	ביבליוגרפיה
57	-----	מקורות הלכתיים
57	-----	מקורות הלכתיים- מדעיים
58	-----	מקורות מדעיים
59	-----	נספח 1 : עיבוד נתונים בעזרת MATLAB
60	-----	תוכנית א': ניתוח ליל תצפית אחד.
64	-----	תוכנית ב': סיכום נתוני כוכב
67	-----	נספח 2 : תמונות הכוכבים בלילות התצפית
78	-----	נספח 3 : מפת שמי ישראל- לאורך השנה [מתוך אסטרופדיה]
82	-----	רשימת איורים
II	-----	תקציר בשפה האנגלית

תקציר

גרמי השמיים המקיפים אותנו, מתווים את הזמנים בעולם ההלכה. החל ממשנה רבנו, דרך המשנה והגמרא, ועד לפסיקת ההלכה בשולחן ערוך ונושאי כליו האחרונים, נעזרים בתצפיות בגרמי השמים לצד חישובים, להגדרות הזמנים בהלכה. שימוש בתצפיות אלו, לאורך הדורות, נועדו לקביעת זמני היום - זריחה שקיעה וצאת הכוכבים - וכן לקביעת זמן מולד הלבנה. תצפיות אלו התבצעו ללא שימוש בכלי הבטה, ועל בסיס אותה הצפייה, נקבע הזמן ההלכתי.

מחקר זה, עוסק בבירור סוגיית זמן הראות צאת הכוכבים לעין הצופה. הוא מפתח נוסחה שבעזרתה ניתן יהיה לחזות, מתי יהיה אפשרי לראות כוכב מסוים כתלות בבדיקות הרקיע ובתנאי הראות של הצופה. המחקר משלב כלים מדעיים מתקדמים מחד (טלסקופ, מצלמה מקוררת, מערכת עקיבה ועיבוד ממוחשב של הנתונים), ומאידך משמר את התצפיות בעין בלתי מצוידת, לקביעת זמן צאת הכוכבים, הנראה לעין הצופה כפי שנדרש בהלכה.

הפרק הראשון עוסק ברקע הלכתי-מדעי. פרק זה כולל סקירה הלכתית בסוגיית צאת הכוכבים, ובמקביל סקירה מדעית באסטרונומיה-המתמקדת בתצפיות אסטרונומיות. החלק ההלכתי עוסק בהשלכות ההלכתיות של זמן צאת הכוכבים. בירור סוגיית תחילת הלילה ההלכתי בחז"ל: האחד ע"פ מצב הרקיע, השני מצב אסטרונומי-תצפיתי בכוכבים והשלישי כתיאור זמן מרגע השקיעה. בהמשך מוצגות דעות אחרוני זמננו לקביעת זמן צאת הכוכבים, תוך התייחסות לתצפיות שנעשו במהלך השנים ע"י גדולי ישראל לאורך הדורות. בסיום החלק ההלכתי של הפרק אנו דנים ביחס ההלכתי לשימוש בכלים מדעיים-בהלכה, תוך התמקדות במאמרו של הרב נחום אליעזר רבינוביץ, בנושא חישוב מדעי כבקרה לקביעה הלכתית, וכן מתייחס להגדרה היא הלכתית ומתייחס לברר על פי המדע.

בפתחו של החלק השני של הרקע, הפן המדעי, מוצגת סקירה קצרה של כיפת הרקיע אותה אנו רואים. בהמשך מוצג המידע התצפיתי האופטי אודות כוכבים, המתקבל משלשה סוגים עיקריים של תצפיות אסטרונומיות. א. אסטרוטריה-קביעת מיקומיהם של כוכבים על פני כיפת השמים, ומדידת תנועותיהם. ב. פוטומטריה-מדידת כמות האור המתקבלת מהכוכבים. ג. ספקטרוסקופיה-צילום ספקטרום האור של הכוכבים. בסיום

הרקע המדעי, אנו מציגים בקצרה את מבנה הטלסקופ ואת סוג הטלסקופ בו השתמשנו במחקר.

פרק המחקר, פותח במטרת המחקר שמגמתו לפתח ביטוי מתמטי המאפשר חיזוי זמן צאת הכוכבים הנראה לעין. הפרק מציג את מערכת התצפיות הכוללת טלסקופ מצלמה ותיאור מקום ביצוע המחקר וכן קבוצת הצופים המביטה אל פני הרקיע לזיהוי הכוכב. שלב זה של המחקר נמשך כשנה וחודשיים וכלל איסוף תצפיות של שמונה כוכבים שונים (אלטאיר, אנטארס, ארקטורוס, וגה, סיריוס, קפלה, ריגיל ופרוקיון) המופיעים בזמן הדמדומים. אחרי איסוף הנתונים, סודרו התמונות על-פי לילות תצפית עבור כל כוכב. נכתבה על ידי תוכנה המעבדת את התמונות ומנתחת אותם, ובמקביל בודקת מהו הזמן בו נצפה הכוכב לעין הצופה. בגמר תהליך זה, התוכנה מציגה גרף עבור כל כוכב, המראה את רמת הבהירות בו נצפה הכוכב ואת ערכו- הממוצע לאורך כל לילות הצפית בו צולם. בשלב תוצאות המחקר מוצגים במרוכז כל שבעת הכוכבים שנצפו ונותחו (הכוכב סיריוס 'יצא' מהמחקר, כיוון שכבר נצפה בעין עוד לפני השקיעה). לכל כוכב נבנתה טבלת נתונים הכוללת: את שם הכוכב, קבוצת הכוכבים אליו הוא משתייך (תוך הצגת תמונת קבוצת הכוכבים), סיווג ספקטרלי, בהירות יחסית ובהירות מוחלטת, גודל, מרחק ומיקום בכיפת הרקיע. בסיום הצגת תוצאות המחקר, מובא הממצא המרכזי - ממוצע הכולל של כל הכוכבים, שמשמעותו הרגע בו יוכל הצופה לראות את הכוכב ברקיע על-פי רמת בהירות הכוכב. בחתימת פרק המחקר, הובאו המסקנות המרכזיות ממהלך המחקר, שממוצע רמת בהירות הכוכבים הנראית לעין הצופה היא 1.96. לסיכום על פי התזה שהצגנו, ניתן לחזות, מהי רמת הבהירות הדרושה אשר בה ייראו הכוכבים לעין הצופה ללא כל אמצעי.

רקע - הלכתי ומדעי

בהלכה ישנה חשיבות לתופעות אסטרונומיות המהוות בסיס לחלק מהמצוות. המעבר האסטרונומי מיום ללילה מהווה נקודת התחלה וסיום של מצוות רבות, כגון¹: קריאת שמע², טהרה³, שבת⁴ (כניסתה ויציאתה), מילה⁵ וספירת העומר⁶.

תחילת הלילה בהלכה

סיום זמן הדמדומים, (הקרוי גם בגמרא 'נשף הערב') הוא ההתחלה של הלילה ההלכתי. המעבר מהיום ללילה מאופיין ברצף מאורעות שמימיים ואסטרונומיים. בגמרא⁷ מצאנו שלשה אופנים שונים לתיאור מעבר זה: א. מצב הרקיע; ב. מצב אסטרונומי; ג. כתיאור זמן- הדרוש למהלך ארבע מילין מרגע השקיעה.

א. מצב הרקיע, מובא בברייתא במסכת שבת [לד:], "...ואיזהו בין השמשות - משתקע החמה כל זמן שפני מזרח מאדימין. הכסיף התחתון ולא הכסיף העליון - בין השמשות, הכסיף העליון והשווה לתחתון - זהו לילה, דברי רבי יהודה". בזמן ש'הכסיף העליון והשווה לתחתון', הרקיע העליון (פירש רש"י כיון שגובהה של כפה אינה ממהרת להכסיף) השחיר צבעו, והשווה בגוונו לכיפת הרקיע הסמוכה לקרקע (ראה תמונה 1), זהו תחילת הלילה לשיטת רבי יהודה בברייתא.



תמונה 1: 'הכסיף העליון'..

¹ המקור במשנה, לתלות המצווה בזמן- יום או לילה, מופיע במסכת מגילה פרק ב', משניות ה' ו'.
² שולחן ערוך או"ח ס' רלה' סעי' א'- "זמן קריאת שמע בלילה משעת יציאת שלשה כוכבים קטנים...".
³ פסחים צ: - "כדתניא כל חייבי טבילות ביום נדה ויולדת טבילתן בלילה דתניא יכול תהא טובלת מבעוד יום תלמוד לומר [ויקרא טו-טז] שבעת ימים תהיה בנדתה תהא בנדתה כל שבעה ויולדת איתקש לנדה", אומנם זבה מדין תורה מותרת לטבול ביום השביעי.
⁴ שו"ע או"ח ס' רסא' בדין כניסת השבת וסוגיית בין-השמשות (עיין לקמן פרק בין השמשות), ובס' רצג' סעי' ב'-עד שיראו ג' כוכבים קטנים (נרחיב על כך בהמשך); צ"ע מדוע בכניסת השבת בס' רסא' השו"ע נקט שזמן הלילה נקבע ע"פ מהלך שלשת רבעי מיל, ואילו ביציאת השבת, ע"פ ראיות ג' כוכבים קטנים.
⁵ להלכות מילה ישנן שתי השלכות: האחת ביום השמיני (וכן במילה דחווה)- יש למולו ביום ולא בלילה (שו"ע יו"ד ס' רסב' סעי' א' בדין מילה בלילה עיין ברמ"א ובש"ך שם ובס' רסד'), והשנייה מתי יחול יום השמיני ללידתו, כאשר נולד אחר השקיעה קודם הלילה, ומה הדין אם נולד בליל שבת (שו"ע יו"ד רסב' סעי' ד-ה-ו).
⁶ שו"ע או"ח ס' תפ"ט סעי' א'-ב', וראה עוד, בבאור הלכה ד"ה וכן ראוי לעשות.
⁷ ראה לקמן. תחילת הלילה ההלכתי לא מופיע בדברי המשנה אך מרומז בתוספתא ברכות פ"א א'- ש'צאת-הכוכבים', הינו הזמן התחלתי של קריאת שמע של ערבית, אומנם תחילת היום בהלכה מקורה במשנה במגילה פ"ב מ"ד, המתחיל בהנף החמה.

ב. מצב אסטרונומי, מובא בברייתא במסכת שבת (לה:): "אמר רב יהודה אמר שמואל:

כוכב אחד - יום, שנים - בין השמשות, שלשה - לילה... אמר רבי יוסי: לא כוכבים גדולים הנראין ביום, ולא כוכבים קטנים שאין נראין אלא בלילה, אלא בינונים". יציאת שלשה כוכבים בינוניים, מציינים לילה.⁸

המאירי⁹ בפירושו למסכת שבת כותב, שהגמרא הוסיפה את הגדרת לילה כ'צאת-הכוכבים', ולא הסתפקה בתיאור מצב הרקיע-השחרת הרקיע העליון, כיוון שרוב האנשים מתקשים להבחין בדיוק מתי משתווה הרקיע העליון בשחרותו לרקיע התחתון, ולכן נתנה הגמרא את הסימן הנוסף 'צאת הכוכבים'.

ג. תיאור זמן-הזמן השלישי, בשונה משתי ההגדרות הקודמות, הנקבעות על פי רגע נתון תוך צפייה בהשתנות מצב הרקיע או בצאת הכוכבים, מובא במסכת פסחים (צד.) שרגע התחלת הלילה ההלכתי, מוגדר כשיעור הזמן¹⁰ הדרוש לאדם להלך ארבעה¹¹ מילין¹²⁻¹³ מרגע השקיעה¹⁴, "רבי יהודה אומר... משקיעת החמה ועד צאת הכוכבים ארבעת מילין..."¹⁵, "לשיטת רבי יהודה¹⁵ רק כעבור שיעור זמן הליכה זה¹⁶, יגיע זמן צאת הכוכבים.

פוסקי ההלכה, הגדירו את תחילת הלילה כמצב אסטרונומי-כיציאת שלשה כוכבים. החל מהרמב"ם בהלכות קריאת שמע¹⁷, שבת¹⁸, קידוש החודש¹⁹ ותרומות²⁰, ועד לפסיקת השולחן ערוך בהלכות ק"ש וערבית²¹, שבת²², ספירת העומר²³, תענית²⁴ ומילה²⁵.

⁸ אומנם בירושלמי ברכות פרק א' הלכה א', מובאת שיטת רבי יעקב דרומנה בשם רבי יהודה בן פזי - כוכב אחד ודאי יום, שנים לילה ולית ליה ספק.

⁹ מאירי (בית הבחירה) על מסכת שבת לד: "ומתוך שאין הכספת עליון ותחתון ניכרת להמון נתן להם סימן בראיית שלשה כוכבים בינוניים".

¹⁰ ראה עוד מסכת שבת לה., לתיאור זמן נוסף של צאת הכוכבים לשיטת רבי נחמיה.

¹¹ לשיטת רבי יהודה, אומנם הגמ' מביאה שלשיטת רבי יוחנן ישנם ה' מילין- אך שיטה זו נדחתה בגמרא (פסחים צד.).

¹² ראה "מדות ושיעורי תורה בפירוש המשנה לרמב"ם" לרב ד"ר פיקסלר דרור, שמיל הינה מידת אורך ומידת זמן.

¹³ בשיעור 'מיל' ישנם ג' שיטות שונות. ראה לקמן הערה 30.

¹⁴ שיטה נוספת הדומה לסוגיא זו מובאת בברייתא שהוזכרה במסכת שבת לד: שיטתו של רבי נחמיה ששיעור בין השמשות הינו מהלך חצי מיל ופירש רש"י (ד"ה חצי מיל) שבסיומו הוא לילה.

¹⁵ בשיטת רבי יהודה בסוגיא זו, ישנה סתירה. במסכת פסחים סובר רבי יהודה ששיעור זמן זה הינו ד' מילין, ואילו במסכת שבת (הובא לעיל), שיעורו שלשת רבעי מיל. הגאונים תירצו קושיא זו, בכך שרבי יהודה חזר בו משיטתו במסכת פסחים, ודברי הגמרא בשבת עיקר להלכה לשיטת רבי יהודה. אומנם רבינו תם (מובא בר"ן על מסכת שבת דף טו. מדפי הרי"ף), יישב זאת בכך שישנם שתי שקיעות. השקיעה האמורה במסכת שבת, הינה השקיעה השנייה, משקיעה ברקיע ומזמן זה יש למנות מהלך ג' רבעי מיל, ואילו הגמרא במסכת פסחים דנה בשקיעה הראשונה, מרגע שנכנסה החמה ברקיע ועד לשקיעה השנייה, שהיא סוף השקיעה שיעורו מהלך ג' מילין ורבע, ואחריו מתחיל זמן בין-השמשות, (המובא במסכת שבת) שלשת רבעי מיל שבסיומם צאת-הכוכבים.

¹⁶ שיעורו 72 דקות.

¹⁷ פ"א הל' ט'.

¹⁸ פ"ה הל' ד'.

¹⁹ קידוש החודש פ"ב הל' ט' 'ראוהו בית דין עצמן בסוף יום תשעה ועשרים, אם עדיין לא יצא כוכב בליל שלשים, בית דין אומרים מקודש שעדיין יום הוא, ואם ראוהו בליל שלשים אחר שיצאו שני כוכבים, למחר מושיבין שני דינין אצל אחד מהם ויעידו הם השנים בפני השלשה ויקדשוהו השלשה'.

זמן זה, של 'צאת-הכוכבים', מתחיל עוד לפני ששוררת בחוץ חשכה מוחלטת. הראות שלשה כוכבים 'בינוניים'²⁶, המופיעים במסכת שבת (לה:), הינם הכוכבים הראשונים שניתן לראות אחרי שקיעת השמש.

לאורך הדורות, רבים מחכמי ישראל²⁷, עסקו בסוגיית בירור זמן צאת הכוכבים, תוך עריכת תצפיות שונות ורישומים, על מנת לקבוע את תנאי הראות האופטימאליים ואת זמן תחילת הלילה.

יש הטוענים²⁸, שלא ניתן לראות בעין בלתי מצוידת, כוכבים לפני 24 או 30 דקות מהשקיעה. בעקבות טענה זו, ערך הרב יעקב גרשון וייס בירושלים²⁹, בשנים ה'תשנ"ו-ה'תשנ"ט, תצפיות ללא אמצעים, לעבר כוכבים הנראים אחר שקיעת החמה. מסקנתו העיקרית של הרב וייס מהתצפיות, שברוב הלילות נראו שלשה כוכבים לפני סוף זמן מהלך שלשת רבעי מיל משקיעת החמה³⁰, והיו ימים שבהם נצפו הכוכבים כעבור 11.5 דקות, זמן קרוב יותר לשיטת רבי נחמיה, חצי מיל מהשקיעה (שבת לד:).

הרב חיים פ.בניש, מחבר הספר הזמנים בהלכה³¹, כותב בשם ספר אור היום, שצאת הכוכבים נקבע דווקא ע"י בני אדם הבריאים בעיניהם, ורואים מרחוק היטב, ולא לפי

²⁰ הלכות תרומות פ"ז הל' ב' אין הטמאים אוכלין בתרומה עד שיעריב שמשן ויצאו שלשה כוכבים בינוניים וזה העת כמו שליש שעה אחר שקיעת החמה... הרמב"ם מדגיש בהלכה זו, ששיעור זמן זה, של הופעת ג' כוכבים בינוניים - כ-20 ד' משקיעת החמה.

²¹ או"ח סי' רל"ה סעי' א' "זמן קריאת שמע בלילה משעת יציאת שלשה כוכבים קטנים..." וביאר הט"ז ש"שלשה כוכבים קטנים" בבית יוסף כתב 'בנונים', וכיון שאין הכל בקיאים בין בינונים לקטנים צריך לזהר עד שיראו הקטנים. אומנם מסיים הט"ז: שבס"י תקס"ב לענין תענית כתב רמ"א בינונים וצ"ל דבתענית לא הטריחו כולי האי.

²² או"ח סי' רצ"ג סעי' ב' "צריך לזהר מלעשות מלאכה עד שיראו ג' כוכבים קטנים, ולא יהיו מפורזים אלא רצופים..."

²³ או"ח סי' תפ"ב סעי' ב'.

²⁴ או"ח סי' תקס"ב סעי' א' - לזמן סיום התענית. אומנם השו"ע כתב רק צאת הכוכבים אך בהגה כתב בשם הגהות אושרי היינו שיראו ג' כוכבים בינוניים והוסיף הגדרה אסטרונומית 'או שהלבנה זורחת בכח ותאיר על הארץ'.

²⁵ יו"ד סי' רס"ב סעי' ה' וסעי' ו'. בסעי' ה' כתב השו"ע, 'כוכבים קטנים מאד' - ועל פיהם יכול למחר(כעבור שבוע), אך אם הוא שבת אין לסמוך עליהם, אומנם בהלכה הבאה (סעי' ו') כתב שאם נראו ג' כוכבים בינונים, יש לסמוך עליהם שהוא לילה, אפילו שלמחרת שבת. - וקשה שהרי בגמרא שבת לה: שהובאה לעיל, היראות ג' כוכבים בינונים קודמת להיראות כוכבים קטנים, וביאר שם הש"ך בסק"ט "דוקא משום שהם קטנים מאד אין לסמוך עליהם למול בשבת אבל בכוכבים בינונים בסעיף שאח"ז (בסי' ו') יש לסמוך עליהם למול אפי' בשבת", מדברי הש"ך מתברר, שישנם כוכבים קטנים מאד, שנראים קודם הכוכבים הבינונים.

²⁶ התוכנים הקדמונים (הובא בהערת הרב יעקב גרשון וייס מירושלים - "תצפיות צאת הכוכבים", המעיין מח, עמ':

37-48 הערה 1) חילקו את קבוצות הכוכבים לשישה גדלים, הגדולים ביותר סווגו כגודל ראשון, והקטנים ביותר הנראים לעין רגילה סווגו כגודל ששי. הכוכבים המופיעים אחר השקיעה הם מסוג גודל 1. ראה בהרחבה להלן ברקע המדעי.

²⁷ 'בין השמשות' לרב יחיאל מיכל טוקצינסקי פרק ב' עמ' טו'; "דברי יוסף" לרב יהוסף שווארץ, פרק 'דרך מבוא השמש' עמ' מב', "אור היום" לרב אריה לייב ליפמאן עמ' ד'.

²⁸ הרי"ם טוקצינסקי והחזו"א, ראה הרב בניש הזמנים בהלכה עמ' תקיד.

²⁹ "תצפיות צאת הכוכבים", המעיין מח, ב טבת תשס"ח, עמ' 37-48.

³⁰ לגי השיטות השונות בשיעורי המיל - כד' דקות, כב' דקות ויח' דקות, שג' רבעי מיל הם 18 ד', 16 ד' ו7/8 13.5 ד' בהתאמה.

³¹ פרק מח, 'צאת הכוכבים' - מבוא עמ' תקא-תקב.

ראות האצטגנינים הרואים "בתחבולות החכמה", וכ"ש שלא בשימוש בכלי הבטה – משקפת וטלסקופ.

אומנם, בהמשך דבריו, מביא את דברי הרב שלמה זלמן אוירבך זצ"ל³², שעיקר קביעת זמן הראות כוכבים בינונים נתונה לבקיאים דווקא³³, שכן ראיית כוכבים בינונים מחייבת בקיאות כלשהיא בשמותם ובמיקומם של הכוכבים.

היחס ההלכתי לשימוש בכלים מדעיים

חישוב מדעי כבקרה לקביעה הלכתית³⁴

ישנם מישורים שבהם הדין נקבע על פי הגדרות הלכתיות ועם כל זה יש לברר את המציאות עד היכן שידינו מגעת. למשל בהלכות קידוש החדש³⁵ לרמב"ם: "בית דין מחשבין בחשבונות כדרך שמחשבים האצטגנינים שיוצעים מקומות הכוכבים ומהלכם, וחוקרים ומדקדקים עד שידעו אם אפשר שיראה הירח בזמנו שהוא ליל שלשים או אי אפשר...".

וכן בהמשך, כותב הרמב"ם³⁶, "בזמן שעושין על הראיה היו מחשבין ויוצעים שעה שיתקבץ בה הירח עם החמה בדקדוק הרבה כדרך שהאצטגנינים עושין כדי לידע אם יראה הירח או לא יראה", הואיל והחישוב המדעי הוכח כנכון הרי הוא משמש כאמת מידה לקבילות העדים, אבל חישוב זה אינו המכריע שעל פיו יתקדש החודש. קידוש החודש נעשה על פי שיקולים הלכתיים כך שראש חודש חל בקירוב בערך ביום שבו נראית הלבנה- על פי העדים.

מתי ההגדרה היא הלכתית גרידא ומתי יש לברר על פי המדע

כלל נקטו הפוסקים "לא ניתנה התורה למלאכי השרת", זאת אומרת, שהדרישה היא לשער את המציאות כפי יכולתם של בני אדם ואפילו בדורות הקדמונים. למשל, איסור

³² בספרו פסקי הסדור סדר הכנסת שבת. ומקורו מדברי האור זרוע ח"ב הל' מילה אות קב, בשם תשובת רבינו שמואל. ועיין עוד בהערה 36 בס' הזמנים בהלכה ח"ב עמ' תקב.

³³ וכתב בעל ערוך השולחן בס' רסא' סע' ד', שהיוצא להבדיל בין כוכב גדול לבינוני, רשאי לקרוא שמע של ערבית וקידוש.

³⁴ הרב נחום אליעזר רבינוביץ, "הערכה מדעית כיסוד לפסיקת הלכה".

³⁵ פ"א הל' ו'.

³⁶ פ"ו הל' א'.

שרצים ודאי שלא חל לפנים על חיידקים שאינם נראים לעיניים. ממילא גם היום, אף על פי שניתן לראותם במיקרוסקופ³⁷, עדיין מותרים הם כי מעולם לא נאסרו³⁸, כמו כן, ריבוע התפילין³⁹ הלכה למשה מסיני, וממלא תפילין של דורות הראשונים, אין לפסול בגלל שמדידה מיקרוסקופית מגלה שאינן מרובעות בדיוק. וכן כיוצא במצוות בהם נדרשת שימוש בכלים מדעיים. כמו כן, הגדרות תלויי מציאות כגון הגדרת מצב חולה לצורך חילול שבת או קביעת העדר חיים וכן זיהוי אדם ע"פ טביעות אצבע לצורך היתר עגונה, הכלים המדעיים נדרשים לברר את המציאות. אומנם, מושגים הלכתיים הבאים מגזרת הכתוב, כגון מאכלות אסורות, ומלאכות אסורות, ואיסורי חיתון ותשמישי קדושה ותשמישי מצוה וכיו"ב, למרות שהינם מתייחסים לחפצים גשמיים ומושגים שבמציאות, לא המאפיינים הגשמיים הם הקובעים את מהותם של המושגים ההלכתיים, אלא גדרי ההלכה בלבד. כך למשל, הגדרת מלאכה האסורה בשבת, לא נקבעת על פי הנקרא בפי בני אדם מלאכה, אלא על פי ההגדרה ההלכתית בלבד.

העולה מן האמור, שבמקום בו גדרי ההלכה מוגדרים ואינם תלויי מציאות, ההגדרה הינה הלכתית גרידא, אומנם במצבים בהם ישנה דרישה לבירור המציאות, יש לברר ע"פ המדע המצוי בידנו באותה התקופה.

מכח בירור זה, המחקר שלפנינו ניצב בפני סוגיא הדורשת בירור המציאות-הבטה אל הכוכבים בזמן נתון האם הגיע הרגע בו ניתן לצפות בכוכבים. וכאן מקומו של המחקר, הנעזר בכלים מדעיים העומדים לרשותנו כגון טלסקופ מצלמה ועיבוד הנתונים בתוכנת מחשב, הבאים לסייע לצופה – מתי יוכל לזהות את הכוכבים, בהבטה בעין ללא שום אמצעי.

³⁷ ראה עוד: מאמרו של הרב יגאל הדאיה, "בדיקת אתרוג בזכוכית מגדלת", אתר דעת, אלול תשנ"ה, <http://www.daat.ac.il/daat/kitveyet/emunat/06/00604.htm>.

³⁸ מתוך מאמרו של הרב נחום אליעזר רבינוביץ' הערה 29: ערוך השלחן יורה דעה פד, לו: "... שמעתי מפי אחד שהיה במרחקים וראה דרך זכוכית המגדלת עד מאד כרבות פעמים במים כל מיני ברואים. ולפי זה איך אנו שותים מים שהרי אלו הברואים נתהוו במקורם? אמנם האמת הוא דלא אסרה תורה במה שאין העין שולטת בו, דלא ניתנה תורה למלאכים, דאם לא כן הרי כמה חוקרים כתבו שגם כל האוויר הוא מלא ברואים דקים מן הדקים, וכשהאדם פותח פיו בולע כמה מהם ... אם כן הוא, כיון שאין העין שולט בהם לאו כלום הוא. אמנם במה שהעין יכול לראות אפילו נגד השמש, ואפילו דק מן הדק, הוא שרץ גמור." וראה גם תפארת ישראל עבודה זרה פרק ב בועז אות ג; ובינת האדם שער או"ה לד. ועיין גם בקונטרס אחרון לטוב טעם ודעת מה"ת על הל' טריפות להר"ש קלוגר ז"ל לסימן נז תשובה נג: "... דבדיקה לא שייך רק במה דאפשר הבדיקה לכל אדם". וראה גם "אגרות משה" לר"מ פיינשטיין ז"ל יו"ד חלק ב סימן קמו עמ' רמח.

³⁹ ראה עוד: גרשון אינגבר, "מדידות טכניות מול ראייה חזותית- ריבוע התפילין", תחומין ט עמ' 405-422.

כיפת השמיים (Celestial Sphere), העוטפת את כדור הארץ, הינה כדור דמיוני, בעל רדיוס אינסופי, שהצופה נמצא במרכזו וסביבו ממוקמים העצמים בשמיים. מכדור הארץ ניתן לראות בעין בלתי מצוידת כ-6000 כוכבים⁴⁰. האסטרונומים כיום, מכירים שמונים ושמונה **קבוצות** כוכבים, לעומת ארבעים ושמונה כוכבים, שהיו מוכרים בימי היוונים הקדמונים⁴¹. אמצעים אופטיים מגדילים את המספר ללא ערך ושיעור⁴². הכוכבים המאירים נחלקים לשתי קבוצות: א. כוכבים המפיקים אור עצמי. ב. כוכבים המחזירים את אור השמש.

הכוכבים המפיקים אור עצמי מכונים 'כוכבי שָׁבֵת'⁴³. במרכזו של כל כוכב שבת מתרחשים תהליכים גרעיניים אשר משחררים אנרגיה, ואנרגיה זו נפלטת מהכוכב בין השאר בצורה של אור. אורם של כוכבי השבת מגיע אלינו ממרחקים גדולים מאוד. מרחקים אלו נמדדים ביחידות של שנת אור⁴⁴. הכוכבים אותם אנו רואים בלילה בעין בלתי מצוידת מצויים במרחק של עשרות, מאות ואף אלפי שנות אור. גם השמש עצמה היא כוכב שבת.

הכוכבים המחזירים את אור השמש מכונים כוכבי לָכֶת (פלנטות). יחסית לכוכבי השבת הם קרובים מאוד לכדור הארץ. הם לא פולטים אור עצמי, ואילו הם לא היו מחזירים את אור השמש לא היינו יכולים לראות אותם. במערכת השמש ישנם שמונה כוכבי לכת שמתוכם, חמישה ניתן לראות בעין בלתי מצוידת: כוכב חמה, נוגה, מאדים, צדק ושבתאי. אורנוס (המכונה בעברית 'אורון') מצוי על סף הראייה בעין. לראיית נפטון, דרוש טלסקופ קטן או משקפת. מלבד כוכבי הלכת הנזכרים מצויים במערכת השמש גם כוכבי לכת קטנים ואסטרואידים. כל העצמים הללו נראים מכדור הארץ רק בגלל החזרת האור של השמש.

⁴⁰ אתר מצפה הכוכבים ברקת - <http://www.bareket-astro.com/observing-the-universe-cosmos/astronomy-middle-east-israel-hebrew.html>

⁴¹ "צפונות היקום" עמ' 19.

⁴² בגלקסיה שלנו ישנן כמאה מיליארד כוכבים, "צפונות היקום" עמ' 61.

⁴³ טבלת הכוכבים הבהירים ב-ESA, <http://www.rssd.esa.int/index.php?project=HIPPARCOS&page=brightest>

⁴⁴ שנת אור אחת שווה לכ-9461 מיליארד קילומטרים.

מקורות המידע התצפיתי

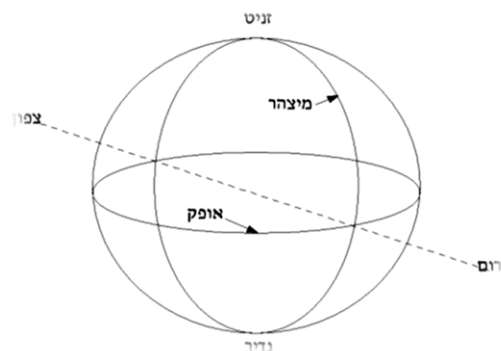
רוב המידע התצפיתי האופטי⁴⁵, על אודות כוכבים מתקבל משלשה סוגים עיקריים של תצפיות אסטרונומיות: א. אסטרומטריה. ב. פוטומטריה. ג. ספקטרוסקופיה.

אסטרומטריה

האסטרומטריה עוסקת בקביעת מיקומיהם של כוכבים על פני כיפת השמים, ומדידת תנועותיהם.

ישנן שתי דרכים לציין את מיקומו של כוכב על פני כיפת הרקיע. האחת, מערכת צירים שמרכזה הצופה, והשנייה מערכת צירים הקשורה לכוכבים.

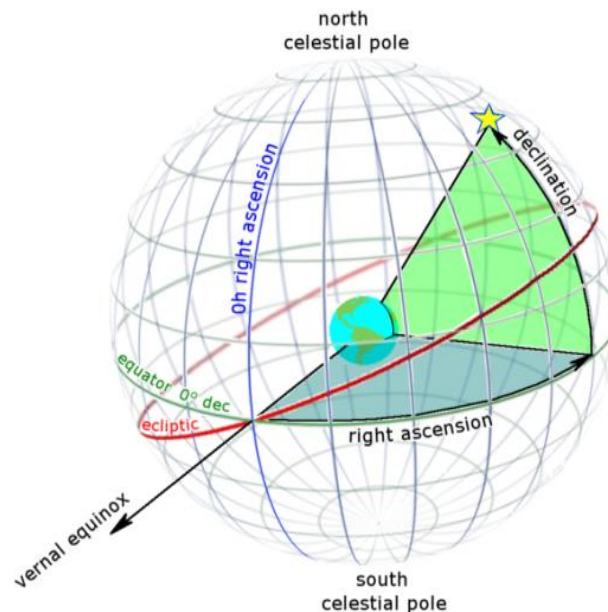
למערכת הצירים הסובבת את הצופה⁴⁶, ישנן נקודות ציון הממפות את כיפת השמים. ראשית, עלינו לקבוע את הצפון על פי כוכב הצפון, כיוון מזרח יהיה 90° ימינה מהצפון כיוון דרום יהיה 180° ימינה מהצפון, וכיוון מערב יהיה 270° ימינה מהצפון. המעגל הדמיוני המפריד בין החצי הנראה של השמיים לחצי הלא נראה לעין הצופה, נקרא האופק (Horizon). הנקודה השמימית (איור 1) הנמצאת מעל ראש הצופה נקראת 'זניט' (Zenith) גובהה 90° ביחס לאופק. כנגדה, הנקודה השמימית הממוקמת בעברו השני של הכדור, מתחת רגלי הצופה, נקראת 'נדיר' (Nadir). מצהר (Meridian) הוא המעגל הגדול שמחבר בין צפון לדרום ועובר דרך הזניט. המצהר מחלק את כיפת השמיים לחלק מערבי וחלק מזרחי.



איור 1: נקודות ציון על הכדור השמימי

⁴⁵ מקצה השמים עמ' 105.
⁴⁶ החיסרון של השיטה זו, בכך שמיקום גרמי השמיים משתנים עם הזמן ביחס לסיבוב כדור הארץ.

במערכת הצירים הקשורה לכוכבים, הנקראת מערכת הקורדינאטות השמימית המשוונית או קורדינאטות משווניות, רוב הכוכבים אינם משנים את מיקומם היחסי⁴⁷. מערכת זו, דומה למערכת השיעורים של כדור הארץ (המורכבת מקווי אורך ורוחב). לכדור שמימי זה, ישנו קוטב שמימי צפוני (North Celestial Pole) וקוטב שמימי דרומי (South Celestial Pole) (איור 2).



איור 2: נקודות ציון בכיפת השמיים

בדומה לקווי האורך והרוחב הגיאוגרפי של כדור הארץ⁴⁸, קיימות קווי אורך ורוחב במערכת הצירים השמימית- היוצרים את הקורדינאטות השמימיות (Celestial Coordinates). מערכת זו, משמשת לציון מיקומם של עצמים על פני כיפת הרקיע. קווי האורך במערכת המשוונית השמימית נקראים עלייה ישרה (Right Ascension), וקווי הרוחב נקראים נטייה (Declination)⁴⁹.

קווי הרוחב השמימיים - נטייה מחולקים למעלות (360°), כך ש 0° הינו קו המשווה השמימי והקטבים נמצאים ב 90° צפונה ודרומה ממנו. כיוון צפון מסומן בפלוס (+),

⁴⁷ הכוכבים שבכל זאת משנים את מיקומם, עושים זאת בקצב אטי ביותר. צפונות היקום עמי' 25.
⁴⁸ המרכיבות את הקורדינאטות ארציות (Terrestrial Coordinate) - קווי רוחב הם מעגלים מקבילים לקו המשווה (0°), וקווי אורך העוברים מקוטב צפוני לקוטב דרומי סביב כדור הארץ. קווי הרוחב וקווי האורך מחולקים למעלות.
⁴⁹ סימונים מוסכמים: לעלייה הישרה הם- עלייה, R.A., ו- α . לנטייה הם- Dec, ו- δ .

וכיוון דרום במינוס (-). יש לציין, שכל מעלה מחולקת ל-60 דקות קשת, וכל דקה מחולקת ל-60 שניות קשת.

קווי האורך השמימיים- עליה ישרה, בשונה מקווי האורך הארציים (המחולקים למעלות), נחלק ל-24 שעות (מ-0 עד 23). בדומה לקווי הרוחב, גם קווי האורך מחולקים ל-60 דקות, וכל דקה ל-60 שניות, יש להדגיש שוב, שהדקות והשניות במידת נטייה הינם במעלות, בעוד הדקות והשניות בעליה ישרה הן מידות זמן.

על מנת להגדיר קו אורך אפס, יש להגדיר מעגל נוסף הנקרא מישור המילקה (Ecliptic). מישור זה, מתאר את מסלול השמש על פני כיפת הרקיע. מישור המילקה נטוי בזווית של 23.5° (23.44°), ביחס לקו המשווה השמימי. מישור המילקה חותך את קו המשווה השמימי בשתי נקודות הקרויות נקודות השוויון. הנקודה שבה השמש חוצה את קו המשווה מדרום לצפון נקראת נקודת שוויון האביב (Vernal Equinox) ואילו הנקודה שבה חוצה השמש את קו המשווה מצפון לדרום נקראת נקודת שוויון הסתיו (Autumnal Equinox). קו אורך אפס מוגדר ע"י הקו המחבר את הקטבים ועובר דרך נקודת שוויון האביב⁵⁰.

מדידת מרחקים באסטרונומיה

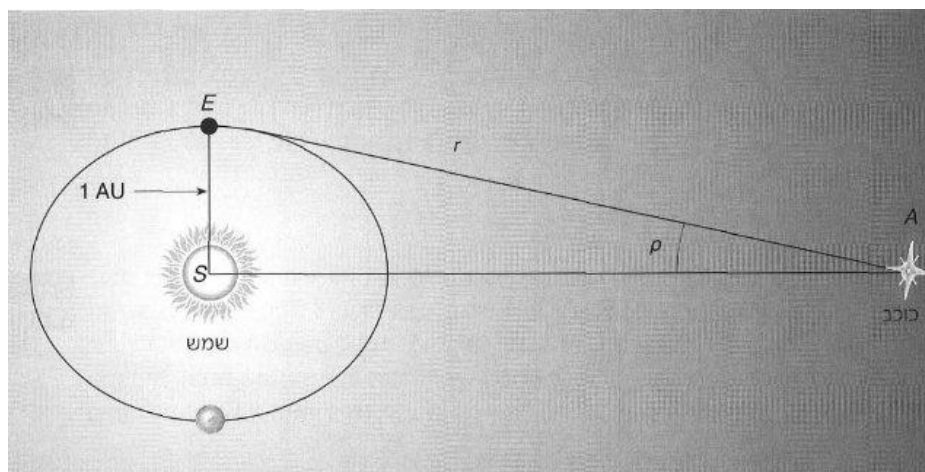
1. שיטת הפרלקסה (שיטת הטריאנגולציה).

2. שימוש ב"נרות תקניים".

שיטת הפרלקסה⁵¹ היא התזוזה הזוויתית הנראית (על פני כיפת השמיים) של עצם שמימי, כאשר הוא נצפה בין שתי נקודות מרוחקות. נבנה משולש דמיוני, שבסיסו הינו שתי נקודות הנמצאות במסלול כדור הארץ הנע סביב השמש (בהפרש של חצי שנה בין צפייה לצפייה)- אורכו⁵² כ-300 מיליון ק"מ (קוטר הסיבוב של כדור-הארץ סביב השמש), והקדקוד השלישי, הינו הכוכב שמודדים את מרחקו (ראה איור 3). בעת הצפייה בכוכב הנתון משתי הנקודות בכדור הארץ בהפרש של חצי שנה, ניוכח בתזוזה של השלכת הכוכב על רקע הכוכבים הרחוקים יותר. שינוי זה הינו הפרלקסה של הכוכב. ככל

⁵⁰ נקודת שוויון האביב עוברת במצפה של גריניץ' בשעה 12:00 בצהריים ביום שוויון האביב (21 למרץ).
⁵¹ נמדד לראשונה ע"י פרידריך בסל בשנת 1838. שיטה זו המוכרת בשם טריאנגולציה, הייתה ידועה ליוונים הקדמונים.
⁵² נתייחס למרחק הממוצע של כדור הארץ מהשמש.

שהכוכב רחוק יותר, הפרלקסה שלו קטנה יותר. קביעת המרחק אל כוכב על סמך זווית הפרלקסה וקוטר מסלול כדור הארץ סביב השמש, שקולה למציאת הארוך של תיכון במשולש שווה-שוקיים כאשר ידועים אורך הבסיס והזוויות שלידו.



איור 3 : מדידת מרחק באמצעות פרלקסה

שימוש ב"נרות תקניים"

שיטה נוספת היא שיטה המתבססת על מדידת מרחק באמצעות מדידת עוצמת האור הנראית של עצם רחוק שאת עוצמת האור הנפלטת ממנו אנו יודעים. עצמים כאלו שאת בהירותם האמתית (הקרויה גם בהירות מוחלטת- ידון בהמשך) אנו יודעים קרויים "נרות תקניים" (נרות סטנדרטים). מאחר ואנו יודעים כי עוצמת האור דועכת עם ריבוע המרחק, אזי ממדידת עוצמת האור הנראית ומידעת הבהירות המוחלטת אנו יכולים לחשב את המרחק לנר התקני.

יחידות מרחק באסטרונומיה

כפי שראינו בשיטת הפרלקסה, המרחק הממוצע של כדור הארץ מהשמש (הרדיוס) הינו 148,597,870 ק"מ- נקרא יחידה אסטרונומית (Astronomical Unit- AU). יחידת מרחק הנגזרת מיחידה אסטרונומית הנקראת פרסק⁵³ (Parsec-pc). יחידה זו מוגדרת כמרחק אל כוכב דמיוני שהפרלקסה שלו הוא שניית קשת אחת בדיוק.

$$1 \text{ pc} = 206265 \text{ AU} = 3.06 \cdot 10^{13} \text{ km}$$

⁵³ המילה פרסק מורכבת מצירוף פרלקסה וסקונדה (שנייה).

יחידת מרחק נוספת נקראת שנת אור (light year-ly). יחידה זו הינה המרחק שעובר האור במשך שנה אחת. מהירות האור היא 300 אלף ק"מ לשנייה, מכאן ששנת אור אחת היא : $1 \text{ ly} = 9.46 \cdot 10^{12} \text{ km}$

	kilometres (km)	Astronomical units (AU)	Light Years (l.y.)	Parsec (pc)
kilometres (km)	1	149.6 million	9,460,000,000,000	30,857,000,000,000
Astronomical units (AU)	0.0000000067	1	63,240	206,263
Light Years (l.y.)	0.00000000000011	0.000016	1	3.2616
Parsec (pc)	0.000000000000033	0.0000048	0.3066	1

טבלה 1: סיכום המרת מרחקים באסטרונומיה

פוטומטריה

מדידת כמות האור המתקבלת מהכוכבים.

בהירות הכוכב (Luminosity)

בהירות הכוכב הינה סך כל האנרגיה הנפלטת משטח פני הכוכב בכל אורכי הגל. הבהירות מחושבת על פי הקשר הבא: $L = 4\pi R^2 F$. כאשר R הינו המרחק (בפרסק) ו- F שטף הכוכב-כמות האנרגיה ליחידת שטח וליחידת זמן, המגיעה מן הכוכב.

בהירות הכוכב נבדיל בין גודל נדמה לגודל מוחלט. גודל נדמה הינו בהירות הכוכב כפי שנצפה לעין. עוצמת האור שאנו רואים בפועל (בעין הצופה), נקראת גודל הכוכב (apparent magnitude מסומן ב-m). מאידך, גודל מוחלט (absolute magnitude - מסומן ב-M) מתקבל מ'העמדתם' המדומה של כל הכוכבים במרחק אחיד - 10 פרסק, על מנת להשוות בניהם. כאשר נתון גודל מדומה m , ומרחק r מהכוכב, ניתן למצוא את

$$M = m - 5 \log r + 5 \quad \text{כך: } M = m - 5 \log r + 5$$

⁵⁴ דוגמא לכך, מציאת M של השמש כאשר נתון $m = -26.8$ ו $r = 5 \cdot 10^{-6}$ אזי $M = -26.8 - 5 \log(5 \cdot 10^{-6}) + 5 = 4.7$.

ההבחנה בין כוכבים בהירים לכוכבים בהירים פחות, נקבע על פי סולם גדלים שהייתה ידועה מתקופת היוונים. האסטרונום נורמן פוגסון (1856) הגדיר את סולם הבהירות האסטרונומית כסקלה לוגריתמית. הסיבה לכך היא, שהעין האנושית רגישה לאור באופן לוגריתמי, וכל מדידות-הבהירות שנעשו עד אותה תקופה, נעשו באמצעות העין. בסקלה של פוגסון כוכב בדרגת בהירות 1 בהיר פי 100 בדיוק מכוכב בדרגת בהירות 6. משמעות הדבר היא, כוכב בדרגת בהירות 1 בהיר פי שורש חמישי של 100 ($\sqrt[5]{100} \approx 2.5118864$) מכוכב בדרגת בהירות 2. הכוכב וגה בקבוצת הכוכבים נבל, נקבע כבעל בהירות 0 ושאר הכוכבים מתייחסים על פי בהירותו. איפוס זה גרם שישנן כוכבים שהבהירות שלהם שלילית, כגון כוכב הלכת הבהיר ביותר נוגה (-4) וכוכב השבת הבהיר ביותר סיריוס (-1.5) - ראה טבלה 2.

האפשרות⁵⁵ להבחין בעין בכוכב, תלויה בבהירות הכוכב, בבהירות השמים ובאזור בו נמצא הכוכב. בצפייה בעין ללא כל אמצעי, ניתן לראות עד רמת בהירות 6 - 6.5 כתלות ברגישות העין ובבהירות השמים.

גודל - m	גרמים שמימיים
-26.5	שמש
-12.5	ירח מלא
-4	נוגה (Venus) בשיא הזוהר
-2	צדק (Jupiter), מאדים (Mars) בשיא הזוהר
-1.5	סיריוס (Sirius)
1.0	הכוכב אלטאיר (Altair)
גבולות רגישות	
6.5	עין לא-מצוידת
10	משקפת בינונית
13	טלסקופ 15 ס"מ
20	ראייה באמצעות טלסקופ 5.0 מ'

טבלה 2: גודלים של כמה מגרמי השמיים וגבולות הרגישות השונים

⁵⁵ מתוך המאמר של רוי עמנואל הופמן וטוביה כאץ, "חיזוי זמן הופעת הירח החדש".

ספקטרוסקופיה

ספקטרוסקופיה היא חקר הכוכבים באמצעות ניתוח הספקטרום- דהיינו האור, שהם מפיקים- עוצמת הארת הכוכבים כתלות באורך הגל. עוצמת הקרינה באורכי הגל השונים מצולמים, מתועדים ומתורגמים בעזרת מחשב לכדי גרף המציג את הרכבו הכימי של הכוכב.

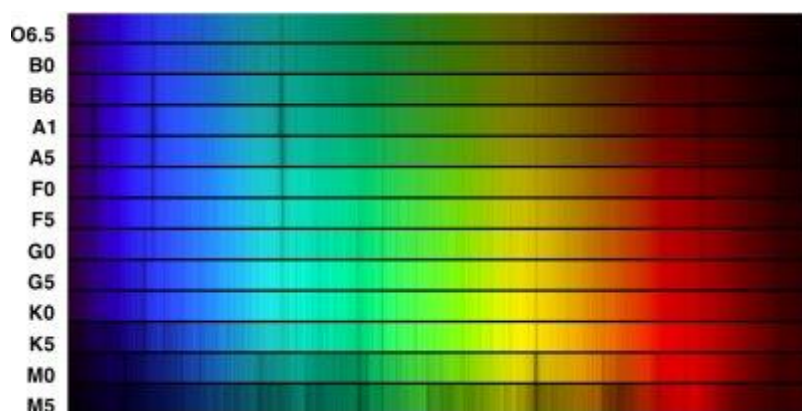
האור הלבן הוא תערובת של אורכי גל שונים. ספקטרום הצבעים שעין האדם מסוגלת לקלוט משתרע מן האדום (בעל אורך גל הגדול ביותר) דרך כתום, צהוב, תכלת וכחול, אל הסגול - בעל אורך הגל הקטן ביותר.

רוב הידע שלנו על כוכבים הושג באמצעות ספקטרוסקופיה.

סיווג ספקטרלי של כוכבים

את הכוכבים ניתן לסווג על פי ספקטרום הקרינה ועל פי עוצמתה. ספקטרום זה, מתקבל מצילום הכוכבים. המפתח למיון כוכבים על פי טיפוסים ספקטראליים הוא הטמפרטורה⁵⁶ הקיימת על פני הכוכב. הכוכבים חולקו לשבעה קבוצות O,B,A,F,G,K,M. כל קבוצה נקראת טיפוס ספקטרלי, ראה איור 4.

טיפוס זה, נחלק לעשר תתי יחדות : ...A0,B9...B0,B9...O0,O1,O2,O3...



איור 4 : סדרה של קווים ספקטראליים המתקבלים מכוכבים בעלי טמפרטורה של 3000°K-50000°K.

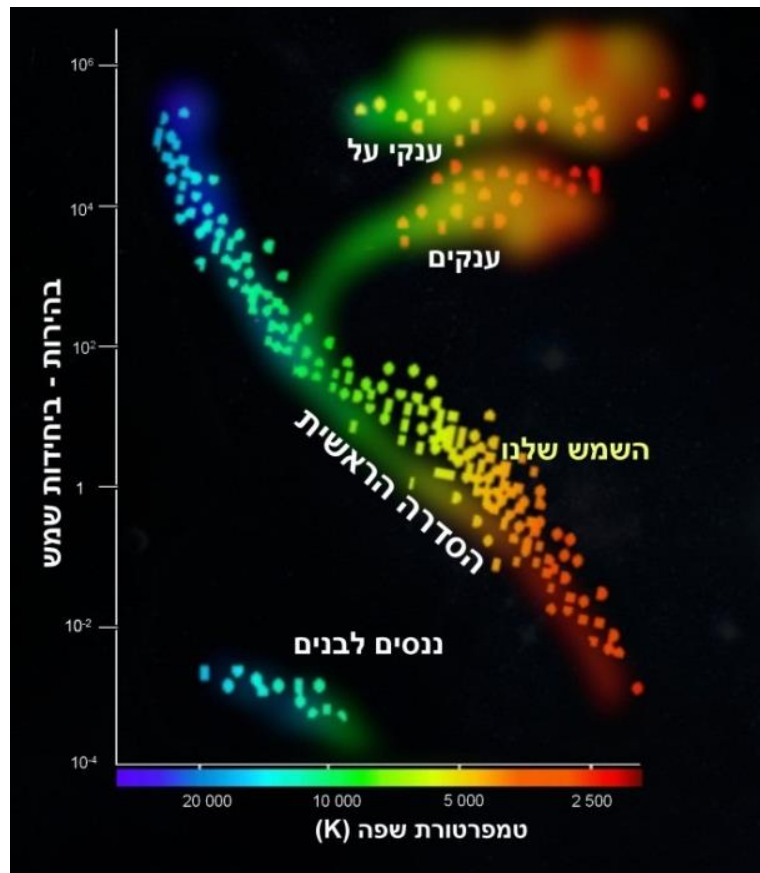
⁵⁶ במאה ה-19 הניחו האסטרונומים שהסיבה להבדל הניכר בין הכוכבים טמון ביסודות השונים הנמצאים בכוכבים.

להלן מוצגים הטיפוסים השונים וחלוקתם ע"פ צבע וטמפרטורה במעלות קלווין.

Type	Color	Temperature [°K]	Examples
O	Blue	> 25,000	10 Lacertra
B	Blue	11,000 - 25,000	Rigel Spica
A	Blue	7,500 - 11,000	Sirius Vega
F	Blue to White	6,000 - 7,500	Canopus Procyon
G	White to Yellow	5,000 - 6,000	Sun Capella
K	Orange to Red	3,500 - 5,000	Arcturus Aldebaran
M	Red	< 3,500	Betelgeuse Antares

דיאגרמת הרצשפרונג-ראסל (HR)

בשנת 1913 פיתחו שני אסטרונומים, איינר הרצשפרונג והנרי נוריס (בנפרד), גרף המראה את הקשר שבין הבהירות המוחלטת של אוסף כוכבים נתון לבין הטמפרטורה שלהם. הדיאגרמה בנויה כדלהלן (ראה איור 5 וראה עוד באיור 21 בעמוד 54). בציר האופקי מוצגת הטמפרטורה (הטיפוס הספקטרלי) – ערכי הטמפרטורה מוצגים בסדר עולה, מימין לשמאל. הציר האנכי- ציר בהירות הכוכב, יחסית לבהירות השמש (כלומר $L/L(\text{sun})$). ערכי ציר זה נעים בין 10^{-4} לבין 10^4 . הכוכבים הבהירים ימצאו בחלק העליון של הגרף, והחיוורים ביותר בחלקו התחתון. הכוכבים החמים ביותר (מטיפוס O,B), ימצאו בצדו השמאלי, ומאידך הכוכבים הקרים ביותר (מטיפוס M) נמצאים בחלקו הימני.



איור 5 : דיאגרמת הרצשפרונג-ראסל HR

כפי שניתן לראות, הכוכבים אינם ממלאים את שטח בדיאגרמה באופן שווה, ישנם ריכוזי כוכבים באזורים מסוימים. הקבוצה הבולטת הכוללת את רוב הכוכבים מתחילה בפינה השמאלית העליונה ומסתיימת בפינה הימנית התחתונה. רוב הנקודות בגרף (כולל השמש), מרוכזות בקבוצה זו. קבוצה זו נקראת **הסדרה הראשית**. הכוכבים בסדרה הראשית המרוכזים בפינה הימנית התחתונה הם קרים וחיוורים- בעלי טמפרטורה נמוכה ורדיוס קטן, נקראים ננסים אדומים. לעומתם, הכוכבים המרוכזים בפינה השמאלית העליונה הם חמים, בהירותם גבוהה ורדיוסם גדול והם נקראים ענקים כחולים. הקבוצה השנייה בדיאגרמה נמצאת בחלק הימני העליון. כוכבים אלו קרים אבל בהירים מאוד. הרדיוס שלהם גדול פי 10 ועד פי 100 מרדיוס השמש, והטמפרטורה שלהם נמוכה יחסית 3000K-4000K. הם נראים בצבע אדום. כוכבים אלו נקראים **ענקים אדומים**⁵⁷. כוכבים קרים נוספים, בעלי בהירות גבוהה יותר, (רדיוסים גדולים יותר) נקראים **על-ענקים**.

⁵⁷ דוגמא לכוכבים בקבוצה זו, אלדברן מקבוצת שור, וארקטורוס מקבוצת רועת הדובים.

הקבוצה השלישית נמצאת בפינה השמאלית התחתונה. כאן הכוכבים חמים מאוד, אך בהירותם נמוכה מאוד והרדיוס שלהם קטן מאוד. הם נקראים **ננסים לבנים**⁵⁸.

במשך הזמן נוספו נתונים ספקטרליים של כוכבים רבים, ונמצא שישנם כוכבים שבהירותם שונה אך צבעם זהה- כלומר בעלי אותה טמפרטורה. מצב זה מעיד שלכוכבים אלו ישנם רדיוסים שונים ולכן אי אפשר למיין כוכבים רק לפי הטמפרטורה, כלומר לפי סיווג ספקטרלי, אלא ישנו צורך במיון נוסף- מפורט יותר. מורגן (W.W.Morgan) פיתח שיטה לחלוקת הכוכבים בכל סוג ספקטרלי ל-6 מחלקות המכונות סוגי הזוהר:

Ia- על-על-ענקים

Ib- על-ענקים

II- ענקים בהירים

III- ענקים

IV- תת-ענקים

V- ננסים- כוכבי הסדרה הראשית

סוג נוסף הנמצא מתחת לסדרה הראשית VI- תת-ננסים.

דוגמא לשימוש בחלוקה זו- השמש מסווגת כ: G2V.

לסיכום החלק התצפיתי, מובא⁵⁹ להלן טבלה 3 המציגה את 21 הכוכבים הבהירים ביותר. הטבלה כוללת את: מיקום בכיפת השמיים, סיווג ספקטרלי, גודל נראה, גודל מוחלט ומרחק.

⁵⁸ הצפייה בקבוצה זו מתאפשרת רק באמצעות טלסקופ.
⁵⁹ מתוך "The Brightest Stars" עמ' 255.

Star	RA (2000)	Declination (2000)	Spectral Type	Apparent Magnitude	Absolute Magnitude	Distance (in light-years)
Sirius	06h 45m	-16.7°	A1V	-1.44	1.45	8.60
Canopus	06h 24m	-52.7°	F0Ib	-0.62	-5.53	310
Alpha Centauri	14h 40m	-60.8°	G2V+K1V	-0.27 ^a	4.08	4.39
Arcturus	14h 16m	+19.2°	K2III	-0.05	-0.31	36.7
Vega	18h 37m	+38.8°	A0V	0.03	0.58	25.3
Capella	05h 17m	+46.0°	G5III+G0III	0.08	-0.48	42
Rigel	05h 15m	-8.2°	B8Ia	0.18	-6.69	770 ^b
Procyon	07h 39m	+5.2°	F5IV-V	0.40	2.68	11.4
Achernar	01h 38m	-57.2°	B3V	0.45	-2.77	144
Betelgeuse	05h 55m	+7.4°	M2Ib	0.45 ^c	-5.14 ^b	430 ^b
Beta Centauri	14h 04m	-60.4°	B1III	0.61	-5.42	530
Altair	09h 51m	+8.9°	A7V	0.76	2.20	26.7
Alpha Crucis	12h 27m	-63.1°	B0.5IV+B1V	0.76 ^a	-4.19	320
Aldebaran	04h 36m	+16.5°	K5III	0.87	-0.63	65
Spica	13h 25m	-11.2°	B1V+B2V	0.98	-3.55	260
Antares	16h 29m	-26.4°	M1Ib+B4V	1.06 ^c	-5.28	600 ^b
Pollux	07h 45m	+28.0°	K0III	1.16	1.09	33.5
Fomalhaut	22h 58m	-29.6°	A3V	1.17	1.74	25.2
Beta Crucis	12h 48m	-59.7°	B0.5III	1.25	-3.92	350
Deneb	20h 41m	+45.3°	A2Ia	1.25	-8.73 ^b	3,000 ^b
Regulus	10h 08m	+12.0°	B7V	1.36	-0.52	78

טבלה 3 : נתוני כוכבים בהירים

הטלסקופ

טלסקופ⁶⁰ (Telescope) הינו כלי אופטי המשמש לצפייה בעצמים "רחוקים". הראשון שעשה שימוש בטלסקופ למטרות אסטרונומיות (ככל הידוע לנו) היה גלילאו גליליי. גלילאו, שבנה טלסקופים בעצמו, קרא למכשיר הנ"ל: פרספיקילום (Perspicillum)- בתרגום מלטינית "אמצעי לראות עצמים קטנים".

תפקיד הטלסקופ לאסוף אור מעצמים רחוקים (יחסית) ולמקד את האור במישור המוקד. שתי תכונותיו החשובות ביותר של הטלסקופ הינן יכולת איסוף האור וכוח ההפרדה שלו. שתי התכונות הללו תלויות בקוטר הטלסקופ (או מפתח הטלסקופ, Telescope Diameter). מפתח הטלסקופ מציין את הקוטר המגדיר את השטח שבו נאספת הקרינה מהעצמים בהם אנו צופים. ככל שמפתחו של הטלסקופ גדול יותר - הוא אוסף אור רב יותר ועל כן הוא מסוגל "לראות" עצמים חיוורים יותר.

מושגים בסיסיים:

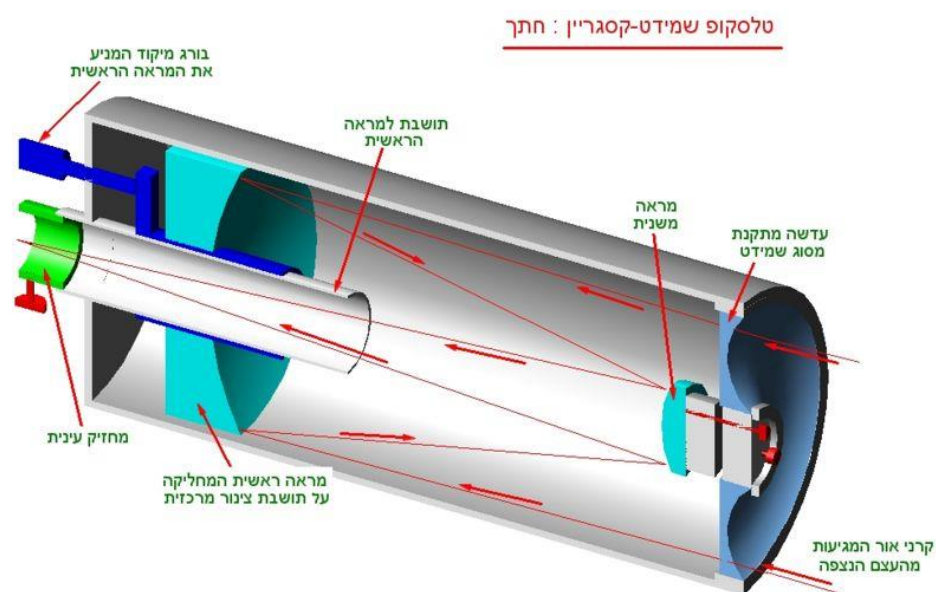
עדשת העצם או עצמית או אובייקטיב (Objective) הוא המישור האופטי הראשי שאוסף את האור המגיע לטלסקופ. קוטר העצמית הוא לרוב (אך לא תמיד) קוטר הטלסקופ. עינית או עדשת העין (Eyepiece או Ocular Lens) תפקידה להגדיל זוויתית את הדמות האופטית הנוצרת במישור המוקד של הטלסקופ.

מישור המוקד (Focal Plane) הוא המשטח שעליו נוצרת הדמות האופטית. מישור המוקד איננו בהכרח מישורי וצורתו המדויקת תלויה בתכנון האופטי של הטלסקופ. כאשר מתבוננים בטלסקופ באמצעות העין ממקמים את העינית שדרכה מתבוננים בקרבת מישור המוקד (המרחק המדויק תלוי באורך המוקד של העינית) וכאשר צופים באמצעות ציוד הדמיה כמו המחקר שלנו (בו עשינו שימוש במצלמת CCD) ממקמים אותו בדיוק במישור המוקד.

ישנם סוגים רבים של טלסקופים. לכל אחד יש יתרונות וחסרונות. סוג הטלסקופ שהשתמשנו בו במקר היה: טלסקופ שמידט קאסגריין (Schmidt-Cassegrain telescope) - בטלסקופ מסוג זה האור עובר ראשית דרך עדשה מתקנת דקה. לאחר מכן

⁶⁰ מקורה ביוונית ופירושה "לראות דברים רחוקים", ניתנה בשנת 1611 ע"י המתמטיקאי ג'ובאני דאמיסיאני.

האור פוגע במראה ראשית קעורה בעלת חתך כדורי ומשם מוחזר למראה משנית קמורה המצויה על גבי העדשה המתקנת. מהמראה המשנית האור מוחזר לעבר חור במראה הראשית ששם גם מצוי מישור המוקד של הטלסקופ. למראה הראשית יש חתך כדורי. חתך כדורי איננו מספק מישור מוקד יחיד מאחר וקרניים המגיעות במקביל לעבר משטח כדורי ומוחזרות ממנו לא מתרכזות במוקד יחיד. הצורה הגאומטרית שממנה קרניים המגיעות במקביל מוחזרות לעבר מוקד יחיד היא פרבולה. הטלסקופ (ראה איור 6) מספק דמות חדה יחסית על פני שדה ראייה רחב.



איור 6 : טלסקופ מסוג שמידט-קסגריין

המחקר

המחקר שלפנינו, מתמקד בתצפיות אחר הכוכבים הנראים בתחילת הלילה. מגמת המחקר, לפתח ביטוי מתמטי, המאפשר חיזוי זמן צאת הכוכבים הנראה לעין, על פי הדרישה ההלכתית. המחקר מבוסס על פרמטרים אסטרונומיים, המתקבלים מניתוח מדידות פוטומטריות, וזאת תוך השוואה לקבוצת צופים אנושית, הצופה בכוכבים, בעין בלתי מצוידת.

מערכת התצפיות

המחקר שלפנינו, מבוסס על תצפיות שבוצעו במשך כשנה וחצי⁶¹. בתקופה זו, ניצפו שמונה כוכבים: אלטאיר, אנטארס, ארקטורוס, וגה, סיריוס, קפלה, ריגיל, פרוקיון. כוכבים אלו נבחרו למחקר כיוון שהן נראים לעין בתחילת הלילה, ולא ביום או בחשכה מוחלטת, כפי שהוזכר בחלק ההלכתי.

הנתונים שנקבל מתצפיות אלו, כפי שנראה להלן, יצביעו על הרגע בו יכול הצופה ללא כל אמצעי, להביט אל הכוכבים ולראות אותם בזמן יציאתם.

מערכת התצפיות, לאורך כל הניסוי, מוקמה בקיבוץ יבנה (31.81, 34.72)⁶². המערכת (ראה תמונה 2) כוללת טלסקופ (הכולל מערכת עקיבה) ומצלמה המחוברת אליו, וכן מחשב האוגר את נתוני הצילום. המערכת הינה ניידת, ולפיכך בכל יום יש להעמידה מחדש. הטלסקופ מוצב על משטח ישר, בנקודות קבועות. עם הצבת הטלסקופ והכוונתו לצפון, מופעלת מערכת העקיבה של הטלסקופ. טלסקופ זה, הינו שובר אור⁶³ ועוקב⁶⁴ באופן ממונע⁶⁵ אחר הכוכב. הפעלת המערכת מתחילה לפני שקיעת השמש, וזאת ע"מ לאתר את הכוכב המבוקש קודם שקיעת השמש, על ידי הטלסקופ. איתור הכוכב נעשית תוך התבוננות בעינית, כאשר שדה הראייה קטן ממעלה אחת. יש לציין, שגודל הכוכב אינו משתנה במהלך התצפית. המשתנה היחיד הוא הרקע שמחשיך והולך. לאחר לכידת

⁶¹ תצפיות אלו בוצעו על-ידי הרב ד"ר שי ולטר, ראש מכון 'קידוש החודש' בישיבת כרם ביבנה.
⁶² נתונים אלו מציינים את קווי האורך והרוחב- קווים דמיוניים על פני כדור הארץ המשמשים לקביעת מיקומן של נקודות על הארץ במונחים של אורך גיאוגרפי ורוחב גיאוגרפי.

⁶³ טלסקופים שוברי אור מבוססים על עיקרון שבירת האור העובר מבעד לעדשה הראשית (או מספר עדשות) למוקד משותף.

⁶⁴ מנוע עקיבה (Tracking motor)-מנוע המורכב על ציר העלייה הישרה של טלסקופ. תפקידו, קיזוז השפעת סיבוב כדור הארץ סביב צירו לצורך מעקב אחר גרמי השמים.

⁶⁵ במפתח 80 מ"מ ובעל אורך מוקד 545 מ"מ. אורך מוקד-המרחק שבו מתכנסות קרני האור הנשברות או מוחזרות מהאלמנט האופטי.

הכוכב בעינית, ננעלים צירי הכיוון על מנת לאפשר למערכת העקיבה של הטלסקופ לעקוב אחריו. בשלב זה (תמונה ב2) מוחלפת עדשת העינית במצלמה פוטומטרית⁶⁶ מקוררת של חברת SBIG⁶⁷ (דגם: ST-8300M) שמחוברת לטלסקופ העוקב⁶⁸ באופן ממונע⁶⁹ אחר הכוכב, באמצעות פריסקופ של 90 מעלות כך שהכוכב המצולם מצוי בשיא המיקוד. לאחר קירורה לטמפ' קבועה של כ-10 מעלות צלסיוס מופעלת המצלמה (ראה תמונה ג2). מרגע זה, המצלמה מצלמת כשתי תמונות בדקה. מספר התמונות המקסימלי שצולמו בליל תצפית אחד היה 60, כלומר במהלך 30 דקות. במהלך הצילום, נאגרות התמונות במחשב באמצעות תוכנה שסיפק יצרן המצלמה. התמונות נשמרות התמונות בפורמט *.sbig.

נתוני התמונה תאריך ושעה, הינם משתנים משמעותיים מאד להמשך ניתוח הנתונים. במקביל לרגע בו מורכבת המצלמה לטלסקופ, צופה או קבוצת צופים, הממוקמים ליד הטלסקופ, נדרשים להפנות את מבטיהם אל הכיוון בו 'נלכד' הכוכב, ולחכות לרגע בו יראה לעין. לכל כוכב הוגדרו מספר לילות תצפית רצופים עד כמה שניתן⁷⁰. הכוכבים נעים בכדור השמימי, וממילא לא ניתן לראות את כל הכוכבים בעונה אחת, כל כוכב לפי מסלולו⁷¹.

⁶⁶ מצלמת CCD (charge-coupled device) פירושו התקן צימוד מטענים. המצלמה בנויה על העיקרון של שבב, עליו ישנה רשת תאים הרגישים לאור. כאשר השבב נחשף לאור, כל פוטון הנופל על תא כזה, הופך למטען חשמלי. ככל שמספר הפוטונים הנופל על תא מסוים גדול יותר, כך יגדל המטען שבאותו תא. עם סיום הצילום, מועבר המידע עם עוצמת המטען בכל תא ותא אל יחידת עיבוד, שמעבדת את המידע למידע ספרתי. המידע מועבר למחשב ההופך את המידע ל חזותי.

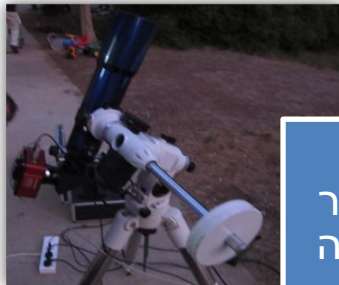
⁶⁷ חברת SBIG מתמחת ביצור מצלמות אסטרונומיות, המבוססות על שבב CCD. מצלמות אלו מקוררות על-מנת למנוע רעש המשפיע על הצילום.

⁶⁸ מנוע עקיבה (Tracking motor)-מנוע המורכב על ציר העלייה הישרה של טלסקופ. תפקידו, קיזוז השפעת סיבוב כדור הארץ סביב צירו לצורך מעקב אחר גרמי השמים.

⁶⁹ במפתח 80 מ"מ ובעל אורך מוקד 545 מ"מ. אורך מוקד-המרחק שבו מתכנסות קרני האור הנשברות או מוחזרות מהאלמנט האופטי.

⁷⁰ הכוכב וגה, נצפה בשתי תקופות שונות.

⁷¹ ראה נספח 3, עמ' 78.



ב. חיבור
המצלמה



א. הכנת
התצפית



ג. צילום
הנתונים
ושמירתם
במחשב

תמונה 2: מהלך הניסוי

המצלמה ממשיכה לצלם גם אחרי זיהוי הכוכב לצרכי השוואה. תנאי מזג האוויר, משפיעים ומגבילים את התצפיות. ביום מעונן, נדרש זמן רב יותר למציאת הכוכב בטלסקופ וכמו כן, הצופים מזהים כעבור זמן מאוחר יותר (ופעמים שאינם מזהים כלל-ובמצב זה התצפית נפסלת). בסיום הצילומים, נרשמים נתוני התצפית- א. שם הכוכב; ב. זמן זיהוי הכוכב; ג. נתוני הראיה, כגון - ערפל, עננות; ד. מספר תיקייה- תיקיית תמונות התצפית; ה. הערות שונות- צבע מוזר לשמים, קירבה לירח, הכוכב נראה בקושי/בקלות, נראה ונעלם או ברציפות.

בגמר צילומי התמונות ושמירתם במחשב, מתחיל שלב ההכנה לעיבוד הנתונים. במחקר זה, צולמו כ-3000 תמונות (יותר ממאה לילות צילום). ראשית סודרו התמונות, לפי שמות הכוכבים שהשתתפו במחקר, נבנו שמונה תיקיות לכל הכוכבים (אלטאיר, אנטארס, ארקטורוס, וגה, סיריוס⁷², קפלה, ריגיל, פרוקיון). בשלב השני, סודרו התמונות השייכות לכל כוכב. כפי שהוזכר, לכל כוכב ישנם מספר לילות תצפית, ולכן בכל תיקיית כוכב נבנו תתי תיקיות המקוטלגות ע"פ מספר סידורי של ליל תצפית. בגמר ארגון תיקיות התמונות, הומרו התמונות (שצולמו בפורמט sbig) לפורמט jpeg. תהליך שמירתו לאפשר עיבוד נתונים בתוכנת-Matlab (שאינה תומכת בפורמט sbig). התמונות שהומרו, מקבלות שם זהה לתמונת המקור ונשמרות יחד באותה תתי תיקייה של ליל תצפית, אך תוך חלוקה פנימית המבדילה בין הפורמט השונה.

אחר ארגון התיקיות המהווה שלב בסיסי לניתוח התמונות, נבנתה תוכנית בשפת Matlab⁷³, המנתחת את קבצי התמונות. בתחילה קוראת תמונה אחת, וממירה אותו למטריצה מספרית. התמונות המצולמות, הינן גדולות מאד הן (2532*3352 פיקסלים; וגודל זיכרון של כ-16MB עבור כל תמונה), גודל זה, מאיט את ניתוח התמונות. התמונות מצולמות בגוויי שחור לבן- וכפי שהוזכר המצלמה אוגרת עוצמת אור בכל פיקסל. ברגע המרת התמונה למטריצה, מקבל כל תא מספר על פי העוצמה שצולם.

להלן תהליך עיבוד הנתונים בתוכנה: א. קריאה לתמונה מתוך התיקייה – בפורמט Sbig המוצג כ-jpg (דוגמא ראה תמונה 3), ב. המרת התמונה למטריצה ראה איור 7, איור 8 ואיור 9, ובהצגה גרפית- צבע משתנה ע"פ העוצמת האור ראה איור 10, איור 11 ואיור 12.

⁷² בתהליך עיבוד הנתונים, הוצא כוכב סיריוס מהמחקר, כיון שנצפה קודם השקיעה (2-5 דקות).
⁷³ תוכנה מתמטית המכילה שפת תכנות, ומיוצרת על ידי חברת MathWorks. התוכנה מאפשרת טיפול במטריצות, שימוש בפונקציות ובנתונים, ויישום אלגוריתמים על נתונים.



תמונה 3 כוכב קפלה

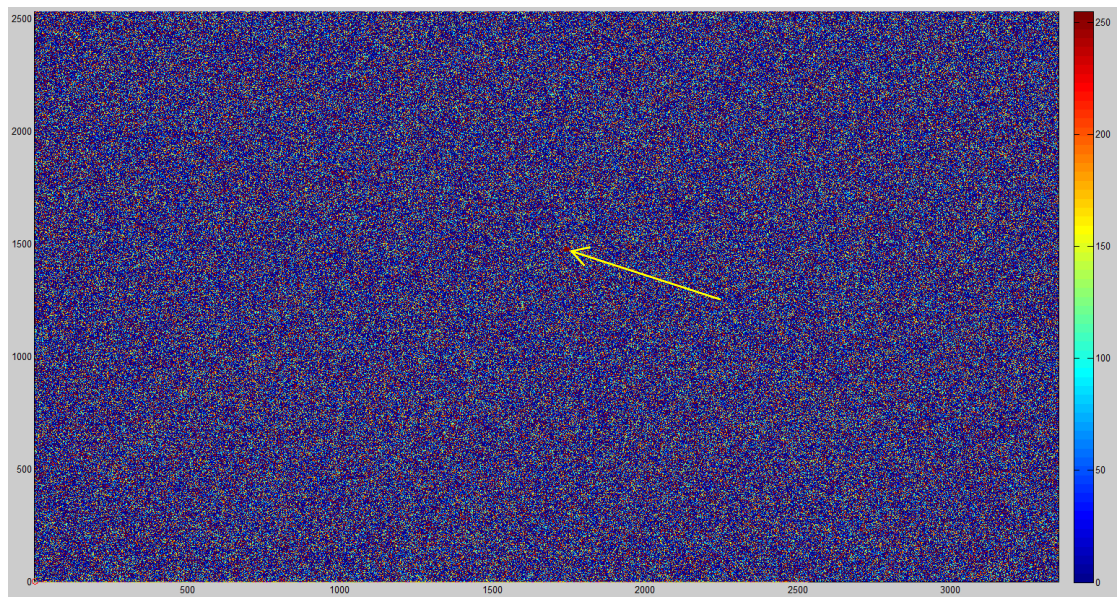
Dr <2532x3952 double>																											
	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888		
308	58	229	11	255	0	58	0	134	0	0	144	0	0	255	255	0	0	68	92	255	0	255	0	0	0		
309	255	255	0	0	0	0	0	255	0	255	255	243	120	0	0	0	1	12	87	255	0	88	197	0	255		
310	0	163	0	0	149	63	0	125	77	206	0	0	215	106	0	0	0	0	111	0	0	0	16	255	6		
311	87	82	210	0	182	255	0	0	73	210	187	255	0	82	0	255	255	0	0	0	0	0	77	255	25		
312	92	134	0	0	111	0	39	255	30	93	106	0	115	255	0	255	0	0	139	0	0	234	0	125	0		
313	1	1	0	63	0	0	30	87	0	115	0	187	0	0	168	0	206	0	206	1	191	0	64	263	0		
314	0	0	215	221	0	0	0	96	0	6	0	49	163	255	0	235	220	191	58	20	20	11	0	101	0		
315	0	0	255	0	0	0	6	0	68	0	0	0	255	0	0	255	0	11	0	6	73	25	0	255	0		
316	177	171	0	0	125	255	255	19	0	0	0	0	11	0	230	255	255	0	238	0	255	0	149	0	1		
317	0	16	0	0	111	63	225	0	0	0	255	255	120	0	125	0	96	0	255	0	187	0	255	54	182		
318	255	44	0	0	172	210	255	11	1	0	0	255	0	0	130	0	172	0	168	0	63	255	255	0	0		
319	11	0	253	0	0	0	0	0	0	44	0	0	44	255	0	6	255	0	255	201	255	25	139	120	0		
320	187	58	16	87	0	0	255	0	255	255	11	255	1	0	255	210	255	0	0	73	0	54	163	0	0		
321	153	201	0	163	0	25	0	0	63	20	36	153	35	220	0	158	63	0	255	0	191	255	206	0	3		
322	187	0	0	139	20	255	0	243	20	0	0	191	255	0	0	173	168	163	0	0	255	1	172	0	25		
323	0	220	0	0	144	0	255	87	225	39	16	0	0	35	0	0	82	210	35	92	201	153	0	0	0		
324	177	101	254	0	31	255	39	255	1	255	115	0	6	255	44	0	255	0	243	255	11	0	11	0	0		
325	255	0	134	88	0	255	206	0	210	255	0	187	0	234	0	177	72	0	1	0	1	0	201	177	0		
326	255	10	44	0	0	0	0	0	255	1	187	87	1	144	49	0	255	20	82	220	0	106	0	0	5		
327	255	82	62	0	253	255	255	255	0	0	0	0	0	255	87	0	225	39	39	50	68	0	255	0	25		
328	134	0	255	106	255	220	0	0	25	25	0	255	0	255	0	92	139	88	0	139	188	0	196	30	0		
329	38	0	0	0	133	77	0	30	0	0	0	0	255	255	92	35	255	255	234	73	255	134	255	39	10		
330	177	255	243	62	0	30	0	255	106	0	0	0	255	64	0	0	35	255	0	54	255	0	0	16	13		
331	0	86	57	255	225	0	225	0	0	1	0	6	0	0	255	255	0	255	25	0	1	138	1	125	13		
332	255	196	220	0	0	49	0	49	0	101	63	255	0	0	220	1	0	215	255	0	0	0	182	139	0		
333	0	0	229	0	119	0	0	83	125	144	0	255	255	0	255	255	125	0	255	0	255	1	6	0	0		
334	44	255	1	0	25	125	35	0	1	229	0	0	1	255	248	255	255	92	105	0	0	255	73	82	1		
335	115	0	0	0	20	144	255	0	0	0	0	255	35	1	192	0	255	0	1	44	0	0	49	35	172		
336	0	0	0	168	0	229	198	191	226	0	0	0	0	234	187	58	0	68	0	1	177	140	106	0	1		
337	254	0	255	0	235	73	25	220	0	255	0	77	0	191	0	73	68	73	255	0	255	0	0	1	0		
338	0	177	68	125	255	63	68	255	134	0	58	0	255	255	1	120	0	0	6	168	0	30	0	0	0		
339	19	35	0	0	116	0	0	255	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	255	0	0	248	0		
340	0	255	206	255	125	44	0	92	192	63	49	0	253	0	30	0	248	0	0	188	0	0	0	0	255		
341	243	35	255	0	255	17	0	255	0	0	210	73	54	0	16	0	0	25	0	255	54	225	255	0	0		
342	0	0	101	130	58	144	0	243	0	73	1	243	0	255	0	0	255	20	0	0	229	0	215	0	14		
343	0	25	0	120	73	82	229	0	0	243	0	0	168	0	255	77	0	177	153	0	125	187	58	1	25		
344	0	168	88	255	187	25	1	243	255	0	255	0	54	255	0	0	255	116	44	130	0	0	153	0	0		
345	0	225	0	255	172	177	82	254	0	0	255	0	0	0	0	0	0	0	92	0	0	255	0	44	0		
346	255	63	130	238	0	25	1	168	255	0	255	158	44	134	0	0	255	255	0	101	255	255	0	115	0		
347	49	0	172	87	0	0	0	63	234	0	35	0	20	10	0	0	255	0	0	130	229	0	253	0	0		
348	0	0	0	139	255	0	0	0	30	1	0	220	0	255	191	182	0	0	139	0	255	153	30	0	25		
349	125	39	255	0	0	0	255	0	73	0	255	120	0	168	248	0	0	229	6	111	253	254	1	0	0		
350	187	255	64	0	0	6	0	106	0	49	0	125	255	101	255	0	168	0	255	106	254	255	149	134	0		
351	229	1	0	255	134	0	125	92	0	63	35	0	0	0	0	0	0	0	255	0	248	0	0	73	22		
352	0	0	168	0	101	106	0	0	182	0	255	0	17	44	233	177	0	0	87	255	0	11	234	255	20		
353	248	255	0	64	105	0	0	255	0	1	255	0	39	11	0	0	163	0	82	255	82	255	0	163	0		
354	0	0	0	0	0	0	0	0	177	87	30	44	87	0	0	80	134	0	255	0	16	168	168	0	0		

איור 7: חלק ממטריצה [במיקום אקראי]

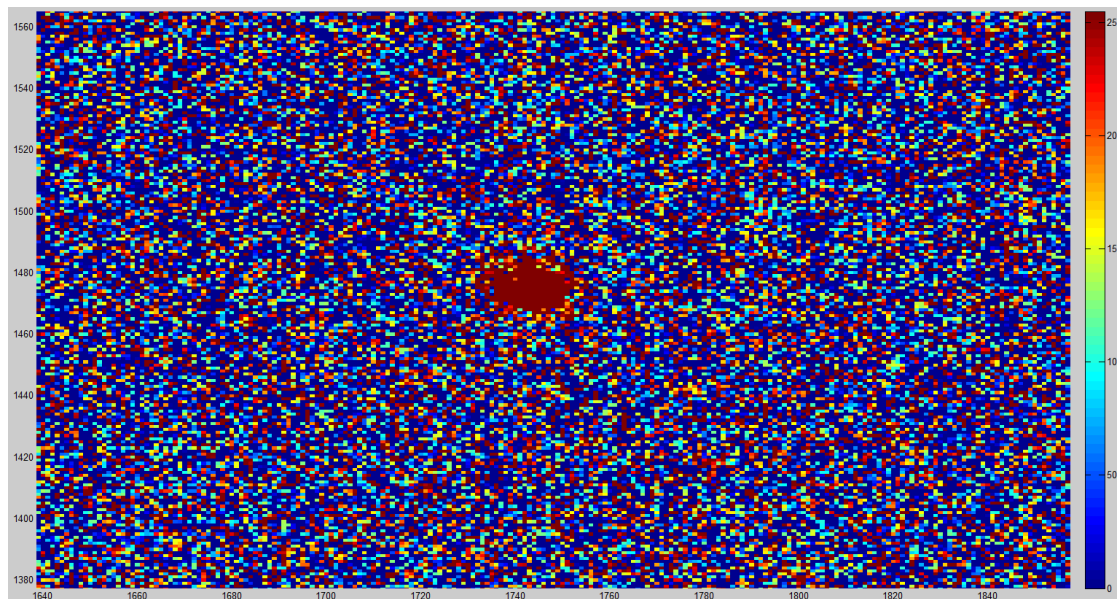
Str <2532x3352 double>																											
32	1733	1734	1735	1736	1737	1738	1739	1740	1741	1742	1743	1744	1745	1746	1747	1748	1749	1750	1751	1752	1753	1754	1755	1756	1		
1459	0	0	255	177	0	253	0	255	220	255	191	0	196	54	115	0	163	0	0	0	255	49	1	182	255		
1460	0	82	255	255	0	96	134	82	177	225	0	210	0	0	0	253	0	255	1	255	0	44	215	0	215		
1461	255	39	77	0	1	255	96	0	255	0	229	0	187	0	73	255	30	0	0	255	255	255	229	39	0		
1462	0	206	0	255	0	0	0	63	16	131	0	77	0	0	255	215	82	39	255	0	11	0	235	255	201		
1463	131	0	215	0	182	82	115	255	0	255	58	134	58	0	0	111	172	0	255	229	0	30	0	0	16		
1464	72	0	96	210	0	0	211	153	0	0	0	168	163	255	1	0	191	255	58	44	1	0	0	44	0		
1465	255	206	255	0	255	130	5	49	255	206	244	0	255	182	234	255	168	0	191	255	255	92	0	168	182		
1466	206	0	0	0	255	255	255	39	243	58	68	157	255	168	6	206	96	255	243	255	255	255	0	196	115		
1467	6	92	255	0	35	248	206	255	191	255	24	101	255	255	255	255	255	0	255	195	248	134	255	0	255		
1468	0	255	11	177	255	0	225	239	255	115	255	255	255	255	255	255	30	191	158	255	234	82	255	0	210		
1469	0	0	255	0	255	255	255	219	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	1	1	0	243		
1470	254	0	255	82	201	255	25	255	255	254	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	182	255	0	210	11		
1471	239	0	0	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	234	96	255	0	39		
1472	1	11	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	101	254	77	253	255	255		
1473	0	63	255	0	255	255	254	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	154	158	0	0		
1474	25	255	255	63	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	225	0	255		
1475	255	255	234	0	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	254	255	255	168	255	255		
1476	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	254	255	255	255	0	255		
1477	255	0	172	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	220	255	255	168	252		
1478	255	255	255	1	255	255	254	255	196	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	0	255	191	225	0		
1479	0	255	255	255	253	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	248	255	0	0	0		
1480	134	6	229	235	255	255	0	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	239	220	255	255	44	220	138	0		
1481	255	255	255	255	255	255	255	144	248	255	255	255	255	255	255	206	106	149	254	255	0	255	43	0	63		
1482	54	255	120	255	0	139	255	255	201	255	255	255	255	144	255	0	255	139	255	255	0	0	255	0	96		
1483	0	248	187	255	196	255	255	234	255	255	255	255	255	255	255	183	255	255	248	0	0	98	11	0	255		
1484	248	255	0	153	255	106	210	187	255	0	255	255	255	255	216	168	255	255	0	68	255	0	255	73	144		
1485	196	255	0	215	255	255	255	196	87	255	255	255	255	0	82	255	255	255	0	191	0	255	0	255	255		
1486	158	243	0	255	0	255	0	255	0	0	255	16	0	39	68	0	255	191	234	0	144	0	0	0	0		
1487	234	0	121	255	255	0	225	255	0	253	253	82	210	255	255	20	255	168	35	0	158	0	0	0	16		
1488	63	0	172	255	0	30	0	20	20	139	210	255	234	125	255	0	144	0	163	0	44	0	255	130	255		
1489	130	58	0	0	186	255	255	0	49	125	255	130	255	111	87	255	35	16	0	30	0	187	0	0	168		
1490	255	0	0	139	68	177	255	255	163	130	0	153	35	0	44	106	111	0	73	0	54	0	44	36	0		
1491	54	197	0	0	20	111	0	63	255	49	0	182	39	87	177	201	6	0	0	220	172	0	215	0	229		
1492	11	190	20	0	177	115	0	144	92	0	11	255	253	0	58	149	0	49	255	2	44	201	0	255	0		
1493	0	105	255	87	0	172	255	0	190	234	44	0	209	0	255	229	191	73	255	0	0	248	0	0	0		
1494	0	255	0	255	54	0	0	191	0	0	0	0	0	130	11	215	243	0	0	255	0	0	0	1	163		
1495	149	177	158	168	0	225	255	11	63	54	0	58	0	39	255	0	210	1	149	144	0	0	0	0	255		
1496	68	0	16	0	0	149	253	25	0	35	168	229	0	5	92	225	253	255	0	0	215	0	255	0	0		
1497	39	255	49	82	0	0	0	255	255	255	229	0	58	255	0	106	144	0	0	255	0	255	68	139	199		
1498	6	0	0	0	0	0	6	0	255	30	0	210	0	39	168	102	0	255	77	0	0	0	255	0	0		
1499	0	255	234	0	125	255	11	210	0	0	177	149	0	77	255	229	0	44	255	0	0	255	255	0	17		
1500	0	44	0	0	0	0	58	0	0	0	159	0	0	82	25	248	201	0	0	125	158	215	58	0	225		
1501	129	0	82	0	0	16	0	0	20	0	0	234	0	92	11	120	0	0	0	0	0	253	255	36	0		
1502	63	0	58	101	0	106	0	216	255	254	0	196	0	177	0	0	255	0	255	0	0	0	111	0	210		
1503	255	49	206	0	0	0	139	101	255	188	255	0	11	255	206	225	255	0	0	0	73	171	0	177	92		
1504	255	38	220	0	255	0	111	255	0	0	115	0	0	207	255	54	0	0	0	0	0	0	0	158	0		

איור 8: איתור הופעת הכוכב במטריצה

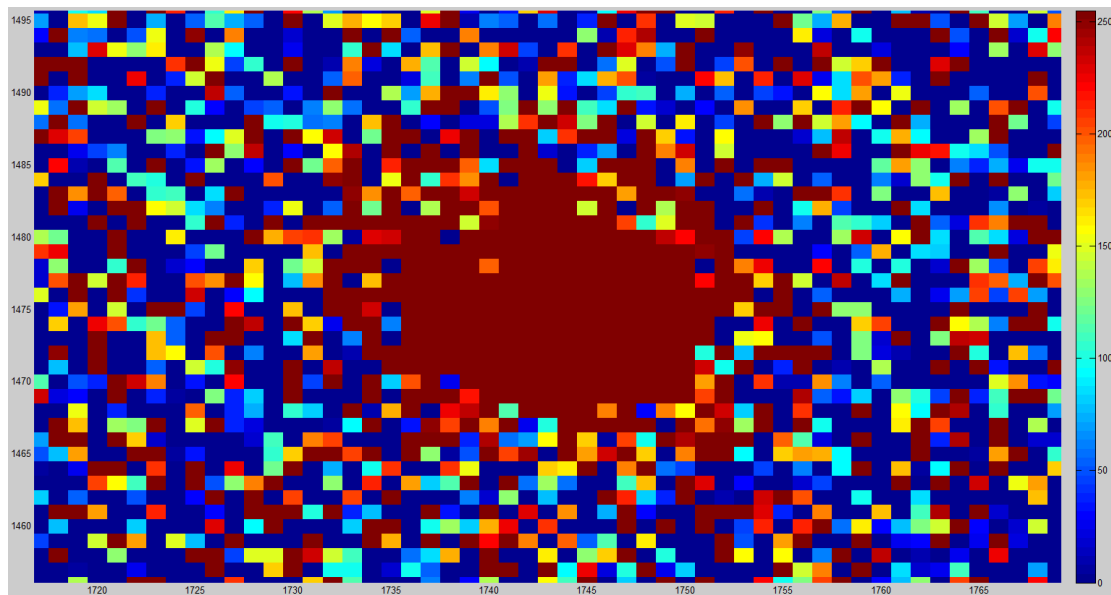
Str <2532x3352 double>														
32	1733	1734	1735	1736	1737	1738	1739	1740	1741	1742	1743	1744	1745	
1459	0	0	255	177	0	253	0	255	220	255	191	0	196	54
1460	0	82	255	255	0	96	134	82	177	225	0	210	0	0
1461	255	39	77	0	1	255	35	0	255	0	229	0	187	0
1462	0	206	0	255	0	0	0	63	16	131	0	77	0	0
1463	131	0	215	0	182	82	115	255	0	255	58	134	58	0
1464	72	0	96	210	0	0	211	153	0	0	0	168	163	255
1465	255	206	255	0	255	130	5	49	255	206	244	0	255	182
1466	206	0	0	0	255	255	255	39	243	58	68	157	255	168
1467	6	92	255	0	35	248	206	255	191	255	24	101	255	255
1468	0	255	11	177	255	0	225	239	255	115	255	255	255	255
1469	0	0	255	0	255	255	255	219	255	255	255	255	255	255
1470	254	0	255	82	201	255	25	255	255	254	255	255	255	255
1471	239	0	0	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
1472	1	11	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
1473	0	63	255	0	255	255	254	255	255	255	255	255	255	255
1474	25	255	255	63	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
1475	255	255	234	0	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
1476	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
1477	255	0	172	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
1478	255	255	255	1	255	255	254	255	196	255	255	255	255	255
1479	0	255	255	255	253	255	255	255	255	255	255	255	255	255
1480	134	6	229	235	255	255	0	255	255	255	255	255	255	255
1481	255	255	255	255	255	255	255	144	248	255	255	255	255	255
1482	54	255	120	255	0	139	255	255	201	255	255	255	255	144
1483	0	248	187	255	196	255	255	234	255	255	255	255	255	255



איור 10: המרת התמונה על-פי עוצמת אור



איור 11: מיקוד לאיזור הכוכב



איור 12: הרחבה של איזור הכוכב

עוצמת האור מתחילה מ-0 המייצג צבע שחור ועד ל-255 המייצג צבע לבן. מניתוח התוצאות שביצעתי התגלה שאזור הכוכב המאיר הממוקם בתמונה, (ראה כדוגמא: תמונה 3) ערכו (לפחות - 10×10 פיקסלים מרוכזים יחד) מעל 180. לאחר המרת התמונה למטריצה מספרית, התוכנה מאתרת באופן אוטומטי את מיקום הכוכב בתמונה. אחר איתור הכוכב, התוכנה אוגרת את עוצמתו ובמקביל מודדת התוכנה את עוצמת רקע השמים סביב הכוכב. התוכנה שומרת את הערך הממוצע של עוצמת הכוכב וכן את הערך הממוצע של עוצמת רקע השמים. בסיום התהליך מבצעת התוכנה חישוב, המנתח את הניגודיות בין עוצמת רקע הכוכב לעוצמת רקע השמים על פי הנוסחה הבאה:

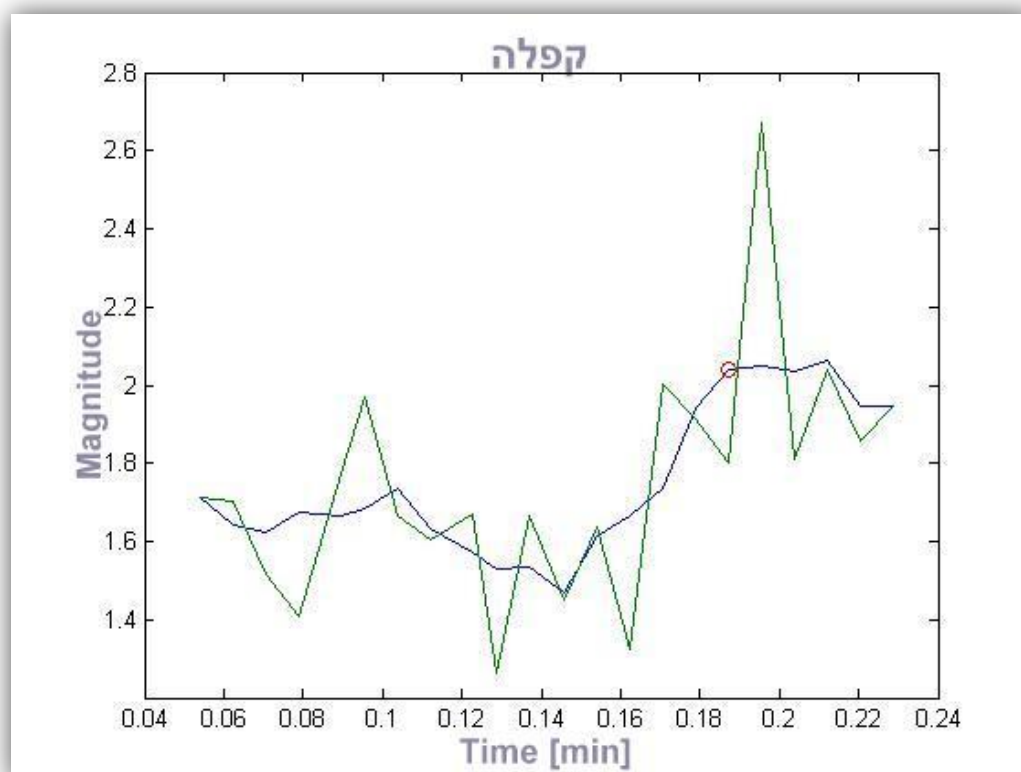
$$C = \frac{B - B'}{B'}$$

הפרמטרים: B ערכו הממוצע של בהירות הכוכב, B' בהירות הממוצעת של הרקיע ו- C הניגודיות. ככל שנקטין את ההפרש בין בהירות העצם (הכוכב) לבין בהירות הרקע ($B - B'$) הניגודיות תלך ותקטן עד שנגיע לניגודיות גבולית C_t , שבו זוהה הכוכב בעין

הצופה. חישוב זה, מבוצע עבור כל התמונות שבכל ליל תצפית. ניגודיות זו, נשמרת בווקטור האוגר את נתוני כל התמונות שבכל ליל תצפית, תוך ציון ניגודיות הגבולית כפי שהתקבלה מהצופה.

כפי שהוזכר, תהליך עיבוד התמונה מבוצע על קובץ בפורמט jpeg, אומנם במקביל לתהליך זה, התוכנית משתמשת בנתוני התמונות המקוריים (sbig), שבהם נשמרו נתוני תאריך ושעה. רגע השקיעה מוגדר כזמן 0, וממילא זמני התמונות בכל לילות התצפית הם יחסיות לרגע השקיעה של כל ליל תצפית בפני עצמו. גם כאן, נתוני הזמן נאגרים בווקטור אחר, היתה בגודלו לווקטור השומר את נתוני הניגודיות.

בסיום תהליך זה, התוכנה מציגה גרף המראה את נתוני הניגודיות כפונקציה של זמן. ועל גב גרף זה, מסומן הרגע בו זיהה הצופה את הכוכב. (כדוגמא - ראה איור 13; הקו הירוק מהווה את רצף התמונות של ליל תצפית בודד - בהירות כפונקציה של זמן (בדקות), הקו הכחול - מציג את פונקציית ההחלקה של הנתונים שהתקבלו. על-גבי הקו-הכחול, מוצב עיגול אדום, המציג את הרגע בו זיהה הכוכב לעין הצופה).



איור 13 : גרף ליל תצפית קפלה

ניתוח זה, מתבצע עבור כל לילות תצפית של כל הכוכבים- 117 לילות, שמתוכם 97 השתתפו במחקר. בסיום ניתוח כל הלילות שנצפו, נשמרו נתוני זמן זיהוי הכוכב ורמת הניגודיות שלו עבור כל ליל תצפית המאוגדים בתקיה אחת על-פי סוג הכוכב. בשלב השני, הורצה תוכנית ב' (ראה עמ' 64), המנתחת על גרף אחד את כל תוצאות לילות התצפית עבור כל כוכב. בסיומה התוכנית מציגה גרף (ראה איור 14, בעמ' 41) המתאר את זמן זיהוי הכוכב ואת הבהירות שלו לכל לילות התצפית. בנוסף מחשבת התוכנית את הבהירות הממוצעת (מוצג בגרף כקו מקווקו בצבע ירוק) ואת סטיית התקן (כקו עליון וכקו תחתון, המוצגים בגרף בצבע אדום מקווקו) עבור כל כוכב.

בפרק זה מוצגות תוצאות המחקר, עבור שבעת הכוכבים (אלטאיר, אנטארס, ארקטורוס, וגה, קפלה, ריג'ל, פרוקיון) שנצפו ונותחו. בתחילת כל כוכב, מוצגים נתוני הכוכב⁷⁴ הדרושים לתצפית. נתונים אלו, כפי שהוסבר ברקע המדעי, כוללים: א. שם קבוצת הכוכבים אליו משתייך הכוכב, ב. סיווג ספקטרלי, ג. בהירות יחסית ובהירות מוחלטת, ד. גודל הכוכב, ה. מרחק הכוכב, ו. מיקום הכוכב (ע"פ קורדינטות משווניות-עליה ישרה, נטייה). כמו כן, במקביל לנתוני הכוכב, מוצגת תמונת קבוצת הכוכבים⁷⁵ אליה משתייך הכוכב, תוך ציון מיקום הכוכב הנתון בקבוצה (מוקף בטבעת כתומה).


אחר הצגת נתוני הכוכב, מובאת טבלת סיכום של לילות התצפית שבוצעה לכוכב הנתון. טבלה זו כוללת: א. תאריך ליל תצפית, ב. מספר התמונות שצולמו בליל תצפית, ג. זמן השקיעה, ד. זמן זיהוי הכוכב לעין הצופה, ה. הפרש הזמן מהשקיעה ועד לזיהוי הכוכב, ו. ערך הבהירות הנראית המחושב ע"פ זמן זיהוי הכוכב ע"י הצופה (חישוב זה נעשה, אחר ניתוח הצילומים בתוכנת Matlab). בסיכום כל טבלה, מצוין חישוב הערך הממוצע, וסטיית תקן של הבהירות הנראית לעין.

על בסיס תוצאות טבלת הסיכום, נבנה גרף המאגד את כל לילות התצפית עבור כוכב נתון. ציר ה-x מציין את ציר הזמן. זמן-השקיעה מוגדר כזמן 0, וממילא הזמן שלפני השקיעה יוגדר כשלילי והזמן שאחר השקיעה יוגדר כחיובי (יש לציין שהערכים המופיעים בציר זה, הינם עשרוניים ולא בחלקיות 60 - דקות לשעה). ציר ה-y מציין את הבהירות המחושבת, ע"פ נתוני היראות הכוכב לצופה. הקו הכחול הרציף, מציין ליל תצפית בודד, שלצידו מופיע מספר תיקיה. הקו הירוק המקווקו מציין את ממוצע הבהירות. שני הקווים האדומים המקווקוים, מציינים את ערכי הבהירות הנצפת הנמוכה ביותר והגבוהה ביותר.

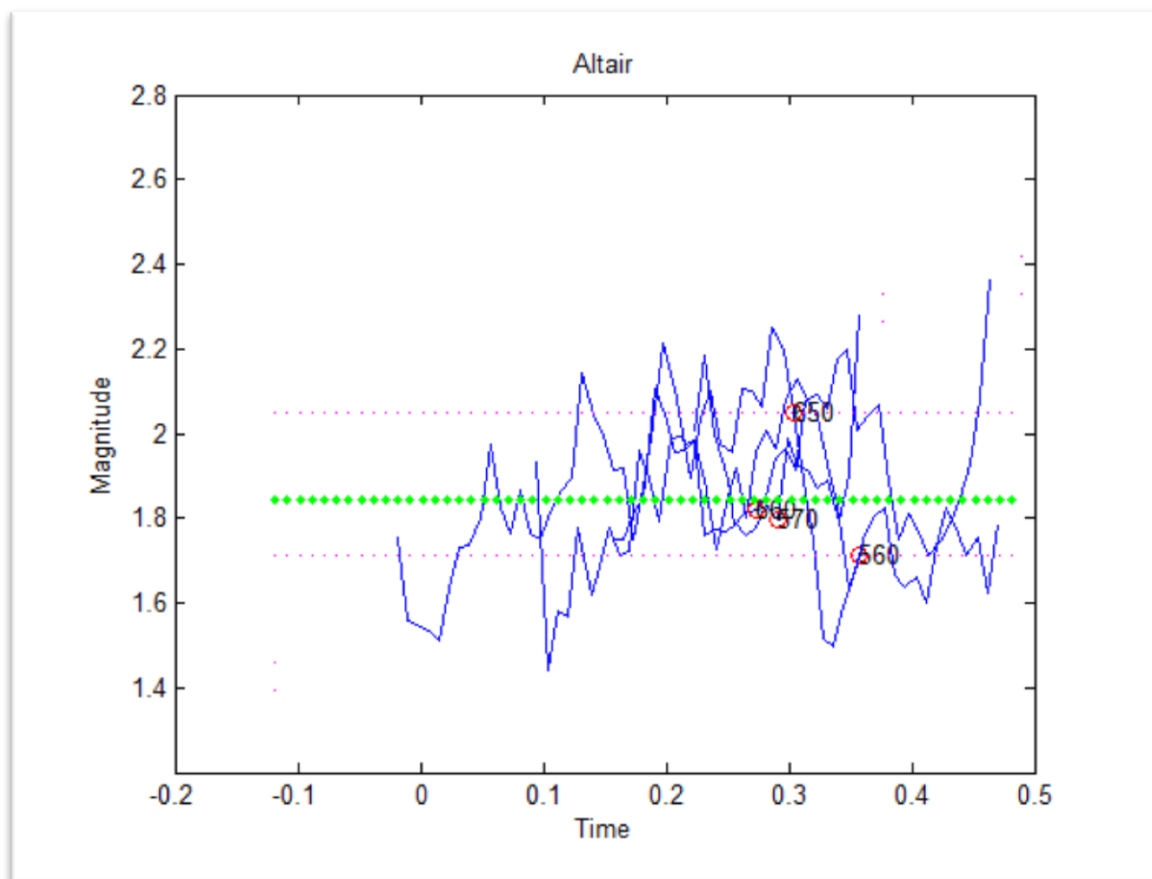
הבהרה: השימוש במושג 'בהירות' (או magnitude) המצוין בטבלת תוצאות המחקר וכן בעמודת הבהירות המוצגת בגרף הסיכום, הינו 'מושג מושאלי' מהחלק המדעי-אך אינו מהווה בהירות מוחלטת או בהירות יחסית (ראה ברקע המדעי), אלא תוצאה של ניתוח נתונים במהלך המחקר.

⁷⁴ נתוני כוכב נוספים ראה "The brightest stars", עמ' 255-259.
⁷⁵ מתוך "THE 170 BRIGHTEST STARS" - <http://stars.astro.illinois.edu/sow/bright.html>

כוכב אלטאייר

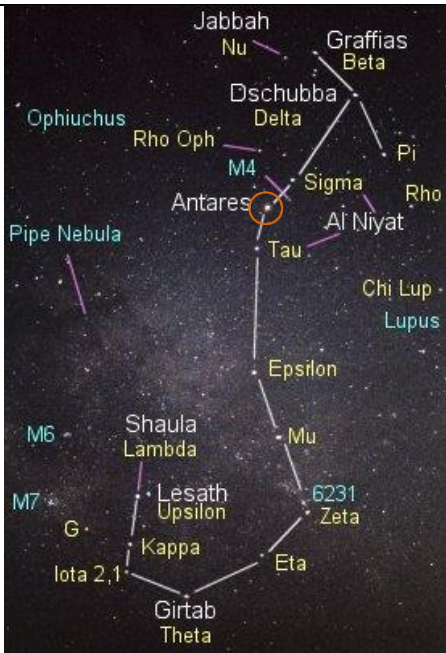
 <p>תמונה 4 : קבוצת כוכבים נשר</p>	שם כוכב : אלטאייר (Alpha Aql ; Altair)
	קבוצת כוכבים : נשר (Aquila) תמונה 4
	סיווג ספקטרלי (ע"פ תרשים HR) : A7V
	בהירות יחסית : 0.76
	בהירות מוחלטת : 2.20
	גודל : א. קוטר : 1.8 ב. מסה : 1.8
	מרחק (Light Year) : 16.8 מיקום : א. עליה ישרה (RA) : 19h 51m ב. נטייה (Dec) : 8.9°

כוכב	תאריך עברי	שנה	חודש	יום	אינדקס	מספר צילומים בליל תצפית	שקיעה	זמן זיהוי הכוכב	הפרש מהשקיעה בדקות	בהירות נראית	הערות
אלטאייר	ד בכסלו תשע"א	2010	11	11	51	11	1644	1658			
	יא בכסלו תשע"א	2010	11	18	52	6	1640	1704			עננות
	יד בכסלו תשע"א	2010	11	21	53	25	1639	1658			
	טז בכסלו תשע"א	2010	11	23	55	1	1638	1658			
	יח בכסלו תשע"א	2010	11	25	56	46	1638	1659	21	1.71	
	כא בכסלו תשע"א	2010	11	28	57	25	1637	1654	17	1.79	
	כג בכסלו תשע"א	2010	11	30	59	14	1637	1700			
	ז בטבת תשע"א	2010	12	14	61	4	1638				
	ז בטבת תשע"א	2010	12	14	62	2	1638				
	ט בטבת תשע"א	2010	12	16	63	4	1639				
	יב בטבת תשע"א	2010	12	19	65	46	1640	1658	18	2.04	
	יד בטבת תשע"א	2010	12	21	66	30	1641	1657	16	1.81	צד מערב שמים מאד בהירים
	כח בתשרי תשע"ב	2011	10	26	310	19	1658	1716			
	בהירות הנראית לעין של אלטאייר: 1.84 ± 0.14										
ראה-איור 14											

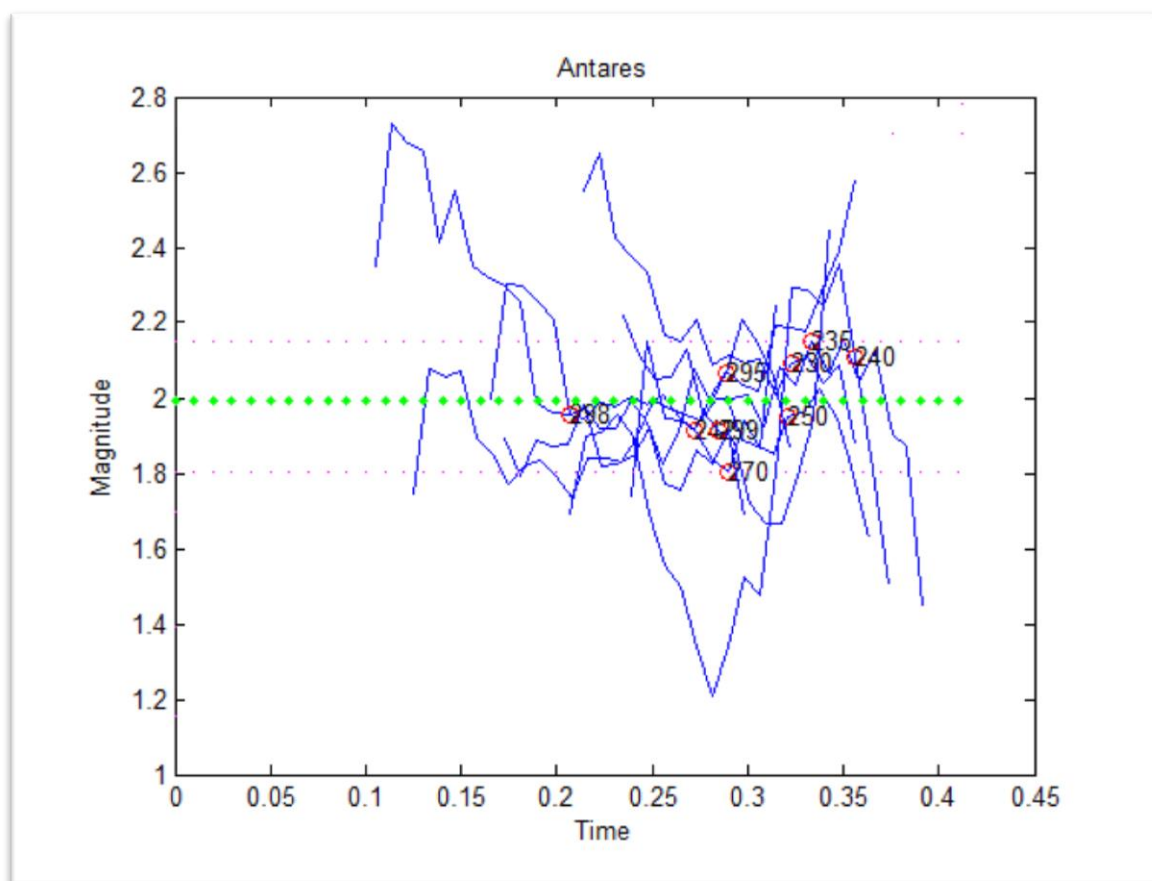


איור 14: ניתוח כוכב אלטאיר

כוכב אנטרס

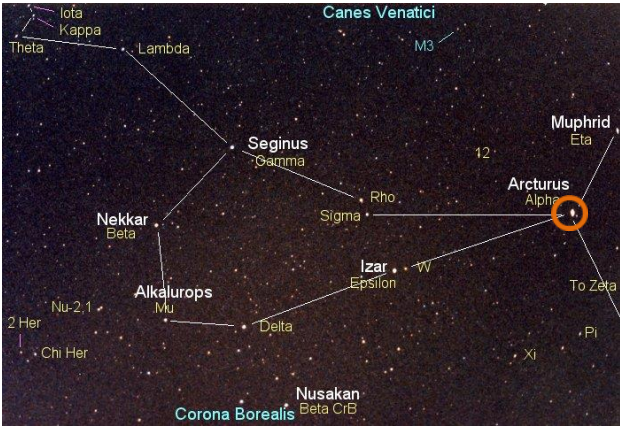
 <p>תמונה 5 : קבוצת כוכבים עקרב</p>	שם כוכב : אנטרס (Alpha Sco ; Antares)
	קבוצת כוכבים : עקרב (Alpha Sco) תמונה 5
	סיווג ספקטרלי (ע"פ תרשים HR) :
	M1Ib+B4V
	בהירות יחסית : 1.06
	בהירות מוחלטת : -5.28
	גודל : א. קוטר : 800 ב. מסה : 15.5
	מרחק (Light Year) : 605 מיקום : א. עליה ישרה (RA) : 16h 29m ב. נטייה (Dec) : -26.4°

כוכב	תאריך עברי	שנה	חודש	יום	אינדקס	מספר צילומים בכליל תצפית	שקיעה	זמן זיהוי הכוכב	מחזוריות הפרש מהשקיעה	בהירות נראית	הערות
אנטרס	כד בתמוז תשע"א	2011	7	26	230	18	1942	2001	19	2.09	
	כט בתמוז תשע"א	2011	7	31	235	33	1939	1959	20	2.14	אביך עננות
	ב באב תשע"א	2011	8	2	240	21	1937	1958	21	2.10	
	ד באב תשע"א	2011	8	4	242	31	1936	1952	16	1.91	
	ז באב תשע"א	2011	8	7	245	4	1933	1948			
	טו באב תשע"א	2011	8	15	250	10	1925	1944	19	1.85	
	כא באב תשע"א	2011	8	21	260	31	1919				
	כב באב תשע"א	2011	8	22	270	10	1918	1935	17	1.80	
	כה באב תשע"א	2011	8	25	280	4	1914	1930			
	ל באב תשע"א	2011	8	30	295	19	1908	1925	17	2.06	
	ה באלול תשע"א	2011	9	4	298	17	1902	1914	12	1.95	
	ו באלול תשע"א	2011	9	5	299	14	1901	1918	17	1.91	
הבהירות הנראית לעין של אנטרס: 1.99 ± 0.11 ראה - איור 15											

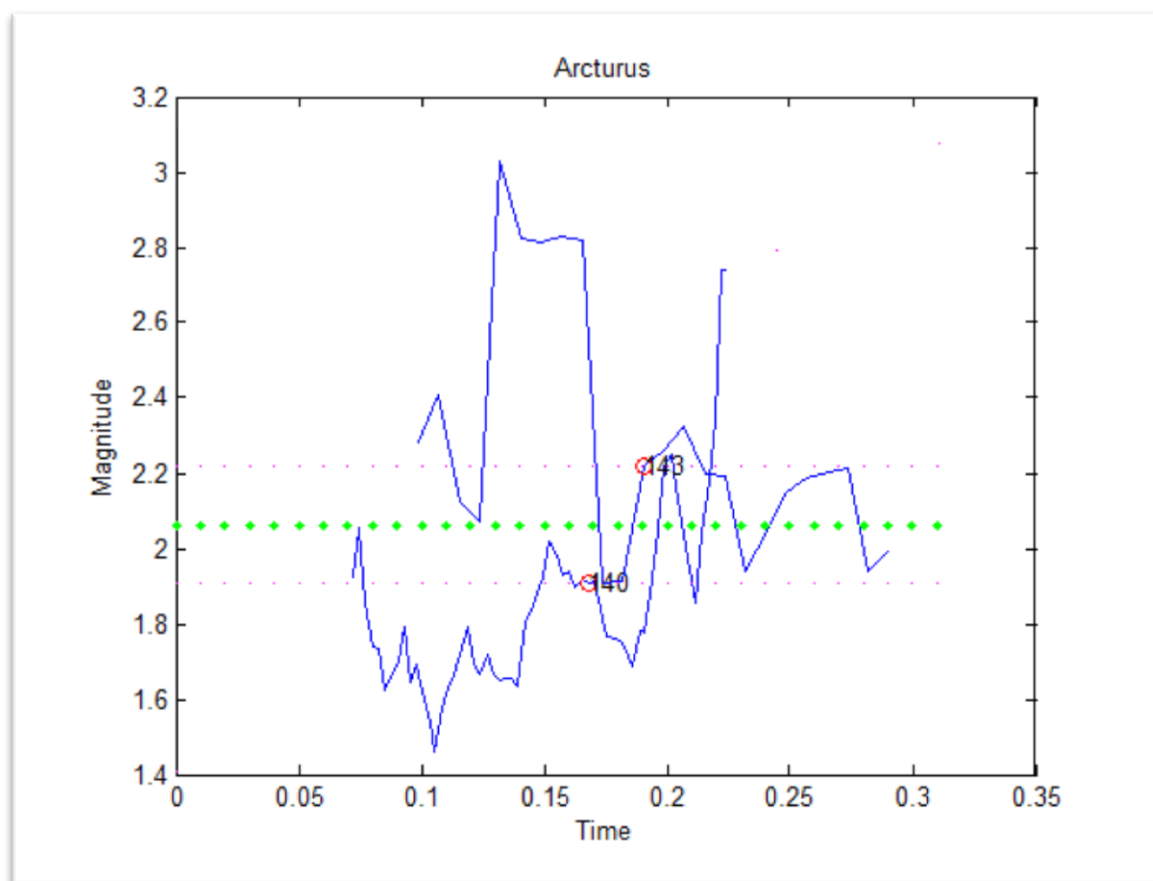


איור 15: ניתוח כוכב אנטרס

כוכב ארקטורוס


 <p style="text-align: center;">תמונה 6 : קבוצת כוכבים רועת דובים</p>	שם כוכב : ארקטורוס (Alpha Boo ; Arcturus)
	קבוצת כוכבים : רועת דובים (Bootes) תמונה 6
	סיווג ספקטרלי (ע"פ תרשים HR): K2III:
	בהירות יחסית : -0.05
	בהירות מוחלטת : -0.31
	גודל : א. קוטר : 1.2 ב. מסה : 1.1
	מרחק (Light Year): 36.7
	מיקום : א. עליה ישרה (RA) : 14h 16m ב. נטייה (Dec) : 19.2°

הערות	בהירות נראית	הפרש מהשקיעה בדקות	זמן זיהוי הכוכב	שקיעה	מספר צילומים בליל תצפית	אינדקס	יום	חודש	שנה	תאריך עברי	כוכב
	1.90	10	1957	1947	60	140	12	6	2011	י בסיון תשע"א	ארקטורוס
	2.22	11	2000	1949	24	143	19	6	2011	יז בסיון תשע"א	
הבהירות הנראית לעין של ארקטורוס: 2.06 ± 0.22											
ראה - איור 16											

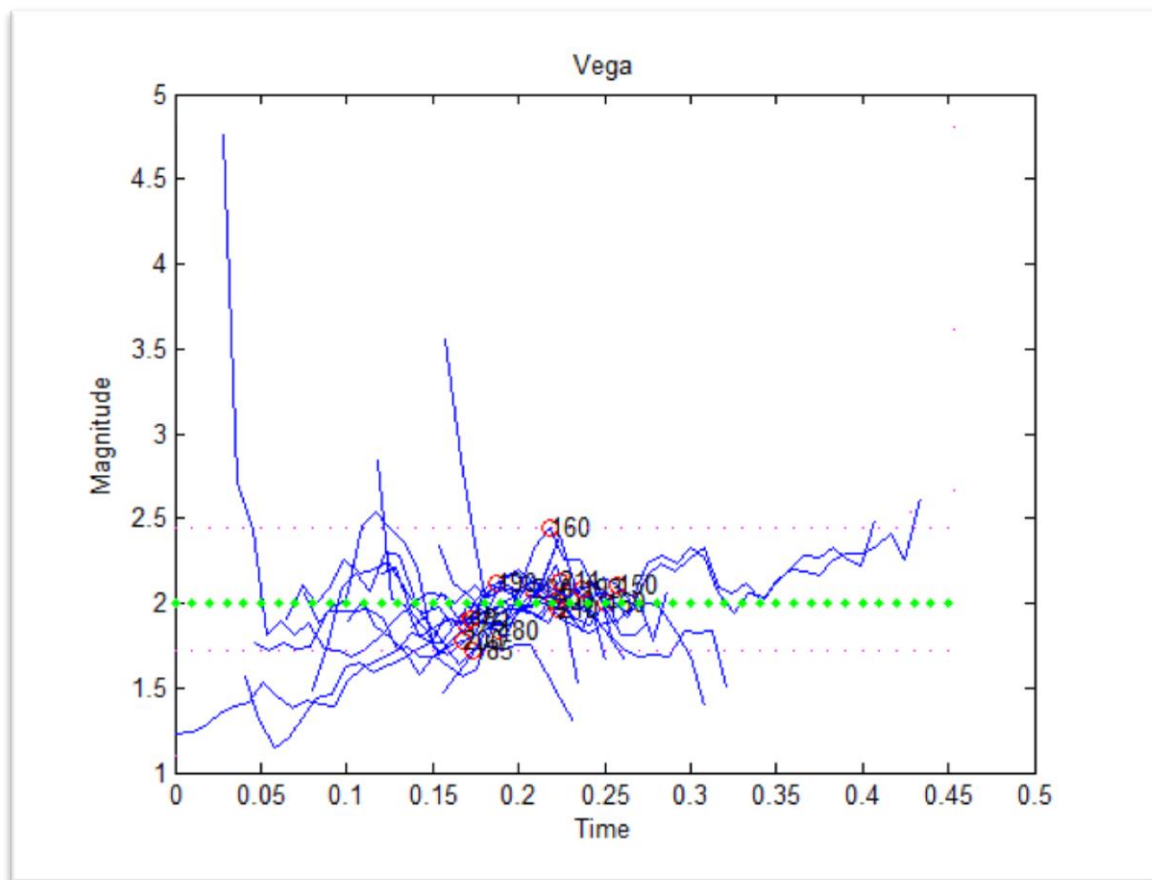


איור 16: ניתוח כוכב ארקטורוס

כוכב וגה

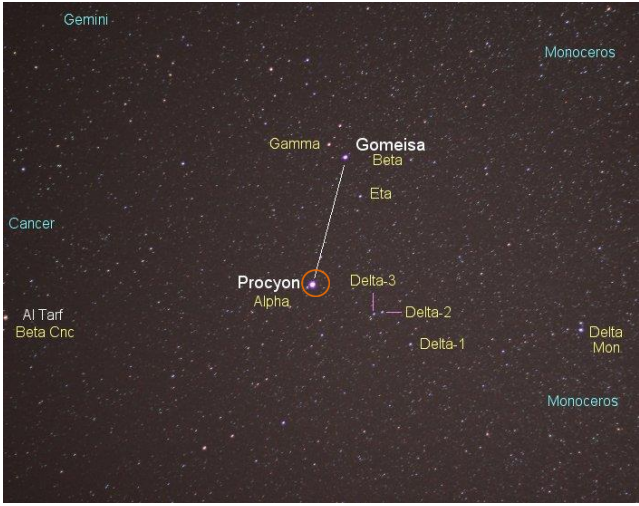
 <p>תמונה 7 : קבוצת כוכבים נבל</p>	שם כוכב : וגה (Alpha Lyr ; Vega)
	קבוצת כוכבים : נבל (Lyra) תמונה 7
	סיווג ספקטרלי (ע"פ תרשים HR) : A0V
	בהירות יחסית : 0.03
	בהירות מוחלטת : 0.58
	גודל : א. קוטר : 2.3
	ב. מסה : 2.1
	מרחק (Light Year) : 25.3
	מיקום : א. עליה ישרה (RA) : 18h 37m ב. נטייה (Dec) : 38.8°

כוכב	תאריך עברי	שנה	חודש	יום	אינדקס	מספר צילומים בליל תצפית	שקיעה	זמן זיהוי הכוכב	הפרש מהשקיעה בדקות	בהירות נראית	הערות
וגה	ט באלול תש"ע	2010	8	19	20	45	1921	1933	12	2.07	
	ד במרחשון תשע"א	2010	10	12	39	5	1713	1730			
	יג במרחשון תשע"א	2010	10	21	41	3	1703				
	טז במרחשון תשע"א	2010	10	24	42	3	1659				
	יח במרחשון תשע"א	2010	10	26	43	27	1657	1709			
	כ במרחשון תשע"א	2010	10	28	44	23	1655	1710			
	כג במרחשון תשע"א	2010	10	31	46	44	1653	1708	15	2.00	
	כז במרחשון תשע"א	2010	11	4	48	19	1649	1700	11	1.83	
	ל במרחשון תשע"א	2010	11	7	50	17	1647	1700	13	2.00	
	יח בסיון תשע"א	2011	6	20	150	19	1950	2005	15	2.11	
	יט בסיון תשע"א	2011	6	21	160	34	1950	2003	13	2.43	
	כד בסיון תשע"א	2011	6	26	170	37	1951	2050			צבע מוזר לשמים-נפסל
	כה בסיון תשע"א	2011	6	27	175	17	1951	2001	10	1.88	
	כו בסיון תשע"א	2011	6	28	181	22	1951	2001	10	1.90	
	כח בסיון תשע"א	2011	6	30	185	21	1951	2001	10	1.72	
	ג בתמוז תשע"א	2011	7	5	190	29	1951	2002	11	2.11	
	ח בתמוז תשע"א	2011	7	10	193	25	1950	2004	14	2.07	
	יב בתמוז תשע"א	2011	7	14	200	17	1948	1958	10	1.78	
	טז בתמוז תשע"א	2011	7	18	210	9	1947	2000	13	1.96	
	יט בתמוז תשע"א	2011	7	21	211	15	1945	1958	13	2.12	
הבהירות הנראית לעין של וגה: 2.00 ± 0.18											
ראה- איור 17											

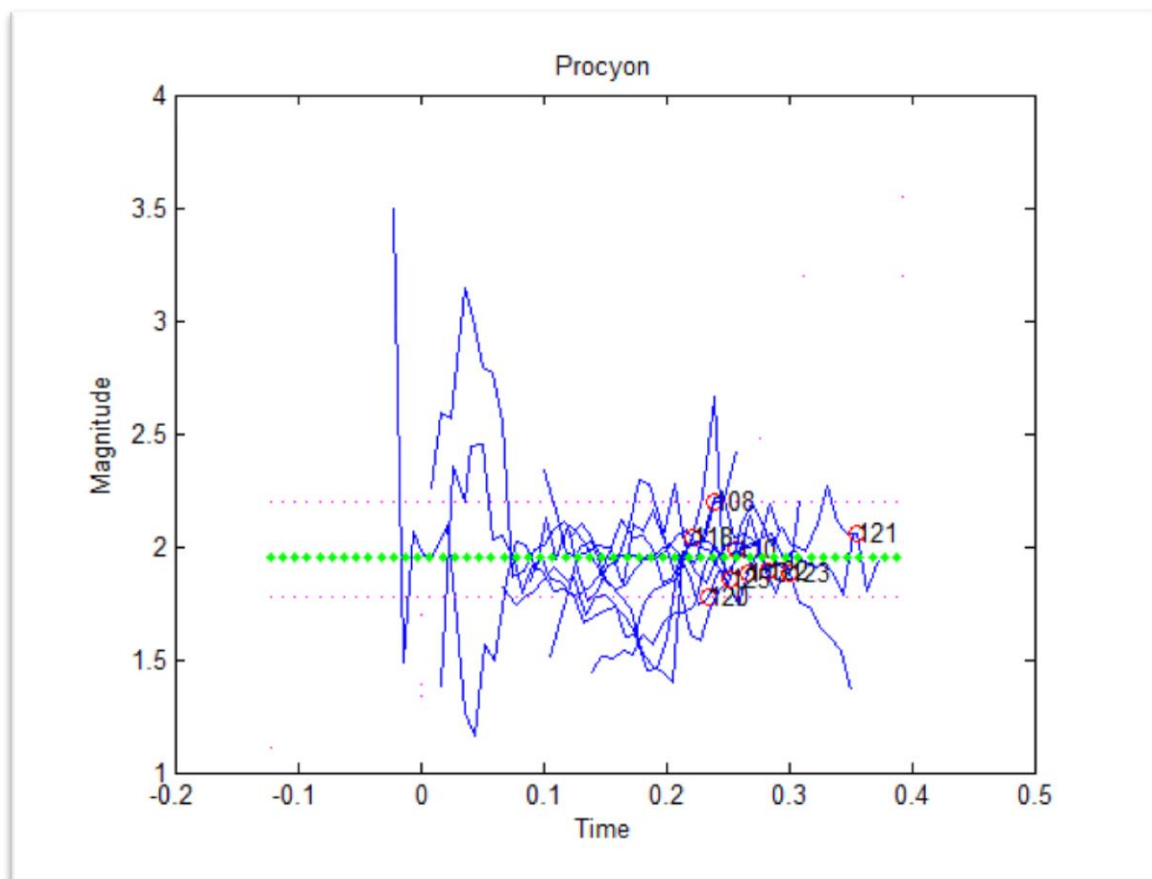


איור 17: ניתוח כוכב וגה

כוכב פרוקיון

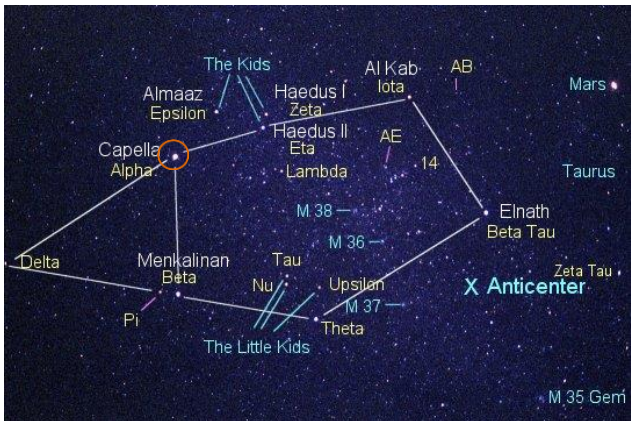
 <p>תמונה 8 : קבוצת כוכבים כלב קטן</p>	שם כוכב: פרוקיון (Alpha CMi ; Procyon)
	קבוצת כוכבים: כלב קטן (Canis Minor)
	תמונה 8
	סיווג ספקטרלי (ע"פ תרשים HR) : F5IV-V
	בהירות יחסית: 0.40
	בהירות מוחלטת: 2.68
	גודל : א. קוטר: 2.0 ב. מסה: 1.5
	מרחק (Light Year): 11.4 מיקום: א. עליה ישרה (RA): 07h 39m ב. נטייה (Dec): 5.2°

כוכב	תאריך עברי	שנה	חודש	יום	אינדקס	מספר צילומים בליל הצפית	שקיעה	זמן זיהוי הכוכב	הפרש מהשקיעה בדקות	בהירות נראית	הערות
פרוקיון	ז בניסן תשע"א	2011	4	11	108	17	1907	1921	14	2.19	ירח קרוב לפרוקיון
	ט בניסן תשע"א	2011	4	13	109	19	1908	1922			הצילום הסתיים ב: 1910
	ט בניסן תשע"א	2011	4	13	110	17	1908	1923	15	1.99	
	כב בניסן תשע"א	2011	4	26	113	35	1917	1933	16	1.88	
	ז באייר תשע"א	2011	5	11	118	18	1928	1941	13	2.04	
	יא באייר תשע"א	2011	5	15	120	22	1931	1945	14	1.77	
	יב באייר תשע"א	2011	5	16	121	35	1931	1952	21	2.05	
	טו באייר תשע"א	2011	5	19	122	36	1933	1950	17	1.89	
	יח באייר תשע"א	2011	5	22	123	35	1935	1953	18	1.88	קצת עננות-אובך
	כב באייר תשע"א	2011	5	26	125	46	1938	1953	15	1.85	
הבהירות הנראית לעין של פרוקיון: 1.95 ± 0.12 ראה- איור 18											

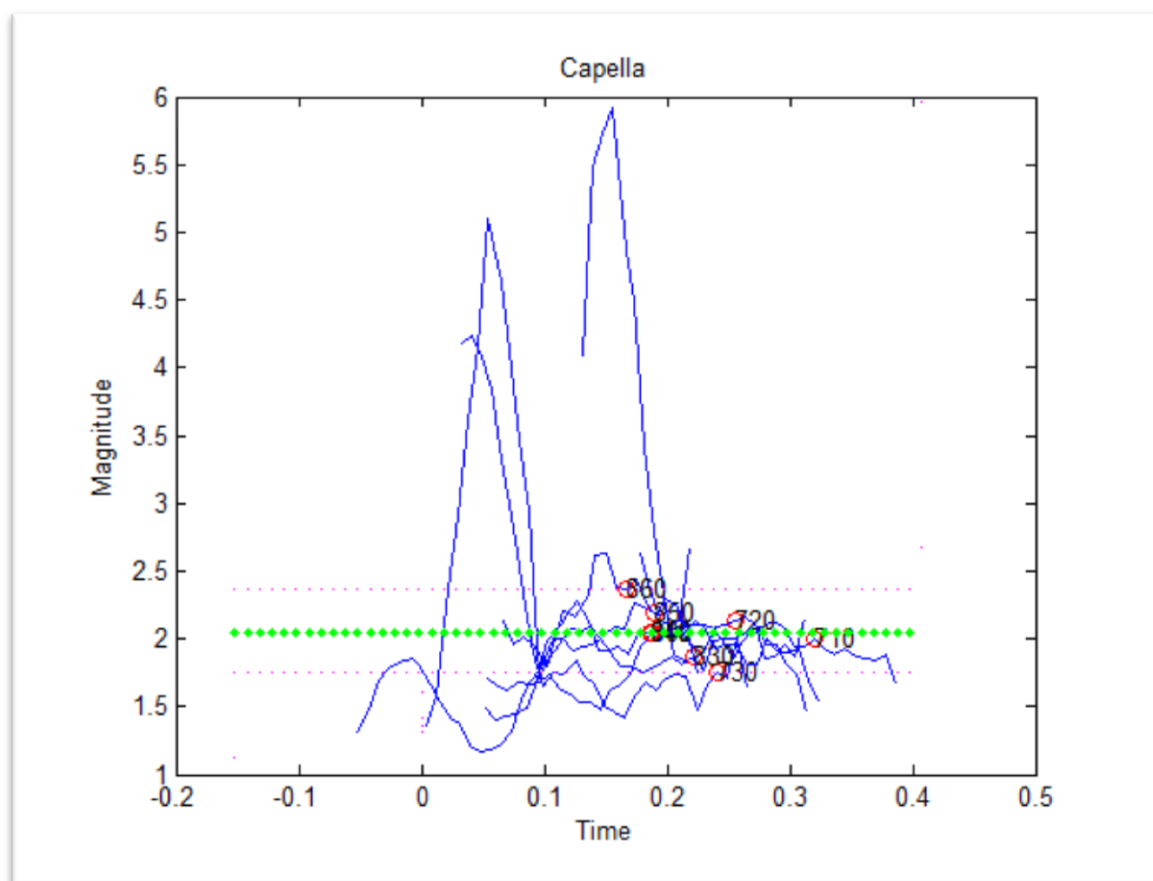


איור 18: ניתוח כוכב פרוקיון

כוכב קפלה


 <p>תמונה 9 : קבוצת כוכבים עגלון</p>	שם כוכב: קפלה (Alpha Aur ; Capella)
	קבוצת כוכבים: עגלון (Auriga) תמונה 9
	סיווג ספקטרלי (ע"פ תרשים HR) : G5III+G0II
	בהירות יחסית: 0.08
	בהירות מוחלטת: -0.48
	גודל : א. קוטר: 12 ב. מסה: 2.7
	מרחק (Light Year): 42.2 מיקום : א. עליה ישרה (RA) : 05h 17m ב. נטייה (Dec) : 46.0°

כוכב	תאריך עברי	שנה	חודש	יום	אינדקס	מספר צילומים בכליל תצפית	שקיעה	זמן זיהוי הכוכב	הפרש מהשקיעה בדקות	בהירות נראית	הערות
קפלה	כז בטבת תשע"א	2011	1	3	71	26	1649	1708	19	2.00	
	כח בטבת תשע"א	2011	1	4	72	23	1650	1705	15	2.13	עננות קלה
	א בשבט תשע"א	2011	1	6	73	29	1652	1706	14	1.75	עננות קלה
	ד בשבט תשע"א	2011	1	9	80	22	1654	1705	11	2.04	
	ו בשבט תשע"א	2011	1	11	83	38	1656	1709	13	1.86	
	ח בשבט תשע"א	2011	1	13	84	21	1657	1708	11	2.05	
	טו בשבט תשע"א	2011	1	20	85	46	1704	1715	11	2.18	
	יט בשבט תשע"א	2011	1	24	86	20	1708	1718	10	2.36	
<p>הבהירות הנראית לעין של קפלה: 2.05 ± 0.18 ראה- איור 19</p>											

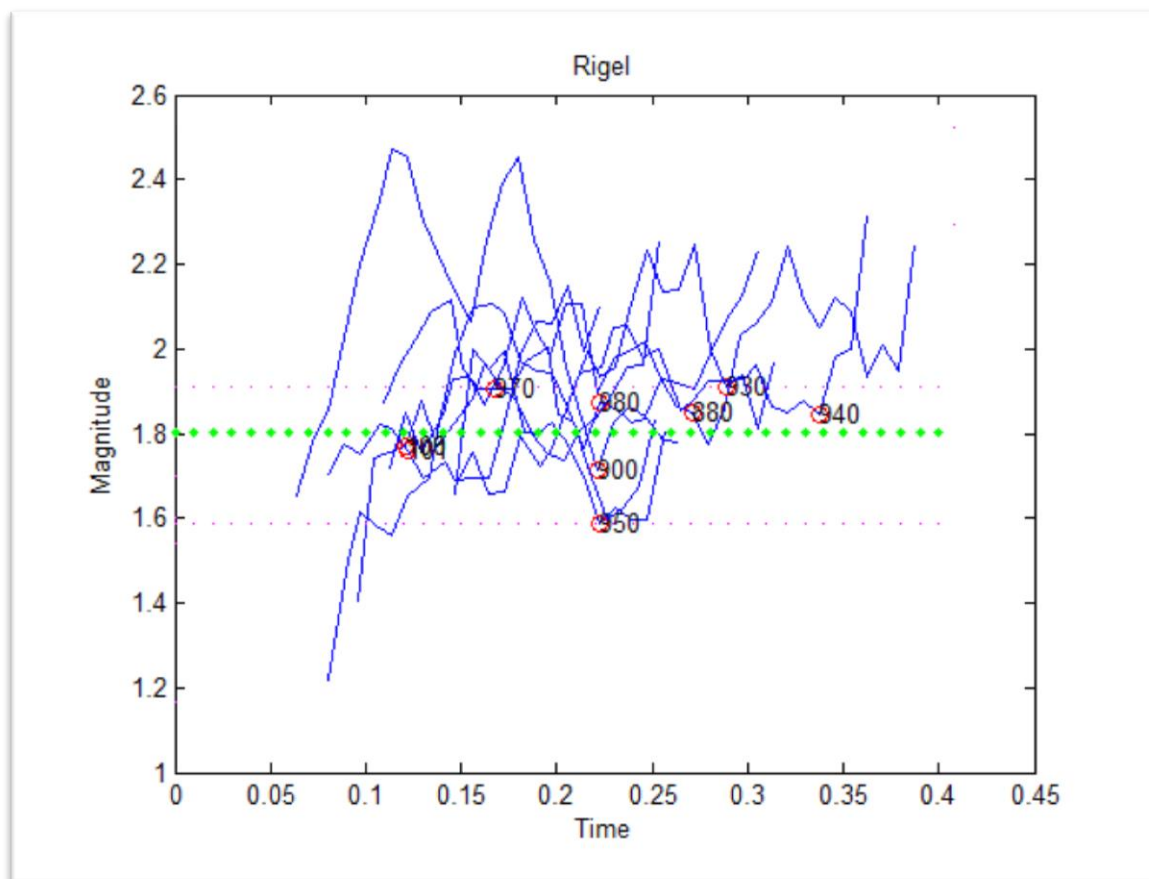


איור 19: ניתוח כוכב קפלה

כוכב ריגל

 <p>תמונה 10 : קבוצת כוכבים אוריון</p>	שם כוכב: ריגל (Beta Ori ; Rigel)
	קבוצת כוכבים: אוריון (Orion) תמונה 10
	סיווג ספקטרלי (ע"פ תרשים HR): B8Ia
	בהירות יחסית: 0.18
	בהירות מוחלטת: -6.69
	גודל: א. קוטר: 78 ב. מסה: 17
	מרחק (Light Year): 770
<p>מיקום: א. עליה ישרה (RA): 05h 15m ב. נטייה (Dec): -8.2°</p>	

כוכב	תאריך עברי	שנה	חודש	יום	אינדקס	מספר צילומים בליל תצפית	שקיעה	זמן זיהוי הכוכב	הפרש מהשקיעה בדקות	בהירות נראית	הערות
ריגל	י באדר א תשע"א	2011	2	14	88	34	1726	1742	16	1.84	מעט עננות
	יג באדר א תשע"א	2011	2	17	90	30	1729	1742	13	1.71	
	כג באדר א תשע"א	2011	2	27	93	21	1737	1754	17	1.91	
	כד באדר א תשע"א	2011	2	28	94	19	1738	1758	20	1.84	
	כה באדר א תשע"א	2011	3	1	95	14	1739	1752	13	1.59	
	כז באדר א תשע"א	2011	3	3	97	18	1740	1750	10	1.90	
	א באדר ב תשע"א	2011	3	7	98	23	1743	1756	13	1.87	
	ב באדר ב תשע"א	2011	3	8	99	6	1744	1757			
	ח באדר ב תשע"א	2011	3	14	100	20	1748	1755	7	1.77	
	ט באדר ב תשע"א	2011	3	15	101	18	1749	1756	7	1.76	
הבהירות הנראית לעין של ריגל: 1.80±0.13											
ראה - איור 20											



איור 20 : ניתוח כוכב ריגל

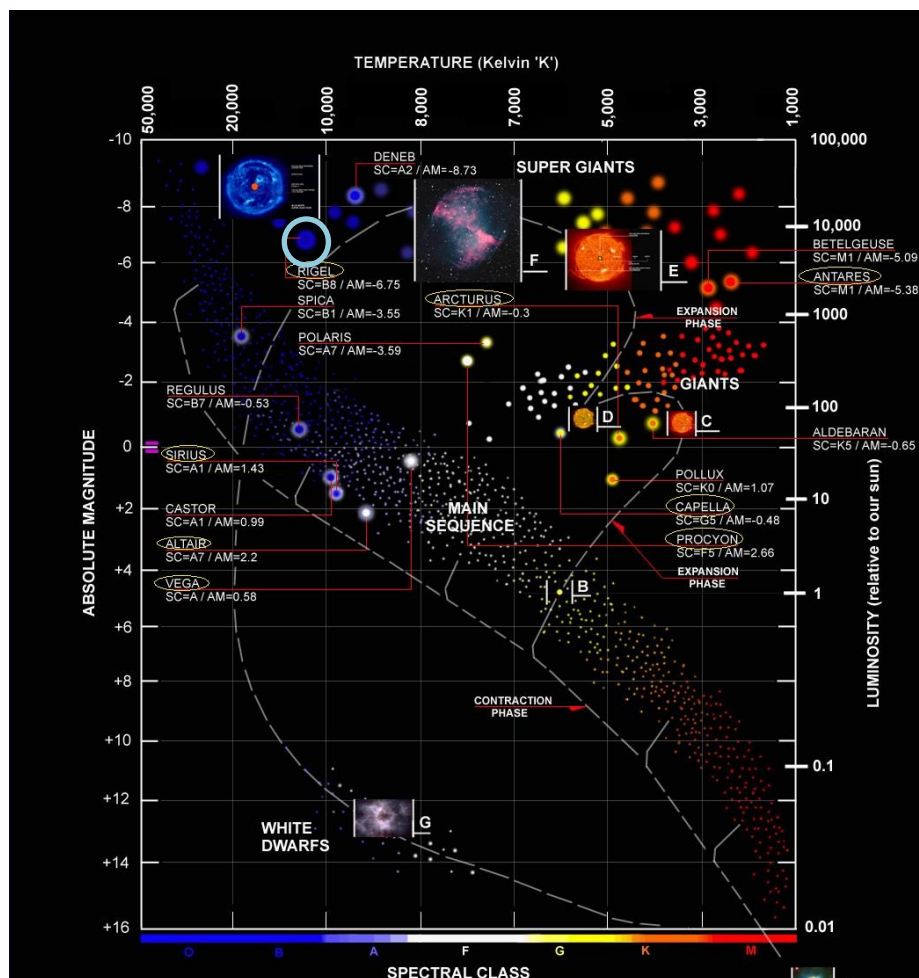
סיכום חלק תוצאות המחקר (טבלה 4)

סיכום רמת בהירות נראית לעין הצופה	
1.84	אלטאיר:
1.99	אנטרס:
2.06	ארקטורוס:
2.00	וגה:
1.95	פרוקיון:
2.05	קפלה:
1.80	ריגל:
1.96 ± 0.1	ממוצע וסטיית תקן

טבלה 4 : סיכום תוצאות המחקר

דיון מסקנות והצעות

- מצאנו קריטריון, שעבורו - בבהירות 1.96 (וסטיית תקן של: 0.1), תוכל עין אנושית לזהות את הכוכבים הנראים בשעת צאת הכוכבים. נתון זה אינו מותנה בזמן מסוים מרגע השקיעה, אלא ברמת הבהירות של הכוכב על פני כיפת השמים.
- רוב הכוכבים שהשתתפו במחקר הינם מהסדרה הראשית של הכוכבים (על דיאגרמת H-R, כפי שניתן לראות ב-איור 21 הכוכבים מסומנים באליפסה צהובה דקה).



איור 21: דיאגרמת HR הכוללת סימון כוכבי המחקר

- הכוכב ריגל (ראה באיור 21, מסומן בטבעת תכלת) נצפה ברמת בהירות 1.8, נמוכה יחסית לשאר ביחס לשאר הכוכבים. ניתן להסביר זאת ע"פ דיאגרמת H-R, כפי שהוזכר ברקע המדעי. הכוכב ריגל מקבוצת העל-ענקים הנתון במרחק 770 שנות אור, לכאורה סיבה טובה לראותו מאוחר יותר, אומנם הוא בעל טמפרטורה של 11000K, ובהירות נראית של: -6.69 , גבוהה משאר הכוכבים שנצפו במחקר, המאפשרת לו להראות מוקדם.
- המשמעות ההלכתית של התזה, שישנה אפשרות לצפות את הזמן העתידי בו תוכל עין אנושית לראות את הכוכבים - ללא כל אמצעי. וממילא נוכל לדעת מהי הבהירות הדרושה לעין הצופה, שיוכל לראות ג' כוכבים (בינוניים). זמן שעל פי ההלכה, מתחיל הלילה, עם כל המשמעויות ההלכתיות הנגזרות מכך. ובהעדרם (כולם או שניים) או בהעדר אחד מהם, יוגדר הזמן כיום או כבין השמשות (בהתאמה).

ביבליוגרפיה

מקורות הלכתיים

- אנציקלופדיה תלמודית, "בין השמשות", ג, ירושלים תשכ"ג, עמ' קכב.
- ביניש, הרב חיים, "הזמנים בהלכה" בני-ברק, תשנ"ה.
- הכהן, הרב ישראל מאיר, "משנה ברורה", ג, ירושלים תשל"ג.
- טוקצנסקי, הרב יחיאל מיכל, "בין השמשות", ירושלים תרפ"ט
<http://www.hebrewbooks.org/6656>
- ליפמאן, הרב אריה לייב, "אור היום", ווילנא תרס"א <http://www.hebrewbooks.org/8750>
- ציקוני, הרב איתן, "חזון שמים", נתיבות תשנ"ד
- קארו, הרב יוסף, "שולחן ערוך" חלק אורח-חיים, חלק יורה דעה.
- שווארץ, הרב יוסף, "תבואות השמש", ירושלים תר"ג <http://www.tevuot.org/index.html>
- תלמוד בבלי מסכתות שבת, פסחים, מגילה.
- תלמוד ירושלמי מסכת ברכות.

מקורות הלכתיים - מדעיים

- איזנברג, הרב יהודה, "בין השמשות", אתר דעת,
<http://www.daat.ac.il/encyclopedia/value.asp?id1=311>
- גולדברג, הרב זלמן נחמיה, "עדות החודש באמצעות עזרים אופטיים", יודעי בינה ב', (תשס"ד), עמ' 81-84.
- הופמן, רוי עמנואל; כאץ, טוביה, "חיזוי זמן הופעת הירח החדש", יודעי בינה א' (תשס"א), ע"מ 115-143.
- וייס, הרב יעקב גרשון, "תצפיות צאת הכוכבים", המעיין מח, (טבת תשס"ח), עמ' 37-48.
- פיקסלר, הרב ד"ר דרור, "מדות ושיעורי תורה בפירוש המשנה לרמב"ם" אתר דעת,
<http://www.daat.ac.il/daat/toshba/halacha/midot1-2.htm>
- פיקסלר, הרב ד"ר דרור; ישי, יצחק, "שימוש באופטיקה מודרנית בראיית הירח החדש" תחומין כרך כג (תשס"ג), עמ' 298-309.
- רבינוביץ, הרב נחום אליעזר, "הערכה מדעית כיסוד לפסיקת הלכה"
<http://www.zomet.org.il/?CategoryID=290&ArticleID=384&Page=1>

מקורות מדעיים

- <http://www.bareket-astro.com>, "ברקת"
- "האנציקלופדיה לאסטרונומיה אסטרופיזיקה ומדעי החלל",
<http://astroclub.tau.ac.il/astropedia>
- "מבוא לטלסקופים", http://www.education.org.il/education/equipment_tele.htm.
- ליבוביץ', אליה, "מקצה השמיים - מבוא לאסטרונומיה", האוניברסיטה הפתוחה, תל-אביב, תשס"ו.
- מידב מאיר ; ברוש נח ; נצר חגי, "צפונות היקום אשנב לאסטרונומיה", האוניברסיטה הפתוחה, רעננה, תשע"ג.
- נתוני המצלמה: "Model ST-8300M/C CCD Camera Operating Manual",
<http://physics.ubishops.ca/observatory/sbig8300.pdf>
- נתוני כוכבים :
 - Fred Espenak, " AstroPixels", <http://astropixels.com/stars/brightstars.html>
 - James B. (Jim) Kaler, "The 170 Brightest Stars",
<http://stars.astro.illinois.edu/sow/bright.html>
 - Richard Powell, " At Las Of The Universe",
<http://www.atlasoftheuniverse.com/stars.html>
- פלג, דורי, "מבוא ל-Matlab",
<http://webcourse.cs.technion.ac.il/234303/Summer2010/ho/WCFiles/IntroToMatlab.pdf>
- פלנטריום קוד פתוח (תוכנה- גירסא 0.12.4) :
Stellarium, 2000-2013, <http://www.stellarium.org> ○
- פת-אל, יגאל, "ספר השנה האסטרונומית תשע"ד-תשע"ה", <http://cosmos.co.il/book2014.pdf>.
- "European Space Agency", <http://www.rssd.esa.int> - "סוכנות החלל אירופאית"
- Bart J. Bok ; Priscilla F. Bok, "The Milky Way", Harvard university press, Cambridge, Massachusetts, 1957
- Fred Schaaf, "The Brightest Stars", New Jersey; Canada, 2008

נספח 1 : עיבוד נתונים בעזרת MATLAB

תוכנית א': ניתוח ליל תצפית אחד.

```
clear all  
close all
```

בחירת תקיית תמונות

```
pathstr=uigetdir('select a directory','\')  
  
NameOfStar = pathstr(26:end);  
  
NameOfStar1=[NameOfStar(1:6),'-',(NameOfStar(8:end))]  
  
pathsbg=[pathstr '\sb-g\'];  
pathjpg=[pathstr '\jp-g\'];  
pathstr_all=[(pathstr(1:end-6)) '\str_all\'];  
  
strCounter = pathstr(end-4:end-2);  
Counter2=0;
```

הגדרת משתנים

```
numfile=length(dir(pathjpg));  
VavgStr=[];  
VavgBackG=[];  
VMagnitude=[];  
VnameStr=[];  
Time=[];  
TimeR=[];  
TimeHumanObservation=[];  
TimeSunSet=[];
```

הכנסת נתונים: א. שקיעה. ב. זמן הופעת הכוכב לעיני הצופה.

```
SunSet=input('Insert the sunset time [hh mm] ','s');  
SunSetMinutes=str2num(SunSet(end-1:end));  
SunSetHour=str2num(SunSet(end-3:end-2));  
TimeSunSet = [TimeSunSet SunSetHour+SunSetMinutes/60];  
  
HumanObservation=input('Insert the human observation time [hh mm] ','s');  
HumanObservationMinutes=str2num( HumanObservation(end-1:end));  
HumanObservationHour=str2num( HumanObservation(end-3:end-2));
```

```
TimeHumanObservation = [TimeHumanObservation
HumanObservationHour+HumanObservationMinutes/60];
```

עיבוד תמונה בודדת

```
for i=101:(101+numfile-3);

    inumsrt=[num2str(i)];
    inumsrt=inumsrt(end-1:end);

    Counter2=Counter2+1;

    namestr=['AutoGrab',strCounter,inumsrt];

    Str=imread([pathjpg namestr,'.jpg']);

    [strY,strX]=size(Str);

    Str = double(Str) ;

    StrDemo1=zeros (strY,strX);
    StrDemo1(strY/2-2:strY/2+3,strX/2-2:strX/2+3)=1;

    F1=fftshift(fft2(fftshift(Str)));
    F2=fftshift(fft2(fftshift(StrDemo1)));
    out=abs(fftshift(ifft2(fftshift(conj(F2).*F1))));

    v=max(max(out));
    [y,x]=find(out==v);

    MapStr=[Str(y-1:y+2,x-1:x+2)];

    if x+110>strX
        PlaceBR_X=x-100;
    else
        PlaceBR_X=x+100;
    end

    if y+110>strY
        PlaceBR_Y=y-100;
    else
        PlaceBR_Y=y;
    end

    BackG=[Str(PlaceBR_Y:PlaceBR_Y+10,PlaceBR_X:PlaceBR_X+10)];
```

```

avgStr=mean(MapStr(:));
if avgStr>100
VavgStr=[VavgStr avgStr];

avgBackG=mean (BackG(:));
VavgBackG=[VavgBackG avgBackG];

```

נוסחאת חישוב הקונטרס- יחס עוצמת הכוכב ליחס עוצמת הרקע

```

VMagnitude=[VMagnitude (avgStr-avgBackG)/avgBackG];

```

```

VnameStr=[VnameStr namestr];

```

```

strtimesbg=dir(pathsbg);
strtime=strtimesbg(2+(i-100)).date;

stimeSeconds=str2num(strtime(end-1:end));
stimeMinutes=str2num(strtime(end-4:end-3));
stimeHour=str2num(strtime(end-7:end-6));
TimeR = [TimeR stimeHour+stimeMinutes/60+stimeSeconds/3600];
Time=TimeR-TimeSunSet;
end
end;

```

ביצוע פונקציית החלקה

```

Smth=smooth(VMagnitude);
f=Smth';

```

```

TimeHO=TimeHumanObservation-TimeSunSet;

```

הצגה גרפית של נתוני ליל תצפית – בהירות כפונקציה של זמן (מרגע השקיעה, זמן השקיעה

מוגדר כ-0)

```

plot(Time,[f;VMagnitude]);
ylabel('Magnitude');
xlabel('Time');
title([NameOfStar1,'-Star'];['Date:',strtime(1:end-9)]));

hold on;

```

הצגת רגע זיהוי הכוכב ע"ג הגרף

```
TimeXHO=Time(min(find(Time>=TimeHO)));
TimeYHO=f(min(find(Time>=TimeHO)));
plot (TimeXHO,TimeYHO,['o'; 'r']);

details={ [NameOfStar1,'-Star'];['Date:',strtime(1:end-9)]};

savefile=['STR_',[strCounter]];
```

שמירת נתוני ליל התצפית

```
save ([pathstr_all savefile] , 'Time','f', 'TimeXHO','TimeYHO','details' );
```

```
clear all  
close all
```

```
NameTheSTR=[];  
xStr=[];
```

בחירת שם כוכב

```
{['Select the name of the  
star'];['1.Vega'];['2.Altair'];['3.Capella'];['4.Rigel'];['5.Procyon'];['6.Arcturus'];['7.Antar  
es']}]  
xStr=input('Choose a number','s');  
switch xStr  
    case '1'  
        NameTheSTR=('Vega');  
    case '2'  
        NameTheSTR=('Altair');  
    case '3'  
        NameTheSTR=('Capella');  
    case '4'  
        NameTheSTR=('Rigel');  
    case '5'  
        NameTheSTR=('Procyon');  
    case '6'  
        NameTheSTR=('Arcturus');  
    case '7'  
        NameTheSTR=('Antares');  
    otherwise  
        NameTheSTR=('No name of star');  
end
```

```
pathstr=uigetdir('selecting a directory of star','\')
```

```
numfile=length(dir(pathstr));
```

```
jj=[];  
Sfiles=[];  
d=[];  
NumOfStr=[];  
NumOfStr1=[];  
NameofStar=[];  
MagVek=[];
```

```
i=0;  
xmin=0;
```



```
xmax=0;
ymin=1.7;
ymax=0;
magniStar=[];
```

```
d = dir(pathstr);
```

טעינת נתוני הכוכב : ע"פ תוצאות ניתוח לילות תצפית (תכנית א')

```
for i=3:(numfile);
```

```
    Sfiles =d(i).name;
```

```
    NOS=str2num(Sfiles(end-6:end-4));
```

```
    load (Sfiles);
```

```
    a=min(Time);
```

```
    if a<xmin
```

```
        xmin=min(Time);
```

```
        xmin=xmin-0.1;
```

```
    end
```

```
    a2=max(Time);
```

```
    if a2>xmax
```

```
        xmax=max(Time);
```

```
        xmax=xmax+0.02;
```

```
    end
```

```
    b=min(f);
```

```
    if b<ymin
```

```
        ymin=min(f);
```

```
        ymin=ymin-0.05;
```

```
    end
```

```
    b2=max(f);
```

```
    if b2>ymax
```

```
        ymax=max(f);
```

```
        ymax=ymax+0.05;
```

```
    end
```

```
    plot(Time,f);
```

```
    ylabel('Magnitude');
```

```
    xlabel('Time');
```

```
    hold on;
```

```
plot (TimeXHO,TimeYHO,['o'; 'r'],xmin,ymin,['m'],xmax,ymax,['m']);
```

```
hold on;  
NumOfStr=num2str(NOS);  
text (TimeXHO,TimeYHO,[NumOfStr]);
```

ריכוז נתוני הבהירות של לילות התצפית, בזמן זיהוי הכוכב ע"י הצופה

```
MagVek=[MagVek TimeYHO];
```

```
clear Time f TimeXHO TimeYHO  
end;  
hold on;
```

```
plot((xmin:0.01:xmax),min(MagVek),'m-');  
plot((xmin:0.01:xmax),mean(MagVek),'g. ');  
plot((xmin:0.01:xmax),max(MagVek),'m-');
```

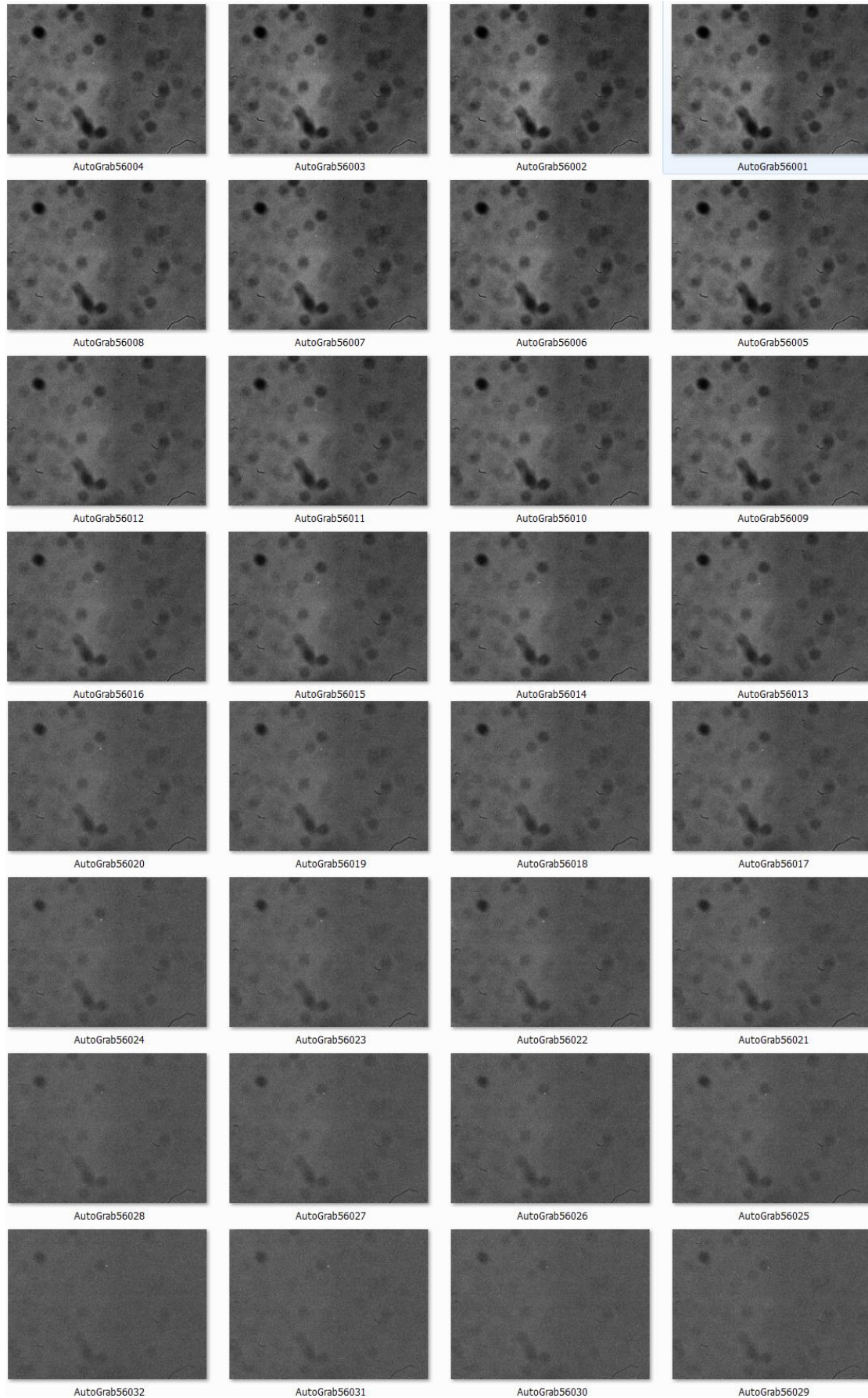
חישוב סטיית תקן

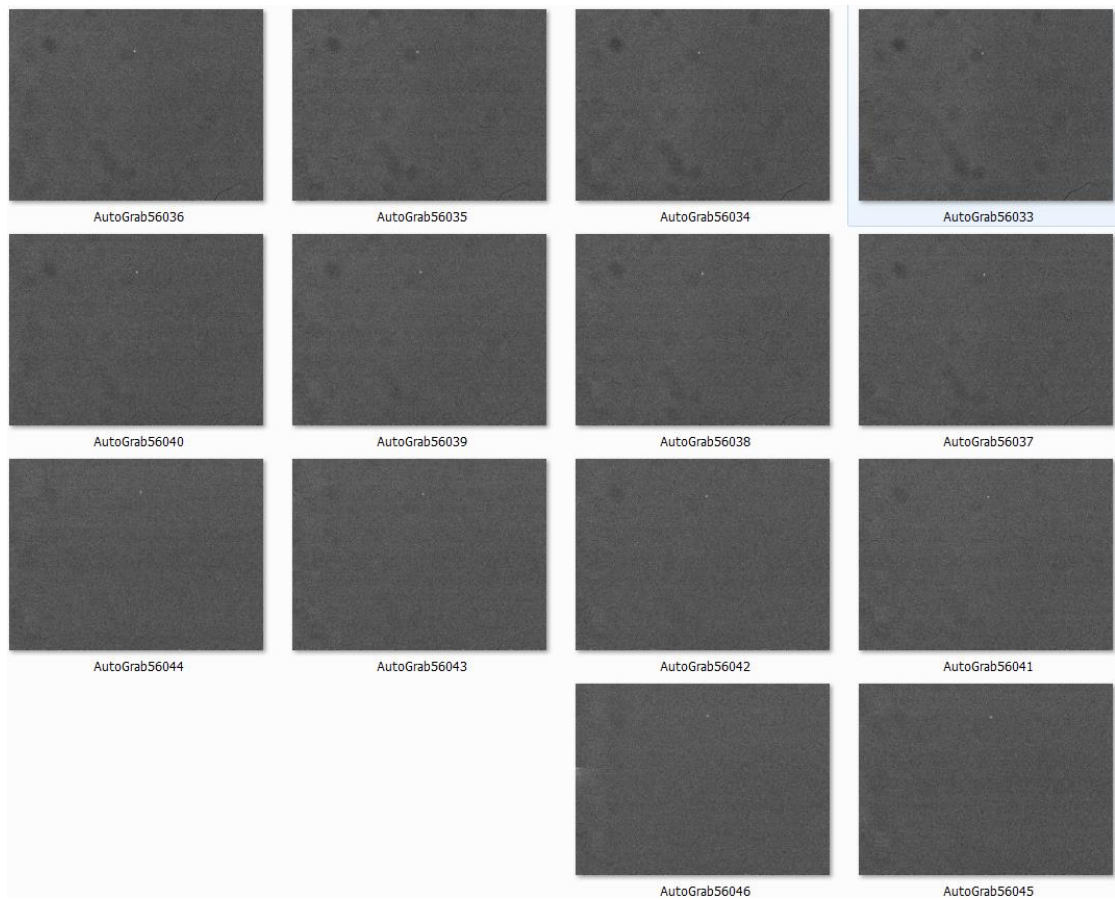
```
SdtStar=std(MagVek,0,2);
```

```
title(['The magnitude of ',NameTheSTR,' is:',num2str(mean(MagVek))],[ '+/-',  
' ',num2str(SdtStar)]);
```

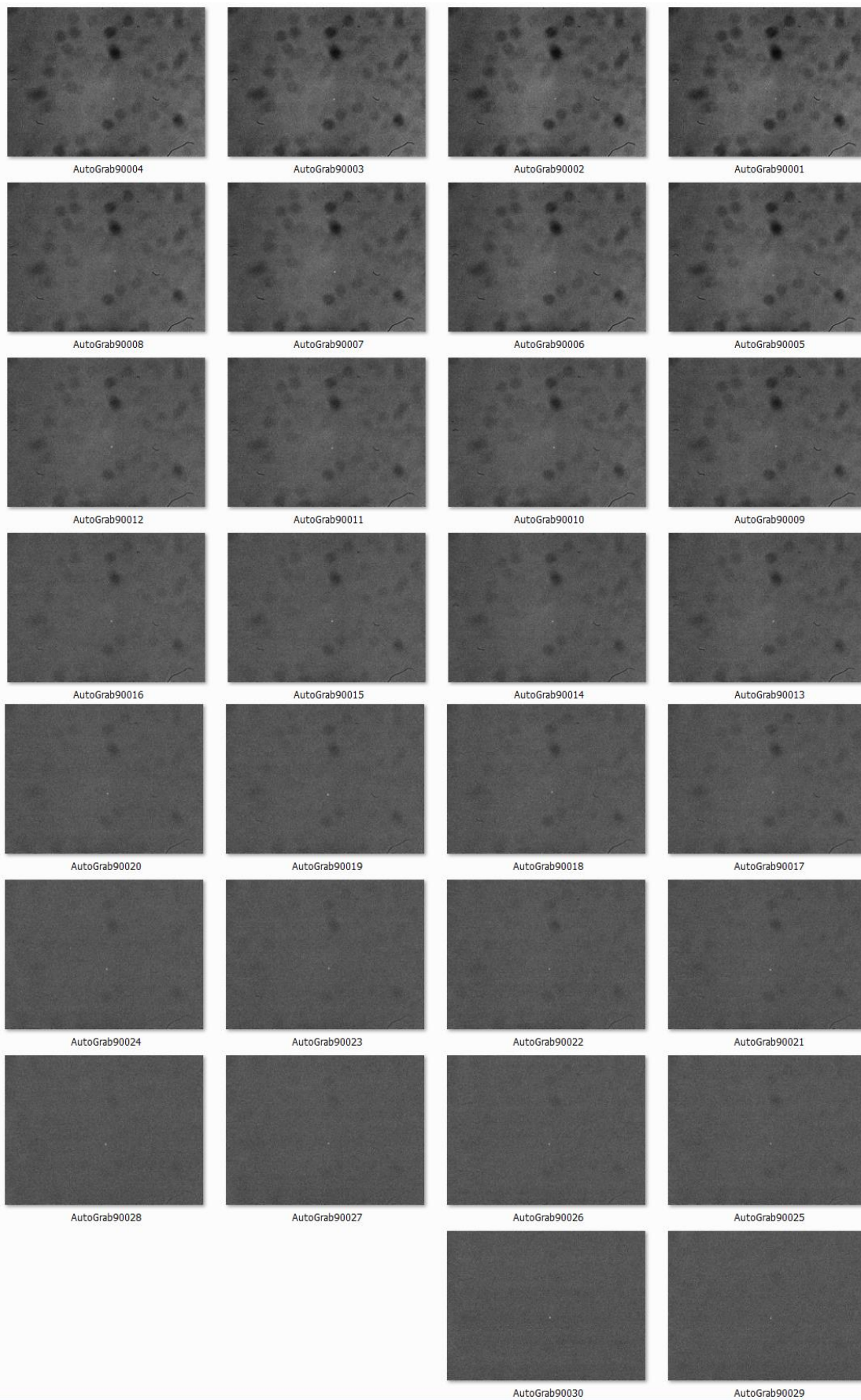
נספח 2 : תמונות הכוכבים בלילות התצפית

כוכב אלטאיר [תיקיה מספר 56000 (46 תמונות), מתוך 13 תיקיות]





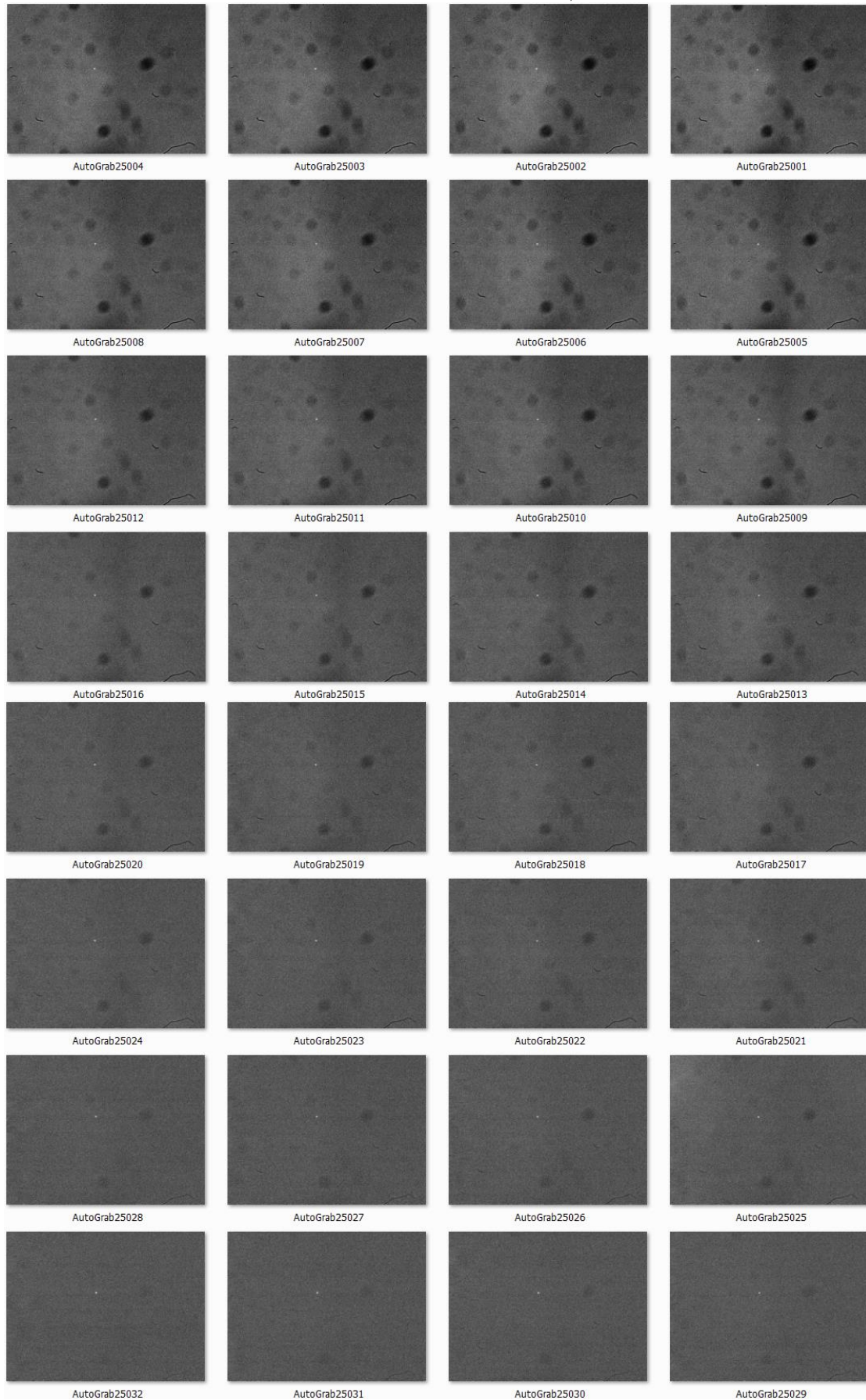
כוכב ריגל [תיקייה מספר 90000 (30 תמונות), מתוך 12 תיקיות]



כוכב אנטרס [תיקייה מספר 260000 (31 תמונות), מתוך 12 תיקיות]

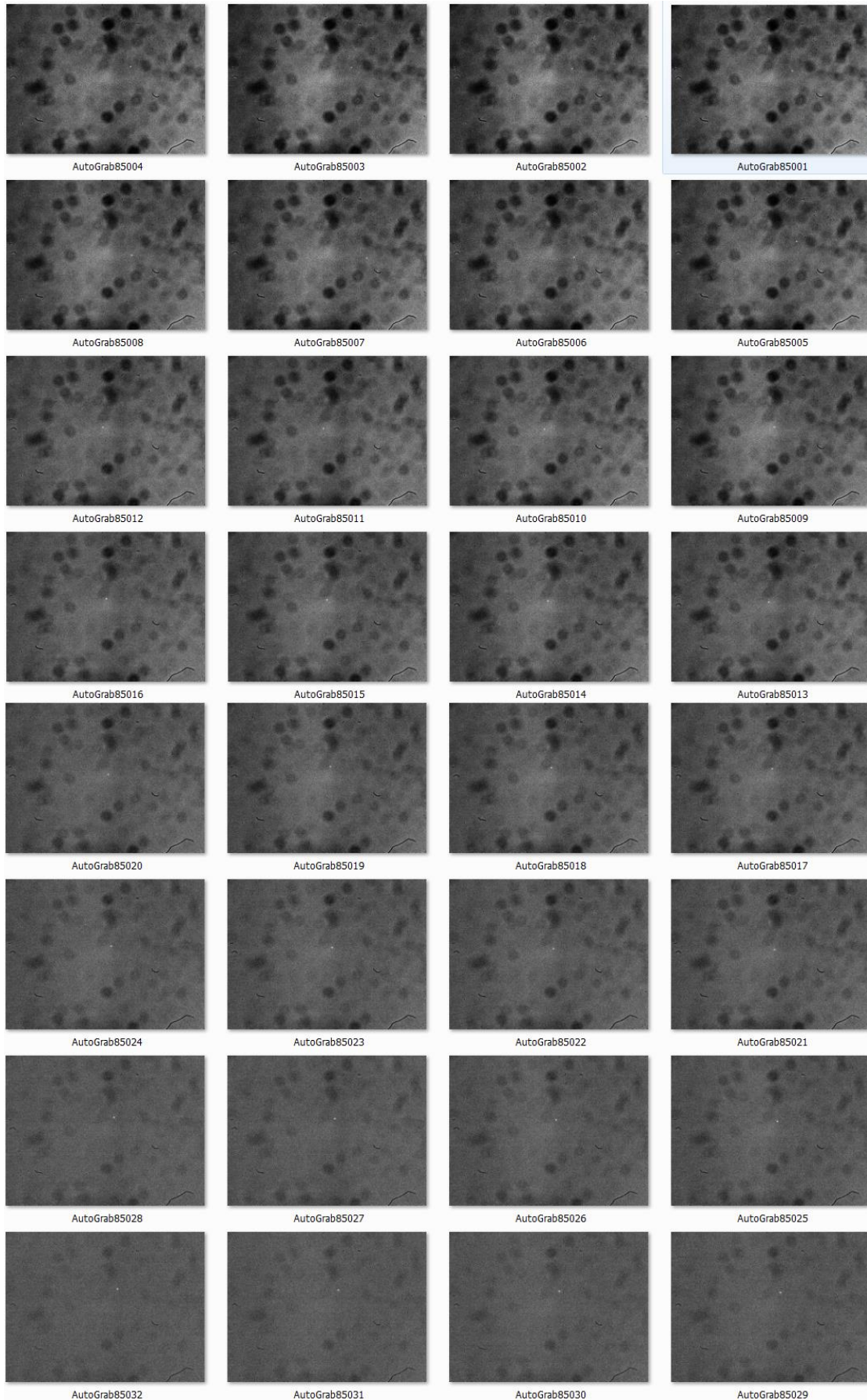


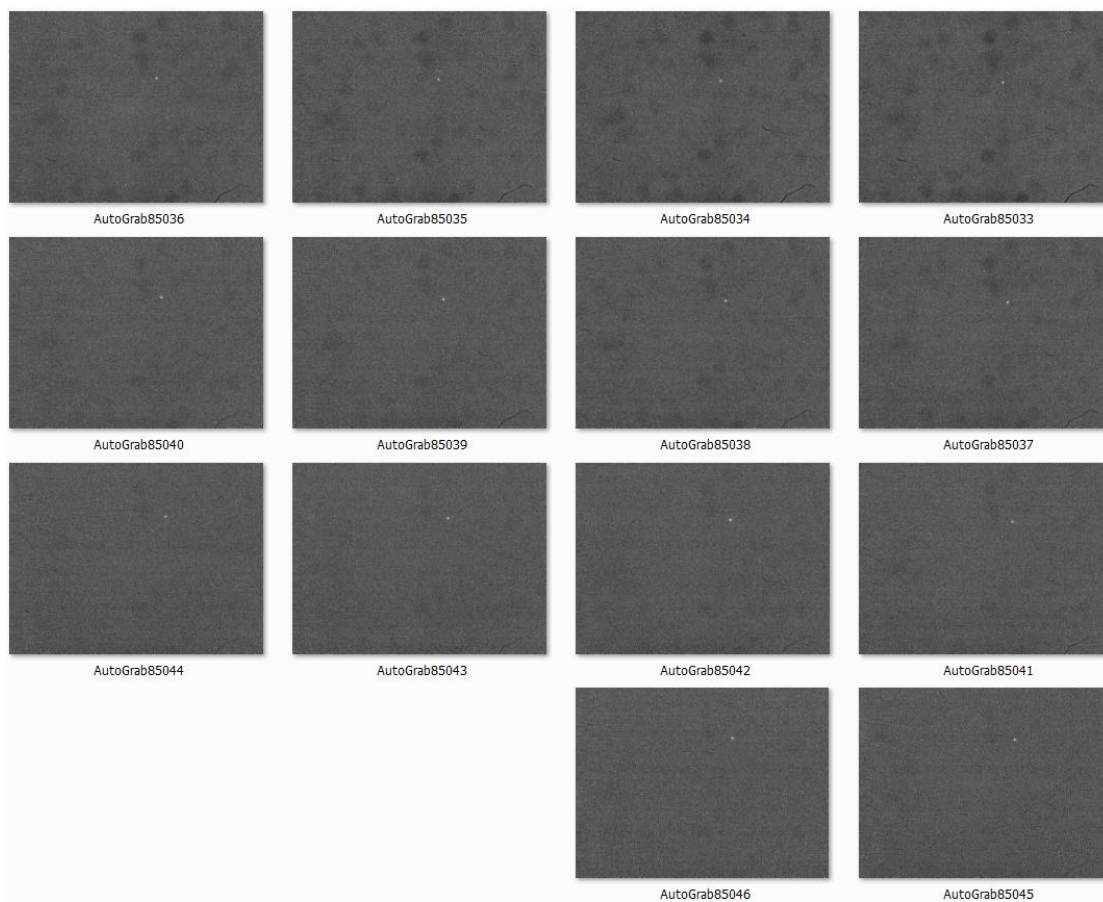
כוכב ארקטורוס [תיקייה מספר 25000 (40 תמונות), מתוך 17 תיקיות]



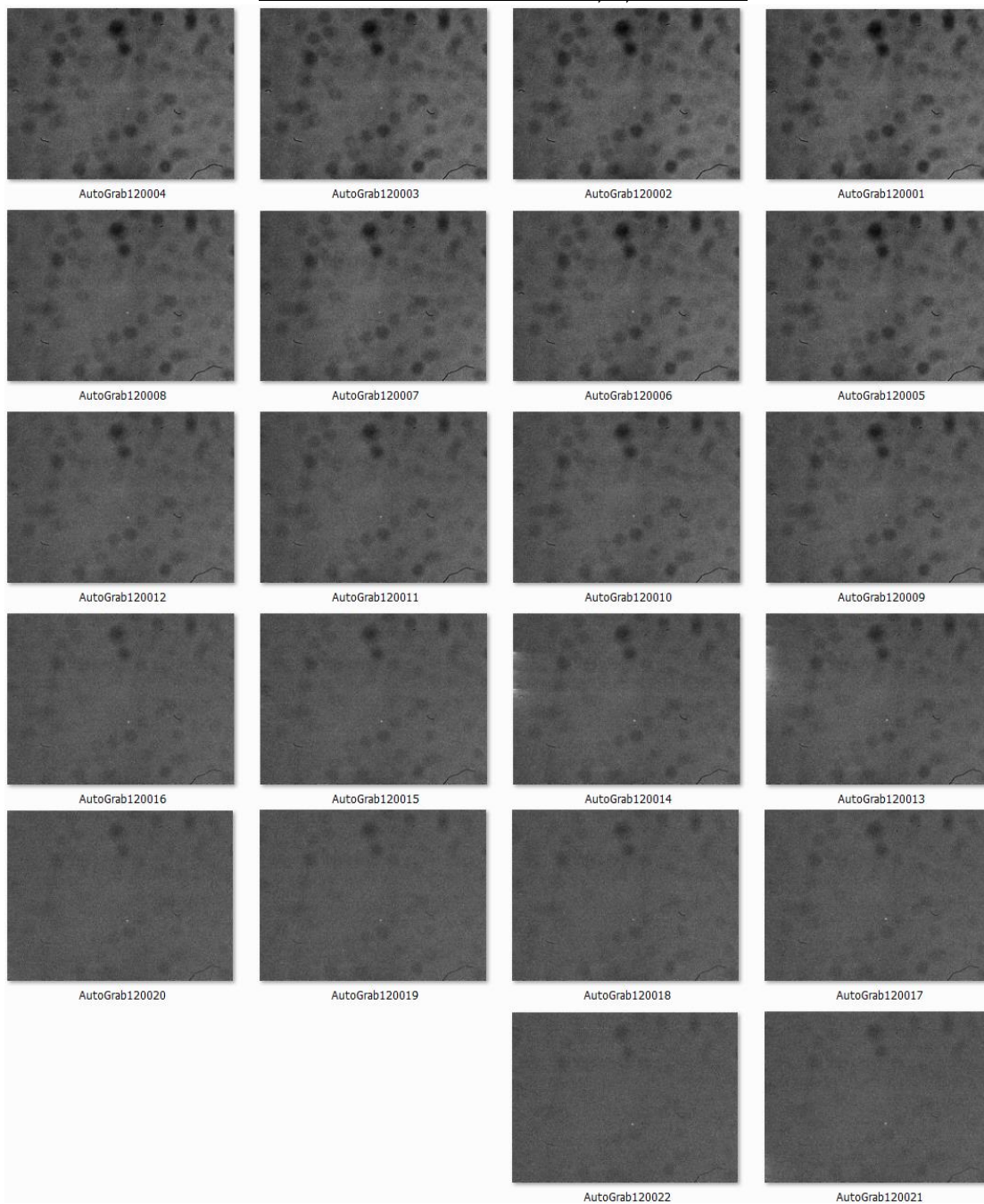


כוכב קפלה [תיקיה מספר 85000 (46 תמונות), מתוך 8 תיקיות]





כוכב פרוקיון [תיקייה מספר 120000 (22 תמונות), מתוך 15 תיקיות]



כוכב וגה [תיקיה מספר 193000 (25 תמונות), מתוך 20 תיקיות]



נספח 3 : מפת שמי ישראל- לאורך השנה

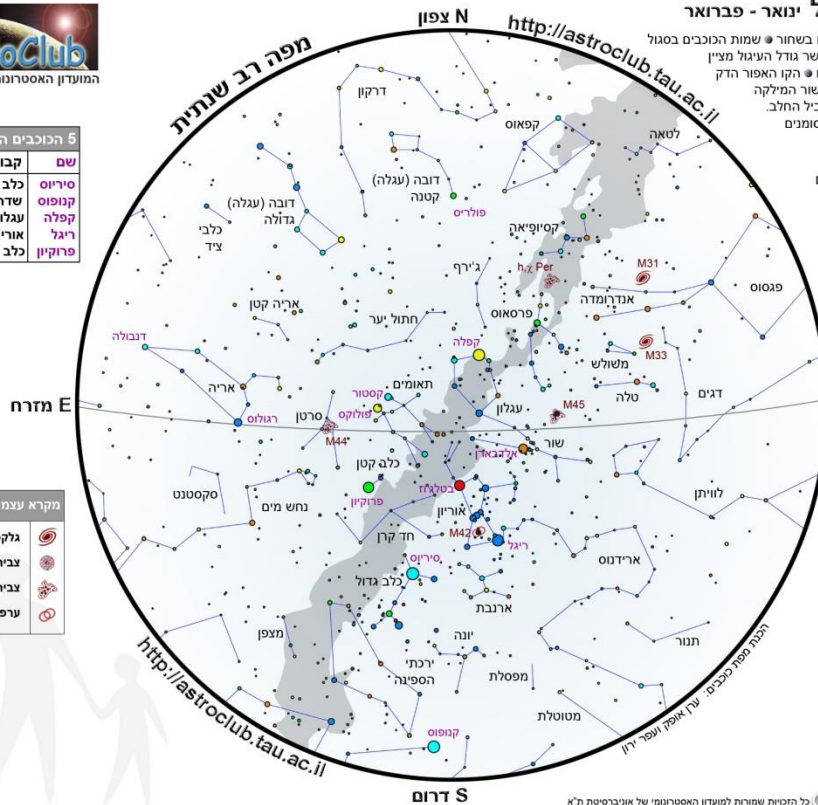
[מתוך אסטרופדיה]



המועדון האסטרונומי של אוני ת"א

שם	קבוצה	בהירות
סיריוס	כלב גדול	-1.5
קנופוס	שדרית	-0.7
קפלה	עגלון	0.1
ריגיל	אוריון	0.1
פרוקיון	כלב קטן	0.4

מקרא עצמי שמיים עמוקים	
גלקסיה	
צביר דבורי	
צביר פתוח	
ערפילית	



מפת שמי ישראל ינואר - פברואר

● שמות קבוצות הכוכבים מצוינים בשחור ● שמות הכוכבים בסגול
● הכוכבים מסומנים כעיגולים, כאשר גודל העיגול מציין את בהירות הכוכב והצבע את סוגו ● הקו האפור הדק החוצה את השמיים מראה את מישור המילקה
● הפס האפור הרחב מציין את שביל החלב.
● עצמי שמיים עמוקים נבחרים מסומנים בהתאם למקרא.

המפה מתאימה לזמנים הבאים (זמן מקומי, לפי שעון חורף):

23:00	01/01
22:00	15/01
21:00	01/02
20:00	15/02
19:00	01/03

● המפה מתאימה לכל שנה בזמנים המצויינים.

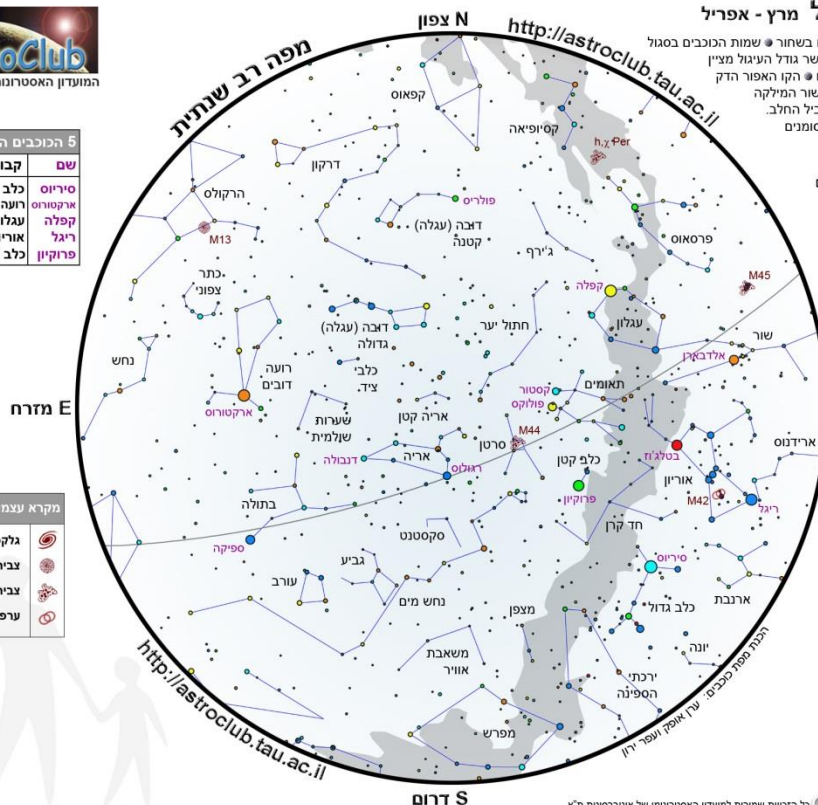
סוג	בהירות
ספקטרלי (סמפטור)	(מגניטודה)
M	0
K	1
G	2
F	3
A	4
B	5
O	חס
חס	חיור



המועדון האסטרונומי של אוני ת"א

שם	קבוצה	בהירות
סיריוס	כלב גדול	-1.5
איגטוס	רועה דובים	0
קפלה	עגלון	0.1
ריגיל	אוריון	0.1
פרוקיון	כלב קטן	0.4

מקרא עצמי שמיים עמוקים	
גלקסיה	
צביר דבורי	
צביר פתוח	
ערפילית	



מפת שמי ישראל מרץ - אפריל

● שמות קבוצות הכוכבים מצוינים בשחור ● שמות הכוכבים בסגול
● הכוכבים מסומנים כעיגולים, כאשר גודל העיגול מציין את בהירות הכוכב והצבע את סוגו ● הקו האפור הדק החוצה את השמיים מראה את מישור המילקה
● הפס האפור הרחב מציין את שביל החלב.
● עצמי שמיים עמוקים נבחרים מסומנים בהתאם למקרא.

המפה מתאימה לזמנים הבאים (זמן מקומי, לפי שעון חורף):

23:00	01/03
22:00	15/03
21:00	01/04
20:00	15/04
19:00	01/05

● כאשר נהוג שעון קיץ יש להוסיף שעה לזמנים המצויינים.

● המפה מתאימה לכל שנה בזמנים המצויינים.

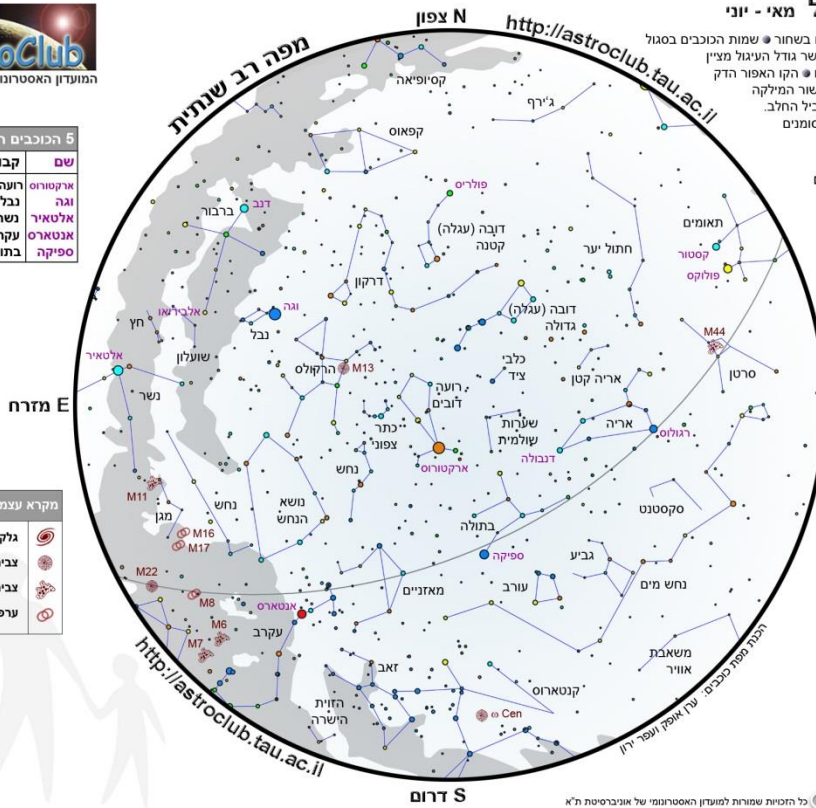
סוג	בהירות
ספקטרלי (סמפטור)	(מגניטודה)
M	0
K	1
G	2
F	3
A	4
B	5
O	חס
חס	חיור

5 הכוכבים הבהירים ביותר

שם	קבוצה	בהירות
אקטורוס	רועה דובים	0
וגה	נבל	0.8
אלטאיר	נשר	1.0
אנטארס	עקרב	1.0
ספיקה	בתולה	1.0

מקרא עצמי שמיים עמוקים

סמל	שם
☉	גלקסיה
♄	צביר דבור
♁	צביר פתוח
♊	ערפילית



מפת שמי ישראל מאי - יוני

● שמות קבוצות הכוכבים מצוינים בשחור ● שמות הכוכבים בסגול
● הכוכבים מסומנים כעגולים, כאשר גודל העיגול מציין את בהירות הכוכב והצבע את סוגו ● הקו האפור הדק החוצה את השמיים מראה את מישור המילקה ● הפס האפור הרחב מציין את שביל החלב ● עצמי שמיים עמוקים נבחרים מסומנים בהתאם למקרא.

המפה מתאימה לזמנים הבאים (זמן מקומי, לפי שעון חורף):

23:00	01/05
22:00	15/05
21:00	01/06
20:00	15/06
19:00	01/07

● כאשר נהוג שעון קיץ יש להוסיף שעה לזמנים המצוינים.

W מערב

● המפה מתאימה לכל שנה בזמנים המצוינים.

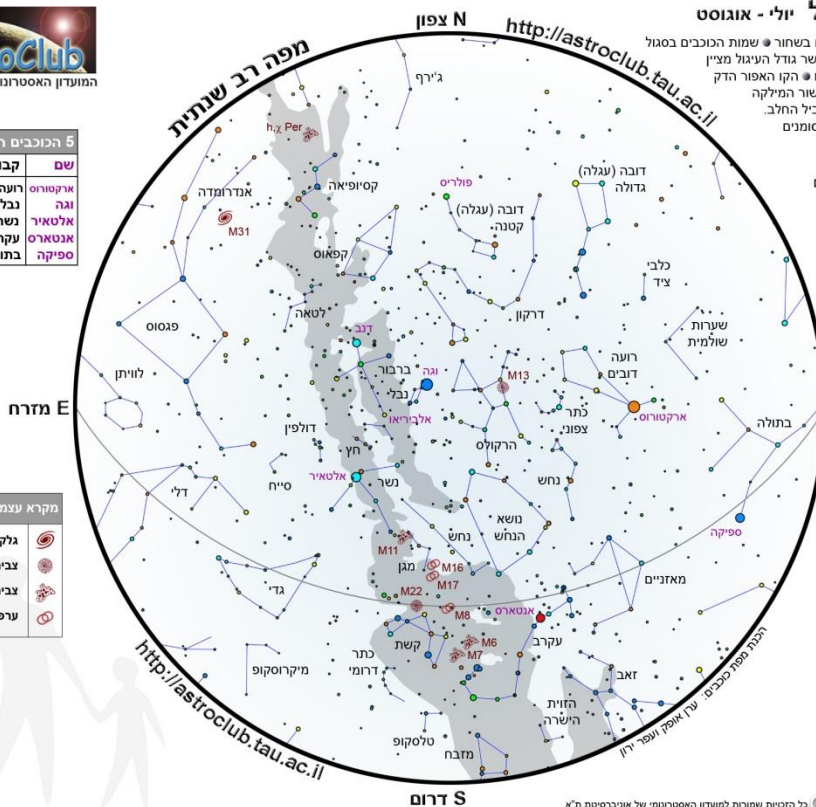
סוג	בהירות (מגניטודה)	ספקטרום (מגניטודה)
M	0	קר
K	1	צהוב
G	2	ירוק
F	3	אדום
A	4	סגול
B	5	חום
O		חום

5 הכוכבים הבהירים ביותר

שם	קבוצה	בהירות
אקטורוס	רועה דובים	0
וגה	נבל	0.8
אלטאיר	נשר	1.0
אנטארס	עקרב	1.0
ספיקה	בתולה	1.0

מקרא עצמי שמיים עמוקים

סמל	שם
☉	גלקסיה
♄	צביר דבור
♁	צביר פתוח
♊	ערפילית



מפת שמי ישראל יולי - אוגוסט

● שמות קבוצות הכוכבים מצוינים בשחור ● שמות הכוכבים בסגול
● הכוכבים מסומנים כעגולים, כאשר גודל העיגול מציין את בהירות הכוכב והצבע את סוגו ● הקו האפור הדק החוצה את השמיים מראה את מישור המילקה ● הפס האפור הרחב מציין את שביל החלב ● עצמי שמיים עמוקים נבחרים מסומנים בהתאם למקרא.

המפה מתאימה לזמנים הבאים (זמן מקומי, לפי שעון חורף):

23:00	01/07
22:00	15/07
21:00	01/08
20:00	15/08
19:00	01/09

● כאשר נהוג שעון קיץ יש להוסיף שעה לזמנים המצוינים.

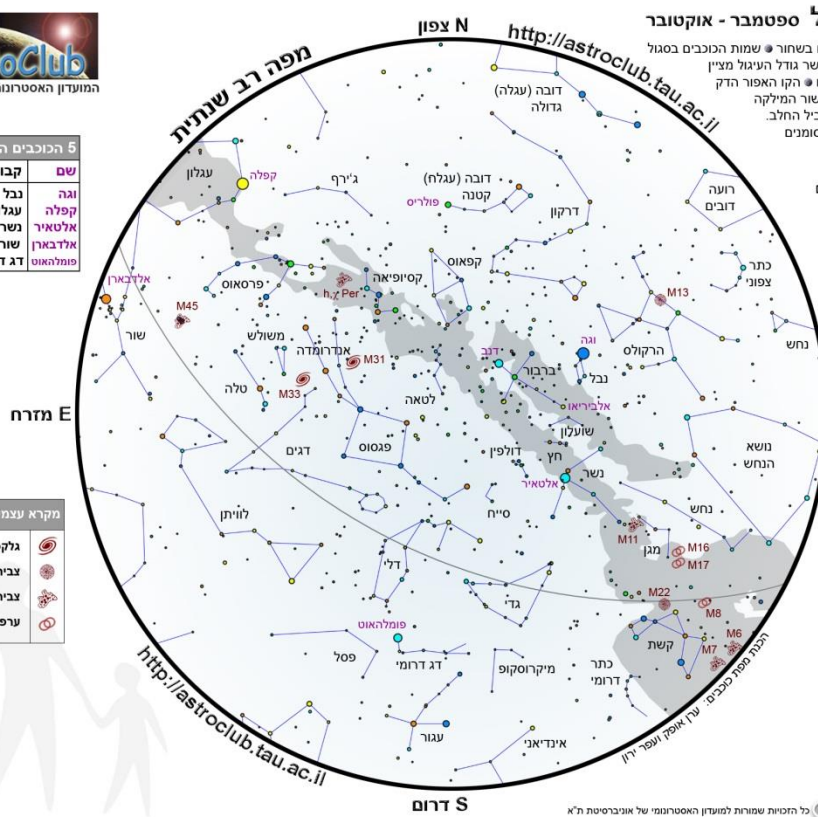
W מערב

● המפה מתאימה לכל שנה בזמנים המצוינים.

סוג	בהירות (מגניטודה)	ספקטרום (מגניטודה)
M	0	קר
K	1	צהוב
G	2	ירוק
F	3	אדום
A	4	סגול
B	5	חום
O		חום

שם	קבוצה	בהירות
וגה	בכל	0
קפלה	עגלון	0.1
אלטאר	נשר	0.8
אלדבארן	שור	0.9
פומלהאוס	דג דרומי	1.2

מקרא עצמי שמיים עמוקים	
גלקסיה	
צביר כדורי	
צביר פתוח	
ערפילית	



מפת שמי ישראל - ספטמבר - אוקטובר

● שמות קבוצות הכוכבים מצוינים בשחור ● שמות הכוכבים בסגול
● הכוכבים מסומנים כעיגולים, כאשר גודל העיגול מציין את בהירות הכוכב והצבע את סוגו ● הקו האפור הדק החוצה את השמיים מראה את מישור המילקה
● הפס האפור הרחב מציין את שביל החלב
● עצמי שמיים עמוקים נבחרים מסומנים בהתאם למקרא.

המפה מתאימה לזמנים הבאים (זמן מקומי, לפי שעון חורף):

23:00	01/09
22:00	15/09
21:00	01/10
20:00	15/10
19:00	01/11

● כאשר נהוג שעון קיץ יש להוסיף שעה לזמנים המצוינים.

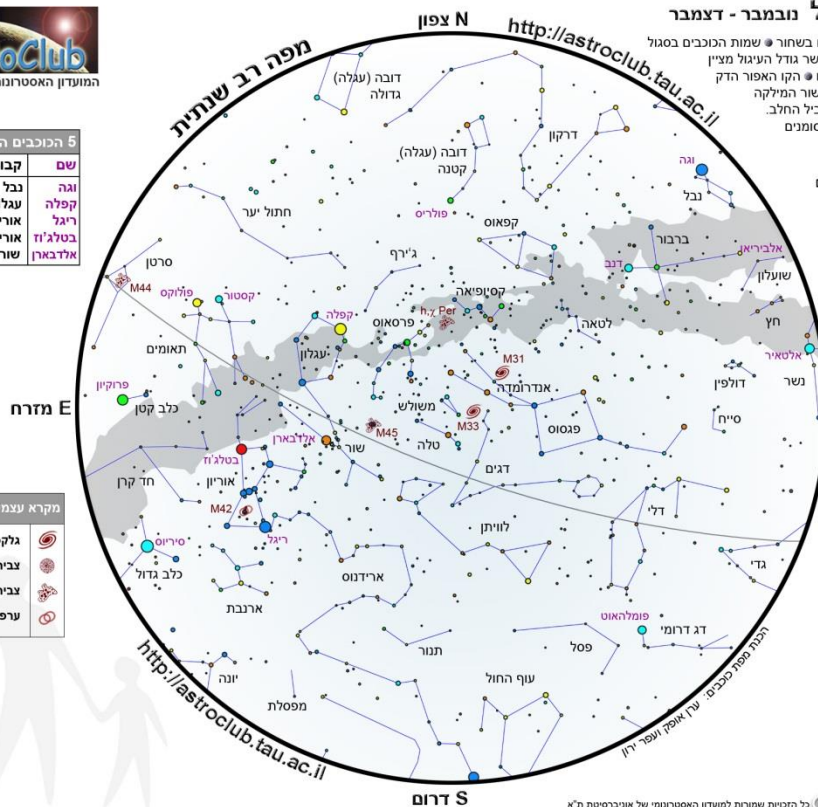
W מערב

● המפה מתאימה לכל שנה בזמנים המצוינים.

סוג	בהירות (מגניטודה)	בהירות
סקטורלי (טמפרטורה)		
M	0	●
K	1	●
G	2	●
F	3	●
A	4	●
B	5	●
O	5	●
חס		חיור

שם	קבוצה	בהירות
וגה	בכל	0
קפלה	עגלון	0.1
ריגיל	אוריון	0.1
בטלג'וז	אוריון	0.5
אלדבארן	שור	0.9

מקרא עצמי שמיים עמוקים	
גלקסיה	
צביר כדורי	
צביר פתוח	
ערפילית	



מפת שמי ישראל - נובמבר - דצמבר

● שמות קבוצות הכוכבים מצוינים בשחור ● שמות הכוכבים בסגול
● הכוכבים מסומנים כעיגולים, כאשר גודל העיגול מציין את בהירות הכוכב והצבע את סוגו ● הקו האפור הדק החוצה את השמיים מראה את מישור המילקה
● הפס האפור הרחב מציין את שביל החלב
● עצמי שמיים עמוקים נבחרים מסומנים בהתאם למקרא.

המפה מתאימה לזמנים הבאים (זמן מקומי, לפי שעון חורף):

23:00	01/11
22:00	15/11
21:00	01/12
20:00	15/12
19:00	01/01

● המפה מתאימה לכל שנה בזמנים המצוינים.

סוג	בהירות (מגניטודה)	בהירות
סקטורלי (טמפרטורה)		
M	0	●
K	1	●
G	2	●
F	3	●
A	4	●
B	5	●
O	5	●
חס		חיור

רשימת איורים

15	איור 1 : נקודות ציון על הכדור השמימי
16	איור 2 : נקודות ציון בכיפת השמיים
18	איור 3 : מדידת מרחק באמצעות פרלקסה
21	איור 4 : סדרה של קווים ספקטרליים המתקבלים מכוכבים בעלי טמפרטורה של 50000°K - 3000°K
23	איור 5 : דיאגרמת הרצשפרונג-ראסל HR
27	איור 6 : טלסקופ מסוג שמידט-קסגריין
33	איור 7 : חלק ממטריצה [במיקום אקראי]
34	איור 8 : איתור הופעת הכוכב במטריצה
34	איור 9 : איתור הופעת הכוכב במטריצה- בהגדלה
35	איור 10 : המרת התמונה על-פי עוצמת אור
35	איור 11 : מיקוד לאיזור הכוכב
36	איור 12 : הרחבה של איזור הכוכב
37	איור 13 : גרף ליל תצפית קפלה
41	איור 14 : ניתוח כוכב אלטאיר
43	איור 15 : ניתוח כוכב אנטרס
45	איור 16 : ניתוח כוכב ארקטורוס
47	איור 17 : ניתוח כוכב וגה
49	איור 18 : ניתוח כוכב פרוקיון
51	איור 19 : ניתוח כוכב קפלה
53	איור 20 : ניתוח כוכב ריגל
54	איור 21 : דיאגרמת HR הכוללת סימון כוכבי המחקר

III

At the end of the scientific background, we describe the structure and the type of telescope we used in the research.

The research chapter opens with the research objective which is to develop a mathematical expression that will enable us to predict the visible star appearance by the human eye. This chapter presents the observation system which includes a telescope, camera and a description of the place where the research took place as well as a group of spectators who observe the sky in order to identify the star. This stage of research took a year and two months. It included observations of eight stars (Altair, Antares, Arcturus, Vega, Sirius, Chapel, Rigel and Procyon) which appear at twilight.

After collecting the data, we placed the pictures according to the nights of observation on each star. I wrote a special Matlab program which processes and analyzes these pictures. At the same time, it checks the time when it was seen by a human eye. At the end of this process, the program shows a graph for each star, which shows the magnitude of viewing the star, and its average value along the nights it was observed and filmed.

On the result stage, seven out of eight stars are shown as they were observed and analyzed. Sirius was "taken out" as it was seen before sunset. Each star had its own data table that included the star name, the group of stars it belongs to, spectral type, relative magnitude and absolute magnitude, its size, distance and place in the sky.

After presenting the results, I bring the central finding – the general average of all stars, which means, the time - the moment when an observer can see the star in the sky depending on the star's magnitude. The research is summed up bringing the major conclusions of this research. The average level of the visible magnitude of stars is 1.96.

In conclusion, according to the thesis we showed, it is possible to predict the level of magnitude that is needed in order to see the stars without any means.

II

Abstract

The stars that surround us, determine time in the world of Halacha - Jewish laws. Starting with Moses, through the Mishna and Gemara, and in the Shulhan Aruch laws, are all assisted by the observations and measurements to determine time in the Halacha. The use of those observations, over the last generations, were meant to determine time during the day - sun rise and sun set - appearance of stars as well as the moon birth. These observations were done without any accurate tools. Jewish law time was determined by these observation bases.

This research deals with measuring the time when the stars are seen by the human eye. It develops a formula which could help predict when it will be possible to see a specific star depending on how bright the sky is and the observer's visibility conditions. This research combines scientific modern tools (telescope, special camera and computerized data follow up and processing), on the one hand, and keeps the naked eye observation to determine the star appearance as the Halacha demands, on the other hand.

The first chapter deals with the scientific and Jewish background. This chapter includes a Jewish law study on the issue of the star appearance. At the same time, there is an astronomic - scientific study that focuses on astronomical observations.

The Jewish law part deals with the star appearance consequences in the Halacha. The beginning of the night issue is studied by the Sages (Halakha) first, by the sky state, then, by the star astronomic observation and by time description from the sun set. Later, I present some up to date opinion on how to determine the star appearance, according to recent observation done by leading rabbis and poskim during the last decay (Acharonim). In the last part of the Jewish law chapter, we deal with the Jewish attitude towards the use of scientific tools in the Halacha. We focus on Rabbi Dr. Nahum Eliezer Rabinovich's article, which deals with the scientific calculation as a way to Jewish determination as well as when the definition is Halachic and when it is determined according to science.

The second part starts with the scientific aspect. It starts with a short description of the sky dome as we see it. As we go on, we show the optic observation information about the stars as we get it from three main types of astronomic observations.

Astrometry - determining the star places in the sky and measuring their movements.

Photometric - measuring the amount of light we get from the stars.

Spectroscopic - taking pictures of the light spectrum we get from the stars.

B"H

BAR-ILAN UNIVERSITY

**New method for determination of visibility of stars based on
photometric measurement with comparison to human observation**

David Ben Yaakov

**Submitted in partial fulfillment of the requirements for the
Master's Degree in the School of Education , Bar-Ilan
University**

Ramat Gan, Israel

2014