

זמני הופעת הכוכבים

י. עבודה מחקרית על הזמן בו ניתן לראשונה לראות כוכבים בשמי הערב, התפרסמה לפני כ-40 שנה⁷. המחקר נערך מטעם מעבדת המחקר של משרד הימיה בואשינגטון, ע"י חוקרים שאינם בני ברית, לצורך קביעת זמן הופעת כוכבי הניווט. העבודה התבצעה בשני שלבים: בדרך חשבונית, ובמבחן ניסויי.

בצורה חשבונית: חושב היחס של כמות התאורה המיוצרת ע"י הכוכב כלפי נתוני בהירות השמים ההולכים ומחשיכים בשעת הדמדומים. בהתאם לכך נקבע הזמן, (וליתר דיוק: מצב השמש תחת האופק), בו גובר אור הכוכב על האור הנמצא באטמוספירה.

תוצאות החישובים נמסרו בצורת תרשימי זרימה הניתנים לישום לגבהים שונים של הצופה ולתנאים שונים של התצפית, ומוצגים כאן⁸.

מבחן ניסויי לתרשימי הכוכבים: תצפיות לניסוי תוצאות החישובים לזמני הופעת הכוכבים, נערכו במארילנד הסמוכה לוושינגטון (39 מעלות רוחב צפון), ב-11 לינואר 1952 אחרי שקיעת החמה, שהיתה בשעה 5:04.

נבחרו ארבעה כוכבים: קפלה, אלדברן, ווגה ופולאריס (כוכב הצפון), ונעשה

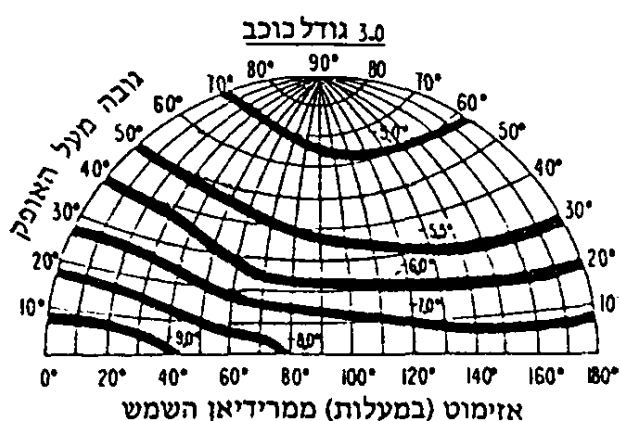
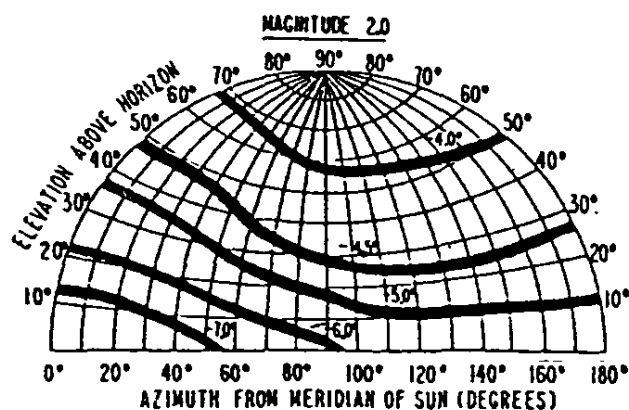
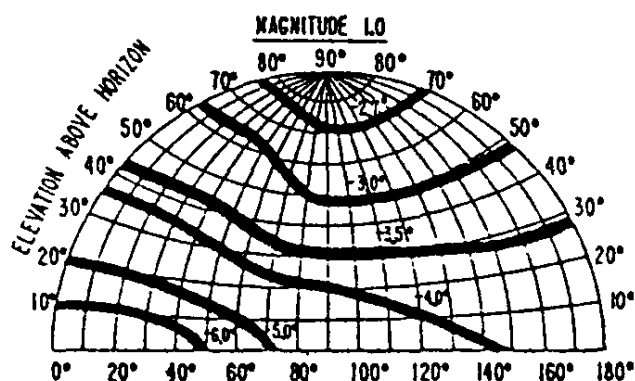
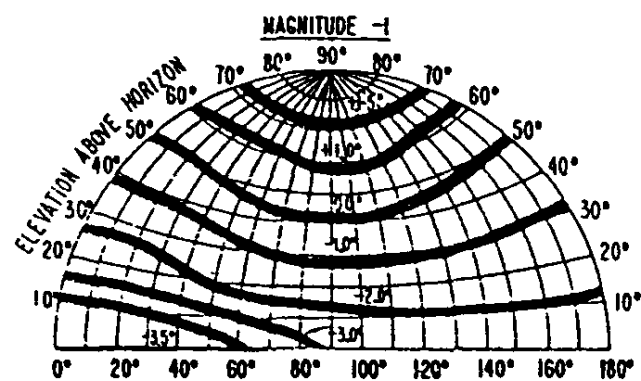
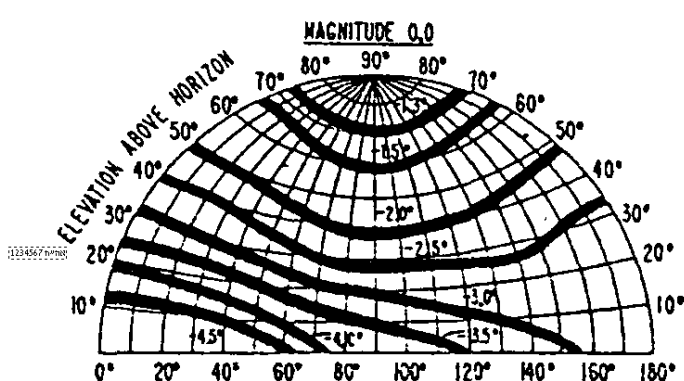
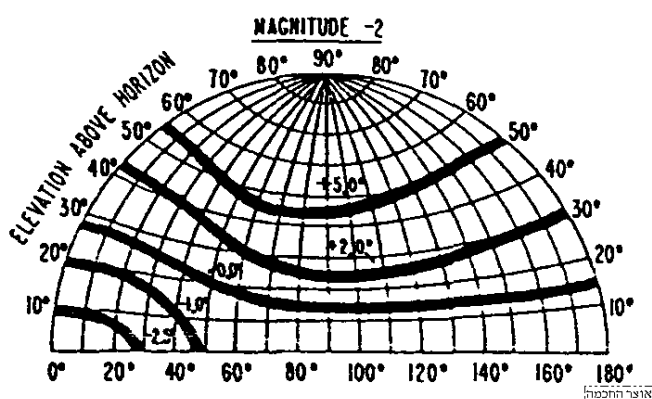
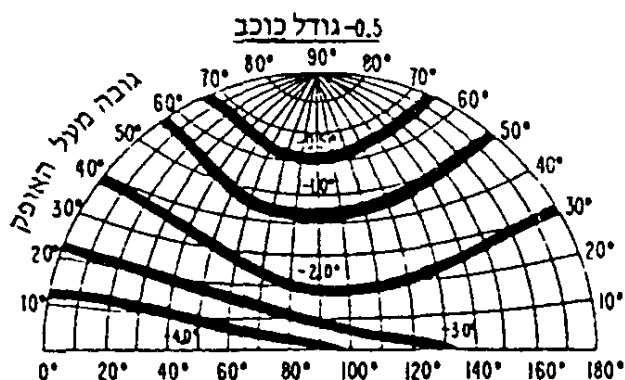
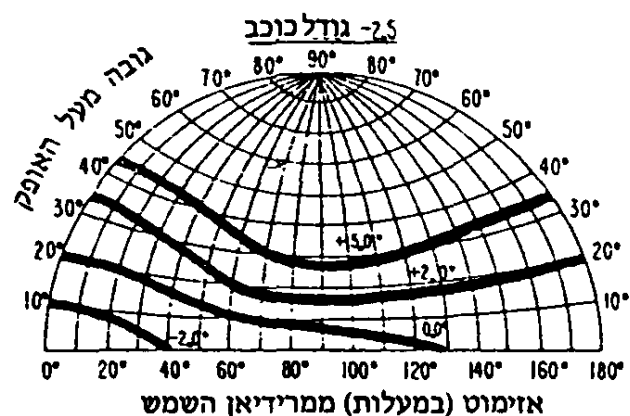
7. R. Tousey And M.Y. Koomen "Visibility of Stars and Planets During Twiligh" J. Opt. Soc. of Amr. vol 43 (1953) PP. 177-183

ר. טושי ומ.י. קומן: "בהירות הכוכבים והפלנטות בזמן הדמדומים", זורנל אופטיקל סוסייטי אוף אמריקה, כרך 43 (1953) עמ' 177 – 183.

8. כל תרשים מותאם לעוצמה כוכבית מסויימת, כפי המצויין מעל התרשימים. קוי המיתאר הגובלים את שטח השמים, מציינים את זווית ההגבהה של הכוכב מעל האופק. שכאשר השמש נמצאת בזווית המצויינת באותו קו מיתאר עשוי להיראות הכוכב בעל העוצמה הנתונה באותו תרשים, (הכוכב נמצא בסף קו המיתאר וקל לראותו באופן הולך וגדל ככל שהוא רחוק יותר מעל קו המיתאר).

מספרי המעלות שתחת התרשימים מציינים את אוימות הכוכב (– זווית הנמדדת לאורך האופק בין בסיס האנך היורד מן הכוכב אל האופק) לבין מרידיאן השמש (קו מקום שקיעת השמש).

התרשימים חושבו עבור צופה הנמצא בגובה 3000 מטר, (2800 ליתר דיוק), ובגבהים נמוכים יותר מתגבר הקושי לצפיה מאחר והשמים בהירים יותר ואור הכוכב מופרע בהתאם. תיקן עבור צופה בגובה אחר ניתן להיעשות ע"י הוספה של 0.1 לעוצמת הכוכבים לכל 300 מטר בהם נמצא הצופה מתחת ל-3000 מטר. או הוספה של 1.0 לעוצמת הכוכב אם הצופה נמצא בגובה פני הים, (לדוגמא: כוכב מגדל 2 יש לחפש בגובה פני הים בגרף של כוכב מגדל 3. או באופן אחר: גרף בו מצויין כוכב גדל 2 הרי זה בגובה פני הים – כוכב גדל 1).



תרשימי יכולת ראיית כוכבים בחלקים השונים של שמי הדמדומים.

כוכב בעצמה הנתונה נראה מעל קו מיתאר כאשר מצב השמש מעל, או תחת, האופק בגובה המצויין על קו המיתאר. (ראה הערה 8).

נסיון לתצפת אותם ברגע המוקדם ביותר⁹. בטבלה הבאה נתונות התוצאות של המבחן. כל ארבעת הכוכבים נראו לראשונה כפי שנובא ע"י התרשימים. יש לציין שכל החישובים והניסויים הנם למצב של אטמוספירה ברורה וכאשר הצופה יודע בדיוק היכן להביט.

הכוכב	נתונים	קושי התצפית	שעת ראיה	מצב השמש תחת האופק
קפלה	גודל = 0.2	מאד בקושי	5:23	-3.8°
	גובה זויתי = 40°	בינוני	5:28	-4.7°
	אזימוט = 171°	בקלות	5:34	-5.7°
אלדברן	גודל = 1.1	בקושי	5:26	-4.4°
	גובה זויתי = 35°	בינוני	5:29	-4.8°
	אזימוט = 150°	בקלות	5:34	-5.7°
פולאריס <small>אוצר החכמה</small>	גודל = 2.1	מאד בקושי	5:36	-6.1°
	גובה זויתי = 39° <small>אוצר החכמה</small>	בינוני	5:40	-6.9°
	אזימוט = 113°			
וגה	גודל = 0.1	בינוני	5:29	-4.8°
	גובה זויתי = 22°	בקלות	5:36	-6.1°
	אזימוט = 57°			

תוצאות תצפיות זמני הופעות כוכבים
במבחן נסויי, מארילנד, 11 לינואר 1952

9. הנוהל בו השתמשו, היה למקם תחילה את הכוכב באמצעות משקפת 8×60 , זו שמשה ככלי איתור בעין אחת, בעוד שבעין השנייה הבלתי מזוינת נערך חפוש מקביל. דרך זו, מציינים החוקרים, לא היתה קלה לביצוע אבל הביאה לייסוד הרגע הראשוני של הראיה לקפלה ולפולריס בתוך דקה או יותר.

יא. תוצאות ומסקנות: תוצאות החישובים מראים שלפני שקיעת החמה ניתן לראות בעין, ללא כלי עזר אופטיים, לצופה בגובה פני הים, כוכבים מגודל 2- ומעלה. מגודל זה קיימים רק שלשת כוכבי הלכת – נוגה, מאדים וצדק כאשר הם קרובים לשלבים הבוהקים ביותר שלהם. וכך הוכח בתצפיות¹⁰.

אחרי שקיעת החמה מתחילים להיראות כוכבים מגודל 2- ומטה, והם כוכבי הלכת הקטנים וכל כוכבי השבת, (כוכב השבת הגדול ביותר – סיריוס, בהירותו ^{הערך 1234567} $1.4(-)^{10}$).

כשמצב השמש 4.8 מעלות תחת האופק נראים בראיה בינונית שלשה כוכבי שבת, (4.8 מעלות הוא שיעור ג רבעי מיל ו-מט אמה = 18.6 דקות אחרי שקעה"ח בא"י בימי ניסן ותשרי).

מסקנות אלו תואמות את דברי רי"מ שלזינגר הכותב: "והנה כבר ראו ובחנו זה החוזים בכוכבים שרגע הראות הכוכבים הראשונים מגודל ראשון הוא לעולם בעמוד אמצע החמה ה מעלות או מעט יותר תחת האופק"¹¹.

יב. בספר "זמני היום בהלכה" חישב, על פי העבודה המדעית הנ"ל, את זמני הופעת הכוכבים בארץ ישראל, ובהתאם לכך ערך את הטבלה המצורפת כאן¹²:

באחד בתקופת	כוכב ראשון	כוכב שני	כוכב שלישי	כוכב רביעי
ניסן	12 - 9 - 6	19 - 16 - 14	21 - 18 - 15	21 - 18 - 16
תמוז	18 - 16 - 13	21 - 18 - 16	28 - 25 -- 21	29 - 26 - 22
תשרי	17 - 14 - 12	23 - 20 - 17	26 - 23 - 19	28 - 26 - 23
טבת	22 - 20 - 17	23 - 20 - 17	26 - 22 - 18	28 - 25 - 21

10. במאמר הנ"ל מצויין, שנוגה מופיע, ומאדים וצדק עשויים להיראות, אך הכותבים אינם מודעים לכל רישום לגבי זה. ובמכתב מאת ל. ואגנר מירושלים, פורסם באותו כתב עת, מרץ 66, כותב שצפה כמה פעמים בכוכב צדק בשמי ירושלים 7 דקות לפני השקיעה.

10* ע"פ המאמר הנ"ל, סיריוס מופיע כשמצב השמש 2.5° תחת האופק; 9 הכוכבים שגודלם בין 0 ל-1 – 4° - 5° תחת האופק. והכוכבים מגודל 2.5 ומטה החל מ- 8.4° תחת האופק. (אולם לא צויין, האם שיעורים אלו ג"כ מחושבים לגובה 2800 מטה כמצויין בהערה 8 לעיל).

11. קונטרס איזהו בין השמשות. ובהערה שם כתב "וכמה עידי ראייה ואפילו במדינתנו ראיתי אני בעיני יותר מ-ג כוכבים בינונים ל"ה מינוטין אחר השקיעה בזמן תקופת ניסן. ומ"ב מינוטין אחר השקיעה כבר נראין רצופין". השיעור הנ"ל הוא בין 5 ל-6 מעלות תחת האופק.

12. שם עמ' לו, וכן בחלק האנגלי. וראה שם שחישב זמנים אלו ע"פ 16 כוכבי השבת הגדולים הנראים בארץ ישראל.

הזמן הראשון הוא זמן הופעת הכוכב לבקי היודע היכן להביט, וגם יראנו רק בקושי גדול. והזמן האחרון הוא זמן הראות הכוכב לאינו בקי, בלי טורח כל כך. והזמן האמצעי הוא זמן ממוצע ביניהם, והוא כערך הזמן ששלמי הראיה יכולים לראותו בקושי גדול, אע"פ שאינם בקיאים.

כפי שאנו רואים בטבלה זו, בתקופת ניסן אפילו מי שאינו בקי אפשר שיראה ג כוכבים בינונים, בקושי גדול, 18.6 דקות אחרי שקה"ח, (כשמצב השמש 4.8 מעלות תחת האופק), אולם בשאר תקופות השנה, ואפי' בתקופת תשרי, לא נראים כוכבים במצב השמש הנ"ל (וזאת מפאת מעמד המזלות ברקיע) אלא לבקי היודע היכן להביט. וראה לפנינו פרק מח הערה *6.

מעדויות שהגיעו לידי, על תצפיות שנערכו בארץ ישראל, מתברר זמן קצר מהנ"ל — כ-14 דקות אחרי שקיה"ח, בימי ניסן ותשרי¹³. (זמן זה מצויין בטבלה הנ"ל כזמן ראיה: לבקי בקושי גדול).

בפרקים הבאים מובאות בדיקות ומסקנות נוספות ואחרות, מאת גדולי האחרונים, לזמני צאת הכוכבים.

13. תלמיד ישיבת מעלה אדומים, דרור פיקסלר הי"ו, ערך מיוזמתו תצפיות לבירור זמני צאת הכוכבים. התצפיות נערכו באטמוספירה ברורה וללא אורות כרך. לבקשתי, העלם באופן כללי על הכתב, במכתב המצ"ב (מיום ו ה באייר תשנא):

"לכבוד ... מיום רביעי כד אב תשנ (15.8.90) עד יום שני ג חשון תנשא (22.10.90) הוצבתי, במסגרת תעסוקה מבצעית בצה"ל, בהר אגס (ברכס הרי הר-דב), והו רכס הרים אחרון לפני בקעת החצבני (בצד מערב) כך שהאופק נראה בבירור. השקיעה הנראית מנקודה זו הינה מאוחרת בכ-3 דקות מהשקיעה המצויינת בלוחות בגלל נקודת הגובה (בפסגת ההר הנג. הוא 1352).

דקות מספר (2—3) לפני השקיעה היה נראה בבירור הכוכב הראשון. כ-4 דקות אחרי השקיעה היה נראה הכוכב השני, ולאחר כ-4 דקות נוספות נראה הכוכב השלישי. לאחר כ-6 דקות נוספות היה נראה הכוכב הרביעי (שהוא שלישי מזמן השקיעה), ולאחר כ-2 דקות כוכב חמישי, ומאז יצאו כוכבים רבים עד שלאחר כ-35 דקות מהשקיעה נראו כל הכוכבים, (באותו זמן לא נשארה כל אדמומית בצד מערב) ... להתראות, דרור פיקסלר".

עדות נוספת מאת האברך החשוב הר' יצחק סטורד מפתח תקוה:

"לכבוד... אני מעביר לך את תוצאות תצפיותי בנושא צאת הכוכבים:

בשנת תשמ"ח ערכתי תצפיות לצורך בירור שעת צאת הכוכבים המדוייקת. על סמך נסיונות נוכחתי לדעת כי כדי להגיע לזמן הראשוני בו ניתן לתצפת את הכוכבים זקוקים לארבעה תנאים:

- (1) מיקום הכוכבים: רום השמים וכרבע ממנו לשיפוליו. מקום זה נותן תוצאות ראשוניות היות ובשולי הרקיע האטמוספירה העבה בולעת, בשעה זו במיוחד, את אור הכוכבים.
- (2) תצפית מכוונת: למקום בו אמור הכוכב להופיע, וזאת ע"י מיקום מראש (בימים קודמים) של קטע השמים הנצפה, כמו לפינת גג מסויימת, עמוד חשמל וכד'. תצפית של שיטוט בשמים איננה נותנת תוצאות ראשוניות.

14 כוכבי השבת הבהירים ביותר

שמות הכוכבים	גודל נראה	גודל מוחלט	עצמת קרינה (שמש = 1)	מרחק שנות אור	מרחק פרסק
סיריוס	-1.54	+1.41	30	8.6	2.7
קנופוס	-0.73	-4.7	1900	100	60
אלפא קנטאורי	-0.1	+4.3	1.3	4.3	1.33
ארקטורוס	-0.06	-0.2	80	33	11
וגה	+0.04	+0.5	60	27	8.1
קפלה	+0.08	-0.6	150	42	14
ריגל	+0.11	-7.0	21000	540	250
פרוקיון	+0.35	+2.65	7	10	3.5
אכרנר	+0.48	-2.2	280	70	39
הדר	+0.60	-5.0	1400	190	120
אלטיר	+0.77	+2.3	10	16	5.0
בטלגז	+0.8	-6	4000	300	200
אלדברן	+0.85	-0.7	90	53	21
אנטרקס	+0.9	-3.5	1900	250	80

(3) ראייה תקינה 6.6. לצורך זה נעזרתי בשני נערים כבני 10, המטיבים ראות: איתמר בן גרעון ואופיר בן אריה.

(4) הכוכבים: הכוכבים שנבחרו הם הגדולים מבין כוכבי השבת: סיריוס, ועוד שני כוכבים שאיני זוכר את שמם.

ערכתי תצפית מסכמת, בשיתוף הנערים הנ"ל, ביום ד' באייר תשמ"ח: 21.4.88 (חודש לאחר יום השייון האביבי). שעת השקיעה בפתח תקוה היתה 13.5:6.

הכוכב הראשון – "סיריוס" נראה בשעה 6:20 (= 6.5 דקות אחרי השקיעה. מיקומו – ברבע הדרום-מערבי של כפת הרקיע, והופעתו הראשונית קלושה – מנצנץ, מופיע ונעלם חליפות. (למעשה היו אלו – זמן הראיה ואופן הופעתו – אבני הבוחן שלי בבדיקת אמיתות תצפיות הנערים).

הכוכב השני נראה בשעה 6:27 (= 13.5 דקות אחרי השקיעה) ג"כ ברבע הדרום-מערבי של כפת השמים. והכוכב השלישי 10 – 20 שניות אחריו. ברבע הצפון-מערבי של כפת השמים. (מציאות התואמת את דברי רבי יוסי – ביה"ש כהרף עין).

סיכום: שעת צה"כ – קרוב ל-14 דקות אחרי שקה"ח. (כדברי הגמ' – ג' רבעי מיל: 13.5 דקות, בתוספת הרף עין לביה"ש דרבי יוסי).

בברכת התורה: יצחק סטורד