

## הקריטריון של הרמב"ם לראיית הירח החדש מקורו, טיבו והשוואתו לקריטריונים אחרים

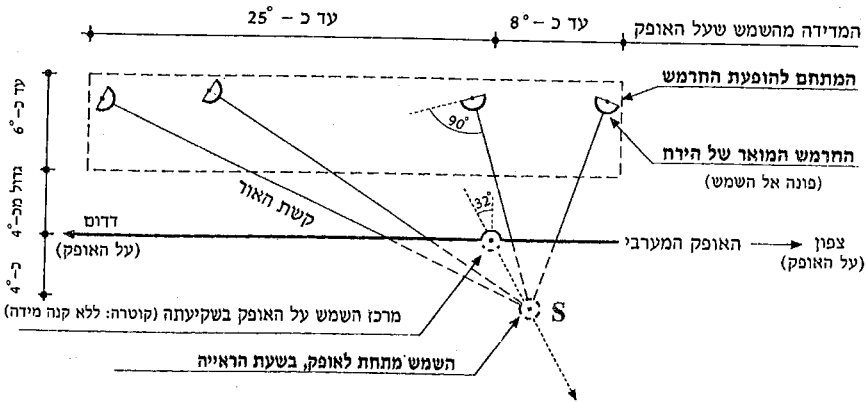
לע"נ אמי מורתי שרה (סרנה), בת ר' יוחנן ומיירל הרצוג  
(ז' ניסן תרס"ח – כ"ב כסלו תשל"ז) ת.נ.צ.ב.ה.

מצוות עשה מן התורה היא, לחשב באיזה יום ייראה הירח החדש בתחילת כל חודש. הרמב"ם מציב בחיבורו משנה תורה, ב"הלכות קדוש החדש" (משנת ד'תתקל"ח–1178), אבן-בוהן אסטרונומית פשוטה לחישוב זה. מפרשי הרמב"ם מצאו מקור לרוב סעיפי התאוריה הירחית שלו, בעיקר בכתבי אל-בתאני הערבי-הסורי (שנת 900 בערך), אבל נלאו למצוא מקור לקריטריון הראייה הייחודי לרמב"ם. במחקרנו זה, מצאנו שמבחן הראייה של אל-בתאני לא הובהר כראוי ולא הוצג במלואו עד כה. נוכיח שקריטריון הרמב"ם הוא רק אבן-בוהן לאי-ראייה ודאית, להכחשת עדי ראייה שקריים והוא נובע, לכל פרטיו, מתורת החיזוי של אל-בתאני, כמקרה פרטי של זה. מצד אחר, נראה שמבחן אל-בתאני נובע מכללי חיזוי בבליים ויהודיים עתיקים, המובאים במפורש בתלמודים (שנת 300 בערך). אל-בתאני איחד כללים עתיקים אלה בניסוחם המקורי, עם ניסוחם של אותם כללים בידי תוכני הודו (בשנת 600 בערך), וקיבל בדרך זו כלל חיזוי מתוחכם ביותר. נציג במאמר ארבע שיטות חיזוי מודרניות; נדגים את ההתאמה המעולה בין שיטות החיזוי הקדומות על-פי הרמב"ם ואל-בתאני לאלה החדשות, בסדרה של כ-120 דיווחי ראייה מתועדים היטב; ונסכם בעזרתם את הפרמטרים הקיצוניים של הראייה.

### א. מושגי יסוד

בעם ישראל (בזמן שסנהדרין נוהגת) ובתרבויות עתיקות רבות, מונים את תחילת החודש מרגע ההופעה הראשונה של חרמש הירח החדש, הופעה שחלה אחרי כשתי יממות "חשוכות" בכל חודש, שבהן הירח אינו נראה כלל. הירח החדש מופיע לראשונה תמיד אחרי שקיעת השמש, כיממה אחרי "המולד האמיתי" של הירח, כשהוא נמצא מעל האופק המערבי (ראה הגדרת המושגים להלן), קרוב מעל הנקודה שבה שקעה השמש כ-20 דקות לפני כן (ראה תרשים 1). זו הסיבה שבתרבויות המונות זמניהן על-פי הירח, מתחילים הן היממה והן החודש הקלנדריים, סמוך לשקיעת השמש בערב [Ginzler, 1906; p. 123]. ראיית חרמש הירח החדש מתאפשרת לראשונה תמיד 29 או 30 יום מהופעתו הראשונה הקודמת, ללא מחזוריות קבועה. לכן גם החודשים הירחיים הנקבעים על-פי הופעת הירח, הם באורך משתנה, בני 29 או 30 יום, בסדר בלתי קבוע.

## יעקב לוינגר



כיוון שקיעת שני המאורות

תרשים 1: מתחם הופעת חרמש הירח החדש במבט אל האופק המערבי (בארץ ישראל, 29 יום מן הראייה הראשונה הקודמת)

כרוב התרבויות עם לוח ירחי שעל-פי-תצפיות, ממונה גוף משפטי-שלטוני על הכרזת תחילת החודש, הנעשית לרוב על-פי עדויות ראייה [Nilsson, 1920]. הבעיה המדעית הבסיסית היא לספק הערכה מראש, אם הירח ייראה כבר 29 יום מהראייה הקודמת אם לאו. הערכה זו מאפשרת לממונים על הלוח להכחיש ולדחות עדי ראייה שקריים. אין אפשרות טכנית לחזות מראש, באופן חיובי, שהירח ייראה בוודאות בתום 29 יום, כי החיזוי הזה תלוי בגורמים מטאורולוגיים אקראיים (עננות וכיו"ב). אפשר רק לחזות מראש את המקרים שבהם בוודאי לא תיתכן ראייה מסיבות אסטרונומיות במוצאי ה-29 בחודש, אלא רק במוצאי יום ה-30 של החודש שתם, שבו, תיאורטית, תמיד תיתכן ראייה.<sup>1</sup>

קביעת ראשי החודשים על-פי-הראייה בידי בית-דין ועריכת החישוב הקשור בכך, נחשבות בהלכה היהודית כמצווה מן התורה. לכן כלל הרמב"ם (1135 או 1138 עד 1204) בספרו משנה תורה חיבור מיוחד בנושא, הוא "הלכות קדוש החדש".<sup>2</sup> חיבור זה כולל פרקים אחדים (יא עד יט, שנכתבו בשנת 1178)<sup>3</sup> על חיזוי הראייה במוצאי יום ה-29 של כל חודש.

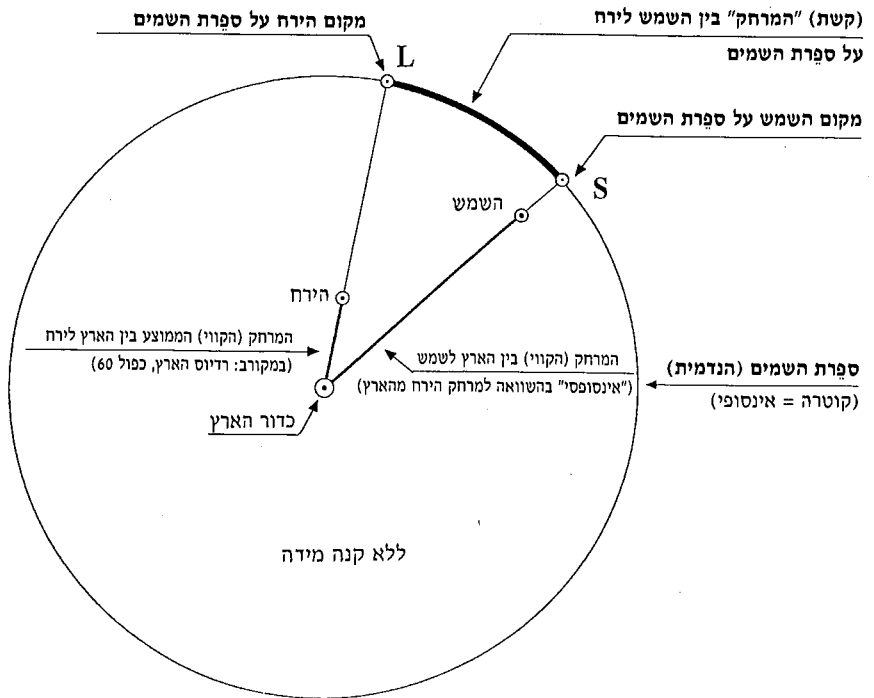
כידוע, אין לנושא זה משמעות קלנדרית-מעשית עבורנו בזמן הזה,<sup>4</sup> כי בעם ישראל הומר הלוח הירחי שעל-פי-תצפיות בלוח ירחי קבוע, כבר במאה הרביעית למניין האזרחי [לוינגר, תשמ"ו]. אבל יש חשיבות לנושא בלימוד תורה לשמה, וכן בחקר ההיסטוריה של המדע ובשחזור תאריכים היסטוריים מהזמן העתיק, וכן במדעי האטמוספירה המודרניים (בעיות גיוט על-פי גרמי שמים ועוד).

### ב. שני הפרמטרים של הרמב"ם לבדיקת היתכנות הראייה

קריטריון הראייה של הרמב"ם מתבסס על שני פרמטרים אסטרונומיים פשוטים, ששניהם מהווים קשתות על "ספרת השמים" (= פני הכדור הנדמה, שרדיוסו אינסופי ושכמרכזו

הקריטריון של הרמב"ם לראיית הירח החדש

מרכז כדור הארץ ועליו כאילו "נעוצים" כל גרמי השמים). הן באסטרונומיה של העולם העתיק והן בזו המודרנית, קובעים את מקומם של גרמי השמים ואת זמני שקיעותיהם אל מתחת לאופק, תוך הנחת ספרה נדמית זאת (ראה תרשים 2).



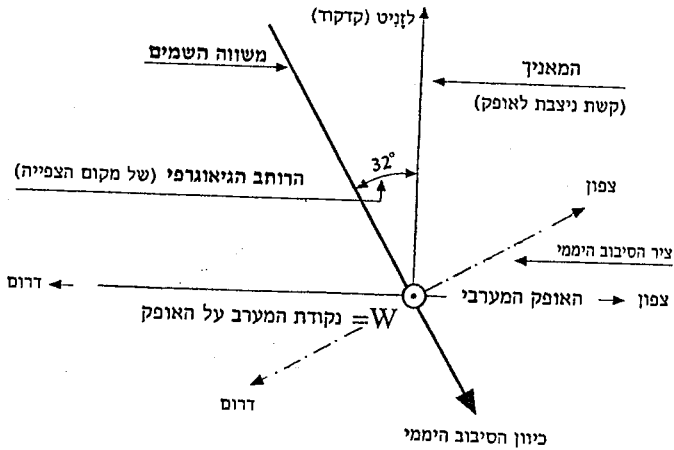
תרשים 2: ספרת השמים, שבמרכזה כדור הארץ

כדי להתמצא על ספרת השמים אנו מדמיינים לעצמנו, בין היתר, שלושה מעגלים "גדולים" (= שמרכזם מרכז כדור הארץ) ייחודיים עליה:

האופק (=horizon) הוא אותו המעגל על ספרת השמים שמישורו ניצב לקו מן הצופה אל הנקודה שמעל ראשו (=זֵנִיט), ועליו נדמים לזרוח ולשקוע גרמי השמים במבט מפני הארץ. הקטע מהאופק הנראה במבטנו אל כיוון מערב, הוא "האופק המערבי" (ראה תרשים 3).

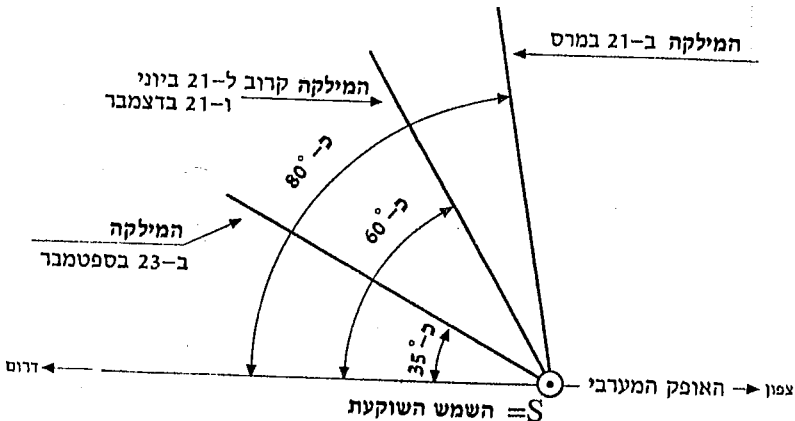
משווה השמים (=celestial equator) הוא אותו המעגל משותף-המרכז ומשותף-המישור עם קו (=מעגל) המשווה של כדור הארץ, שקוטרו אינ-סופי. לכן הוא אותו המעגל על ספרת השמים, שמישורו עובר דרך מרכז כדור הארץ והניצב לציר הסיבוב (היממי) הנדמה (ציר צפון-דרום) של ספרה זו מסביב לארץ. באמצעות הסיבוב הנדמה היממי (ממזרח למערב) של ספרת השמים ושל משווה השמים עליה, מודדים את חילוף הזמן. קל לדמיין את המעגל הזה על השמים, כי פרט לסיבובו המתמיד, מיקומו נשאר קבוע לגבי נקודת צפייה כלשהי שנבחרה על הארץ (ראה תרשים 3).

יעקב לוינגר



תרשים 3: משווה השמים בקרבת האופק המערבי (בארץ ישראל)

המילקה (=קו הלקות = ecliptic) הוא אותו המעגל על ספרת השמים, שעליו נדמים להקיף את הארץ (ממערב למזרח, בנוסף לטיבוב היממי של כל ספרת השמים ממזרח למערב) השמש במהלכה השנתי וגם (במקורב) הירח במהלכו החודשי. מקומו של מעגל זה על ספרת השמים משתנה כל הזמן לגבי הצופה מן הארץ, כי הוא נמצא על ספרה זו ומשתתף בטיבובה. ביום, אפשר לזהות את המילקה במקורב, כי השמש נמצאת עליו וגם הירח נמצא בקרבתו. בלילה קל לזהותו, כי הוא עובר באמצעה של "חגורה" שעל ספרת השמים (שרוחבה כ-15°), שלאורכה ממוקמות קבוצות ידועות של כוכבי שבת (= "מזלות"). לכן נקראת "חגורה" זאת "חגורת המזלות" (=zodiac), ולכן המילקה שבאמצעה מכונה אצל הקדמונים: "גלגל המזלות" (ראה תרשים 4).



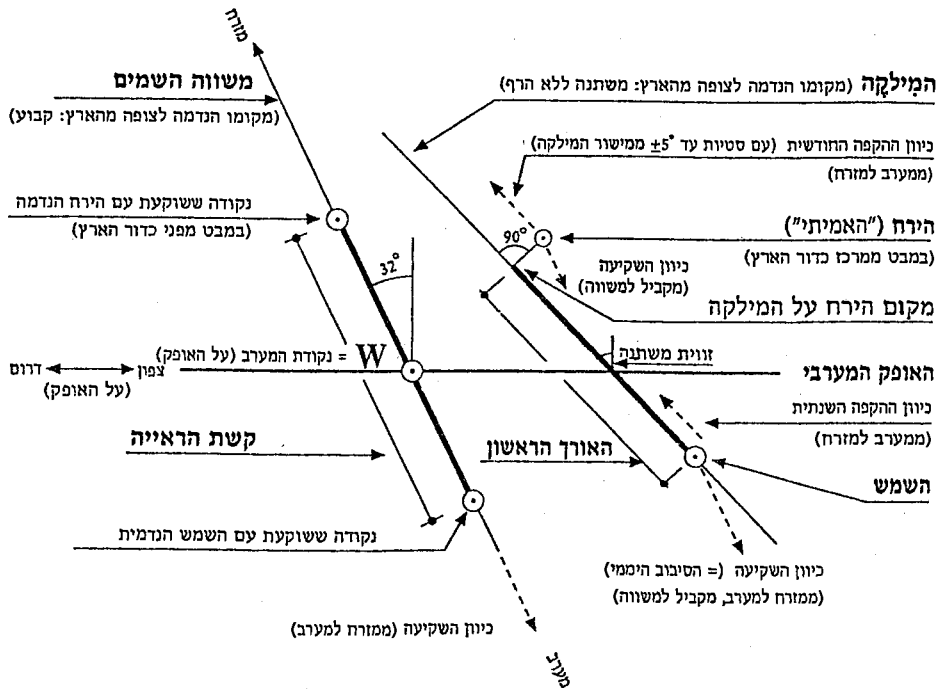
תרשים 4: המילקה בקרבת השמש השוקעת (בארץ ישראל)

## הקריטריון של הרמבי"ם לראיית הירח החדש

הפרמטרים של הראייה על-פי הרמבי"ם מהווים שני קטעים קשתיים, האחד על המילקה והשני על משווה השמים; שניהם בקרבת האופק המערבי, ואלו הם:

א. האורך הראשון ( $LI=$ ) – הוא קטע של קשת על המילקה, המתקבל כהפרש (הזוויתי) בין "אורך" הירח ו"אורך" השמש עליו, במבט ממרכז כדור הארץ (ראה תרשים 5).<sup>5</sup> "האורך" על המילקה נמדד במעלות מ"נקודת האביב" (אחת משתי נקודות החיתוך של המילקה עם המשווה, בה נמצאת השמש קרוב ל-21 במרס כל שנה). פרמטר זה קובע בדיוק מספיק את עובי חרמש הירח.

ב. קשת הראייה ( $KR=$ ) – היא קטע של קשת על משווה השמים, המבטא את הזמן בין שקיעת השמש ובין שקיעת הירח אל מתחת לאופק, במבט מפני כדור הארץ. זמן זה נמדד במעלות של משווה השמים השוקעות בין השקיעות של שני המאורות.<sup>6</sup> מעלה אחת של קשת הראייה, תואמת 4 דקות זמן בין השקיעות של שני המאורות. פרמטר זה קובע את דרגת החושך של רקע השמים בשעת ראיית הירח, כשהשמש מתחת לאופק והירח מעליו (ראה תרשים 5).



תרשים 5: האורך הראשון וקשת הראייה בשעת הראייה (בארץ ישראל)

את שני הפרמטרים הנ"ל אפשר לחשב במקור, בעזרת מידע נגיש לכול [לוינגר, תשנ"ד], או אפשר לחשב במדויק באמצעות נוסחות אסטרונומיות מתאימות [Meeus, 1991], בעזרת תוכנות מחשב ייחודיות [צקוני, תשנ"ו], או באמצעות לוחות, הנאגרים

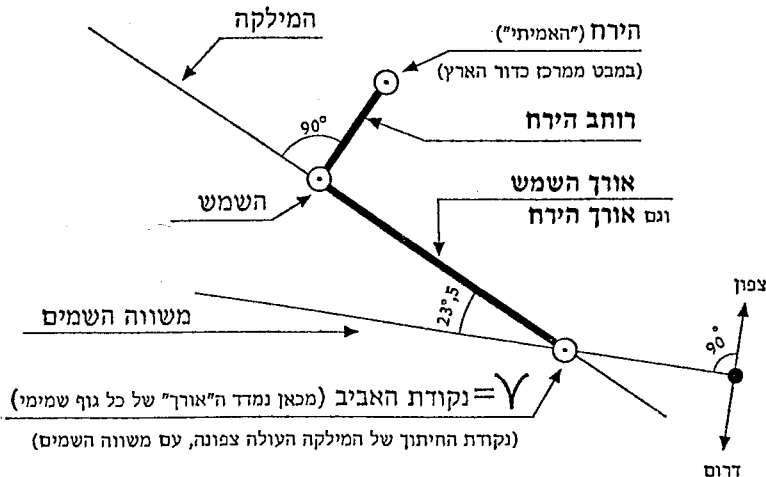
ב"אלמאנכים" למיניהם.<sup>7</sup> הרמב"ם נותן לנו דרך חישוב משלו, המבוססת על האסטרונומיה של הקדמונים. בזמננו מחשבים, כמובן, את פרמטרי הראייה בשיטות העדכניות, ולא בשיטת הקדמונים. התוצאות על-פי שיטת הקדמונים קרובות מאוד לתוצאות המודרניות. אחרי חישוב הפרמטרים המדויקים של הראייה, נוכל להשתמש בקריטריוני הראייה של הקדמונים הבוחנים את הפרמטרים האלה. קריטריוני הראייה של הקדמונים נותנים לנו, גם בזמננו, תחזית ראייה סבירות. קיימים גם קריטריוני ראייה מודרניים, שהם עקומות ניסיוניות ברובם, שתחזיותיהם קרובות לאלה של הקדמונים (ראה פרק 1).

### ג. קריטריוני הראייה של הרמב"ם

#### 1. קריטריוני הראייה של הרמב"ם על-פי פרמטר אחד

(א) תחזית על-פי האורך הראשון בלבד

כאמור, ערב ראיית הירח החדש חל תמיד אחרי המולד האמיתי (בלשון הרמב"ם: קיבוץ; המונח המודרני: התקבצות = conjunction) של הירח. בזמן המולד האמיתי השמש והירח נמצאים על אותו המקום על המילקה — השמש עליו והירח בקרבתו, על קשת ניצבת למילקה, במרחק B ממנו (ראה תרשים 6). מרחק זה נקרא "רוחב הירח" (שיעור הרוחב: עד כ- $5^{\circ}$ ). האורך הראשון (= "אורך" הירח פחות "אורך" השמש) מתאפס ברגע המולד האמיתי, כי אז יש לשמש ולירח "אורך" זהה על המילקה. זו ההגדרה של זמן המולד האמיתי (שאינו זהה עם המולדות הידועים של הלוח העברי, המוכרזים בשעת "ברכת החודש" בבתי-הכנסת [לוינגר, תשנ"ה]. להלן אנו מדברים תמיד רק על המולד האמיתי).



תרשים 6: השמש והירח במולד האמיתי

הירח מתרחק מן השמש במהלך הקפתו החודשית מסביב לארץ לאורך המילקה (או קרוב לו) בכיוון ממערב למזרח, היינו בכיוון נגדי לסיבוב היממי של ספֶרַת השמים עם כל המאורות עליה. מהירות התרחקות הירח מן השמש לאורך המילקה היא כחצי המעלה בשעה, שהיא כ- $12^{\circ}$  ביממה (תוך סטייה אפשרית עד כ-20% מהערכים הממוצעים האלה [Meeus, 1985, p. 154]). על-פי הרמב"ם, תיתכן ראייה רק אם האורך הראשון גדול מ- $9^{\circ}$  (בחורף ובאביב) או  $10^{\circ}$  (בקיץ ובסתיו, או ביתר דיוק: כש"אורך" הירח על המילקה הוא בין  $90^{\circ}$  ל- $270^{\circ}$ ).<sup>8</sup>

הירח מגיע למרחק כזה מן השמש, בדרך כלל, רק לאחר כ-15 שעות, אבל לרוב רק קרוב ליממה מן המולד האמיתי. לכן, אם האורך הראשון קטן או שווה לערכים הנ"ל אין צורך לבדוק גם את קשת הראייה, כי לבטח לא תיתכן ראייה. לעומת זאת, אם האורך הראשון הוא יתר על  $15^{\circ}$  (בחורף ובאביב) או יתר על  $24^{\circ}$  (בקיץ ובסתיו), אז תמיד תיתכן ראייה על-פי הרמב"ם (במזג אוויר מתאים) בכל ארץ ישראל,<sup>9</sup> ושוב אין צורך לבדוק גם את גודל קשת הראייה.

(ב) תחזית על-פי קשת הראייה בלבד

קשת הראייה היא קטנה בערב אחרי המולד האמיתי (אבל אינה אפס בהכרח, אפילו ברגע המולד) וגדלה בממוצע בכ- $12^{\circ}$  (= כ-48 דקות זמן) ביממה אחת. על-פי הרמב"ם, לא תיתכן ראייה אם קשת זו היא  $9^{\circ}$  או פחות, היינו: אם בערב הראייה יש 36 דקות (זמן) או פחות, בין שקיעת השמש לבין שקיעת הירח אחריה.<sup>10</sup> לכן, במקרה זה אין צורך לבחון גם את גודל האורך הראשון.

אם קשת הראייה גדולה מ- $14^{\circ}$  (= 56 דקות זמן), אז תמיד תיתכן ראייה בכל ארץ ישראל, אם תנאי מזג האוויר וכו' מאפשרים זאת, ושוב אין צורך לבחון גם את האורך הראשון.

אם שני הפרמטרים של הראייה נמצאים בין ערכיהם הקיצוניים שמנינו, אז אין אפשרות לחזות את הראייה על-פי פרמטר אחד בלבד, אלא רק תוך התכוננות בשני הפרמטרים של הראייה גם יחד.

## 2. קריטריון הראייה של הרמב"ם על-פי שני פרמטרים

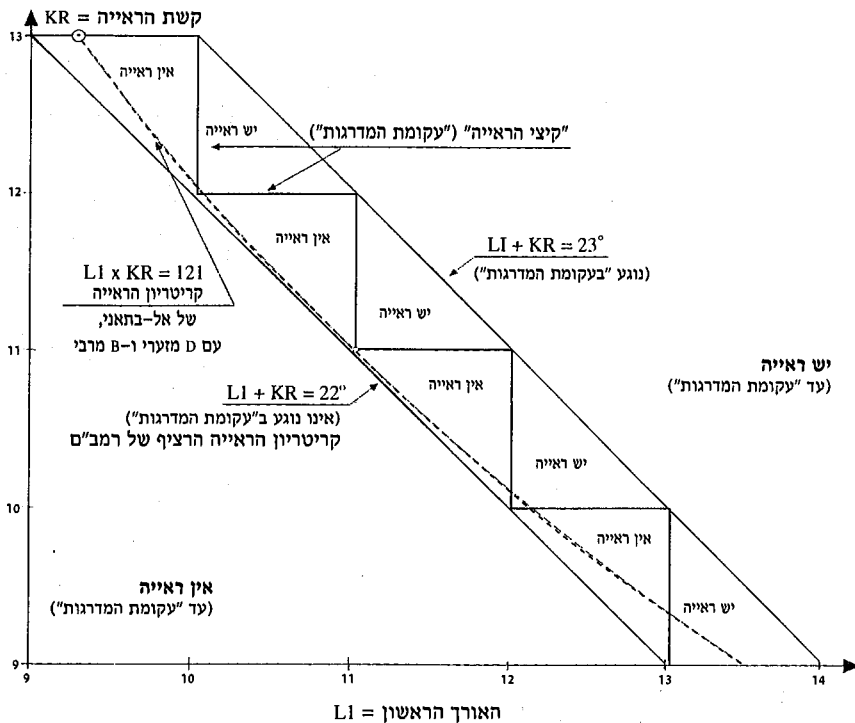
על-פי הרמב"ם, תיתכן ראייה רק אם בנוסף לגודלו המזערי של כל פרמטר לעצמו (על-פי (א) (ב) לעיל בסעיף 1), מתקיים גם התנאי:

$$L1 + KR > 22^{\circ}$$

נוסחה 1

(בנוסחה זו יש להציב רק מעלות שלמות של האורך הראשון), או במלים: תיתכן ראייה רק אם הסכום של (המרכיב השלם של) האורך הראשון L1 וקשת הראייה KR גדול מ- $22^{\circ}$  [האנאבר, תקי"ז]. אי-ההתחשבות בחלקי המעלות של האורך הראשון גורמת לכך שגורף הקריטריון אינו קו ישר, אלא "עקומת מדרגות" בלתי רציפה (ראה תרשים 7).<sup>11</sup>

(יש להציב בנוסחה 1 את שני הפרמטרים בערכם המוחלט, היינו תמיד עם סימן חיובי, גם בחקירות תצפיות הבוקר של הירח הישן).



תרשים 7: גרף קריטריוני הראייה של הרמב"ם

הרמב"ם, כדרכו בכל ספרו משנה תורה, לא נותן לנו שום מקור או הוכחה לקריטריון הראייה זה. גם אין בידנו ידיעות על עריכת צפיות אסטרונומיות על-ידי הרמב"ם בעצמו. כפי שציין כבר רבי עובדיה ב"ר דוד, בעל ה"פירוש" על "הלכות קדוש החדש", כמאה ושישים שנה אחרי כתיבת הלכות אלו (ראה פירוש, פ"ט ה"ח), נראה שהרמב"ם אימץ את התאוריות של תלמי (Ptolomaeus Claudius) לתנועת המאורות, הכלולות בספרו "אלמגסט" [Toomer, 1984], שחובר באמצע המאה השנייה, בעיקר על-פי עדכוני האסטרונומיים של התוכן הערבי הגדול אל-בתאני, שחי כשלוש-מאות שנה לפני הרמב"ם (בערך 858 עד 929).

החוקר הגדול של אסטרונומיית הקדמונים נויגבאואר [Neugebauer, 1949], ציין שנתוני הרמב"ם על מקומם של המאורות בתאריך הבסיס, הוא ה"עיקר" (= Epoch), וכן קצבי המהלכים הבסיסיים של המאורות המובאים ברמב"ם (שעל-פי שני אלה מחשב הרמב"ם את הפרמטרים בליל ראייה כלשהו), יכולים לנבוע כולם מנתוני אל-בתאני. לעומת זאת, על תנאי הראייה של הרמב"ם (פי"ז, הט"ז עד הכ"ב) כותב נויגבאואר [שם, עמ' 360]: "הפרטים המבטאים את הקשר בין קשת הראייה לאורך הראשון (היינו תנאי הראייה. י"ל) שונים מאוד אצל הרמב"ם משהם אצל אל-בתאני... לכן מסתבר, שהרמב"ם הולך בעקבות מסורת יהודית, שלא הושפעה מהשיטות הערביות (לקביעת היתכנות הראייה. י"ל)".



בניגוד לנויגבאואר נדמה לנו, שלא הוכח שיש בתנאי הראייה של הרמב"ם מסורת יהודית נסתרת ובלתי ידועה. אפשר להקיש משיטת אל-בתאני לשיטת הרמב"ם ללא קושי, אם מניחים, שהרמב"ם ניסח רק את גבול אי-הראייה הוודאית לשם הכחשת עדי הראייה השקריים, בעוד שאל-בתאני ניסח את גבול הראייה הסבירה. מצד אחר, שיטת אל-בתאני עצמו יונקת ממסורות יהודיות ובבליות עתיקות, כפי שנראה להלן.

#### ד. קריטריון הראייה של אל-בתאני

רק חלק קטן מעבודותיו האסטרונומיות של אל-בתאני הגיע לידנו, ביניהם חלקים מספרו: "אל-זיג' – לוחות אסטרונומיים" (בערך משנת 900). עבודותיו האסטרונומיות שבידנו, הוהדרו במקורן הערבי ותורגמו ללטינית בתחילת המאה הזאת בידי נאלינו [Nallino, 1899–1907]. למהדורה זו צורף פירוש אסטרונומי מודרני בלטינית, מהתוכן האיטלקי ג' סקיאפארלי (Schiaparelli). מחברים אחרים תיקנו אחדות משגיאות התרגום וההבנה של נאלינו (ביבליוגרפיה על כך ראה: *Ency. of Islam*, al-Battani).

לאחרונה תורגם מן המקור הערבי לאנגלית הפרק ה-41 של ספרו הנ"ל של אל-בתאני, הדין בראיית חרמש הירח החדש, יחד עם פירוש סקיאפארלי. התרגום מובא במאמרו של ברוין על הראייה הראשונה של הירח [Bruin, 1977; p. 346]. כאן מכונה ספרו של אל-בתאני: *Handbook of Astronomy* [al-Battani, 1977].

שיטתו של אל-בתאני, הנראית במבט ראשון עמומה במקצת, מתבהרת מלימוד שיטת הרמב"ם לראייה, שאימץ ופישט לצרכיו את שיטת אל-בתאני. אנו נותנים להלן ניסוח מודרני חדש לקריטריון הראייה של אל-בתאני, כפי שזה התבהר לנו מלימוד הטקסט הקשה, תוך השוואתו עם קריטריון הרמב"ם. נעזרנו רבות בהכנת אל-בתאני על-ידי נויגבאואר [Neugebauer, 1949] ופירוש סקיאפארלי.

מהתיאור המילולי של מהלך החישוב אפשר להסיק, שלפי אל-בתאני תיתכן ראייה, אם בערב הראייה בשעת שקיעת השמש, מתקיים התנאי (ראה תרשים 8):

$$\frac{\text{ARCL.KR}}{D} > \frac{12.12}{60} (= 2,4)$$

נוסחה 2

(המקדמים במקור הם:  $11^0,8 \cdot 12^0,2$ . המכפלה זהה = 144)

(הקשתות ARCL, KR : במעלות. הנקודה בנוסחה מסמלת כפל. הסימן העשרוני = פסיק. לפי התקן הבינלאומי ISO החדש).

ARCL = קשת האור (= אורך הקשת בין השמש לבין הירח על ספרת השמים, במבט ממרכז כדור הארץ)

KR = קשת הראייה, במובן זהה להגדרתה אצל הרמב"ם

(= הפרש הזמן בין שקיעת הירח והשמש, במבט מפני כדור הארץ, במעלות)

D = המרחק הקווי בין מרכז הירח לבין מרכז כדור הארץ, ביחידות של רדיוס כדור הארץ (רדיוס הארץ = 1).

(יש להציב בנוסחה 2 את כל הפרמטרים בערכם המוחלט, היינו תמיד עם סימן חיובי, גם בחקירת תצפיות הבוקר של הירח הישן).

אל-בתאני מנמק את קריטריון הראייה שלו כך:  
 "הקדמונים" ("the ancients") קבעו, שאין אפשרות לראות את הירח, אלא אם גילו לפחות יום אחד מן המולד האמיתי. ביום אחד (= 24 שעות), הירח מתרחק בממוצע כ- $12^0$  מן השמש.

"מסורת קדמונים" זאת על אפשרות ראיית הירח בממוצע אחרי 24 שעות מן המולד, מקורה בחוג התרבות המזרח-תיכונית, היינו הבבלית וגם היהודית, כפי שזה משתקף גם במאמרי התלמוד (בבלי, ראש השנה כ ע"ב: "צריך שיהיה לילה ויום מן החדש" (= ממולד הירח החדש), וכן: "כ"ד שעי מכסי סיהרא...") (= כ"ד שעות מתכסה הירח מרגע המולד עד הראייה).

בנוסף ל"מסורת קדמונים" הנזכרת, "כולם מסכימים" — כותב אל-בתאני — שהירח החדש ניתן לצפייה רק אם יש בין שקיעת השמש לבין שקיעת הירח כ-48 דקות זמן. היינו אם קשת הראייה היא  $12^0$  (ראה לעיל פרק ב).

הניסוח החלופי הזה של חוק הראייה הקדום, המסתמך על הפרש הזמן בין שתי השקיעות, הגיע אל התוכנים הערבים הקדמונים גם כן מבבל [Pingree, 1973]. אבל דרך תוכני הודו וחיבוריהם (כדוגמת: *Surya-Siddhanta*, Chapter 10; וכן: *Varaha Mihira: Pancha Siddhantika*, שניהם בתרגום ברוין [Bruin, 1977]), שנתחברו קרוב למאה השישית למניין האזרחי. תוכנים ערבים ויהודים אחדים (לדוגמה, הערבים אל-כיאורזמי (830) ואבן-טאריק (760), והיהודים רבי אברהם בר חייא הנשיא (ד'תתצ"ה-1135); ורבי אברהם אבן עזרא (ד'תתק"ז-1147)), השתמשו בקריטריון ראייה בסיסי זה כתנאי ראייה יחיד ומספיק, ולא טרחו לבדוק גם את גודל האורך הראשון (כרמב"ם) או את גודל קשת האור (כאל-בתאני).<sup>13</sup>

בקביעותיהם אלה מניחים ה"קדמונים", אליבא דאל-בתאני, שתיתכן ראייה ב"מצב ממוצע" ואידיאלי, אשר בו:

א. המולד האמיתי חל ברגע שקיעת מרכז השמש והירח גם יחד, כשמרכזי שני המאורות נמצאים הן על משווה השמים והן על האופק.  
 ב. למחרתו, אחרי 24 שעות מן המולד, שוב ברגע שבו מרכז השמש נמצא על האופק, הן השמש והן הירח שוב מונחים על משווה השמים, אבל במרחק של כ- $12^0$  זה מזה (ראה תרשים 10), כי זו היא מהירות ההתרחקות הממוצעת של הירח מן השמש במשך יממה אחת.

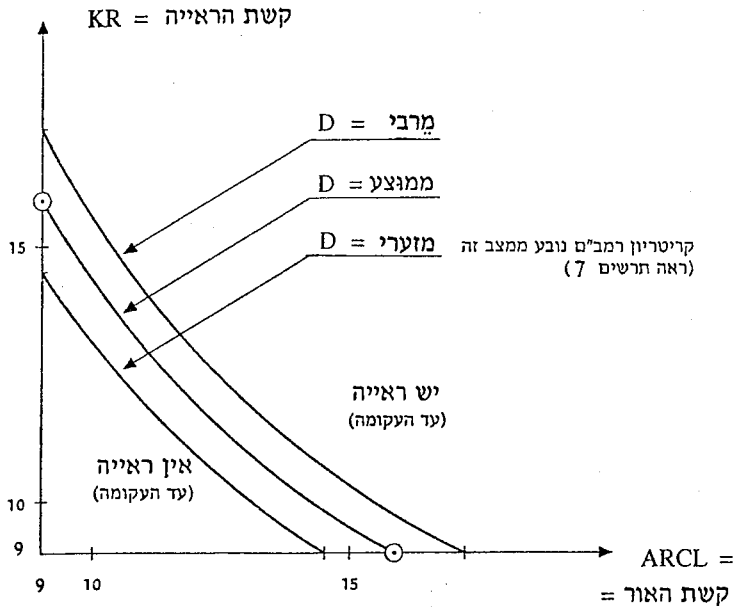
אל-בתאני מצא אפוא, ששלושה תנאים מתקיימים ב"מצב הממוצע" בערב הראייה, 24 שעות אחרי המולד, בשעת שקיעת השמש, כך שאחריה מתאפשרת הראייה (על-פי שני הנוסחים של קריטריון ה"קדמונים"):

א. על-פי הנוסח הראשון של חוק ה"קדמונים": "קשת האור" (הקשת בין השמש והירח על ספרת השמים) היא בשיעור  $12^0$ .

ב. על-פי הנוסח השני של חוק ה"קדמונים": "קשת הראייה" היא  $12^0$ , היינו הפרש הזמן בין שקיעת שני המאורות, במבט ממרכז כדור הארץ, הוא 48 דקות (זמן).

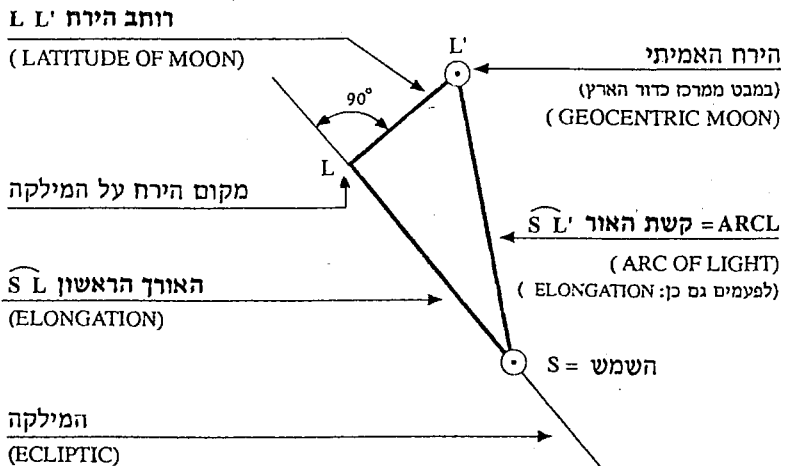
ג. ב"מצב הממוצע", כשמהירות ההתרחקות של הירח מן השמש ממוצעת, אז גם המרחק בין מרכזי הירח והארץ הוא ממוצע: 60 יחידות (ביחידות של רדיוס כדור הארץ. הערך המודרני: כ-60,3). אל-בתאני מוסיף: המרחק האמיתי יכול לסטות עד כ- $1/12 \pm$  מהמרחק הממוצע הזה (הערך המודרני לסטייה הוא רק: כ- $1/15 \pm$ , [Meeus, 1991; p. 332]).

הקריטריון של הרמב"ם לראיית הירח החדש



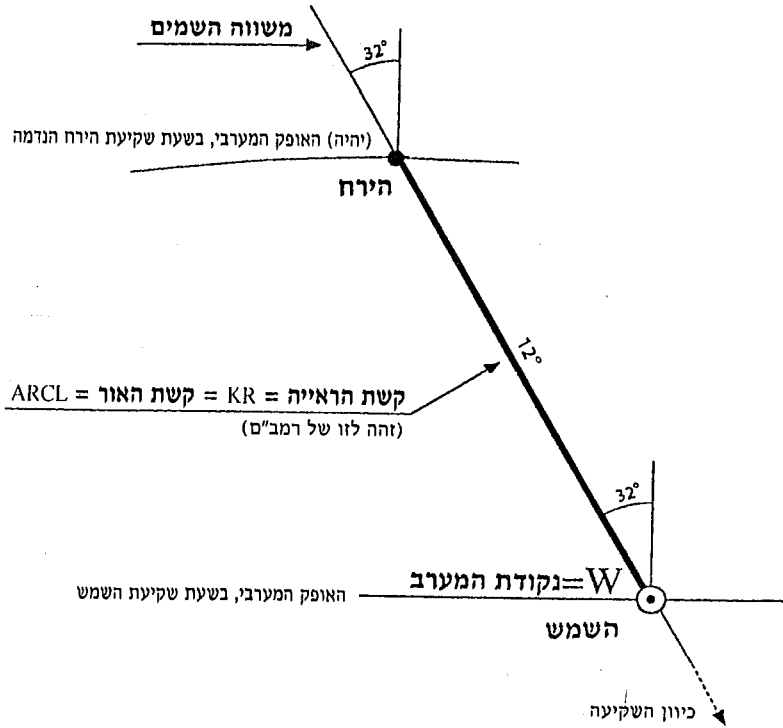
תרשים 8: גרף קריטריון הראייה של אל-בתאני

שים לב ש"קשת האור" ARCL אינה זהה לאורך הראשון  $L1$  של הרמב"ם, כי האורך הראשון נמדד לאורך המילקה והוא בלתי תלוי ברוחב הירח B, בעוד ש"קשת האור" מביאה בחשבון גם את רוחב הירח (היא היתר במשולש שניצביו הם האורך הראשון והרוחב של הירח; ראה תרשים 9).



תרשים 9: האורך הראשון  $L1$ , רוחב הירח B וקשת האור ARCL

יעקב לוינגר



בשעת שקיעת החמה

תרשים 10: השמש והירח ב"מצב ממוצע" על משווה השמים, בגיל 24 שעות מן המולד (בארץ ישראל)

"קשת האור" ARCL ו"קשת הראייה" KR וה"מרחק בין מרכזי הירח והארץ" D, הם שלושת הפרמטרים של הראייה על-פי אל-כתאני, שבאמצעותם הוא קובע אם הירח ייראה אם לאו. ב"מצב ממוצע" כל שלושת הפרמטרים הם בגודל ממוצע 24 שעות אחרי המולד, ואז מתאפשרת הראייה על-פי הקדמונים. בכל מצב שונה מ"המצב הממוצע", היינו: כשזמן הצפייה אינו חל 24 שעות מן המולד; וכשהשמש והירח אינם מונחים על משווה השמים, והמרחק ביניהם על המילקה אינו ממוצע ( $12^0$ ); והזמן בין שקיעות המאורות אינו ממוצע (48 דקות זמן); וכן המרחק הקווי בין הירח והארץ אינו ממוצע (60) — אז על מכפלת שלושת פרמטרי-היסוד של הראייה ( $1/D, KR, ARCL$ ) להיות זהה למכפלת פרמטרי-היסוד שב"מצב הממוצע". כי ככל שפרמטר אחד מהשלושה גדל לעומת גודלו ב"מצב הממוצע", מותר לפרמטרים האחרים לקטון יחסית. כך קיבל אל-כתאני את קריטריון הראייה שנקבנו בשמו לעיל (נוסחה 2).

אנו מוצאים בדרך טיעוניו של אל-בתאני דוגמת בית-ספר של "דרך המדע הסכולסטי" (Scholastic Science). הוא לוקח חוק פשטני ומקורב אחד ויחיד, הנפוץ בשני ניסוחים שונים. בדרך ספקולטיבית הוא מפתח מזה חוק כללי מתוחכם, המתיימר להיות מדויק יותר מן החוק המקורב שממנו הוא נובע, וזאת בלי להזכיר בכלל צפיות שערך להוכחת החוק.

אין ספק, שאל-בתאני ערך צפיות רבות להוכחת טיעוניו [Ency. of Islam; al-Battani], אבל אין הוא חושב לנכון לדרווח על הניסויים להוכחת שיטתו. גם ממצא מדעי, מתצפיתן מקצוען כאל-בתאני, מוצג כפרי התבוננות עיונית, כעין "מדע מן הכורסה" (Armchair Science), ולא כמדע ניסויי, ממצפה הכוכבים!

קל לראות, שבשתי "מסורות הקדמונים" מדובר בעצם בשתי גרסות חלופיות של כלל הראייה האחד והקדום והמקורב: "הראייה אפשרית לרוב אחרי כ-24 שעות מהמולד האמיתי". כי אם הן השמש והן הירח נמצאים (במצב ממוצע) על משווה השמים הן במולד והן בתום יממה אחת מן המולד, ומהירות התרחקות הירח מהשמש היא ממוצעת, אז המרחק בין שני המאורות הוא כ- $12^0$  על משווה השמים והם שוקעים בהפרש זמן של כ-48 דקות, במבט ממרכז כדור הארץ (משווה השמים סובב  $1^0$  כ-4 דקות זמן, כפי שפירטנו לעיל).

על אף העובדות שבלתי אפשרי שמרכיבי "המצב הממוצע", כמתואר לעיל, יזדמנו בו-זמנית במציאות וכן שקיעות המאורות נצפות מפני כדור הארץ ולא ממרכזו, כפי שמניחים לעיל — יש היגיון פיזיקלי-ירב בבחירת שלושת פרמטרי הראייה של אל-בתאני וגם בהגדרת הנוסחה המקשרת ביניהם:

1. "קשת האור" ARCL היא הפרמטר הקובע את יחסו  $k$  של עובי חרמש הירח (באמצעו)  $W$ , לקוטר  $d$  של עיגול הירח המלא ( $W=k \cdot d$ ).  $k$  מבטא גם את "אחוז התאורה" של שטח חרמש הירח, ביחס לשטח דיסקית הירח המלאה (ראה נוסחה מודרנית ל- $k$ : Meeus, 1991, p. 315).

2. "המרחק בין מרכזי הירח והארץ"  $D$ , הוא הפרמטר הקובע את גודלו הנצפה של עיגול הירח המואר ושל רדיוס החרמש. ככל שהירח קרוב יותר לארץ, כך ייראו עיגול הירח ורדיוס החרמש גדולים יותר ונוחים יותר לצפייה.

3. "קשת הראייה" KR היא הפרמטר הקובע בקירוב טוב את דרגת החושך (התלויה בעומק השמש מתחת לאופק), ואת רום (=הגובה הזוויתי הניצב לאופק של) הירח בשעת הצפייה. בהתחשב בשלושת הפרמטרים הנ"ל קיבל אל-בתאני את אחד הקריטריונים המתוחכמים ביותר לראיית הירח, גם בהשוואה לקריטריונים המודרניים.

### ה. קריטריון הרמב"ם (לאי-ראייה) ממקרה פרטי של תנאי אל-בתאני (לראייה)

1. הסקה מדוקדקת מקריטריון אל-בתאני לקריטריון הרמב"ם אל-בתאני האסטרונום חיפש ומצא תנאי אסטרונומי לראייה אפשרית של הירח, בתנאי מזג אוויר ועננות נאותים. לעומתו הרמב"ם, איש המשפט וההלכה, מעוניין רק בקריטריון לאי-ראייה ודאית, המאפשר הכחשה בטוחה של עדי השקר, המעידים בפני בית-דין. בזאת הוא הולך בעקבות התלמוד הדין בתועלת החישוב לחיזוי הראייה (בבלי, ראש

השנה כ ע"ב): "למאי נפקא מינה" (מה יוצא לנו מהדיעה שאפשר לראות את הירח בתום יממה, לפי הכלל: "צריך שיהא לילה ויום מן החדש" (= מהמולד), הלא זו עדיין אינה מאפשרת קיום דברי עדי האמת בביטחון גמור, כי על-פי כלל זה הראייה אפשרית בתום יממה אחת מן המולד, אבל אינה ודאית)? על זה עונה התלמוד: "לאכחושי סהדי" (אכן כן, כלל הראייה בתום יום מן המולד מאפשר רק הכחשת עדי השקר במקרים שלא תיתכן ראייה; לוינגר, תשנ"ו). כפי שהוסבר כבר, אין אפשרות טכנית לחזות ראייה חיובית, התלויה במזג אוויר ובעננות ובעוד גורמים אקראיים.

לכן, לאור קביעה זו של התלמוד, שמטרות תחזיותינו הן רק הכחשת עדי הראייה השקריים, התאים הרמב"ם את קריטריון אל-בתאני לצרכיו, כך:

א. במקום "קשת האור" ARCL בנוסחת אל-בתאני, מציב הרמב"ם את "האורך הראשון"  $L_1$ , המתקבל כשרוחב הירח B הוא קיצון:  $5^0 \pm$ , ואז יהיה במקורב:  $ARCL(B_{max}) = (12/11) \cdot L_1$  (כי, אם בממוצע  $ARCL = 12^0$ , ורוחב הירח:  $5^0 \pm = B$ , אז מתקבל בקירוב  $L_1 = 11^0$ ). האורך הראשון  $L_1$  ורוחב הירח B הם ניצבים של משולש כדורי, עם היתר ARCL, ולפי משפט פיתגורס (במקורב):  $11^2 + 5^2 = 12^2$  (ראה תרשים 9 לעיל).

הנימוק להצבה זו הוא: כש- $L_1$  נתון, ואין ראייה עם  $ARCL(B_{max})$  המתקבלת עם  $B = \pm 5^0$ , אז על אחת כמה וכמה אין ראייה עם ARCL המתקבלת עם B (מוחלט) קטן יותר.

ב. במקום המרחק D בין מרכזי הארץ והירח שבתנאי אל-בתאני המקורי, מציב הרמב"ם את המרחק המזערי האפשרי, שהוא על-פי אל-בתאני (Bruin, 1977; p. 348):

$$D(\min) = (11/12) \cdot 60$$

הנימוק להצבת הרמב"ם: כי אם אי-אפשר לראות את הירח כשהוא קרוב אל הארץ, אז על אחת כמה וכמה לא תתאפשר ראייתו כשהוא רחוק מן הארץ. ראינו לעיל, שהקריטריון הכללי של אל-בתאני הוא (נוסחה 2):

$$KR \cdot ARCL / D > 12^2/60$$

תוך הצבת  $ARCL(B_{max})$  ו- $D(\min)$  לתוך נוסחה 2, על-פי שיקולי הרמב"ם כנ"ל:

$$KR \cdot (12/11)^2 \cdot L_1/60 > 12^2/60$$

מתקבל הקריטריון לראייה במצב גבולי על-פי אל-בתאני:

$$KR \cdot L_1 > 11^2 (=121) \quad \text{נוסחה 3}$$

היות שלפי השיטות האריתמטיות של הקדמונים היה כפל שתי זוויות, בלתי עגולות, פעולה מסובכת ביותר, היה רצוי לקרב את הפונקציה ההיפרבולית:  $KR \cdot L_1 > 121$  שעל-פי אל-בתאני (נוסחה 3), בפונקציה הליניארית:  $KR + L_1 > 22$ , וזו היא נוסחת הרמב"ם לראייה שמצאנו לעיל (נוסחה 1).

כפי שמתברר מתרשים 7 לעיל, הפונקציה הליניארית של הרמב"ם (נוסחה 1) משיקה מלמטה לפונקציה ההיפרבולית (קו מרוסק, שם) משל אל-בתאני לראייה במצב גבולי (נוסחה 3).

כמובן, הרמב"ם אינו מביא במפורש את נוסחתו בצורה המתמטית המודרנית, אלא נותן לנו אותה בצורת לוח מספרים (פרק יז, הי"ז עד הכ"ב = "קיצו הראייה"). ראה (בלוח 1) את לוח המספרים של הרמב"ם (על-פי:  $KR + L_1 > 22$ ) בהשוואה ללוח המספרים הנובע מקריטריון אל-בתאני לראייה במצב גבולי (על-פי:  $KR \cdot L_1 > 121$ ):

לוח 1: "קיצו הראייה" של אל-בתאני ושל הרמב"ם

	9	10	11	12	13	נתן:	LI
KR	13,4	12,1	11	10,1	9,3	אל-בתאני:	3
KR	13	12	11	10	9	הרמב"ם:	1

כל הערכים במעלות, וכשבריהן העשורניים.

עינינו הרואות, שאפשר להניח אחת מהשתיים: או ש"קיצו הראייה" של הרמב"ם חושבו ישירות מהנוסחה  $LI > 121 \cdot KR$  (נוסחה 3), תוך עיגול התוצאה כלפי מטה; או שהם חושבו על-פי הנוסחה  $LI > 22^0 \cdot KR + LI$  (נוסחה 1), שהיא בעצמה קירוב מעולה של נוסחה 3 (תרשים 7).

2. הסקה פשטנית מקריטריון אל-בתאני לקריטריון הרמב"ם אפשר להקיש, מתוך שיקולי אל-בתאני, לקריטריון הראייה של הרמב"ם גם בדרך פשטנית יותר.

בהתאם לשיקולי אל-בתאני, שנקודות מוצאם הן שתי המסורות של ה"קדמונים", תיתכן ראייה, אם "במצב הממוצע":

מרחק הירח מן הארץ:  $D = 60$

האורך הראשון:  $LI = 12^0$  (בהזנחת רוחב הירח)

קשת הראייה:  $KR = 12^0$  (= 48 דקות זמן)

מכאן ש"במצב כללי" של המאורות תיתכן ראייה, אם מתקיים התנאי המאחד את שלוש הדרישות הנ"ל:  $(KR + LI) / D > (12 + 12) / 60$ . אם רוצים לקבל מתנאי הראייה הזה שב"מצב הכללי" תנאי ראייה ב"מצב גבולי", כשמרחק הירח  $D$  מן הארץ מזערי, אז יש להציב בתנאי הראייה שב"מצב הכללי" את  $D$  המזערי לפי אל-בתאני:

$$D(\min) = (11/12) \cdot 60$$

וכך מתקבל שוב:  $KR + LI > 24 \cdot (11/12)$

$$KR + LI > 22^0 \quad \text{נוסחה 1 לעיל}$$

קשה להחליט אם הרמב"ם הסיק לשיטתו משיקולי אל-בתאני וממצאיו בדרך המדוקדקת שתיארנו לעיל, או בזו המפושטת המוכאת כאן. בכל מקרה אנו רואים, שקריטריון הרמב"ם הוא בעליל פועל יוצא מתנאי הראייה הכללי של אל-בתאני, בהנחה שמטרתו למצוא תנאי לאי-הראייה הוודאית של הירח.

לכסוף נזכיר רק בקצרה, שאפשר גם להסיק מקביעות אל-בתאני לקביעות הרמב"ם בנושא הערכים הקיצוניים של קשת הראייה (שאינן ראייה מתחת ל- $9^0$  ומשהו, ותמיד יש ראייה מעל  $14^0$  קשת ראייה). כמו כן קל לגלות את המקורות לערכים הקיצוניים של האורך הראשון על-פי הרמב"ם, ואין כאן המקום לפרט (ראה פירוש רבי לוי בן חביב לרמב"ם פט"ו, במהדרות המצויות, על אתר, וראה הנובר, תקט"ז, סימנים צ, צא).

ו. בדיקת טיב התחזיות של אל-בתאני והרמב"ם

1. תקפות תחזיות הקדמונים

הסברנו לעיל שאל-בתאני והרמב"ם החליטו על היתכנות הראייה על-פי גדלים אסטרונומיים אחדים, ביניהם:

- קשת האור — קשת המרחק בין שני המאורות על ספרת השמים,
- האורך הראשון — קשת המרחק בין שני המאורות על המילקה,
- קשת הראייה — קשת על משווה השמים, המבטאת את הפרש הזמן בין השקיעות של שני המאורות.

הדיון על תקפות שיטות הקדמונים מתחלק לשלוש שאלות נפרדות:

הראשונה בהן: כלום יש עדיין משמעות במדע המודרני למושגים כמו קשת האור או האורך הראשון ולדומיהם? הרי מושגים אלו הורחם ולידתם במדע של העולם העתיק, שתיאר את היקום עם כדור הארץ במרכזו, כשהשמש והירח מקיפים ב"גלגלים", היינו במעגלים, את כדור הארץ. הכול יודעים, שתמונת העולם המדעית היום מתארת את הירח כגוף המקיף את הארץ (במסלול אליפטי) ושניהם יחד מקיפים את השמש (שוב במסלול אליפטי), ולכאורה אין מקום לדבר על הקפת שני המאורות את הארץ במסלולים מעגליים. המותר לנו לאור זה לדון בבעיית הראייה במושגים ובפרמטרים של הקדמונים? ובכן, מותר לעשות כך; ועלינו רק לציין, שמדובר בהקפה הנדמית (apparent) של גרמי השמים מסביב לארץ! גם היום, עם תורותינו המתוחכמות על מסלולי המאורות, נוקבים המדענים את מקום גרמי השמים על מסלולם המעגלי הנדמה על ספרת השמים, בהקיפם את מרכז כדור הארץ.<sup>14</sup>

הסיבות לכך הן: מצד אחד, המסורת המדעית; ומצד אחר, והוא העיקר: אף-על-פי שהארץ אינה במרכז מערכת השמש, צפיותינו נערכות גם היום ברובן מכדור זה, ונוח לתאר מיקום גרמי השמים כפי שהם נראים ממקום הצפייה. לכן יש גם משמעות מודרנית לכל הגדלים האסטרונומיים המובאים בכתבי הקדמונים על מיקום המאורות על ספרת השמים במבט מכדור הארץ, ומותר להשוות את ערכי הגדלים האלו, כפי שמביאים אותם אל-בתאני והרמב"ם, לערכיהם לפי ממצאי המדע היום.

קביעה זו מביאה אותנו לשאלתנו השנייה: האם לאור השיטות המדעיות הנהוגות היום, היינו מוצאים את קשת האור, האורך הראשון וקשת הראייה, בגודל זהה כפי שמוצאים אותם בדרך החישוב של הקדמונים?

מעיון בדרכי החישוב ותוצאותיו מתברר, שלא ראוי כיום לחשב את קשת האור, האורך הראשון, קשת הראייה ומרחק הירח מהארץ בשיטות המתוארות אצל הקדמונים.<sup>15</sup> בדרך זו היינו מגיעים לתוצאות שאינן מדויקות דיין, ושאינן תואמות את המציאות האסטרונומית כיום. עלינו לחשב גדלים אלו לפי השיטות הנחשבות היום לדרך הנאותה במדע האסטרונומיה. נהגנו בדרך זו בחישובינו להלן בפרק זה סעיף 3, וביססנו את כל הפרמטרים של הראייה על ממצאים מדעיים מעודכנים.

ועתה אנו באים לשאלתנו השלישית: בהנחה, שמצאנו את קשת האור, את האורך הראשון ואת קשת הראייה ואת מרחק הירח מהארץ בשיטות הנהוגות באסטרונומיה היום — האם קריטריון הראייה על-פי אל-בתאני וזה שעל-פי הרמב"ם, המתבססים



על כל הפרמטרים הנ"ל, ולפעמים על אחד מהם לחוד, עדיין שימושיים לאור ממצאי המדע היום?

לגבי הגבולות התחתונים של האורך הראשון וקשת הראייה שבהם מתאפשרת הראייה, יש התאמה רבה בין הגבולות המובאים בידי הרמב"ם לבין הגבולות הניסויים הנחשבים מעודכנים היום (אצל אל-בתאני אינם מובאים הערכים המזעריים האלה במפורש, אבל אפשר להסיק עליהם מדבריו):

הערכים המקובלים באסטרונומיה היום, כתנאי הכרחי לראייה הם: דרושה לראייה לפחות כ-1% תאורה של דיסקית הירח [A.A., Section D], ממנה נובע אורך ראשון מזערי של כ- $10^0$  (כשרוחב הירח:  $B = \pm 5^0$ ); וכן דרושים לראייה רום (אנכי) מזערי של כ- $5^0$  של הירח מעל האופק, כשעומק השמש הוא כ- $3^0$  או יותר, מתחת לאופק [RGO, 1995], היוצרים קשת ראייה מזערית של כ- $9^0$  בארץ ישראל ( $LAT = 32^0$ ). להשוואה: על-פי הרמב"ם, דרושה לראייה מעל  $9^0$  או  $10^0$  לאורך הראשון, ומעל  $9^0$  לקשת הראייה. בנוגע לקריטריון הראייה הכללי של אל-בתאני (נוסחה 2) והרמב"ם (נוסחה 1), אין תשובה חד-משמעית לשאלת תקפות שיטותיהם היום; אבל, לאחר עיון בתוצאות החיזוי המדעיות העדכניות (ראה להלן סעיף 3), דומה שמותר לנו להשתמש גם בקריטריוני הראייה של הקדמונים לקבלת "קירוב ראשון" סביר להיתכנות הראייה.

## 2. הקריטריונים החדישים

למדע המודרני המערבי היה עניין מועט בלבד בבעיית חיזוי ראיית הירח החדש. רק באמצע המאה ה-19 התעורר עניין כלשהו בחקר הנושא. אז נערכה, כנראה לראשונה, סדרה רחבת-היקף של צפיות מדעיות, שתועדו בצורה מספקת. מדען גרמני, בשם יוליוס שמידט [Schmidt, 1868] ואחרים, ערכו החל משנת 1859 באתונה אשר ביוון ובקרבתה, 76 צפיות של ראיית הירח החדש.

רק בשנת 1910 נוסחו קריטריוני הראייה הנובעים מתצפיות אלו, בידי ההיסטוריון-של-המדע הבריטי פות'רינגהם [Fotheringham, 1910]. אלו שופרו בידי האסטרונום הבריטי מונדר [Maunder, 1911], ולאחרונה בידי מרענים הודים [Indian A.A., yearly] ואחרים. אם מתמירים (= transform) את פרמטרי הקדמונים בפרמטרים המודרניים (ראה תרשים 11), מקבלים תחזיות ראייה דומות מאוד (ראה תרשים 12 להלן).

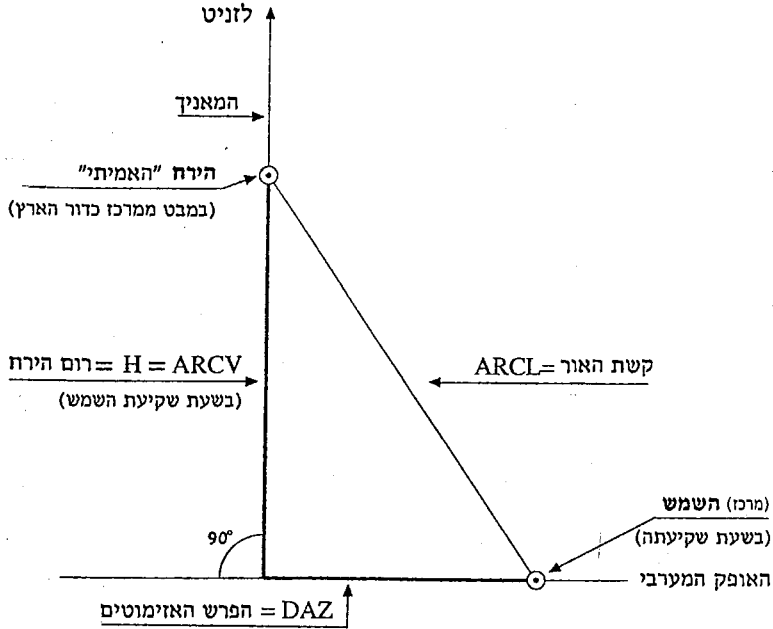
קריטריוני הראייה של פות'רינגהם, מונדר וההודים בנויים כולם על שני פרמטרי הראייה הבאים:

\* ההפרש בין אזימוט השמש לבין אזימוט הירח — Difference of Azimuths = Azimuths = הערך המוחלט של המרחק על האופק, בין המאנך (= קשת אנכית) הירוד מן הירח אל האופק, לבין השמש שמרכזו מונח על האופק.

\* הרום של מרכז הירח מעל האופק ARC, כשמרכז השמש מונח על האופק = Arc of Vision. "קשת הראייה"<sup>17</sup> הזאת אינה זהה לקשת הראייה KR של המדע הערבי, היהודי וההודי הקדומים, אבל תפקידה בחיזוי זהה. בקירוב גס:  $ARC = KR \cdot \cos F$ , כש-F הוא הרוחב הגיאוגרפי של מקום הצפייה.

שני הפרמטרים (ARC, DAZ) מחושבים בשעת שקיעת מרכז השמש ובהזנחת הפאראלקס (= "שינוי המראה"<sup>17</sup>, שאל-בתאני והרמב"ם אינם מזניחים בחישוב KR) ושבירת קרני האור. ARC, DAZ מגדירים את היתר במשולש הספרי (הכדורי), הוא

ARCL (= Arc of Light) = "קשת האור" — הקשת בין השמש והירח, במבט ממרכז כדור הארץ (ראה תרשים 11). קשת האור ARCL זו היא גם היתר במשולש שניצביו הם האורך הראשון L1 ורוחב הירח B, כפי שהראינו לעיל (תרשים 9).



תרשים 11: פרמטרי הראייה של הקריטריונים החדשים ARCL, ARCV, DAZ

תפקידה של ARCL בחיזוי הראייה המודרני, זהה לזה של L1 בקריטריון הרמב"ם והוא: להיות המדד של עובי אמצע חרמש הירח. הפונקציה  $ARCV = f(DAZ)$  של הקריטריונים המודרניים, קובעת את הפונקציה  $ARCV = f(ARCL)$  באופן חד-חד ערכי, כפי שמצא כבר איליאס [Ilyas, 1994; p. 433], שפרסם לראשונה עקומה מותמרת זאת.  $ARCV = f(ARCL)$  היא הפונקציה הכשירה לשמש קריטריון ראייה, כי היא מציגה את הקשר בין הפרמטר הקובע את עובי החרמש (= ARCL), לבין הפרמטר הקובע את דרגת החושך בשעת הראייה (= ARCV), בדומה לפונקציה  $KR = f(ARCL)$  בקריטריון אל-בתאני ולפונקציה  $KR = f(L1)$  בקריטריון הרמב"ם. רק לשם המחשה פשוטה הוגדרו הקריטריונים החדשים בצורה  $ARCV = f(DAZ)$ , במקום  $ARCV = f(ARCL)$ . לפי כל השיטות המודרניות (ובמקורב — גם לפי שיטת הקדמונים) הראייה מתאפשרת לראשונה בכל חודש, באותו המקום הגאוגרפי על פני כדור הארץ שבו הירח נמצא בשעת הצפייה על המאניך (= קשת אנכית לאופק), העובר דרך השמש, היינו כש- $ARCV = ARCL$  מאונכות לאופק, ו- $DAZ = 0$  [RGO, 1995].<sup>18</sup>

לפי הקריטריונים המודרניים תיתכן ראייה עם ערך DAZ נתון, אם ARCV גדולה מהנקוב בלוח 2:

לוח 2: קריטריוני הראייה המודרניים; ARCV כפונקציה של DAZ

0	5	10	15	20	(בכל השיטות):	DAZ
12,0	11,9	11,4	11,0	10,0	(פות'דינגהם):	ARCV
11,0	10,5	9,5	8,0	6,0	(מונדר):	ARCV
10,4	10,0	9,3	8,0	6,2	(הודים):	ARCV

כל ערכי הלוח: במעלות ושברי המעלות העשרוניים. פסיק = הסימן העשרוני. אפשר להתאים עקומות רציפות לערכים בדידים אלה, לשם הצגת הפונקציות בצורה אנליטית.<sup>19</sup>

תוצאות החיזוי על-פי הקריטריונים המודרניים הנ"ל, דומות מאוד לאלו של אל-בתאני והרמב"ם (ראה תרשים 12 להלן). הקריטריונים ההודיים-המודרניים של הרמב"ם נותנים ברוב המקרים תוצאות חיזוי זהות (ראה להלן סעיף 3). מצפה הכוכבים בגריניץ' אנגליה (= RGO), מספק מראש תחזיות ראייה לכל חודש, לכל מתעניין לגבי מקום צפייה כלשהו, על סמך קריטריון הראייה ההודי בגרסתו המשופרת קמעה [NAO, 1996; RGO, 1994/1-2].

במקביל לקריטריונים המודרניים הנזכרים של הראייה, שכולם נוסחות ניסוייות וללא יומרה לביסוס תיאורטי מעמיק, פיתח ברוין [Bruin, 1977], ממצפה הכוכבים בכירות שבלבנון, שיטה תיאורטית "מזרח תיכונית" מודרנית לחיזוי הראייה, המתבססת לדבריו, על תורות הראייה הקלאסיות מחוג המדע הערבי-הביניימי (כאל-בתאני וכרמב"ם) תוך שיפורן ועדכוןן. גם ממצאי ברוין תואמים היטב את קריטריון הראייה של הרמב"ם. קריטריון ברוין משתמש בפרמטרי ראייה שונים מאלה של קודמיו, והם: רוחב אמצע חרמש הירח W; והסכום (H+S) של הרום של מרכז החרמש H מעל האופק (תוך הזנחת שינוי המראה והשכירה), עם עומק השמש מתחת לאופק S — שלושתם בשעת הראייה. על-פי ברוין יש ראייה עם W נתון, אם H+S גדול מהנקוב בלוח 3 (W בדקות קשת; ARCV = H+S במעלות ושבריהן העשרוניים):

לוח 3: ARCV כפונקציה של W (W)

(0,3)	0,5	0,7	1,0	2,0	3,0	W (W')
(0,3)	0,5	0,7	1,0	2,0	3,0	W (W')
(9,8) = חרוץ, על-פי	8,4	7,5	6,4	4,7	4,2	H+S=ARCV

הקריטריון ההודי שבלוח 2, לעיל)

גם לערכים הנ"ל אפשר להתאים עקומה אנליטית רציפה. ערכי ברוין, הניתנים בצורה גרפית, פוענחו לערכים אלו בידי מדעני גריניץ'. בלוח 3 חיצו (= extrapolate) ערכי ברוין לגבי W = 0,3 (לפי: Ilyas, 1994; p. 432; כי עמודה



הערה: התמרת קריטריון הרמב"ם בתרשים 12 נעשתה בהנחת רוחב ירח ממוצע  $(\pm 2^0, 5)$ , וכן נטייה ממוצעת של הירח  $(\pm 14^0, 5)$  ממשווה השמים, בשעת שקיעת השמש. (כלי ההנחות האלה אי אפשר להתמיר את קריטריון הרמב"ם לפונקציה  $f(DAZ) = ARCV$ . גם קריטריון כרוין הותמר בתרשים 12 (ללא הנחות מפשטות) לפונקציה (זו). נראה להלן (סעיף 4), שהעקומות המודרניות בתרשים 12, בקטע  $DAZ > 15$ , אינן סבירות על-פי הממצאים שב"קטלוג התצפיות" (לוח 4), וראוי להעדיף בקטע זה את עקומת הרמב"ם.

### 3 קטלוג התצפיות החדשות

שפר [Schaefer, 1988] וכן דוגט את שפר [Doggett & Schaefer, 1994] ריכזו בשתי רשימות 252 תצפיות, שנערכו בזמן החדש, בידי מומחים (כולל כל התצפיות של שמידט מיוון) ושתוצאותיהן הופיעו בפרטומים מקצועיים. ברשימותיהם כלולות לא רק ראיות ראשונות של הירח החדש המתחדש אחרי המולד, והנצפה מעל האופק המערבי אחרי שקיעת השמש, אלא גם ראיות אחרונות אחרות של הירח הישן המתמעט לפני המולד, והנצפה מעל האופק המזרחי לפני זריחת השמש. לשני סוגי הראייה יש תנאי היתכנות זהים. המחברים הנ"ל חישבו לגבי כל התצפיות האלה את הפרמטרים המאפשרים בחינת הקריטריונים המודרניים, ב"זמן מיטבי לראייה" ( $= \text{Besttime}$ ), על-פי שיטתם. (למרבה הפליאה הם חישבו את קשת הראייה  $KR$  של הקדמונים — הנקראת אצלם:  $\text{LAG} = \text{Moonset Lagtime}$ ; כך ש- $\text{LAG} = 4 \text{KR}^0$  — בצורה שגויה. הם גם אינם מציינים במאמריהם את שיטתם למציאת ה"זמן המיטבי לראייה" בערב התצפית, ולכן נתון בסיסי זה, שלגביו הם מחשבים את הפרמטרים, אינו ניתן לבדיקה ושחזור כפי שמוכח במאמר ביקורת על מאמרי שפר [Loewinger, 1995]!)  
בשיתוף פעולה עם ד"ר ב"ד יאלופ (B.D. Yallop) ממצפה הכוכבים גריניץ' (RGO) — *Royal Greenwich Observatory* — בבריטניה, חישבנו מחדש את הפרמטרים של הראייה לגבי 2 קריטריוני ראייה קדמונים ו-4 מודרניים, לכל 252 המקרים המובאים אצל שפר ושותפיו, ותיקנו את שגיאותיהם.

את מקומותיהם של השמש ושל הירח ואת זמני שקיעותיהם חישבנו לפי התיאוריות השמשיות והירחיות החדשות ביותר, המובאות, בין היתר, בידי מיאוס [Meeus, 1991, p. 307]. החישובים בוצעו במחשב בידי אנשי RGO (בראשות ד"ר יאלופ), ובמקביל בארץ (בידי מר טוביה כאץ, פיזיקאי מפתח-תקוה; ובאופן בלתי תלוי בידי מר שי ואלטר, אסטרונום חובב מכאר-שבוע), ותוצאותיהם זהות (פרט לסטיות עיגול).  
בחישובינו הגדרנו מחדש את "הזמן המיטבי לראייה", שלגביו מחושבים כל הפרמטרים והוא זמן השקיעה הנדמית (בהתחשב עם שבירת האור) של השפה העליונה של השמש בתוספת  $\text{LAG} (4/9)$  [Yallop, 1992/96] המבוססת על Bruin, 1977, p. 340].

את הפרמטרים  $ARCV$ ,  $DAZ$ ,  $ARCL$  חישבנו ללא השפעת הפאראלקס ושבירת האור. אבל, בחישוב הפרמטר  $LAG$ , שהוא קשת הראייה  $KR$  של הקדמונים (אלא שהוא מבוטא ביחידת זמן: בדקות), הובאה בחשבון השפעת הפאראלקס על זמן שקיעת הירח. את רדיוסי הדיסקיות של שני המאורות, ואת שבירת האור מותר להזניח בחישוב הפרש הזמן בין שקיעותיהם (כי השפעותיהם של אלה מתקזזות).

פיתחנו שיטה לשקלול טיב התצפיות והשוואתן, באמצעות הגדרת מספר "בוֹחֵן" (test =) לכל ראייה, לכל אחד מששת הקריטריונים שבדקנו.<sup>21</sup> ברשימתנו להלן דיללנו את 252 התצפיות של שפר ושות', תוך השמטת הראיות ואי-הראיות המובנות מאליהן, כלומר הדפסנו רק את המקרים שבהם:  $8^0 < ARCL < 25^0$ , וכן  $7^0 < ARCV < 12^0$ . בדרך זאת קיבלנו קובץ של מקרי ראייה משמעותיים גרידא (רשימה מקוצרת זו נערכה במחשב בידי מר טוביה כאץ).

- ואלה ביאורי העמודות בקטלוג התצפיות שלנו (המובא להלן בלוח 4):
- עמודה 1: No = מספר סידורי של התצפית אצל שפר ושות'.  
 עמודה 2: DATE = תאריך התצפית.  
 עמודה 3: E = תצפית ערב (של הירח החדש הראשון),  
 תצפית בוקר (של הירח הישן האחרון). M =  
 עמודה 4: LAT = רוחב גאוגרפי של מקום התצפית,  
 + = צפון, - = דרום.  
 עמודה 5: LONG = אורך גאוגרפי של מקום התצפית, + = למזרח מגריניץ'.  
 עמודה 6: HEIG = גובה גאוגרפי של מקום התצפית, בגלל (= feet). (לא מובא בחשבון בחישובי הראייה).  
 עמודה 7: ARCL = קשת האור, היא המרחק הזוויתי במעלות (במבט ממרכז כדור הארץ) בין השמש לבין הירח, וממנה נובע גם עובי אמצע החרמש W [לפי: Meeus, 1991, p. 315]. תמיד חיובי.  
 עמודה 8: ARCV = קשת הראייה (המודרנית), היא רום הירח (ללא התחשבות בפאראלקס), פחות רום השמש, שניהם קשתות ניצבות לאופק, במעלות.  
 עמודה 9: DAZ = אזימוט השמש, פחות אזימוט הירח, במעלות.  
 עמודה 10: AGE = גיל הירח מן המולד עד הראייה, בשעות, + = אחרי המולד (לירח החדש).  
 - = לפניו (לירח הישן).  
 עמודה 11: LAG = הפרש הזמן בדקות, בין השקיעות של שני המאורות בערב (+ = לירח החדש), או בין זריחותיהם בבוקר (- = לירח הישן). הפאראלקס נלקח בחשבון.  
 עמודה 12: LI = האורך הראשון, הוא ההפרש על המילקה בין האורכים של שני המאורות, במעלות. תמיד חיובי.  
 עמודה 13: P = פאראלקס האופק בדקות קשת, המבטא את המרחק D של הירח מהארץ, לפי הנוסחה:  $\sin P = 1/D$ .  
 עמודה 14: BRU = ה"בוֹחֵן" על-פי קריטריון ברוין (ראה לעיל סעיף 2).<sup>21</sup>  
 עמודה 15: YAL = ה"בוֹחֵן" על-פי קריטריון יאלוף (= ברוין משופר, ראה לעיל סעיף 2).<sup>21</sup>  
 עמודה 16: MAU = ה"בוֹחֵן" על-פי קריטריון מונדר (ראה לעיל סעיף 2).<sup>21</sup>  
 עמודה 17: IND = ה"בוֹחֵן" על-פי קריטריון ההודים (המודרני = מונדר משופר, ראה לעיל סעיף 2).<sup>21</sup>  
 עמודה 18: ALB = ה"בוֹחֵן" על-פי קריטריון אל-בתאני (ראה לעיל פרק ה).<sup>21</sup>  
 עמודה 19: MAI = ה"בוֹחֵן" על-פי קריטריון הרמביים (ראה לעיל פרק ג).<sup>21</sup>

## הקריטריון של הרמב"ם לראיית הירח החדש

עמודה 20: \*

= הכוכבית מסמנת:  
 שלכאורה תיתכן ראייה על-פי קריטריון הרמב"ם (נוסחה 1), אבל  
 האורך הראשון LI קטן מהערך המזערי שנקבע על-ידי לעונה  
 תנידונה של השנה (פרק ג, 1א), לעיל).

עמודה 21: VIS = דיווח על הראייה בפועל:

+ = הירח נראה בפועל.

- = הירח לא נראה בפועל, על אף העדר עננים.

A = התקיימה ראייה בפועל בעזרת משקפת או טלסקופ.

משמעות מספרי ה"בוחן"

אם מספר ה"בוחן" t מתקבל:

אפס:  $t=0$ , זה הגבול בין אי-ראייה לראייה.

חיובי:  $(t>0)$ , תיתכן ראייה, וסיכוייה עולה ככל שמתקרבים ל-1+.

שלילי:  $(t<0)$ , לא תיתכן ראייה, וסיכוייה יורד ככל שמתקרבים ל-1-.

בעזרת משקפת מתאפשרת הראייה לפעמים גם עם  $t<0$  (עד  $t = -0,3$ , בערך).

משמעות הערך המספרי של ה"בוחן" היא כדלהלן:

אם ה"בוחן" יהיה חיובי, לדוגמה +0,25, אז במצב הנתון (היינו עם ARCL או LI או DAZ, או W נתונים), ARCV (או LAG אצל הקדמונים) הקריטית שעל גבול הראייה, קטנה ב-25%, מ-ARCV (או LAG) של המקרה הנבדק.

אם ה"בוחן" יהיה שלילי, לדוגמה -0,25, אז במצב הנתון, ARCV (או LAG) של המקרה הנבדק, קטנה ב-25%, מ-ARCV (או LAG) הקריטית שעל גבול הראייה.

מספרי ה"בוחן" t משקללים את טיב הראייה הצפויה בטווח ה"נורמלי":

$$-1 < t < +1$$

וכך נוצר בסיס אחיד להשוואה בין טיב הקריטריונים.

#### 4. ניתוח קטלוג התצפיות ומספרי ה"בוחן" שהתקבלו (לוח 4)

מספרי ה"בוחן" הנובעים מהקריטריונים של הקדמונים (אל-כתאני, הרמב"ם) והמודרניים (ברוין, יאלוף, מונדר, הודים) הם בסדר גודל דומה, ונותנים, ברוב רובם של המקרים, חיזוי זהה.

כשה"בוחן" חיובי, דהיינו צפויה ראייה על-פי הקריטריונים והיא לא התקיימה בפועל, אז ייתכן שתנאי הראות המטאורולוגיים הם שמנעו את הראייה, ואין להסיק מאי-ראייה זו על טיב הקריטריון, אף-על-פי שבכל המקרים שבהם לא התקיימה ראייה, השמים היו בהירים לכאורה.

לוח 4 : קטלוג התצפיות

NO	DATE	LAT	LONG	HEIG	ARCL	ARCW	DAZ	AGE	LAG	L1	L2	L3	BRU	YAL	HAU	IND	ALB	HAI	VIS	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
15	29/ 4/1862	E 38.0	23.7	400	8.9	8.9	0.2	18.1	44.5	8.3	54.1		-0.17	-0.17	-0.19	-0.15	-0.35	-0.20		
16	28/ 7/1862	E 38.0	23.7	400	22.3	8.1	20.8	44.8	39.1	21.8	56.2		+0.28	+0.29	+0.26	+0.24	+0.33	+0.08		
20	6/ 5/1864	E 39.6	26.2	400	9.1	7.8	4.7	17.3	39.5	9.1	57.6		-0.26	-0.26	-0.26	-0.23	-0.37	-0.24		
22	4/ 8/1864	E 38.0	23.7	400	23.8	8.3	22.3	51.2	39.7	23.4	54.0		+0.35	+0.34	+0.28	+0.25	+0.36	+0.09		
28	24/ 6/1865	E 38.0	23.7	400	18.6	8.8	16.4	34.2	44.8	17.9	57.1		+0.18	+0.20	+0.14	+0.14	+0.31	+0.20		
29	24/ 7/1865	E 38.0	23.7	400	23.7	9.4	21.8	47.5	46.4	23.3	55.4		+0.42	+0.42	+0.36	+0.34	+0.46	+0.22		
31	17/ 1/1866	E 38.0	23.7	400	11.0	11.0	0.5	19.3	56.2	10.0	57.6		+0.09	+0.10	+0.00	+0.06	+0.08	+0.08		
33	5/ 2/1867	E 38.0	23.7	400	10.9	10.8	1.6	22.0	53.6	10.7	56.1		+0.08	+0.08	-0.01	+0.05	+0.00	+0.10		
36	12/ 5/1869	E 38.0	23.7	400	13.5	9.1	10.0	25.6	45.8	12.7	56.4		-0.00	+0.00	-0.04	-0.02	+0.06	+0.13		
38	20/ 2/1871	E 38.0	23.7	400	14.5	11.8	8.5	26.8	57.8	13.7	56.8		+0.26	+0.26	+0.16	+0.19	+0.31	+0.38		
39	20/ 4/1871	E 38.0	23.7	400	11.1	8.4	7.3	22.3	40.1	10.3	54.4		-0.16	-0.16	-0.17	-0.14	-0.26	-0.17		
40	20/ 5/1871	E 38.0	23.7	400	14.2	11.2	8.7	31.2	59.7	14.1	54.0		+0.21	+0.21	+0.13	+0.15	+0.28	+0.40		
44	14/ 9/1871	M 38.0	23.7	400	9.3	8.9	-2.6	-15.4	-42.3	8.0	57.1		-0.15	-0.15	-0.17	-0.13	-0.31	-0.30		
46	6/ 7/1872	E 38.0	23.7	400	11.3	9.6	6.1	23.8	51.8	10.8	53.9		-0.03	-0.04	-0.07	-0.04	-0.03	+0.07		
49	3/10/1872	E 38.0	23.7	400	12.7	9.0	9.1	24.9	41.5	12.3	56.5		-0.05	-0.04	-0.08	-0.05	-0.09	+0.04		
52	27/ 4/1873	E 38.0	23.7	400	10.2	9.2	4.4	18.8	45.6	10.2	58.5		-0.10	-0.09	-0.13	-0.09	-0.17	-0.05		
56	4/ 6/1875	E 51.5	-2.6	0	14.2	11.5	8.4	22.7	96.2	13.4	60.8		+0.23	+0.26	+0.14	+0.17	+0.61	+0.63		
59	22/ 6/1876	E 38.0	23.7	400	12.9	11.7	5.4	20.1	66.0	12.0	61.3		+0.20	+0.22	+0.11	+0.14	+0.37	+0.33		
64	6/12/1877	E 38.0	23.7	400	21.2	12.0	17.5	41.5	68.3	20.8	56.1		+0.48	+0.49	+0.41	+0.40	+0.60	+0.47		
67	1/ 7/1878	E 38.0	23.7	400	16.1	11.6	11.1	29.8	63.0	16.0	58.8		+0.30	+0.32	+0.21	+0.22	+0.45	+0.43		
69	27/10/1878	E 38.0	23.7	400	24.4	8.8	22.8	40.9	45.0	24.0	60.4		+0.40	+0.43	+0.32	+0.29	+0.50	+0.20		
77	30/ 3/1881	E 51.5	-2.6	0	11.8	11.7	1.6	20.7	73.1	11.0	57.8		+0.17	+0.18	+0.07	+0.12	+0.34	+0.34		
78	22/11/1889	M 50.9	4.2	100	11.5	10.6	4.3	-19.1	-71.3	10.9	60.0		+0.07	+0.09	+0.00	+0.05	+0.33	+0.33		
80	29/ 5/1900	E 38.7	-0.7	1000	15.3	11.7	10.0	29.0	63.7	15.3	57.7		+0.28	+0.29	+0.19	+0.21	+0.42	+0.44		
81	19/ 4/1901	E 50.7	-2.8	100	13.1	11.5	6.4	22.1	73.6	13.1	61.3		+0.19	+0.22	+0.11	+0.14	+0.45	+0.51		

העברת



חקיטריון של הרמב"ם לראיית הירח החדש

85	25/ 8/1911	E	49.9	2.3	50	21.5	9.3	19.4	39.0	53.5	21.3	58.2	+0.34	+0.36	+0.32	+0.30	+0.51	+0.33	+
86	28/11/1913	E	-33.9	18.5	300	10.2	10.2	-0.0	16.4	53.0	9.0	58.7	-0.00	+0.01	-0.07	-0.01	-0.03	-0.05	+
87	16/ 3/1915	E	49.4	8.7	700	11.2	11.0	1.7	22.3	63.8	10.7	55.2	+0.10	+0.10	+0.01	+0.06	+0.17	+0.25	+
91	8/ 2/1921	E	42.3	-71.1	100	11.0	11.0	0.1	21.9	57.6	10.1	54.5	+0.09	+0.09	-0.00	+0.06	+0.05	+0.17	+
95	8/ 2/1921	E	36.5	-6.2	0	9.2	9.1	-1.7	17.7	42.8	8.1	54.4	-0.14	-0.14	-0.16	-0.12	-0.34	-0.23	-
96	8/ 2/1921	E	38.8	-9.1	0	9.3	9.2	-1.3	17.8	45.0	8.2	54.4	-0.13	-0.13	-0.16	-0.11	-0.31	-0.20	-
98	31/10/1921	E	-33.9	18.5	100	9.8	8.3	-5.3	17.8	37.7	9.5	58.1	-0.20	-0.20	-0.21	-0.18	-0.34	-0.27	-
99	30/12/1921	E	-33.9	18.5	100	17.9	9.1	-15.5	36.7	44.1	17.3	54.7	+0.19	+0.19	+0.14	+0.14	+0.24	+0.18	-
100	29/ 1/1922	E	-33.9	18.5	100	19.5	8.9	-17.4	42.4	40.6	19.3	54.0	+0.23	+0.22	+0.20	+0.19	+0.23	+0.11	-
101	28/ 2/1922	E	-33.9	18.5	100	21.2	10.8	-18.2	47.0	48.8	21.2	54.1	+0.42	+0.42	+0.37	+0.36	+0.41	+0.26	+
102	29/ 3/1922	E	-33.9	18.5	100	12.9	8.0	-10.2	28.0	34.8	12.9	54.7	-0.15	-0.15	-0.16	-0.14	-0.25	-0.13	-
105	27/ 5/1922	E	-33.9	18.5	100	12.3	11.5	-4.5	22.1	56.4	11.3	57.3	+0.16	+0.17	+0.08	+0.12	+0.17	+0.22	+
106	13/ 8/1931	M	48.6	7.7	400	10.5	10.3	2.0	-16.6	-66.5	9.6	60.1	+0.01	+0.02	-0.05	-0.00	+0.22	+0.22*	A
107	8/12/1942	E	40.7	-74.0	0	12.5	11.1	5.8	19.9	61.9	11.8	61.2	+0.15	+0.17	+0.07	+0.11	+0.31	+0.29	+
113	6/ 4/1970	E	44.5	-88.0	800	12.0	11.9	1.1	20.7	65.6	11.4	58.8	+0.19	+0.20	+0.08	+0.13	+0.29	+0.33	+
119	15/ 3/1972	E	35.5	-117.6	3700	9.6	9.3	-2.6	14.7	41.9	8.6	60.8	-0.11	-0.10	-0.14	-0.10	-0.25	-0.25	A
120	15/ 3/1972	E	35.5	-117.6	3000	9.6	9.3	-2.6	14.7	41.9	8.6	60.8	-0.11	-0.10	-0.14	-0.10	-0.25	-0.25	-
122	1/ 7/1973	E	-44.0	170.5	3900	10.6	8.5	-6.3	17.9	50.3	10.5	61.0	-0.16	-0.14	-0.17	-0.14	-0.01	+0.05	A
126	21/12/1976	E	42.7	-83.6	700	12.6	11.7	4.7	20.4	68.1	11.7	59.9	+0.19	+0.21	+0.10	+0.14	+0.36	+0.35	+
127	18/ 2/1977	E	43.8	-87.7	100	10.9	10.8	0.7	20.2	57.2	10.3	56.7	+0.07	+0.08	-0.01	+0.04	+0.07	+0.16	+
128	10/11/1977	M	30.7	-104.0	7900	10.7	10.7	0.7	-18.2	-48.4	10.5	60.4	+0.06	+0.07	-0.02	+0.03	-0.04	+0.01	+
129	11/12/1977	E	47.8	20.0	600	13.9	11.6	7.7	21.8	76.2	13.0	61.4	+0.23	+0.25	+0.14	+0.17	+0.50	+0.53	+
131	9/ 1/1978	E	38.9	-76.9	100	11.9	11.8	1.7	18.5	62.3	10.9	61.0	+0.18	+0.19	+0.07	+0.12	+0.27	+0.23	A
138	9/ 1/1978	E	41.9	-87.6	800	12.2	11.9	2.6	19.1	66.8	11.3	61.0	+0.20	+0.22	+0.09	+0.14	+0.34	+0.34	+
142	9/ 1/1978	E	43.0	-89.8	900	12.3	11.9	2.9	19.2	68.2	11.4	61.0	+0.20	+0.22	+0.10	+0.14	+0.36	+0.36	+
147	9/ 3/1978	E	45.1	-64.2	30	10.7	10.1	3.5	20.0	53.5	10.7	58.2	+0.00	+0.01	-0.05	-0.01	+0.02	+0.10	+
148	9/ 3/1978	E	42.7	-73.8	600	11.1	10.6	3.2	20.7	53.9	11.1	58.2	+0.06	+0.07	-0.01	+0.04	+0.05	+0.18	+

יעקב לוינגר

No	DATE	LAP	LONG	HEIG	ARCL	ARCV	DAZ	AGE	LAG	L1	n	BRU	VAL	MAU	IND	ALB	MAI	VIS		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
149	9/3/1978	E	41.3	-72.9	200	11.0	10.7	2.9	20.6	52.9	11.0	58.2	+0.06	+0.07	-0.01	+0.04	+0.03	+0.17		
150	9/3/1978	E	42.7	-73.8	600	11.1	10.6	3.2	20.7	53.9	11.1	58.2	+0.06	+0.07	-0.01	+0.04	+0.05	+0.18		
151	9/3/1978	E	40.5	-89.0	800	11.6	11.2	3.0	21.7	55.4	11.6	58.2	+0.13	+0.14	+0.04	+0.09	+0.12	+0.21		
152	9/3/1978	E	41.6	-93.6	800	11.8	11.3	3.3	22.0	56.8	11.8	58.1	+0.14	+0.15	+0.05	+0.10	+0.16	+0.23		
153	9/3/1978	E	41.6	-93.6	800	11.8	11.3	3.3	22.0	56.8	11.8	58.1	+0.14	+0.15	+0.05	+0.10	+0.16	+0.23		
154	9/3/1978	E	40.5	-89.0	800	11.6	11.2	3.0	21.7	55.4	11.6	58.2	+0.13	+0.14	+0.04	+0.09	+0.12	+0.21		
155	9/3/1978	E	50.3	-119.3	2000	12.7	11.5	5.4	23.8	67.6	12.7	58.1	+0.18	+0.19	+0.09	+0.13	+0.34	+0.41		
156	9/3/1978	E	41.3	-72.9	100	11.0	10.7	2.9	20.6	52.9	11.0	58.2	+0.06	+0.07	-0.01	+0.04	+0.03	+0.17		
157	27/1/1979	M	35.2	-111.7	8100	10.4	9.2	4.8	-16.2	-44.2	9.6	61.3	-0.10	-0.08	-0.12	-0.08	-0.14	-0.15	A	
158	28/1/1979	E	29.9	-81.3	0	10.4	10.4	0.1	17.0	46.7	10.1	61.4	+0.02	+0.04	-0.05	+0.00	-0.09	-0.03		
159	28/1/1979	E	29.7	-82.4	0	10.5	10.5	0.1	17.1	46.9	10.1	61.4	+0.03	+0.04	-0.05	+0.01	-0.08	-0.02	A	
160	28/1/1979	E	42.0	-91.7	800	10.6	10.3	2.5	17.3	55.0	10.3	61.4	+0.02	+0.04	-0.05	+0.00	+0.08	+0.13	A	
161	28/1/1979	E	38.7	-90.3	600	10.6	10.5	1.9	17.3	52.8	10.3	61.4	+0.03	+0.05	-0.04	+0.01	+0.05	+0.09	A	
162	28/1/1979	E	42.0	-93.6	900	10.7	10.4	2.5	17.5	55.4	10.4	61.4	+0.02	+0.04	-0.04	+0.01	+0.10	+0.13		
163	28/1/1979	E	47.6	-122.3	100	11.7	10.9	4.2	19.2	65.4	11.4	61.4	+0.10	+0.12	+0.02	+0.07	+0.30	+0.33		
164	28/1/1979	E	37.8	-122.4	200	11.9	11.7	2.3	19.6	58.7	11.6	61.4	+0.17	+0.19	+0.07	+0.12	+0.23	+0.25		
165	13/7/1980	E	41.4	-70.7	0	20.9	10.6	18.0	41.9	58.5	20.9	55.9	+0.41	+0.41	+0.36	+0.34	+0.52	+0.38		
166	30/7/1981	M	42.3	-71.3	100	10.1	8.3	5.8	-18.6	-45.3	10.1	59.0	-0.20	-0.19	-0.20	-0.17	-0.18	-0.06		
170	28/4/1987	E	38.9	-71.0	100	11.6	11.5	1.5	22.8	60.7	11.2	55.8	+0.15	+0.15	+0.06	+0.10	+0.17	+0.28		
171	28/4/1987	E	38.9	-77.1	100	11.6	11.5	1.5	22.8	60.8	11.2	55.8	+0.15	+0.15	+0.06	+0.11	+0.17	+0.28		
172	28/4/1987	E	38.9	-77.1	100	11.6	11.5	1.5	22.8	60.8	11.2	55.8	+0.15	+0.15	+0.06	+0.11	+0.17	+0.28		
173	28/4/1987	E	38.9	-77.1	100	11.6	11.5	1.5	22.8	60.8	11.2	55.8	+0.15	+0.15	+0.06	+0.11	+0.17	+0.28		
174	28/4/1987	E	38.9	-77.1	100	11.6	11.5	1.5	22.8	60.8	11.2	55.8	+0.15	+0.15	+0.06	+0.11	+0.17	+0.28		
175	28/4/1987	E	38.9	-77.1	100	11.6	11.5	1.5	22.8	60.8	11.2	55.8	+0.15	+0.15	+0.06	+0.11	+0.17	+0.28		
176	28/4/1987	E	36.2	-81.7	4600	11.7	11.7	1.0	23.0	59.1	11.3	55.8	+0.17	+0.17	+0.07	+0.12	+0.15	+0.26		

הקריטריון של הרמב"ם לראיית הירח החדש

177	28/ 4/1987	E	36.2	-81.7	4600	11.7	11.7	1.0	23.0	59.1	11.3	55.8	+0.17	+0.17	+0.07	+0.12	+0.15	+0.26	+
178	28/ 4/1987	E	36.2	-81.7	4600	11.7	11.7	1.0	23.0	59.1	11.3	55.8	+0.17	+0.17	+0.07	+0.12	+0.15	+0.26	+
179	28/ 4/1987	E	26.7	-81.8	0	11.6	11.6	-1.1	22.8	51.8	11.2	55.8	+0.15	+0.15	+0.05	+0.11	+0.02	+0.15	+
180	28/ 4/1987	E	28.0	-82.5	0	11.6	11.6	-0.8	22.8	52.8	11.2	55.8	+0.16	+0.16	+0.06	+0.11	+0.04	+0.17	-
181	28/ 4/1987	E	33.7	-84.4	1100	11.8	11.8	0.4	23.1	57.5	11.3	55.8	+0.17	+0.18	+0.07	+0.12	+0.13	+0.23	-
182	28/ 4/1987	E	42.7	-84.5	800	12.0	11.7	2.5	23.5	66.1	11.5	55.8	+0.17	+0.17	+0.08	+0.12	+0.26	+0.33	A
183	28/ 4/1987	E	42.7	-84.5	800	12.0	11.7	2.5	23.5	66.1	11.5	55.8	+0.17	+0.17	+0.08	+0.12	+0.26	+0.33	+
184	28/ 4/1987	E	33.0	-87.4	200	11.9	11.9	0.3	23.3	57.4	11.4	55.8	+0.18	+0.19	+0.08	+0.13	+0.14	+0.23	-
185	28/ 4/1987	E	40.8	-87.7	800	12.0	11.8	2.1	23.6	64.6	11.6	55.8	+0.18	+0.19	+0.08	+0.13	+0.24	+0.32	-
186	28/ 4/1987	E	30.0	-90.1	0	11.9	11.9	-0.3	23.4	55.5	11.5	-55.8	+0.19	+0.19	+0.08	+0.13	+0.11	+0.21	+
196	26/ 6/1987	E	42.7	-84.5	800	10.4	9.5	4.4	20.1	58.7	9.2	54.0	-0.07	-0.07	-0.10	-0.06	+0.01	+0.11*	A
197	26/ 6/1987	E	30.0	-100.0	1500	10.6	10.4	1.8	20.5	51.6	9.4	54.0	+0.03	+0.02	-0.04	+0.01	-0.10	-0.01	-
198	26/ 6/1987	E	39.8	-105.0	5500	10.9	10.1	4.2	21.3	58.7	9.8	54.0	+0.01	+0.00	-0.05	-0.01	+0.05	+0.11*	-
199	26/ 6/1987	E	40.7	-111.9	4300	11.1	10.2	4.6	21.9	60.3	10.0	54.0	+0.02	+0.02	-0.04	+0.00	+0.09	+0.14*	A
200	26/ 6/1987	E	33.5	-112.1	1080	11.0	10.6	2.9	21.5	55.2	9.8	54.0	+0.05	+0.05	-0.02	+0.03	-0.00	+0.06*	+
201	26/ 6/1987	E	37.0	-122.0	4900	11.3	10.6	3.9	22.3	58.7	10.2	54.0	+0.07	+0.06	-0.00	+0.04	+0.09	+0.18	+
202	7/12/1885	E	50.6	5.7	700	13.5	10.7	8.3	26.8	75.3	12.6	54.6	+0.15	+0.15	+0.07	+0.10	+0.41	+0.47	+
203	1/ 5/1908	E	44.1	3.1	600	14.7	10.7	10.2	27.7	60.1	14.4	57.1	+0.19	+0.20	+0.12	+0.14	+0.35	+0.40	+
204	31/ 1/1911	E	51.0	-0.9	200	16.4	9.7	13.3	31.6	65.1	15.7	56.6	+0.17	+0.18	+0.11	+0.12	+0.46	+0.45	+
205	19/ 4/1920	E	43.5	7.0	50	11.9	10.9	4.8	21.0	59.4	11.9	60.2	+0.11	+0.13	+0.04	+0.08	+0.23	+0.26	+
209	20/ 8/1933	M	48.6	7.7	400	12.6	11.2	5.6	-25.8	-70.1	12.5	55.5	+0.16	+0.16	+0.08	+0.11	+0.33	+0.43	+
215	13/ 6/1934	E	55.6	33.9	700	19.0	10.1	16.1	41.0	97.1	18.9	54.2	+0.31	+0.30	+0.25	+0.25	+0.67	+0.63	+
220	5/11/1983	E	37.2	-84.1	1000	13.1	8.9	9.6	24.5	43.7	13.0	57.8	-0.04	-0.02	-0.07	-0.04	+0.01	+0.09	A
221	5/12/1983	E	37.2	-84.1	1000	17.0	11.0	12.9	34.3	60.0	16.9	55.9	+0.29	+0.30	+0.21	+0.22	+0.42	+0.40	A
223	3/ 3/1984	E	37.2	-84.1	1000	14.2	11.7	8.0	29.4	56.0	13.3	54.0	+0.24	+0.24	+0.15	+0.18	+0.23	+0.36	A

NO DATE LAT LONG HEIG ANCL ANCV DAZ AGE LAG L1 T BRU YAL MAU IMD ALB MAI VIS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
224	1/5/1984	E	37.2	-84.1	1000	10.2	8.8	5.1	21.0	43.3	10.1	55.8	-0.14	-0.14	-0.16	-0.12	-0.25	-0.10		
225	23/11/1984	E	34.0	-81.0	200	13.2	7.9	10.6	23.6	38.5	13.1	59.3	-0.14	-0.13	-0.15	-0.14	-0.08	+0.06	A	
226	20/4/1985	E	37.2	-84.1	1000	8.7	7.9	3.6	19.2	37.5	8.6	54.0	-0.26	-0.26	-0.26	-0.22	-0.47	-0.33		
228	26/6/1987	E	37.2	-84.1	1000	10.3	9.8	3.1	19.8	54.2	9.0	54.0	-0.04	-0.04	-0.09	-0.04	-0.08	+0.04*		
230	19/1/1988	E	32.2	-111.0	2560	12.2	9.7	7.4	19.7	46.2	11.6	61.3	+0.00	+0.03	-0.04	-0.01	+0.05	+0.05	A	
233	13/6/1988	M	37.2	-84.1	1000	12.8	11.6	5.4	-23.5	-64.5	11.8	56.8	+0.19	+0.20	+0.10	+0.14	+0.30	+0.32	A	
234	14/6/1988	E	37.2	-84.1	1000	9.3	9.2	1.6	16.1	50.6	8.0	55.9	-0.13	-0.13	-0.16	-0.11	-0.20	-0.16		
235	4/4/1989	M	41.9	-88.7	830	24.0	11.3	21.2	-40.4	-56.1	23.9	61.1	+0.52	+0.55	+0.47	+0.45	+0.60	+0.36		
237	5/5/1989	E	43.0	-85.7	800	9.2	9.2	-0.3	13.4	52.8	7.8	60.4	-0.13	-0.11	-0.16	-0.11	-0.10	-0.12		
238	5/5/1989	E	39.7	-105.5	11000	9.8	9.8	-0.6	14.6	53.0	8.5	60.4	-0.05	-0.04	-0.10	-0.05	-0.04	-0.05	A	
239	5/5/1989	E	42.7	-84.8	850	9.2	9.2	-0.4	13.3	52.2	7.8	60.4	-0.13	-0.12	-0.16	-0.11	-0.12	-0.13	A	
240	5/5/1989	E	42.7	-84.8	850	9.2	9.2	-0.4	13.3	52.2	7.8	60.4	-0.13	-0.12	-0.16	-0.11	-0.12	-0.13		
241	5/5/1989	E	30.3	-97.0	600	9.4	9.0	-2.5	13.7	41.7	7.9	60.4	-0.14	-0.13	-0.17	-0.12	-0.28	-0.30	A	
243	4/6/1989	E	50.8	-1.0	0	14.5	11.5	8.8	25.0	92.6	13.8	58.8	+0.24	+0.26	+0.15	+0.17	+0.58	+0.61		
246	24/4/1990	M	41.6	-73.7	100	12.1	9.1	8.0	-18.8	-45.9	11.2	61.1	-0.05	-0.03	-0.09	-0.06	+0.03	+0.04	A	
250	24/5/1990	E	31.6	-110.5	4500	9.8	9.8	-0.0	14.8	48.1	8.8	61.2	-0.06	-0.04	-0.11	-0.06	-0.12	-0.14	A	
251	24/5/1990	E	34.2	-118.1	1740	10.1	10.1	0.7	15.5	51.8	9.2	61.2	-0.02	-0.00	-0.08	-0.02	-0.02	-0.00	A	
252	24/5/1990	E	34.2	-118.1	1740	10.1	10.1	0.7	15.5	51.8	9.2	61.2	-0.02	-0.00	-0.08	-0.02	-0.02	-0.00		

1990

לא מצאנו ברשימתנו (לוח 4) מקרים, עם ערכים גדולים מהמוכאים בלוח 5, שבהם לא נצפה הירח (בעין חופשית, על אף מספרי ה"בוחן" החיוביים):

לוח 5: סיכום הפרמטרים המרביים, שטרם אפשרו ראייה בעין חופשית

הפרמטר	הערך המרבי שלא אפשר ראייה	מס' תצפית בלוח 4
ARCL	$23^0,8 =$	22
ARCV	$11^0,9 =$	184
L1 (חורף/אביב)	$19^0,3 =$	100
L1 (קיץ/סתיו)	$23^0,4 =$	22
LAG (=KR)	$= 66,5$ דקות זמן ( $= 16^0,6$ )	106
גיל הירח	$= 51,2$ שעות	22
L1 + KR	$= 33^0,9 + 23^0,4$	22
"בוחן"	$= +0,42$ (המרבי, לפי כל השיטות)	221

לכן סביר להניח, שבמקרים שבהם אחד מהפרמטרים גדול מהנקוב לעיל, לרוב מתאפשרת ראייה (ראייה ב"עליל"). ערכים מרביים אלה קרובים מאוד לגבולות הרמב"ם ( $KR = 14^0, LI = 24^0$ ), שמעבר להם תמיד תיתכן ראייה בארץ ישראל, לשיטתו. לעומת המקרים הנ"ל (עם "בוחן" חיובי והעדר ראייה בפועל), כשמספר ה"בוחן" שלילי, היינו כשלא צפויה ראייה על-פי הקריטריונים והיא בכל זאת התקיימה בפועל, זה – ורק זה – מעיד, שקריטריון הראייה אינו מדויק דיו. מקרים כאלה הם נדירים ביותר על-פי כל הקריטריונים שבדקנו (ראה תצפיות מס' 86, 128, 158, 252, וראה בלוח 6 להלן). במקרים כאלה, כל התחזיות גבוליות, היינו ה"בחנים" קרובים לאפס. נשים לב, שדיוק מספרי ה"בוחן" של הרמב"ם הוא כ-0,05 ±, וזאת לרוב בגלל אי-הרציפות של פונקציית הקריטריון. ושל שגיאות עיגול אפשריות בדרך חישובם (כך קרה בעליל במס' 86 על-פי הרמב"ם:  $LI = 8,95$  עוגל בטור 12 כלפי מעלה ל- $9 = LI$ ; אבל בחישוב ה"בוחן" בטור 19,  $LI$  עוגל כלפי מטה כנדרש, ל- $8 = LI$ ).

בשום מקרה לא מצאנו ראייה בפועל עם קשת ראייה  $LAG = 4 KR^0$  שקטנה מ- $36^0$  דקות זמן ( $KR = 9^0$ ), בדיוק כפי קביעת הרמב"ם. יתרה מזו: את קשת הראייה  $LAG$  המזערית, במקרה של ראייה בפועל, מצאנו בגודל 45 דקות זמן ( $KR = 11^0,3$ ; מס' 69), הרבה מעל הערך המזערי של 36 דקות ( $= 9^0$ ) על-פי הרמב"ם. באותה תצפית מצאנו גם את  $ARCV$  המזערית  $= 8^0,8$ ; ראה לוח 6 להלן. בעזרת ממצא זה אפשר לקבוע, שתצפית מס' 2 ברשימת שפר (שאינה מועתקת לקטלוג התצפיות, בלוח 4 שלנו), שבה קשת ראייה  $LAG$  היא רק 33 דקות, מתבססת כנראה על דיווח מוטעה, כפי שמוכיחות  $ARCV$  ו- $LAG$  החריגות בקטנותן ( $ARCV = 6^0,8$ ), ולכן אין להתחשב בראייה זו.

על-פי דיווח-ראייה מוטעה זה, טוענים קריטריונים מודרניים אחדים, שתיתכן ראייה גם עם  $ARCV$  הקטנה מ- $8^0$  (ראה תרשים 12 לעיל). כמדומני, שאין לטענה זו בסיס מוצק.

את קשת האור  $ARCL$  המזערית, במקרה של ראייה בפועל, מצאנו בגודל  $10^0,1$  (מס')

252), ובמקרה הזה האורך הראשון היה  $9^0, 2$ . את האורך הראשון המזערי מצאנו  $9^0$  (מס' 86) בגבול שקבע הרמב"ם בחורף/אביב (תצפית זו נחשבת כתצפית באביב, עם גבול תחתון של  $9^0$  לאורך הראשון, אף שהתקיימה בסתיו, בגלל מיקום האתר בחצי כדור הארץ הדרומי!).

לגבי תחזית הרמב"ם על-פי הגבול התחתון של האורך הראשון ( $10^0$  בקיץ/סתיו), מצאנו ראייה נדירה החורגת במקצת מקביעתו, עם  $9^0, 8 = LI$ , בקיץ (מס' 200, המסומנת לשם כך כ- \* בעמודה 20. ביתר המקרים עם \*, הראייה התקיימה רק בעזרת משקפת). על-פי המובא לעיל אנו יכולים לסכם:

קריטריון הרמב"ם, במיוחד זה המבוסס על בחינת הסכום של שני הפרמטרים  $(KR + LI = \text{נוסחה } 1)$ , וכן גבולותיו לפרמטרי הראייה הבודדים, מתאימים בדיוק סביר להכחשת עדי השקר.

התחזיות לאי-ראייה על-פי קריטריון יאלוף (טור 15) נכונות בכל המקרים שסקרנו, ללא יוצא מן הכלל. אפשר לוותר על הקריטריונים של ברוין (טור 14) ושל מונדר (טור 16), כי אלה של יאלוף (טור 15) וההודים (טור 17) באים במוצהר במקומם. הראיות במשקפת (סימול A, בעמודה 21) מתאפשרות, גם אם מספרי ה"בוהן" שליליים (ראה מס' 119, 157, 237, 238, 239, 241, 250, 251 ועוד). מדעני גריניץ' משערים, שעם "בוהן" יאלוף הגדול  $16^{-0}$ , תיתכן ראייה במשקפת, כמצבים אידיאליים (שבהם ARCL קרובה להיות ניצבת על האופק, היינו  $DAZ = \text{קרוב לאפס}$ ). על-פי קריטריון הרמב"ם (נוסחה 1) מצאנו ראייה במשקפת כבר עם "בוהן"  $-0,30$  (מס' 241), היינו: עם  $KR = 10,4$  ו- $LI = 7,9$ ; אבל צריך לזכור שהרמב"ם עסק רק בראיות בעין בלתי מזוינת ("ב"ה"), כדרישת התלמוד בנידון.

מעניינים מאוד זוגות-התצפיות הנדירים ברשימתנו, שבהם נצפה הירח הישן בבוקר, והירח החדש בערב למחרת: מס' 158/157 (עם 33,2 שעות בלבד, בין שתי הראיות שבאתרי צפייה שונים, אבל קרובים זה לזה!), 234/233 (באותו האתר, עם 39,6 שעות בין הצפיות) — שבהם תצפית אחת התקבלה בעזרת משקפת.<sup>23</sup> יש לשים לב למספרי ה"בוהן" הגבוליים במקרים האלה. כפי שכבר קבעו חכמינו, אין אפשרות לראיית הירח הישן בבוקר, ולראיית הירח החדש בתום אותו היום בערב (ראה בבלי, ראש השנה כד ע"ב, כה ע"א).

התצפית החיובית מס' 44 היא בלתי אפשרית ללא מכשירים אופטיים, לפי כל שיטות החיזוי, ולכן היא בוודאי מתבססת על דיווח שגוי, או שהיא בוצעה במשקפת ויש להתעלם ממנה (אי נכונות הדיווח התבררה לנו גם מעיוננו בסקירת יומן הצפיות של שמידט עצמו [Mommson, 1883, p. 71]. לגבי תצפית זו, הוא הסתמך על עדותו של הגנן הבלתי מיומן שלו); כפי שפירטנו במקום אחר [Loewinger, 1995].

ראיית הירח האמינה בגיל המזערי ביותר התקיימה 15,5 שעות מן המולד (מס' 252),<sup>24</sup> וכאמצעות משקפת: בגיל 13,3 שעות (מס' 239) ממנו. בשני המקרים האלה ARCL קרובה למצבה האידיאלי, היינו לניצבות לאופק  $(DAZ = \text{קטן})$ .

לוח 6: סיכום הפרמטרים המזעריים שכבר אפשרו ראייה<sup>25</sup>  
(הערכים בסוגריים: תצפית במשקפת)

הפרמטר	הערך המזערי	מס' תצפית בלוח 4
ARCL	$10^{0,1}$ (9,2)	252 (237, 239)
ARCV	$8^{0,8}$ (7,9)	69 (225)
LI (חורף/אביב)*	$9^{0,0}$ (7,8)	86 (237, 239)
LI (קיץ/סתיו)	$9^{0,8}$ (9,6)	200 (106)
LAG בדקות (זמן)	45 (38,5)	69 (225)
<sup>22</sup> KR	$11^{0,3}$ (9,5)	69 (225)
גיל הירח (בשעות) <sup>24</sup>	15,5 (13,3)	252 (239)
LI+KR (ללא קיטום LI)	$21^{0,8}$ $10,1+11,7 =$	158
LI+KR (ללא קיטום LI)	$18^{0,3}$ $(7,9+10,4=)$	(241)
"בוחן" (הרמב"ם)	-0,05 (-0,30)	86 (241)
"בוחן" (יאלוף)	0,00 (-0,14)	252 (122)
שעות בין ירח ישן וחדש <sup>23</sup>	(33,2)	(157/158)
כנ"ל, באחרי תצפיות זהים	(39,6)	(233/234)

\* או קיץ/סתיו, כחצי כדור הארץ הדרומי.

בספרות המקצועית דווחו ראיות ירח גם בגיל צעיר מ-15 שעות, ועם אורך ראשון וקשת ראייה קטנים מ-9°, אבל את הדיווחים האלה מצאנו כבלתי אמינים על-פי שיטת מספרי ה"בוחן", על-פי כל הקריטריונים שסקרנו.<sup>25</sup> ראה רשימה נוספת על דיווחי ראייה מוטעים, המופיעים בספרות המקצועית חדשות לבקרים, שאי-נכונותם הוכחה בידי שפר וצוורתו [Schaefer et al., 1993]. כשיטת מספרי ה"בוחן" קל לאתר את דיווחי הראייה השגויים.

בסיכום: בעזרת קטלוג התצפיות שלנו ובאמצעות מספרי ה"בוחן" (לוח 4 לעיל), מצאנו שיטה יעילה לסיווג ולאמות קריטריוני הראייה. מצאנו את מספרי ה"בוחן" שעל-פי קריטריוני הראייה של הקדמונים קרובים בסימנם ובגודלם לאלה המודרניים, ולכן מותר השימוש בתנאי אל-בתאני והרמב"ם לראייה. במקרים גבוליים כדאי להיעזר בכל הקריטריונים הידועים גם יחד.

## הערות

\* אני מודה לד"ר ב"ד יאלוף, מנהל ב-Nautical Almanac Office, ולהנהלת מוסד זה במצפה הכוכבים גריניץ' (RGO) על שהעמידו לרשותי את ממצאיהם בנידון ואישרו את פרטומם. כמו כן שלמי תודה מוגשים למר טוביה כאץ ולמר שי ואלטר על עזרתם בחישובים הממוחשבים, ולגב' מיקי ורשבסקי על עבודת הקלדנות, ולמר אברהם טמיר על עזרתו בהגהה הלשונית; ואחרון אחרון חביב: למערכת "בדד" ולפרופ' יחיאל דומב כראשה, על עזרתם וסבלנותם.

- 1 כלל זה נוסח כבר במאה ה-11 בידי רבי אברהם בר חייא הנשיא, בספר חשבון מהלכות הכוכבים, פרק: "חשבון מראות לבנה בראש כל חדש וחדש", עמ' עח, שורה 2, ואושר לאחרונה, כהשערה קרובה לוודאי, במסמך רשמי של מצפה הכוכבים גריניץ' [RGO, 1995]. למרבה הפליאה לא מצאתי הוכחה תאורטית מדויקת לכלל הבסיסי הזה.
- 2 תרשים 1 על מתחם הופעת הירח החדש סורטט על סמך קביעות הרמב"ם (ראה פרק ג סעיף 1 להלן) על גודלם המרבי והמוזערי של פרמטרי הראייה (האורך הראשון וקשת הראייה, כל אחד לחוד), כהתאם לניתוחיו והסבריו של הנובר, תקט"ז, סימנים צ, צא.
- 3 בחיבור זה של הרמב"ם, אליו מתייחסות כל ההפניות המקוצרות לעיל ולהלן, אין הוכחות לדרך חישובו ואין הבהרות לגבי התיאוריה הירחית שבבסיסו. אלה סופקו בידי מפרשיו, שהחשובים בהם, לזמננו, הם: הנובר, תקט"ז; Baneth, 1898; Feldman, 1978; Neugebauer, 1949; Gandz et al., 1956; קליקשטיין, תשל"ח; איידלר, תשנ"ו; צקוני, תשנ"ה.
- 4 תאריך ה"עיקר" (= התאריך הבסיסי) בפ"א הט"ז מוכיח זאת.
- "בזמן הזה" לגבי מצוות קידוש החדש הוא (פ"ה ה"א): "שאי שם סנהדרין בארץ ישראל", "או בית דין הסמוכים בארץ ישראל, שנתנו להן הסנהדרין רשות". בית-דין כזה נהג בארץ-ישראל "בימי חכמי הגמרא עד ימי אב"י ורבא", קרוב לשנת 350 למניין האזרחי (פ"ה ה"ג).
- היהודים הקראים, קובעים את ראשי החודשים גם בזמן הזה, בעיקרון על-פי "אפשרות הראייה" שלפי חישוביהם, גם אם הירח לא נצפה בפועל, בגלל התנאים האטמוספריים או הגאוגרפיים. במקרה של ספק הם עורכים תצפית ומקדשים את החודש על-פיה. למעשה, הם מפרסמים מראש את תחזיותיהם (ראה לוח הקראים בישראל, מדי שנה). חישוביהם נשענו עד לאחרונה — על הספרים של חכמייהם, שהחשובים בנידון הם: החכם יצחק בן שלמה, אור הלבנה, תרל"ב-1872 (חובר: "תקנ"ח-1798); והחכם יהודה בן דוד כוכיזוב, בינה לעתים, תרל"ח-1878, וכן הליכות עולם, תר"מ-1880.
- לוחותיהם אשר התבססו על החיבורים הנ"ל, לא תאמו את הידוע לנו על-פי קריטריוני הראייה המודרניים ועל-פי אלה של הרמב"ם ושל אל-בתאני (לדוגמה: לפי החיבור אור הלבנה, תיתכן ראייה אם:  $LI + KR > 13^0$ ; על בסיס התצפית שערך המחבר כדבריו, ברוחב הגאוגרפי של  $45^0$ ; ראה: שם, דף מא ע"א; על-פי בינה לעתים, תיתכן ראייה אם  $LI > 4^0$ , כאשר רוחב הירח צפוני; ראה: שם, חלק שני, עמוד 14). לאחרונה מורגשת אצל הקראים ההשתללות להעמיד את תחזיות הראייה על בסיס מדעי איתן, ולהתעלם מקריטריוני הראייה הבעייתיים הנ"ל (מפי מר מגדי שמואל, חבר במועצה הדתית של העדה, המתמחה בנושא הראייה). ראה לוח הקראים לשנת ה'תשנ"ו, שהפעם (בניגוד לשנים קודמות), כל תחזיותיו לראיית הירח תואמות הן את תחזיות המודרני והן את זה של הרמב"ם. יש לדעת, שתייתכן סטייה של עד 3 ימים בין ראשי החודשים שעל-פי הראייה בארץ-ישראל ואלה שעל-פי לוחנו העברי הקבוע.
- בעולם המוסלמי קובעים את ראשי החודשים גם בזמננו, בתאוריה אך ורק על-פי עדויות הראייה בפועל. אבל למעשה בתי-הדין השרעיים המרכזיים בסעודיה, במצרים ובמקומות אחרים מאשרים "עדויות ראייה" שלא יכלו להתקיים על-פי אף אחד מקריטריוני הראייה הידועים כאמינים. לדוגמה: יום האחד בחודש רמדאן בשנת 1416 למניינם (=1996) הוכרז, בכל ארצות המזרח התיכון (פרט לבאחריין), ליום ראשון בשבוע, 21.1.1996 = כט בטבת תשנ"ו, על-פי ראיות הירח שהתקיימו, כביכול, אור ליום זה, במוצאי שבת ב-20.1.96, אחרי שקיעת החמה, בסעודיה, ובמקומות אחרים במזרח התיכון. גיל הירח היה בזמן "הראייה" במכה שבסעודיה, רק כ-2,2 שעות, וכן  $KR = 1^0,5$ ;  $DAZ = 4^0,5$ ;  $ARCV = 2^0,4$ ;  $ARCL = 5^0,1$ .
- כל הנתונים האלה מראים בעליל, שלא יכלה להתקיים ראייה בתאריך הנקוב במקום כלשהו באסיה ובאפריקה, אלא אך ורק במערב ארה"ב (במשקפת) וביתר קלות באיי הוואיי (Sky & Telescope, Jan. 96, p. 73).
- בית-הדין השרעי במכה דן במקרה זה — כנראה — בדרך שנהגה לפעמים הסנהדרין על-פי מקורותינו (על-פי דעה הנוכרת בכבלי, ראש השנה כ ע"א): "מאימין על (= מבלבלים את) העדים על החדש (= בעדותם על הירח החדש) שלא נראה בזמנו (אור ליום ל חודש שעבך) לקדשו (= לקבוע אותו כיום א בחודש) אף על-פי שלא ראוהו, יאמרו ראינו". לא נהירים לגמרי שיקולי בתי-הדין המוסלמים לכך [Ahmad, 1992, Ch.7]. אנשי מדע מוסלמים אחדים מנסים לאחרונה להעמיד את



- 5 חיווי הראייה בדתם, על בסיס מדעי [Islamic Hijri Calendar; Ahmad, 1990; Ilyas, 1994]. פרמטר זה נקרא אורך "ראשון", בהיותו הראשון בשרשרת החישובים המוליכים ממנו אל קשת הראייה. לולא המינוח של הרמב"ם, היינו מכנים אותו "התארכות" (elongation) כדי להדגיש, שמדובר בהפרש בין שני אורכים על המילקה, ולא ב"אורך" במובנו המצומצם, שהוא הקשת הנמדדת על המילקה מ"נקודת האביב" (= מקום השמש על המילקה קרוב ל-21° במרס) עד הקשת הניצבת למילקה, העוברת במרכז הגרם השמימי. בנידון דיון מבחינים רק ביחס לירח בין מקומו "האמיתי" (במבט ממרכז הארץ) ו"הנדמה" (במבט מפני הארץ) על המילקה. לגבי השמש, שני מקומות אלה קרובים להתלכדות (ראה הערה 17).
- 6 רבים טעו בהבנת מהות קשת הראייה של הרמב"ם ושל אל-בטאני [איידלר תשנ"ו, עמ' 38 והלאה], והחליפו אותה במושג ARC = arc of vision, שהורתו ולידתו במדע היווני הקלאסי, אצל תלמי, ראה פרק 1 סעיף 2 והערה 16. נאלינו [Nallino II, עמ' 332] מתרגם את KR של אל-בטאני arcus apparitionis, שמשמעו המילולי: קשת ההופעה, כדי להבדילה מה- arcus visionis של תלמי.
- 7 בראשם באלמאנך האנגלי-האמריקאי, המופיע מדי שנה: Astronomical Almanac (A.A.=) המכיל, בנוסף לנתונים האסטרונומיים הנוגעים לענייננו, גם נוסחות מקורכות לאורך המאורות ולרוחבם (= low-precision formulae), המדריקות דיון למטרתינו. ראה לוחות למטרתינו גם באלמאנך הישראלי מגיד הרקיע (המופיע כמדור בתקופון כל כוכבי האור).
- 8 ראה פ"ז ה"א עד ה"ד. את עונות השנה יש להגדיר לענייננו כך:  
חורף/אביב, בערך: מכ"9 ביוני עד כ"9 ביוני  
קיץ /סתיו, בערך: מכ"9 ביוני עד כ"9 בדצמבר
- 9 במועדי גבול אלה, הירח נמצא בשעת הראייה קרוב לנקודת האורך 90° או 270° על המילקה (בהנחה, שהאורך הראשון הוא בממוצע כ-120° בשעת הראייה).
- 10 גבולות ארץ-ישראל לעניין הראייה על-פי הרמב"ם (פ"א הי"ז) הם: במרחק של 3° אורך ורוחב גאוגרפי, שהן בממוצע כ-300 ק"מ — לארבע רוחות השמים, מירושלים. אם לא צוין אחרת, אז כל חישובי הרמב"ם להיתכנות הראייה מתייחסים לאורך הגאוגרפי של ירושלים (הר הבית: 35°2, E) ולרוחב הגאוגרפי של 32° N, הקרוב לקו הרוחב של ירושלים (הר הבית: 31°8, N). יש להגיה במהדורות הנפוצות של הרמב"ם כאן (פ"ז הט"ו), ולקרוא: "ווע, שאם תהיה קשת הראייה תשע מעלות או פחות אי אפשר שיראה בכל ארץ ישראל", במקום: "או אפשר שיראה" השגוי. זוהי טעות דפוס מצערת במהדורות הנפוצות, ההופכת את משמעות ההלכה. במהדורת פרנקל תוקנה השגיאה.
- 11 קריטריון הראייה של הרמב"ם על-פי שני פרמטרים, מובא בפ"ז הי"ז עד הכ"ב. כפי שמצא כבר התוכן, רבי רפאל הלוי מהאנאבר (שפעל במאה השמונה-עשרה), בספרו לוחות העיבור, ח"ב עמ' ל, ד"ה ודע [פועל ד', תשכ"ט], הררישה הסמויה של הרמב"ם לעגל כלפי מטה (= לקטום = truncate) את האורך הראשון מתבחרת מהדוגמה:

$$KR = 9^{\circ}, 8 \quad \text{אם קשת הראייה היא}$$

$$LI = 12^{\circ}, 8 \quad \text{והאורך הראשון הוא}$$

$$KR+LI = 22^{\circ}, 6 \quad \text{או, סכומם ללא קיטום}$$

$$KR+INT(LI) = 21^{\circ}, 8 \quad \text{סכומם אחרי קיטום האורך הראשון}$$

(INT = Integer part = השלם (המרכיב השלם))

לפי פ"ז הי"ז לא תיתכן ראייה במקרה זה, אף-על-פי שסכום שני האיברים, שהתקבל ללא הקיטום, גדול מ-22° מעלות. הראייה תתאפשר בדוגמתנו על-פי הלכה זו, רק עם אורך ראשון של 13 מעלות, לפחות. מכאן, שעל-פי הרמב"ם עלינו לעגל קודם את האורך הראשון כלפי מטה, ורק לאחר מכן לבחון את סכומו עם קשת הראייה.

הסיבה המשוערת לדרישות הקיטום של האורך הראשון היא: מצד אחד, ההכרה, שבהשוואה לדיוק הגבוה הדרוש לקשת הראייה, אין טעם רב לדייק בחלקי המעלה של האורך הראשון, כי הדיוק משפיע רק במעט על עובי החרמש; ומצד אחר, "עקומת המדרגות" (תרשים 7) מהווה לפעמים

קירוב טוב יותר לעקומת אל-כתאני:  $KR.LI > 121$  (נוסחה 3), מן הקירוב על-פי הישר  $LI + KR > 22^0$  (נוסחה 1). לדוגמה (כל המספרים במעלות): אם האורך הראשון יהיה: 12,9 וקשת הראייה תהיה: 9,2 (שסכומם ללא קיטום הוא: 22,1 וכך לכאורה יש ראייה), אז משיגים רק באמצעות הקיטום את התוצאה הנכונה שאין ראייה (כי:  $9,2 + 12 = 21,2$ ), תוצאה התואמת את תנאי הראייה של אל-כתאני שלפיו גם כן אין ראייה (כי  $9,2 \cdot 12,9 = 121$ ; ראה נוסחה 3. בפרק ה סעיף 1). למרות ההסבר החלקי הנ"ל, הסיבות לדרישת הקיטום של הרמב"ם צריכות עוד עיון.

12

ההנמקה של אל-כתאני לדיקון לגבי גודל הפרמטרים (12,2.11,8 במקום 12.12) היא: ARCL וכן KR יהיו בגודלן הממוצע, בתום יממה אחת מן המולד: 29,53 יום  $360^0 / 12^0,2 = 29,53$  (= התרחקות הירח מן השמש ביממה, כי הירח מתרחק  $360^0$  מן השמש, בממוצע ב-29,53 יום).

$ARCL = 12^0,2$  שייכת לזמן שקיעת השמש, אבל  $KR = 12^0,2$  מתקבלת על-פי מקום הירח בזמן שקיעת הירח. בזמן שקיעת השמש, 48 דקות לפני שקיעת הירח, יהיה המרחק על המשווה בין שני המאורות, רק:  $KR = 12,2 - 0,4 = 11^0,8$  (מהירות התרחקות הירח מן השמש היא כ-5,0 בשעה ולכן  $0^0,4$  ב-48 דקות). לכן בשעת שקיעת השמש יהיה:  $KR.ARCL = 11,8 \cdot 12,2 = 144$  = בלי לשנות בכך את התוצאה. לשם פשוטות את  $KR.ARCL$  הבסיסיות:  $12.12 = 144$  בלי לשנות בכך את התוצאה.

13

אחדים מן התוכנים המוזכרים אינם מתחשבים בפאראלקס (ראה הערה 17) כחישוב קשת הראייה, בניגוד לאל-כתאני ולרמב"ם שמתחשבים בו. למרות זאת, אל-כתאני מנמק את נוסחתו כאילו אפקט זה לא היה קיים בכלל, וזה צריך עיון.

על קריטריוני הראייה של התוכנים הערבים הנזכרים ראה: Kennedy, 1968; King, 1987; Hogendijk, 1988. על קריטריון הראייה של רבי אברהם בר חייה הנשיא, ראה בספר חשבון מהלכות הכוכבים, עמ' עט [פועל ד', תשכ"ט]. לשיטתו, לפעמים תיתכן ראייה, גם אם קשת הראייה תהיה רק  $11^0,5$  (כשרוחב הירח צפוני).

רבי אברהם אבן עזרא מביא בספר העבור, דף יא ע"א [פועל ד', תשכ"ח], במלים עמומות במקצת את קריטריון הראייה שלו (הסוגריים: ממני. י"ל): "ודע כי לעולם לא תראה הלכנה (עם) [עד] שיהיה בינה לשמש קרוב מ"ב מעלות... המעלות [האלה] משתנות כפי רוחב כל מדינה ומדינה... וראייה להיות 'קשת המראה ממעלות עגולות' [= קשת הראייה] י"ב, שהן ד' חמישיות שעה [= 48 דקות]... ואם 'קשת המעלות כנגד המדינה' [= קשת הראייה] קרובה ל"א מעלות, יתכן שתראה הלכנה". המפרש הקדום והמעולה של פירוש אבן עזרא על התורה, רבי יוסף טוב-עלם (בנפילס), מאשר בדוגמאות מדויקות, שקשת הראייה בת  $12^0$  היא קריטריון הראייה הבלעדי (היינו, ללא צורך בכדיקת האורך הראשון) של אבן עזרא (בהקדמה לפירוש על התורה, עמ' 18 שורה 5, מהדורת הערצאג, 1911).

14

המערכות הגיאוצנטריות (= שמרכזן כדור הארץ) למיקום גרמי השמים, על ספרת השמים, זהות במדע העתיק ובמודרני, והן ניתנות לבחירה באקראי (השיעורים להלן נמדדים תמיד לאורך שני צירים ניצבים זה לזה):

- \* מערכת המילקה (עם השיעורים: "אורך" ו"רוחב");
- \* מערכת משוונת (עם השיעורים: "עלייה ישרה" ו"נטייה" או "זווית השעה" ו"נטייה").
- \* מערכת האופק המקומי (עם השיעורים: "אזימוט" ו"רום") (= הגובה הזוויתי מעל האופק, על המאניך)].

ניתן להתמיר (= transform) את שיעורי גרם שמימי הנתון במערכת אחת, בשיעורי מערכת האחרת (ראה נוסחאות התמרה: Meeus, 1991; עמ' 87). שרשרת החישובים כרמב"ם המובאת בפ"ז ה"ה עד ה"ג, שראשיתה חישוב האורך השני, השלישי וכו' מתוך ידיעת אורכי השמש והירח, ושל רוחב הירח, וסופה חישוב קשת הראייה, היא למעשה התמרת שיעורי המאורות ממערכת המילקה למערכת משוונת, שרק בה מתקבלים זמני שקיעות המאורות, על-פי נוסחות השקיעה המובאות בספרות האסטרונומית (לדוגמה: Meeus, 1991; עמ' 97).

15

על-פי שיטת הרמב"ם, יש לחשב את אורך המאורות ואת רוחבם בזמננו, היינו בזמנים הרחוקים מתאריך הבסיס שלו ("העיקר"), בהנחה שהמהירויות המדויקות ביותר של המאורות הן אלה, הנקובות אצלו ל-354 יום (פ"ב ה"ב, ד"ה כיצד היא הדרך), ולא על-פי המהירויות ל-10000 יום, כי אלה

## הקריטריון של הרמב"ם לראיית הירח החדש

נוצרו תוך הכפלתן ב-100 של המהירויות ל-100 יום ולכן מדויקות פחות [Neugebauer, 1949]; עמ' 339].

אורך השמש והירח ויתר מאפייניהם, המחושבים בשיטת הרמב"ם, טוטים בזמננו במעלות אחדות, שאינן זניחות, מהערכים המודרניים. הסטיות (ערכי הרמב"ם, פחות הערכים המודרניים) יהיו בזמננו בסדר הגודל הבא:

לגבי אורך השמש: עד כ- $2^0$

לגבי אורך הירח: עד כ- $2^0$

לכן, לגבי האורך הראשון (הפרש אורכי הירח והשמש) שתי הסטיות קרובות להתקוות, והסטייה המרבית תהיה עד כ-1 מעלה. לגבי קשת הראייה הסטיות אינן מתקוות, ויכולות להגיע עד כ-3 מעלות ויותר. לגבי סכום שני הפרמטרים, הקובע לחיזוי הראייה, הסטיות יכולות לגדול עד כ-4 מעלות ויותר, אבל לרוב הן קטנות בהרבה.

16 ראה בהערה 6 לעיל, ש-ARCV נקראת במדע המערבי מאז ימי תלמי: arcus visionis. הוא חקר באמצעות מושג זה את התנאי להופעת כוכבים מסוימים בשעת ה"זריחה עם (=זמן קצר לפני זריחת) השמש" = heliacal rising וכן בשעת ה"שקיעה עם (= זמן קצר אחרי שקיעת) השמש" = heliacal setting [ראה: Schaefer, 1987].

בעיית ראיית הירח בתחילת החודש היא מקרה פרטי של בעיות הראייה האלה. ARCV, בת המדע המערבי, היא תמיד הפרש הרומים בין הירח לבין השמש, לאורך קשת הניצבת לאופק (אצל רוב המחקרים תוך הונחת הפאראלקס, ראה הערה 17), בעוד ש-KR, בת המדע ההודי, הערבי והיהודי, היא תמיד קשת על משווה השמים המבטאת את הזמן בין שקיעת השמש לשקיעת הירח (אצל אל-בתאני והרמב"ם תוך התחשבות בפאראלקס). אין קשר חדר-ערכי בין ARCV ל-KR, היינו ייתכנו שני מקרים עם ARCV זהים, אבל KR שונים ולהפך!

17 הסטייה הנגרמת במיקום המאורות מצפית גרמי השמים (לדוגמה: צפיית השקיעה) מעל פני כדור הארץ, לעומת מקומם המחושב ביחס למרכז הארץ, נקרא "פאראלקס" (או "שינוי מראה" אצל הרמב"ם, פי"ז ה"ו). פאראלקס השמש זניח (בגלל מרחקו הגדול מן הארץ), אבל רום הירח נצפה בגללו קרוב יותר לאופק כמעלה אחת (המדידה על הניצב לאופק), לעומת רומו המחושב במבט ממרכז הארץ.

18 הסיבה לכך היא: במקום הגאוגרפי שבו  $DAZ=0$ , נוצרת ARCV המרבית (שגודלה משתנה ממקום גאוגרפי אחד למשנהו), כאשר ARCL נתונה (שגודלה זהה, בזמנים זהים, בכל מקום צפייה). כאשר ARCL נתונה, ככל ש-ARCV גדלה, גדל הסיכוי לראייה.

מצפה הכוכבים RGO נהג לפרסם מראש את האזורים הגאוגרפיים על פני כדור הארץ, שבהם יראה הירח לראשונה בראש כל חודש [RGO, 1993/4].

19 לצורך חישוב מספרי הכוחן, הותאמו ב-RGO עקומות ריבועיות מתמטיות למספרים הכריזים של הקריטריונים שבלוח 2, על-פי השיטה המובאת בידי מיאוס [Meeus, 1991, p. 43], וכך התקבלו הניסוחים האנליטיים המובאים כאן:

עקומת מונדר:  $ARCV(crit) > -0,01 DAZ^2 - 0,05 DAZ + 11$

עקומה הודית:  $ARCV(crit) > -0,0097 DAZ^2 - 0,0137 DAZ + 10,3743$

כש- $DAZ > 20^0$ , אז יש להציב בשתי הנוסחות  $DAZ = 20^0$ .

בשתי הנוסחות הנ"ל יש להציב את DAZ בערכה המוחלט (תמיד חיובי).

20 עקומת ברוין:  $ARCV(crit) > 2,093 W^2 - 7,832 W + 12,009$

כשרוחב החרמש (בדקות קשת):  $W = 2 SD \cdot \sin^2(ARCL/2)$

וחצי קוטר דיסקית הירח (בדקות קשת):  $SD = 15'$

בשיטת יאלופ (Yallop) יהיה  $ARCV(crit)$  כמו בעקומת ברוין, אבל עם  $W'$ ,  $SD'$  במקום  $SD$ ,  $W$ ;

רוחב החרמש (בדקות קשת):  $W' = 2 SD' \cdot \sin^2(ARCL/2)$

חצי הקוטר הגיאוצנטרי של דיסקית הירח  $P = 0,27248$

חצי הקוטר הטופוצנטרי של דיסקית הירח  $SD' = SD(1 + \sin H \cdot \sin P)$

$P =$  פאראלקס האופק של הירח (בדקות קשת)

- הרום הגיאוצנטרי של הירח  $H$  כש- $1,9' > W(W')$ , או יש להציב בנוסחות-כרוין ויאלופ:  $W(W') = 1,9'$   
 "קריטריון יאלופ" המתואר כאן ננטש לאחרונה במצפה RGO (בגלל אי-התאמתו לחיזוי ברוחב  
 גאוגרפי מעל כ- $50^{\circ}$ , שבו הירח נראה לראשונה לפני שקיעת השמש) ועברו להשתמש בקריטריון  
 ההורי, המשופר עם  $W'$  [RGO, 1995].
- 21 מספרי ה"בוחן"  $t$  חושבו כלהלן:  
 כאשר:  $ARC V > ARC V (crit)$   
 אז:  $t = [ARC V - ARC V (crit)] / ARC V$   
 אחרת:  $t = [ARC V - ARC V (crit)] / ARC V (crit)$   
 ARC V תוצב בנוסחות אלה בערכה המוחלט (תמיד חיובי). בחישוב ה"בוחן" בשיטת הרמב"ם  
 ואל-בחאני יש להציב  $KR (crit)$  במקום  $ARC V (crit)$ , וכן  $KR$  במקום  $ARC V$ .  
 $KR(crit)$  על-פי הרמב"ם חושבו בהנחה:  
 אם:  $LI > 13^{\circ}$ , אז  $LI > 9^{\circ}$   $KR (crit) = 9^{\circ}$   
 אחרת: על-פי הנוסחה מס' 1, תוך קיטום  $LI$ , היינו:  
 $LI, KR(crit) = 22 - INT(LI)$   
 חושבו על-פי נוסחה 2:  $KR(crit) = 2,4 D / ARCL$ ;  $D$  (ביחירות של רדיוס כדור הארץ).  
 22 בספרות מובאות הצפיות, שאינן בדוקות ריין, עם  $KR$  קרובה ל- $9^{\circ}$ ; ראה: Doggett et al.,  
 1994 (בעמוד 400, בלוח VIII שם).  
 לדבריהם, ב- $5^{\circ}$  Moonwatch, ב- $21.8.1990$ , קיבלו ריווחי ראייה שלגביהם חישובנו (שי ואלטר):  
 $9^{\circ}, 1 KR = 9^{\circ}, 1$  (ממש על גבול הרמב"ם),  $8^{\circ}, 5 ARC V = 8^{\circ}, 5$ ,  $19^{\circ}, 6 LI$ . הצפיות נערכו במתחם  
 הגאוגרפי:  $(\pm 14^{\circ}) E 116^{\circ}, 5$ ;  $32^{\circ}, 5 N$ . בגלל הסטייה האפשרית באורך הגאוגרפי של מקום הצפייה,  
 יש להתייחס בהירות לדיווח זה.  
 מר מגדי שמואל, המעדה הקראית ברמלה, דיווח על ראייה באשדוד ב- $17.9.1993$ , עם  $KR = 10^{\circ}, 1 (!)$ ;  
 $21^{\circ}, 9 LI$ . זו תצפית שיא לגבי קוטנה של  $KR$ , אבל בהחלט אפשרית על-פי קריטריוני הראייה  
 לסוגיהם.
- 23 לאחרונה פורסם דיווח על זוג-תצפיות (בוקר/ערב) שובר שיאים, משני אתרי צפייה קרובים זה לזה  
 עם  $(17,4 + 18,5) = 35,9$  שעות בין ירח ישן וחדש, בעין חופשית, ו- $35,7$  שעות כיניהם בעזרת  
 טלסקופ. תצפית זו נערכה ב- $31.12.94 / 1.1.95$ , באיי הוואי [O'Meara, 1995].
- 24 נתון דומה מובא כבר בחיבור הקודם פרקי דרבי אליעזר (נחתם במאה השמינית, אבל נשען על  
 חומר עתיק בהרבה), פ"ז, דף יז ע"א: "אין כח בעין לראות הלכנה עד שמונה שעות גדולים (=
- 16 שעות רגילות) מן המולד" [Beller, 1988].
- 25 במדור New Moon [Ottewell, 1992, 1993] מובאים שיאים שנצפו, לדבריו, במדינת טנסי בארה"ב  
 בשנת 1990; Ashbrook, 1971; מביא טענת ראייה מפורסמת של "שתי המשרתות" מאנגליה משנת  
 1916:  
 ואלה דיווחי הראייה המפוקפקים:

לוח 7: דיווחי ראייה שפורסמו, שהתבררו כשגויים

תאריך	רוחב גיאוג'	אורך גיאוג'	גיל (שעות)	באמצעות	
				LI	KR
2.5.1916	N 54,3	E 0,4	14,5	7,0	16,0
5.2.1990	N 35,8	W -85,5	14,9	8,2	9,8

מצאנו, שאוטוול לא דייק בחישוב הגיל (בלוח 7 לעיל מובא הגיל הנכון), ושכל הדיווחים הנ"ל  
 בלתי סבירים לפי כל ששת הקריטריונים שסקרנו.

פרטי החיבורים כעברית שאוזכרו, לפי סדר א"ב.

- ה"ר אברהם בר חייא הנשיא (ראב"ח הברגלוני=Savasorda), לפני ד'תתצ"ו-1136, מהדורת 1959; ספר חשבון מהלכות הכוכבים, והוא החלק השני של הספר צורת הארץ וחבנית השמים, בתרגום ובהדרת:
- Jose Maria, Millas Vallicrosa, *Libro del calculo de los movimientos de los astros*, Barcelona (Spain), המקור העברי — בתוך: פועל ד', כרך ב (ללא ציון שם המהדיר, וללא מבואות והערות). ה"ר אברהם בן עזרא, ר'תתק"ו/ז-1146, מהדורת תרל"ד-1874; ספר העבור, מהדורת שי"ח' האלבערשטאם, ליק; בתוך: פועל ד', כרך א. אייזלר י"י, תשנ"ו-1996 (בהכנה); הלכות קדוש החדש על-פי הרמב"ם, ירושלים, וכן מהדורות קודמות: כתביד מצולם, בריסל (1992-1988).
- הנובר ה"ר רפאל הלוי, תקט"ז-1756; ספר תכונת השמים; המהדיר: ר' משה ב"ר יקותיאל, אמשטרדם; בתוך: פועל ד', כרך ב. (מ)האנאבר ה"ר רפאל הלוי, תקי"ז-1757; לוחות העיבור, חלק ב, האנאבר; בתוך: פועל ד', כרך ב. טובעלס (=בונפילס), ה"ר יוסף ב"ר אליעזר, בערך ה'ק"מ-1380, מהדורת תר"ע-1911; ספר צפנת פענח, והוא פירוש על הראב"ע על התורה, מהדורה מדעית, הרכ ד"ר דוד הערצאג, כרך א, היידלברג/קראקא (המהדיר הקודם, ה"ר יקותיאל ב"ר נחום לאזי אשכנזי, קרא לספר זה: "אהל יוסף", בתוך קובץ הפירושים לאבן עזרא על התורה "מרגליות טובה", אמשטרדם, תפ"ב-1722).
- (חכמ) יצחק ב"ר שלמה (הקראי), תקנ"ח-1798, מהדורת תרל"ב-1872; אור הלבנה, זיטומיר. (זכמ) כוכיזוב יהודה ב"ר דוד (הקדאי), תרל"ט-1879; בינה לעתים, חיבור בחשבונות התכונה החדשה, חלק שני, אודססא. הני"ל, תר"מ-1880; הליכות עולם, חיבור בחכמת התכונה החדשה, אודססא. לוח הקראים, תשנ"ו-1996 (ומדי שנה); "לוח לקביעת ראשי החודשים וימי המועדים והצומות. קביעות ראשי החדשים מיוסדות על שיטות חישוב מדעיות חדישות, המספקות נתונים על אפשרות ראיית הלבנה לפי אופק ירושלים". בית הדין לקביעת הלוח, היהדות הקראית העולמית, המועצה הדתית, רמלה 72100. ה"ר לוי ב"ר יעקב ן' חביב (=רלב"ח), שכ"ה-1565; פירוש על הלכות קדוש החדש לרמב"ם, פרקים טו-טז, נדפס על הדף במהדורות הרמב"ם המצויות, מספר שאלות ותשובות רלב"ח, סימן קמד-קמה, וויניציאה. לוינגר י', תשמ"ו-1986; על השמינית — שנת תשמ"ו, השמינית במחזור הלבנה, ניתוח היסודות הרעיוניים של הלוח העברי, תל-אביב. לוינגר י', תשנ"ד-1994; "חיזוי ראיית הירח החדש — שיטת הרמב"ם לאור ההלכה ומדע-זמננו"; בתוך: תחומין, כרך יד, מכון צומת, אלון שבות, עמ' 473-500. לוינגר י', תשנ"ה-1994; "על הכרות המולד בבית-הכנסת", עם מדור "חישוב מולד הלוח באמצעות מחשבון כיס מצוי", וכן עם "גלוסאריון — ילקוט מושגים"; בתוך: לוח דבר בעתו — תשנ"ה, בעריכת הרב מרדכי גנוט, בני-ברק.

לוינגר י', תשנ"ו-1995;

"נולד קודם חצות, בידוע שנראה — הטעות הנפוצה על הזמן שבין מולד הלוח לבין ראיית הירח החדש"; בתוך: לוח דבר בעתו — תשנ"ו, בעריכת הרב מרדכי גנוט, בני-ברק, ובצורה מקוצרת בתוך "דף שבועי", מס' 116 פרשת בא, תשנ"ו, אוניברסיטת בר-אילן, לימודי יסוד.

מגיד הרקיע — אלמנך שמי ישראל, רבעון; מתפרסם כמדור, בעריכת שי ואלטר, בתוך: כל כוכבי האור — ביטאון האגודה הישראלית לאסטרונומיה, גבעתיים.

ה"ר משה ב"ר מימון, ד'תתק"ל/ל"ח — 1170/78, מהדורת תרמ"א/ת"ר"ס-1881/1900; משנה תורה הוא היד החזקה, ספר זמנים — הלכות קדוש החדש. מהדורת ווארשא-ווילנא, וצילומיה.

כנ"ל, תשל"ה-1975;

מהדורת שבתי פרנקל, עם ספר המפתח וילקוט שינויי נוסחאות, ירושלים.

ה"ר עובדיה ב"ר דוד, (= "המפרש"), בערך ה'ע"ג-1313;

פירוש להלכות קדוש החדש להרמב"ם, נדפס על הרף בתוך המהדורות המצויות של הרמב"ם.

פועל ד', כרך א, תשכ"ח-1968;

"כולל שתיים עשרה ... ספרים על ענייני תכונה... והלכות קדוש החדש"; המהדיר: הרב רב ויינטרויב,

בני-ברק.

פועל ד', כרך ב, תשכ"ט-1969;

"כולל ששה ספרים על ענייני תכונה", המהדיר: הרב רב ויינטרויב, בני-ברק.

פרקי רבי אליעזר הגדול, לפני ד'ת"ק-740, מהדורת תרי"ב-1852;

עם ביאור הר"ל (לוריא), ווארשא.

פרקי דרבי אליעזר, תשל"ב-1972;

מהדורה מדעית, המהדיר: רח"ם הורוביץ, הוצאת מקור, ירושלים.

צקוני א', תשנ"ד-1994;

חזון שמים — מבוא לחכמת התכונה ופירושה להלכות קדוש החדש להרמב"ם; מהדורה שנייה, נתיבות.

צקוני א', תשנ"ו-1996;

חזון שמים — תכנת מחשב לחישוב ראיית הירח בתאריכים, בזמנים ובמקומות גאוגרפיים כלשהם, על-פי הרמב"ם ועל-פי האסטרונומיה המודרנית (משוואות מיאוס, ואבחתת הראייה, הן לפי קריטריון הרמב"ם, והן לפי זה ההודי המודרני), גרסות 5.2, 5.52, נתיבות.

קליקשטיין א"ק, תשל"ח-1978;

הערות מתמטיות על הלכות קדוש החדש (על-פי פירוש חזון איש), נואי-ארק.

פרטי החיבורים הלועזיים שאוזכרו, לפי סדר א"ב.

A.A.; see: *Astronomical Almanac*

Ahmad I.A., 1990;

*A Uniform Islamic Calendar for the Western Hemisphere (1411 A.H. to 1413 A.H.)*, Imad-ad-Dean Inc., Bethesda MD, US.

Ahmad, I.A., 1992;

*Signs in the Heavens, a Muslim Astronomers Perspective on Religion and Science*, Beltsville MD, US.

al-Battani, 1977;

*Handbook of Astronomy* (early 10th century), Chapter 41, Translation: Adman, F.-Jauni, A.R., in Bruin, 1977, pp. 346-357.

*Astronomical Almanac* (=A.A.), yearly;

U.S. Government Printing Office, Washington DC, and H.M.S.O., London.

- Ashbrook, J., 1971;  
 "Some Very Fine Lunar Crescents", *Sky and Telescope*, Vol. 42, pp. 78-79.
- Baneth, Dr. E., 1898-1903;  
 Maimunis Neumonds-Berechnung, I-IV, 16, 17, 20, 21 — *ter Bericht ueber die Lehranstalt fuer die Wissenschaft des Judenthums in Berlin*, Berlin.
- Beller, E., 1988;  
 "Ancient Jewish Mathematical Astronomy", *Archive of History of Exact Sciences*, Vol. 38, No. 1, pp. 51-66.
- Bruin, F., 1977;  
 "The First Visibility of the Lunar Crescent", *Vistas in Astronomy*, Vol. 21, pp. 311-335.
- Doggett, L.E. — Seidelmann P.K. — Schaefer B.E., 1988;  
 "Moonwatch — July 14, 1988", *Sky and Telescope*, Vol. 76, pp. 34-35.
- Doggett, L.E. — Schaefer B.E., 1989;  
 "Results of the July Moon Watch", *Sky and Telescope*, Vol. 77, pp. 373-375.
- Doggett, L.E. — Schaefer, B.E., 1990;  
 "Moonwatch — August 21, 1990", *Sky and Telescope*, Vol. 80, p. 174.
- Doggett, L.E. — Schaefer. B.E., 1994;  
 "Lunar Crescent Visibility", *Icarus*, 107, pp. 388-403.
- The Encyclopaedia of Islam*, 1960;  
 Editor: H.A.R. Gibb, E.J. Brill, Leiden.
- Feldman, W.M., 1978;  
*Rabbinical Mathematics and Astronomy*, III. corrected edition, Sepher — Hermon Press, NY NY, US.
- Fotheringham, J.K., 1910;  
 "On the Smallest Visible Phase of the Moon", *Monthly Notices*, Roy. Astron. Soc., Vol. LXX, pp. 527-531.
- Gandz, S. — Neugebauer, O. — Obermann, J., 1956;  
 "The Code of Maimonides". Book Three, Treatise Eight, "Sanctification of the New Moon", Gandz, S.: "Translation", Obermann, J.: "Supplementation and Introduction", Neugebauer, O.: "Astronomical Commentary", *Yale Judaica Series*, Vol. X, Wiesenberg, E.: "Addenda and Corrigenda to Treatise VIII", *Yale Judaica Series*, Vol. XIV, New Haven, Yale University Press.
- Ginzel, F.K., 1906;  
*Handbuch der mathematischen und technischen Chronologie*, Bd. I, Leipzig.
- Hogendijk, J.P., 1988;  
 "Three Islamic Lunar Crescent Visibility Tables", *Jl. Hist. Astr.*, Vol. XIX, 1988.
- Ilyas, M., 1994;  
 "Lunar Crescent Visibility Criterion and Islamic Calendar", *Q. Jl. Roy. Astr. Soc.*, Vol. 35, pp. 425-459.
- Indian Astronomical Ephemeris and Nautical Almanac*, yearly;  
 "Explanation: Heliacal Rising and Setting of Planets (and of the Moon)", Indian Department of Meteorology, Calcutta.
- Islamic Hijri Calendar*, yearly;  
 Committee for Crescent Observation, 1069, Ellis Hollow Rd., Ithaca NY, US.
- Kennedy, E.S., 1968;  
 "The Lunar Visibility Theory of Ya'qub Ibn Tariq' (CE 760)", *Jl. Near East. Stud.*, 27, pp. 126-132.

- King, D.A., 1987;  
 "Some Early Islamic Tables for Lunar Crescent Visibility," *Kennedy Festschrift*, ed. King  
 — Saliba, *Annals of the New York Academy of Science*, (500), pp. 185-225.
- Loewinger, Y., 1995;  
 "Some Comments on the Article of Dr. B.E. Schaefer, 'Visibility of the Lunar Crescent',  
 QJRAS (1988), 29 511-523, and related Papers by the Author et al.," *Q.Jl.R. Astr. Soc.*,  
 Vol. 36, 4, pp. 449-452.
- Maunder, E.W., 1911;  
 "On the Smallest Visible Phase of the Moon", *Journal of the British Astronomical  
 Association*, Vol. XXI, pp. 355-362.
- Meeus, J., 1985;  
*Astronomical Formulae for Calculators*, 3rd ed., Willmann-Bell, Inc., Richmond VA, US.
- Meeus, J., 1991;  
*Astronomical Algorithms*, Willmann-Bell, Inc.,  
 Richmond VA, US.  
 Chapront-Touze: ELP 2000  
 Bretagnon: VSOP 82
- Mommsen, A., 1883;  
*Chronologie* (in German), Leipzig.
- NAO (Nautical Almanac Office), 1996; (in press);  
*Technical Note*, No 69, "Predicting First Visibility of the New Crescent Moon", (signed:  
 B.D. Yallop), Cambridge GB.
- Nallino, C.A., I, 1899 / II, 1907, (reprint: 1969);  
*Sive Albatanii Opus Astronomicum* (CE 900), Mediolani Insubrum (= Milano),  
 Schiaparelli : המקור הערבי עם תרגום לטיני ועם פירוש אסטרונומי בלטינית מאת:
- Neugebauer, O., 1949;  
 "The Astronomy of Maimonides and its Sources", *HUCA*, Vol. 22, pp. 321-363.
- Nilsson, M.P., 1920, (reprint: 1960);  
*Primitive Time-Reckoning*, Chapter 5: "The Month", Chapter 8: "Old Semitic Months",  
 Lund (Gleerup Press).
- O'Meara, S.J., 1995;  
 "Sighting the Opposing Crescents", *Sky and Telescope*, Vol. 89, p. 105.
- Ottewell, G., yearly;  
*Astronomical Calendar*, Chapter: "Young Moon — Old Moon", Furman University, and  
 Astronomical League, Greenville SC, US.
- Pingree, D., 1973;  
 "The Mesopotamian Origin of Early Indian Mathematical Astronomy", *Jl. Hist. Astr.*,  
 IV, pp. 1-12.
- RGO (= Royal Greenwich Observatory), 1994/1-2;  
*Astronomical Information Sheet (=AIS)*, No. 71, 72,  
 "Earliest Visibility of the New Crescent Moon, 1994-1998, for Cities around the World",  
 (signed: B.D. Yallop), Cambridge, GB.
- RGO, 1993/94;  
*Astronomical Information Sheet*, No. 73,  
 "Earliest Sighting of New Moon between 1996-2000, Earliest Date, Time and Place of  
 First Sighting", (signed: B.D. Yallop), Cambridge, GB.

מהווה עדכון התיכור הנ"ל.

כולל את התאוריה הירחית החדשה של:

ואת התאוריה החדשה של תנועת הארץ:



- RGO, 1995 (updated);  
*Astronomical Information Sheet*, No. 6,  
 "A Note on the Prediction of the Dates of First Visibility of the New Crescent Moon",  
 (signed: BDY = B.D. Yallop), Cambridge, GB.
- Schaefer, B.E., 1987;  
 "Helical Rise Phenomena", *Archeoastronomy*, Suppl. (11), to: *Jl. Hist. Astr.*, Vol. XVIII,  
 pp. 519-533.
- Schaefer, B.E., 1988;  
 "Visibility of the Lunar Crescent", *Q. Jl. R. Astr. Soc.*, Vol. 29, pp. 511-523.
- Schaefer, B.E., Ahmad, I.D., Doggett, L., 1993;  
 "Records for Young Moon Sightings", *Q. Jl. R. Astr. Soc.*, Vol. 34, pp. 53-56.
- Schmidt, J.F.J., 1868;  
 "Ueber die fruehste Sichtbarkeit der Mondsichel am Abendhimmel", *Astronomische  
 Nachrichten*, Nr. 1693, pp. 201-208, Kiel.
- Surya* — *Siddhanta*, 6th cent. CE;  
 "The Rising and Setting of the Moon and the Tilting of her Horns", Chapter 10 in: Bruin,  
 1977, p. 342.
- Toomer, G.J., 1984;  
*Translation and Annotation of Ptolemy's Almagest*, Duckworth, London.
- Varaha Mihira, mid 6th century CE;  
*Pancha Siddhantika*, chapter 5,  
 "On the Appearance of the Moon" in: Bruin, 1977, p. 344.
- Yallop, B.D., 1992/1996;  
 "First Sighting of New Moon, an Interpretation of Bruin's Rules, Mathematical  
 Formulations of the Maunder, — Indian — and Bruin Criteria and of Comparative  
 Tests", Private Communications, Cambridge, GB.

