מטר הליאונידים 99

חוברת הסבר
והנחיות לתצפית

ערן אופק
אילן מנוליס
שלומי עיני
אנה לוין

IAA
THE
Israeli Astronomical
Association

מבוא

אתם עומדים בחוץ, תחת כיפת השמיים. השעה היא אחת אחר חצות בלילה שבין ה- 17 ל- 18 בנובמבר, 1999. קריר, ואתם מתכרבלים במעיל. שקט מאוד מסביב, ואתם מחכים במתח להצגה הגדולה שתתחיל. זה 33 שנה שלא נראה מחזה שכזה... מטר הליאונידים של 1999 עומד להגיע לשיאו. מספר גדול של מטאורים נראה כבר מאז שהורגלו עיניכם לחשכה. האם תתממש ההבטחה וייראה מחזה שתוכלו לספר עליו לנכדיכם כשתזדקנו? האם המטאורים שנראו עד עכשיו הינם חיל-החלוץ של הסופה הממשמשת ובאה?

חוברת קצרה זו נועדה לספק רקע כללי על תופעת המטאורים, לענות על שאלות של מה צפוי ומתי, ולהציע לקוראים לקחת חלק פעיל בחוויה בעלת חשיבות מדעית. לאלו מביניכם שהרקע התיאורטי מוכר להם מומלץ לעבור מייד לפרק : "כיצד ניתן להפוך את החוויה למדעית?". בנספחים לחוברת ניתן למצוא דו"חות תצפית ריקים למילוי, כולל מספר דוגמאות, מפות שמיים להערכת בהירות מינימלית ועוד.

בלילה שבין ה- 17 ל- 18 בנובמבר 1999, במידה ויתגשמו תחזיות המדענים, תתרחש סופת מטאורים. בתקופת זמן קצרה יחסית של מספר שעות אנו אמורים לראות מספר גדול מאוד של מטאורים, בסדר גודל של עשרות רבות ואולי אף אלפים בשעה. אם לשפוט לפי הפעם האחרונה בה התרחשה סופת הליאונידים, בשנת 1966, שיא המטר יהיה קצר אך אינטנסיבי. באותה שנה נצפו מכמה מקומות בארצות הברית, מעליה התרחש שיא המטר, מטאורים בקצב של כ- 150,000 בשעה(!). מה, אם כך, צפוי לנו השנה?

תוכן ענינים

מבוא 2
מהם מטאורים? 3
ספירת מטאורים.. 8
הערכת הבהירות המינימלית............................ 9
מפת בהירות מינימלית 10
כיוון שעונים.. 10
רישום מטאורים בהירים................................ 11
צילום במצלמת סטילס 11
צילום בווידאו.. 12
אינפורמציה על מטר הלאונידים באינטרנט......... 12
דוחות לדוגמא - דוח תצפית לספירת מטאורים.. 13
דוח תצפית לדיווח על מטאורים בהירים............ 14
סימון על גבי מפת כוכבים 14

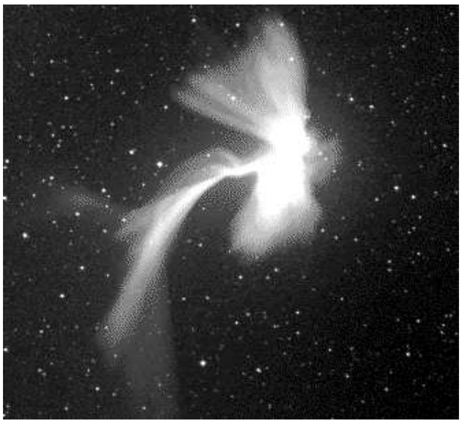
האגודה הישראלית לאסטרונומיה הינה מוסד ללא כוונת רווח (מלכ"ר). מטרת האגודה להפיץ את הידע בנושאים הקשורים לאסטרונומיה וחקר החלל בקרב הקהל הרחב. האגודה מונה היום כ- 400 חברים רשומים. האגודה מוציאה לאור רבעון בשם "אסטרונומיה" ומארגנת פעילויות מגוונות כגון סופי שבוע אסטרונומיים וכנסים.

עורכי חוברת הסבר זו טרחו להביא אליכם את המידע העדכני ביותר שעמד לרשותם עד הבאתה לדפוס. עם הקוראים הסליחה באם השתרבבה טעות לתוכן הדברים. עורכי החוברת מודים לוורד גרינברג ואורלי גנת עבור עזרתן בעיצוב והבאת תוכן הדברים בצורה בהירה וקריאה.

האגודה הישראלית לאסטרונומיה Israeli Astron. Associat.
ת.ד. 149 גבעתיים -53101 P.O.Box 149 Givatayim 53101

מהם מטאורים?

מטאור הינו שמה של התופעה הנצפית באטמוספרת כדור הארץ בעת שגרגר אבק מהחלל חודר לתוכה. ברוב המקרים גודל הגוף הנופל קטן ממילימטר אחד. גופים אלו חודרים לאטמוספרת כדור הארץ במהירות של כ- 10 עד כ 70 ק"מ לשנייה[1]. עקב החום שנוצר מן החיכוך בעת מעברם באטמוספירה העליונה של כדור-הארץ הם נשרפים בגובה של 110 עד 60 ק"מ ומייננים אותה (תופעה דומה לזו מתרחשת במנורת ניאון) התופעה של יינון האטמוספירה נראית לעינינו ככוכב נופל (shooting star), או **מטאור** (meteor). מן הראוי לציין כאן כי כל עוד החלקיק נע בחלל, טרם פגיעתו באטמוספירת כדור הארץ, הוא נקרא **מטאוריד** (meteoroid) ואילו שובל היינון באטמוספרה נקרא מטאור. מקור המילה "מטאור" הינו מיוונית ופירושו "משהו באוויר" (מכאן המילה מטאורולוגיה...).



שובל של ליאוניד כפי שצולם ב- 1998 ע"י ROTSE-I. המטאור בצילום התפוצץ ואת השובל שהשאיר אחריו ניתן היה לראות בעין בלתי מזוינת במשך עשרות דקות. העקמומיות בשובל נובעת מרוחות בשכבות העליונות של האטמוספרה שהסיטו את השובל.

לעתים, גדול החלקיק מגודלו של גרגיר אבק, הווה אומר כגודל אבן חצץ. במקרה כזה עוצמת האור כתוצאה משרפתו בעת המעבר באטמוספירה תהיה רבה יותר ואז נראה כדור-אש, המכונה בפי המדענים **בוליד** (bolide). במקרים נדירים אף יותר, כאשר הגוף החודר לאטמוספירה הינו גוש אבן או ברזל גדול, קורה ושרידיו מגיעים לקרקע. או אז מכונה הגוף הפוגע **מטאוריט** (meteorite).

מהיכן מגיעים המטאורים?

כיום מעריכים שמקורם של המטאורים הינו בשביטים. **שביטים** (comets) הינם גופים המורכבים מקרחים שונים שבתוכם משובצים חלקיקי אבק וחצץ. החומר ממנו הם מורכבים הינו החומר ההיולי ממנו נוצרה מערכת השמש כולה. חלק מהשביטים מקיפים את השמש במסלולים מוארכים (אליפטיים) וכך רוב הזמן הם נמצאים הרחק מן השמש ואילו במקצת מהזמן הם נמצאים בקרבת השמש. עם התקרב השביט לשמש מתנדף הקרח בשכבות החיצוניות של השביט ומשחרר לחלל תוך כדי כך את חלקיקי האבק והחצץ הכלואים בו.

---

[1] מהירות המטאור הינה חיבור של מהירות המטאוריד במסלולו סביב השמש ומהירות כדור הארץ סביב השמש. מאחר וגוף במסלול פרבולי במרחק של יחידה אסטרונומית אחת מהשמש נע במהירות של 42 ק״מ לשנייה, ומאחר ומהירות כדור הארץ סביב השמש הינה כ- 30 ק״מ לשניה, אזי מהירות המטאורים הינה כ- 10 ק״מ לשניה עד כ- 70 ק״מ לשניה. בעת האחרונה התגלו מטאורים מהירים יותר, שמקורם ככל הנראה מחוץ למערכת השמש.

חלקיקים אלו, אשר מרכיבים את זנב האבק של השביט, נותרים מאחור במסלולו המקורי ומתפזרים לאחר מכן בחלל הבין-פלנטרי. בכל מעבר סמוך לשמש משיל מעליו השביט כ- 4% ממסתו. מאחר וגרגירי האבק והקרח שמשחרר השביט הינם קטנים וקלים, הם מושפעים בקלות מכוחות הגרוויטציה של כוכבי הלכת וכן מהלחץ שמפעילה עליהם קרינת השמש. תופעות אלו מסייעות לכך שאותם גרגירי אבק, או בשמם המדעי מטאורידים, לא יישארו במסלולו המקורי של השביט. תוך פרקי זמן של עשרות עד אלפי שנים המטאורידים מתפזרים לאורך כל מסלול השביט ויוצרים נחיל של גרגירי אבק, הנע במסלול דומה לזה של השביט המקורי. על סקלות זמן ארוכות יותר, המסלול של מטאוריד יכול להיות שונה לחלוטין מזה של השביט שממנו נפלט. כאשר מסלולו של המטאוריד יצטלב עם כדור הארץ, המטאוריד ייכנס לאטמוספירה ושרפתו תשאיר אחריה את התופעה שנקראת מטאור.

בתסריט שתיארנו כאן ייתכנו שני מקורות למטאורים:

(1) **מטאורים אקראיים או ספורדיים** (sporadic meteors) שמקורם בכל אותם גרגרי אבק שמסלולם איבד לחלוטין דמיון למסלול השביט. מטאור כזה ניתן לראות באקראי בכל זמן ושעה. בכל לילה ניתן לראות כ- 5 מטאורים ספורדיים בשעה. בשעות שלאחר השקיעה, ועד כ- 15 מטאורים ספורדיים לשעה בשעות שלפני זריחת החמה[2].

(2) **מטרות מטאורים** (meteor shower)

כאשר כדור הארץ הנע במסלולו סביב השמש חוצה את נחיל חלקיקי האבק שנעים במסלול דומה לזה של שביט האב, הללו חודרים לאטמוספירה ושרפתם נראית לנו כמטאורים. בניגוד למטאורידים ספורדיים, כל המטאורידים בנחיל נעים במסלולים מקבילים, ועל-כן כתוצאה מתופעת הפרספקטיבה, מטאורים אלה נראים כאילו הם מגיחים מנקודה אחת בשמיים. נקודת המוצא הנ"ל על פני כיפת השמיים נקראת **רדיאנט** (radiant). ברוב המקרים מטר המטאורים נקרא ע"ש קבוצת הכוכבים שבה שוכן הרדיאנט[3], לדוגמא: פרסאידים, על שם קבוצת פרסאוס.

כיום מוכרים כמה עשרות מטרות מטאורים והעיקריים שבהם מפורטים בטבלה בנספח לחוברת זו. לכל מטר מטאורים יש שביט אב, שאחראי להיווצרות המטר. לדוגמא, לשביט האליי המפורסם שייכים שני מטרות מטאורים: האקווארידים של מאי והאוריונידים של אוקטובר.

---

[2] בשעות של לפנות הבוקר מספר המטאורים גדול יותר ומהירותם גבוהה יותר, מאחר ולפנות בוקר כדור הארץ נע בכיוון הזניט (הנקודה בניצב לאופק, מעל ראש הצופה) ועל כן המטאורים הינם מהירים יותר ורבים יותר. לעומת זאת בשעות הערב כדור הארץ ״מתרחק מהזניט״ ועל כן המטאורים איטיים יותר וחוורים יותר.

[3] יוצא מן הכלל הינו מטר הג׳יקובינידים (דרקונידים) הנקרא כך ע״ש שביט האב שלו ג׳יקוביני-צינר.

מאחר ורוב מטרות המטאורים הינם זקנים יחסית, המטאורידים התפזרו מהמסלול העיקרי וייצרו מעין חגורה שעובייה יכול להגיע לעיתים לעשרות מיליוני ק"מ. במרכז החגורה צפיפות המטאורידים גדולה ואילו בשוליה צפיפות המטאורידים נמוכה. על כן מטר מטאורים יכול לעיתים להמשך אף שבועיים שלושה, שבהם נצפה קצב מטאורים נמוך של מטאורים בודדים בשעה. כאשר כדור הארץ חולף דרך מרכז הנחיל, קצב המטאורים עולה.

חלק ממטרות המטאורים נצפים כבר שנים רבות. למשל, האזכור ההיסטורי[4] הראשון של מטר הלירידים של אפריל הינו משנת 687 לפני הספירה. לעומת זאת, שניים מהמטרות השנתיים החזקים (ראה טבלה), הג'מינידים של דצמבר והבואטידים של ינואר נצפו לראשונה רק בתחילת המאה ה-20. כוחות הגרוויטציה של כוכבי הלכת הגדולים משפיעים על נחילים אלו בצורה כזו, שמסלוליהם מצטלבים כיום עם מסלול כדור הארץ, אך לפני כמאה שנה (ושוב בעוד כמאה שנה) נחילים אלו כבר לא יעברו דרך מסלול כדור הארץ.

מהו מטר הליאונידים?

מטר הליאונידים נראה מגיח מקבוצת הכוכבים אריה (Leo), ומכאן שמם. אלו הם שרידים שנותרו במסלול השביט טמפל-טאטל (Tempel-Tuttle) המקיף את השמש אחת ל- 33 שנה. מדי שנה כדור הארץ חולף בנתיבו המקורי של השביט ב- 18 בנובמבר, ואז ניתן לראות עלייה ניכרת במספר המטאורים. מדי שנה נראה מטר הליאונידים כמטר חלש יחסית המניב כ- 20 מטאורים בשעה. אך לעיתים, בסמוך לזמן שבו השביט עובר בנקודה הקרובה ביותר לשמש, אנו רואים עלייה משמעותית בכמות המטאורים, וקיימים לפחות 11 מקרים בעבר שבהם נצפו סערות מטאורים חזקות מאד. לדוגמא ב- 1966, למשך כחצי שעה, קצב המטאורים הגיע לכ- 150,000 מטאורים בשעה.

מטאורי הליאונידים הינם מהירים מאד והם נכנסים לאטמוספירה של כדור הארץ במהירות של 70 ק"מ לשניה. הבהירים שבהם יכולים להשאיר בשמיים שובלים שייראו במשך עשרות דקות בשמיים חשוכים (ראה תמונה בעמ' 3).

מה קרה ב- 1998?

מבט מפורט על פרופיל קצב המטאורים במטר הליאונידים ב- 1998 מלמד כי התחזיות לגבי מועד התרחשות שיא המטר היו מדויקות, עם קצב של כ- 150 מטאורים בשעה. כצפוי, שיא זה נמשך פרק זמן קצר יחסית ולכן לא היה ניתן לראות אותו מישראל. לעומת זאת כ- 20 שעות לפני השיא החזוי נראה שיא רחב יותר שנצפה מכל כדור הארץ ובשיאו הגיע קצב

---

[4] האזכור ההיסטורי הראשון של מטר מטאורים הינו מ- 1809 לפני הספירה, ע"י אסטרונומיים סיניים ויפנים.

המטאורים לכ- 350 מטאורים בשעה. בניגוד לשיא הצר שהיה עשיר במטאורים חיוורים, השיא הרחב היה עשיר מאד במטאורים בהירים. השיא הרחב לא נחזה מבעוד מועד, אך ניתן להבין אותו באמצעות מודלים חדשים (שיפורטו בפרק הבא) כחלקיקי אבק שנפלטו מהשביט Tempel-Tuttle בשנת 1333. יש לציין כי בשנת 1965, שנה לפני סערת הליאונידים הגדולה של 1966 נצפתה תופעה דומה. אולי סימן לבאות?!

Photo by Ofer Gabzo

תמונה זו צולמה בעת השיא המקדים של מטר הליאונידים בליל ה- 16-17 לנובמבר 1998 על-ידי עופר גבזו מן האגודה הישראלית לאסטרונומיה. התמונה צולמה ממצפה וייז במצפה רמון ובעותק המקורי ניתן הבחין ב- 7 מטאורים.

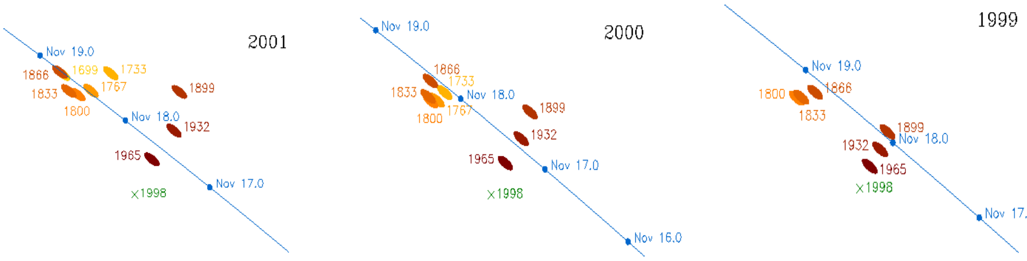
מה צפוי – כמה ומתי?

הקושי הרב לחזות בדייקנות מתי ייראו מטאורים וכמה מטאורים נראה, נובע מאופיים של המטאורידים. מאחר וגרגירי האבק בנחיל המטאורידים קטנים מאד, אין באפשרותנו כיום האמצעים לגלות אותם במסלולם ולחשב מתי הם יעברו בסמוך לכדור הארץ. כמו כן מאחר ומסתם של המטאורידים נמוכה, הם מוסתים בקלות בעקבות משיכת כוכבי הלכת, קרינת השמש והתנגשויות הדדיות. אמנם ניתן תאורטית לחשב את השפעת גורמים אלו על נחיל המטאורידים, אולם בפועל הדבר קשה עד מאד מאחר שחישוב מסוג זה דורש ידיעה מפורטת של התפלגות המסה והצפיפות של החלקיקים, וכן המהירויות בהן נפלטו מהשביט. עד היום רוב התחזיות המפורטות זכו להצלחה חלקית בלבד. למרות זאת אנו יודעים מספיק כדי לחזות מתי יש סבירות גבוהה למטר חזק. כך היה בליאונידים של 1866 ו- 1966, בפרסאידים של 1994 והג'יאקובינידים של 1998. עם זאת הצלחתו הגדולה ביותר של המדע הינה ללמוד מכישלונות ולמודלים חדשים שנפרטם בהמשך תיתכן הצלחה, (על סמך כישלונות העבר).

ראשית נאמר, שמספר התחזיות בנושא הינו רב. השיטות באמצעותן מתבצעת התחזית שונות ומגוונות ונותנות תוצאות שנמצאות בחוסר הסכמה זו עם זו. להלן מספר דוגמאות: פיטר בראון (Peter Brown) מאוניברסיטת מערב אונטריו בקנדה מעריך כי קצב המטאורים ב- 1999 יכול להגיע לכ- 1000 מטאורים בשעה. פיטר ג'נקינס (Peter Jenniskens) מ- NASA Ames Research Center מעריך כי קצב הליאונידים ב- 1999 עשוי להגיע לכ- 7000 מטאורים בשעה. לעומתם זידאן וו (Zidian Wu) מעריך כי קצב המטאורים יהיה בודדים בשעה, אך תחזית זאת נמצאת במיעוט ואיננה מקובלת בקרב מומחי המטאורים.

התחזית המפורטת ביותר שמבוססת על שיטה שהצליחה לחזות את התפרצות מטר הג'יאקובינידים ב- 1998 ומבוססת על הדמיית מחשב מורכבת הינה של דייויד אשר (David Asher) ורוברט מק-נאוט (Robert McNaught) מהאוניברסיטה הלאומית של אוסטרליה. התחזית שלהם חוזה קצב מקסימלי של 1,000 עד 1,500 מטאורים בשעה ב- 1999. תחזית זו חוזה ששיא המטר יתרחש ב- 18 לנובמבר 1999 04:08 שעון ישראל. לעומת זאת תחזיות פשוטות יותר המבוססות על אקסטרפולציה של שנים עברו חוזות שהשיא יתרחש כשעתיים מאוחר יותר. בכל מקרה מישראל דמדומי הבוקר באותו יום מתחילים בשעה 05:16 לערך ואילו הירח שוקע בשעה 00:34 לערך, כך שמומלץ לצפות בין חצות הלילה ל- 05:30. אין למעשה טעם לצפות לפני השעה 23:00 מאחר והרדיאנט של המטר זורח רק בשעה 23:08 מישראל והירח (בגודל 66%) עדיין יהיה גבוה בשמיים.

לאלו שלא רוצים לקחת סיכון ולהחמיץ משהו (כפי שאירע בשנה שעברה) מומלץ לצפות בשני הלילות 16-17 ו- 17-18 לנובמבר. בכל מקרה, מומלץ להשאיר את הציפיות על אש נמוכה, מאחר ואכזבה טוטלית איננה בלתי אפשרית!


2001
Nov 19.0
1866
1699
1733
1833
1767
1800
1899
Nov 18.0
1932
1965
Nov 17.0
×1998
2000
Nov 19.0
1866
1733
1833
Nov 18.0
1800
1767
1899
1932
1965
Nov 17.0
×1998
Nov 16.0
1999
Nov 19.0
1800
1866
1833
1899
Nov 18.0
1932
1965
×1998
Nov 17.0

באיורים לעיל ניתן לראות את מסלול כדור הארץ, בקו כחול, ואילו האליפסות מייצגות את התכים של נחילי המטאורידים. ניתן לראות כי ב- 1999, הנחיל שיעבור הכי קרוב לכדור הארץ, נפלט משביט Tempel-Tuttle בשנת 1899, לעומת זאת בשנת 2000, נפגוש נחילים שנפלטו ב- 1766 וב- 1866. בשנת 2001 אנו צפויים לעבור במרכז הנחיל שנפלט ב 1866, מה שעשוי לגרום לסערת מטאורים, עם קצב של כ- 20,000 מטאורים בשעה.

מהיכן לצפות?

ניתן לצפות מכל מקום שבו רואים את השמיים. ככל שהמקום ממנו צופים חשוך יותר, כך ניתן יהיה לראות יותר מטאורים. כמות המטאורים שניתן יהיה לראות במקום בו השמיים חשוכים מאד, גדול פי 2 עד פי 10 מכמות המטאורים שניתן לראות מתוך ערים או יישובים מוארים. על כן מומלץ לצאת לאתר חשוך ככל שניתן.

מומלץ להצטייד בשק-שינה או בכסא-ים כדי שניתן יהיה לצפות באירוע בנוחות. כדאי מאוד להכין בגדים חמים, מאחר והלילות בחודש נובמבר, במיוחד באזורים מדבריים, נוטים להיות קרים. תרמוס עם משקה חם וחטיפים יוכלו אף הם לעזור לעבור את הלילה בקלות. במידה ואת/ה מתכננים ספירת מטאורים מומלץ להצטייד בשעון, דף נייר ופנס אדום[5].

כיצד ניתן להפוך את החוויה למדעית?

קיימים שני מישורים שבהם יכולים אסטרונומים חובבים לעזור להבנת מטר הליאונידים בפרט ומטאורים בכלל.

(1) ספירת מטאורים, במידה ונעשית ע"פ ההנחיות הפשוטות המובאות בהמשך, הינה בעלת חשיבות עצומה בהבנתנו את המבנה הפיסי של "נחיל" המטאורידים. בכוחה של ספירה פשוטה ללמד אותנו לגבי צפיפות המטאורידים ב"נחיל". ככל שמספר הצופים יהיה גדול יותר ומספר התצפיות רב יותר, כך יהיו הנתונים הסטטיסטים שנאסוף מדויקים יותר. כל הנתונים יישלחו ל- *International Meteor Organization* (IMO) וכן ל- NASA.

(2) NASA וחיל האוויר האמריקאי יפעילו שני מטוסים עמוסי מכשור שינסו ללמוד כמה שיותר על מטאורים והאינטראקציה שלהם עם אטמוספירת כדור הארץ. כמו כן, במצפה הכוכבים ע"ש וויז של אוניברסיטת ת"א, ינסו לבצע תצפיות ספקטרליות בהפרדה גבוהה, ראשונות מסוגן על מטאורים בהירים. לשם כך יש צורך דחוף במידע מפורט ככל הניתן על מטאורים בהירים מאד. מידע זה ניתן לאסוף הן ע"י תצפית בעין ורישום כל הפרטים שניתן על מטאורים בהירים אלו, וכן ע"י צילום השמיים במצלמות רגילות ובמצלמות ווידאו.

ספירת מטאורים

זהו סוג העבודה הפשוט ביותר שניתן לעשות, וכמעט ואין צורך בידע מוקדם עבורו. כל צופה צריך לרשום בדו"ח התצפית את שם מקום התצפית (יישוב, אזור גיאוגרפי וכו'). יש לכוון את השעון לדיוק של שנייה אחת (ראה סעיף בנושא כיוון שעונים). יש לצפות לפרק זמן של בין 30 שניות ל- 5 דקות ולרשום כמה מטאורים (גם אפס זה מספר!) ראה צופה יחיד בשדה הראייה של העיניים שלו בלבד. יש לרשום את זמן תחילת התצפית, זמן סוף התצפית והכיוון

שאליו הסתכל הצופה (למשל: שמה של קבוצת הכוכבים, או כוכב בהיר במרכז שדה הראיה), חשוב לוודא ששדה הראיה איננו חסום ע"י עצים, אנשים וכו'.

המנוסים שבינינו יכולים להשתדל ולהבדיל בין שני סוגי מטאורים: מטאורים שמגיעים ממטר הליאונידים, ומטאורים אקראיים ולספור כל אחד מהסוגים בנפרד. על מנת לקבוע אם המטאור הינו ליאוניד או אקראי, יש לראות מאיזה כיוון[6] מגיע המטאור. מטאור שמגיע מכיוון קבוצת אריה הינו ליאוניד וכל היתר אקראיים. במידה וקשה לך להחליט, תן את ה"ניחוש" הטוב ביותר שלך, הרוב המכריע של המטאורים שתראה יהיו ליאונידים.

במקרה וקבוצת אנשים צופה יחדיו, אחד מהם יכול להגיד לכולם (ולעצמו) מתי להתחיל לספור (ולרשום את שעת ההתחלה) ולאחר מספר דקות להפסיק את הספירה, ולרשום עבור כל צופה את שמו, כמה מטאורים כל אחד ראה, לאיזה כיוון כל צופה הסתכל ואת שעת הסיום. יש להקפיד לא לערבב/לסכם את הספירה של האנשים השונים. מומלץ לשם כך לשמור על שקט מוחלט על מנת לא לבלבל אחרים בספירה. קבוצות שיישמרו על השקט יכולות לנסות ולשמוע בומים אלקטרו-סוניים שנגרמים על ידי מטאורים בהירים במיוחד!

המשימה הקשה ביותר בעת ספירת מטאורים הינה, להעריך אחת לכשעה, את הבהירות המינימלית שהעין שכל אחד מהצופים רואה. השיטה להערכת הבהירות המינימלית מפורטת בסעיף הבא.

הערכת הבהירות המינימלית

על מנת שיהיה ניתן לשקלל את התצפיות של צופים שונים שצפו בתנאי ראות שונים, ולהעביר את כל האינפורמציה ל"מערכת ייחוס מוחלטת", על כל צופה לנסות ולהעריך את הבהירות של הכוכב החיוור ביותר שהוא מסוגל לראות ללא מאמץ בעין בלתי מזוינת.

על מנת לבצע זאת יש צורך בהיכרות בסיסית עם השמיים, אך ניתן להיעזר גם במישהו אחר שמכיר את השמיים. לשם הערכת הבהירות המינימלית יש להשתמש במפת הערכת הבהירות המצורפת לחוברת. המפה מראה את כוכב הצפון וקבוצת העגלה הקטנה. ליד כל כוכב במפה מופיע מספר המייצג את הבהירות שלו. הצופה צריך למצוא מהו הכוכב החיוור

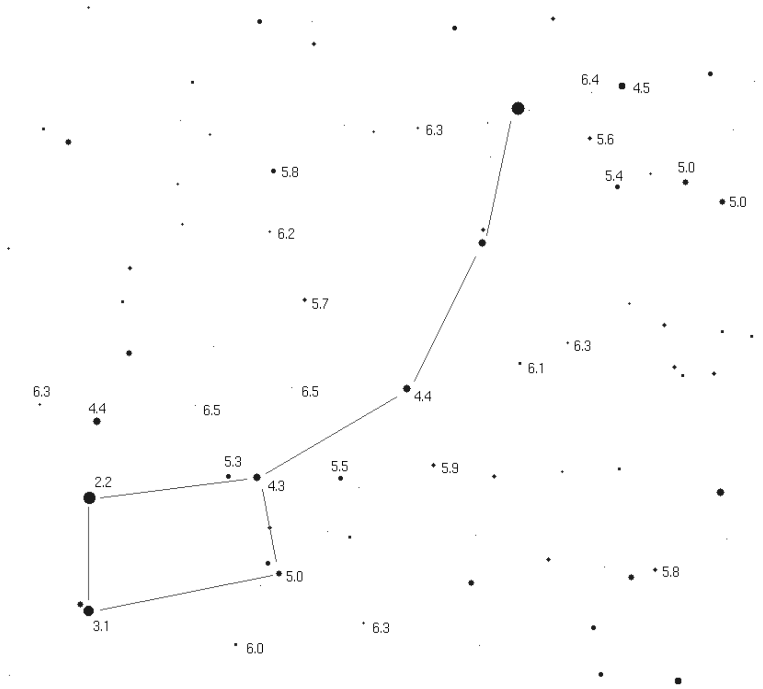
---

[5] העין האנושית זקוקה לפרק זמן של כ- 30 דקות על מנת להתרגל לראיית לילה ולהגיע לשיא הביצועים שלה. לאור אדום השפעה פחותה על הסתגלות העין האנושית לחושך. על מנת שלא לפגוע בראיית לילה לאחר שהושגה מומלץ להצטייד בפנס אדום (למשל ע"י כיסוי פנס רגיל עם נייר צלופן אדום).

[6] עקרונית, מטאור שמסלולו מושלך לאחור עובר כ- 2 מעלות מהרדיאנט של המטר, הינו לאוניד. בפועל הבחנה כזו הינה קשה לביצוע ואיננה דרושה. מאחר ושכיחות המטאורים הספורדיים נמוכה מאד, הסיכוי שמטאור ספורדי יגיע מכיוון הרדיאנט של המטר הינו נמוך מאד. יתר על כן, השגיאה הגדולה ביותר בעת ספירת מטאורים, נובעת מהאופי האקראי של קצב נפילת המטאורים ונקראת שגיאה פואסונית. שגיאה זו שווה לשורש מספר המטאורים שנצפו.

ביותר (המספר גדל ככל שהכוכב חיוור יותר) שהוא יכול לראות מבלי לאמץ את העיניים יתר על המידה.

מפת בהירות מינימלית



המפה הנ"ל מראה את אזור כוכב הצפון והעגלה הקטנה, יחד עם בהירויותיהם של חלק מהכוכבים. לקביעת הבהירות המינימלית הנראית, חפש את הכוכב החיוור ביותר שאתה מסוגל לראות ורשום את בהירותו. (מפות דומות לאזורים נוספים בשמיים ניתן להוריד מן האתר http://wise-obs.tau.ac.il/~eran/Leonids99/).

כיוון שעונים

למדידת הזמן המדויקת יש חשיבות עילאית ביישום דווחי התצפית למטרות מדעיות, מאחר ורק תוך שימוש בבסיס זמן אחיד ניתן להשוות תוצאות של צופים שונים הממוקמים במקומות שונים ומשתמשים בטכניקות תצפית שונות זו מזו.

האמצעי הפשוט ביותר המצוי בידי כמעט כל אחד הינו שעון שבו ניתן לקרוא את הזמן בדיוק של שניות. יש לכוון את השעון לדיוק של כשנייה לפי אות זמן[7] מוכר שבפתיחת מהדורות החדשות ב- BBC (ניתן לקלוט מכל העולם ברדיו AM פשוט בתדר של 1350KHz), מהדורות החדשות של "קול ישראל" וכו'. יש לכוון את השעון קרוב ככל האפשר למועד

---

[7] אות הזמן בשידורי הרדיו מורכב משישה ביפים. האות השישי הינו ארוך יותר ואורכו בדיוק שניה אחת והוא מתחיל בשעה עגולה.

התצפית, כך שזליגה מצטברת בדיוק השעון לא תורגש. בדו"ח התצפית יש לציין לפי איזה אות זמן נעשה כיוון השעון.

צופים להם גישה לאינטרנט יש אפשרות לכוון את השעון מול מספר אתרים[8] המחזירים את אות הזמן על-פי שעון אטומי ממספר אתרים בעולם. האות מעדכן את המחשב בעזרתו ניגשים לאתר ואז ניתן לכוון את השעון הדיגיטלי מול המחשב.

שיטה שלישית ומדויקת ביותר היא שימוש במכשיר ניווט לוויני GPS. מי שבידו מכשיר כזה מתבקש להשתמש בו על מנת לכוון את שעונו לפני תחילת התצפית. יש לציין זאת על-גב טופס התצפית.

רישום מטאורים בהירים

סוג זה של עבודה דורש היכרות מצוינת עם כיפת השמיים וסקלת הבהירות האסטרונומית. עבור כל מטאור בהיר מבהירות 3- , יש לרשום את הפרטים הבאים:

1. זמן (מדויק לשניה)
2. בהירות המטאור בחלק הבהיר ביותר של המסלול.
3. נקודת ההתחלה של המטאור בשמיים. ניתן לרשום קואורדינטות שמימיות או שם של כוכב בהיר סמוך.
4. נקודת סיום של המטאור (כמו בפסקה 3).
5. אורך מסלול המטאור במעלות.
6. משך הזמן שבו נצפה השובל של המטאור.
7. צבע המטאור.
8. הערות נוספות, כגון פיצוץ, שבירה, בום אלקטרו-סוני וכן כל הערה שנראית רלוונטית.

גם בסוג זה של עבודה חשוב לרשום מהי הבהירות המינימלית שהעין של הצופה מסוגלת לראות (עיין בסעיף על בהירות מינימלית). כמו כן ניתן לשרטט את מסלול המטאור על גבי מפת השמיים המצורפת (כמובן בציון הזמן שבו נראה המטאור).

צילום במצלמת סטילס

אם ברשותכם מצלמת רפלקס, אתם יכולים לצלם את המטאורים להנאתכם. השקעה מינימלית של רישום זמן תחילת החשיפה ואורך החשיפה יכולות להפוך את התמונות לבעלות חשיבות מדעית. כל שעליכם לעשות, כאמור, הינו לרשום עבור כל תמונה את

---

[8] http://tycho.usno.navy.mil/modem_tim.html

מספרה הסידורי, את זמן תחילת החשיפה ואורך החשיפה. רצוי אך לא חובה לרשום גם את הכיוון הכללי שאליו כוונה המצלמה. כמו כן יש לרשום גם את אורך המוקד של המצלמה.

הנחיות בסיסיות לצילום:

1. רצוי להשתמש בעדשה עם אורך מוקד נמוך ככל הניתן.
2. יש להוריד את צמצם העדשה למינימום האפשרי.
3. יש לכוון את הפוקוס לאין-סוף.
4. רצוי להצטייד בסרט רגיש יחסית (ASA 400 עד ASA 1000).
5. יש לצלם בחשיפות של 4 דקות עד 10 דקות.

ככל שיילקחו תמונות רבות יותר כך יגדל הסיכוי לקלוט מטאורים. לאחר פיתוח התמונות אנא העבירו העתק (או את המקור שיוחזר אליכם לאחר מספר ימים) של התמונות לצוות ריכוז האינפורמציה. יש לרשום מצדה האחורי כל תמונה את הפרטים המלאים לגביה.

צילום בווידאו

בעלי מצלמת ווידאו יכולים לנסות ולצלם את המטר. יש להעביר את המצלמה למצב של פוקוס ידני(!), לכוון את הפוקוס לאין-סוף, להעמיד את המצלמה על חצובה ולצלם. חשוב מאד לרשום לאיזה כיוון בדיוק כוונה המצלמה. חשוב מאד לציין מתי התחלתם לצלם ולכמה זמן, או לסירוגין לדאוג שיופיע השעון על התמונה. (יש לדאוג לכוון את שעון המצלמה מבעוד מועד). לאחר המטר אנא העבירו את סרטי הווידאו לצוות ריכוז האינפורמציה. הצוות יעתיק את הסרטים ויחזיר לכם את המקור. על מנת למדוד את שדה הראיה של מצלמת הווידאו יש להיעזר בשיטות גיאומטריות פשוטות. ניתן לפנות בבקשה לעזרה לחטיבת המטאורים של האגודה.

מקורות אינפורמציה על מטר הלאונידים באינטרנט:

אתר ה- International Meteor Organization אינפורמציה רבה וכלי עזר לתצפית על מטאורים, כמו-כן לוח שנה מפורט על מטרות מטאורים נוספים במהלך השנה.	www.imo.net
מט"ח – אינפורמציה בעברית על מטאורים ומטר הליאונידים.	http://www.cet.ac.il/~science/space/meteors/
אתר ה MAC-99 – בליל המטר, יכלול עדכון שוטף על מצב המטר והתצפיות ממטוסי NASA.	http://leonids.arc.nasa.gov/

דוחות לדוגמא - דוח תצפית לספירת מטאורים

שם הצופה :
שם הצופה (אנגלית) :
טלפון :
מקום התצפית :
תנאי ראות :
הערות :
האם ספרת/ה מטאורים בעבר? :
תאריך :

בהירות נראית מינימלית (למלא פעם בשעה)	סה"כ מטאורים ספורדיים	סה"כ מטאורים ליאונידים	כיוון הסתכלות (קבוצת כוכבים)	משעה – עד שעה
דוגמא: 6.1	0	14	אוריון	23:14:06 - 23:18:00
דוגמא:	1	10	כוכב הצפון	23:18:10 - 23:21:00
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-
				-

דוחות יש לשלוח לאחד מהנמענים הבאים:
ערן אופק – מצפה הכוכבים ע"ש וויז, אוניברסיטת ת"א, ת"א 69978 או ב e-mail: eran@wise.tau.ac.il
אילן מנולים – ת.ד. 468 רעננה 43104 או ב e-mail: ilan@trendline.co.il
אנה לוין – האגודה הישראלית לאסטרונומיה, ת.ד. 149, גבעתיים 53101
שלומי עיני ב e-mail: shlomi@israelmail.com

דוח תצפית לדיווח על מטאורים בהירים (כדורי אש) - דף למטאור

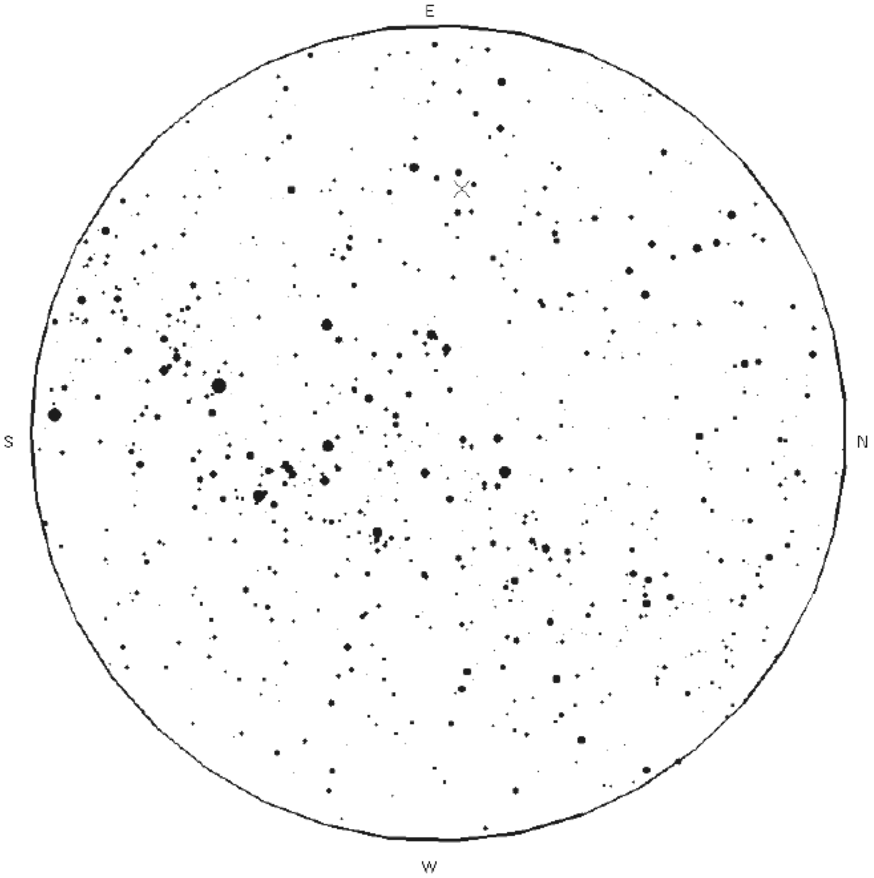
שם הצופה :
שם הצופה (אנגלית) :
טלפון :
מקום התצפית + קואורדינטות :
תנאי ראות :
הערות :
האם ספרת/ה מטאורים בעבר? :
בהירות מינימלית :

גם מילוי חלקי של הפרטים הינו בעל ערך!

תאריך		התחלת מסלול	
שעה		סוף מסלול	
בהירות		משך זמן	
צבע		משך זמן שובל	

סימון על גבי מפת כוכבים

מפת הכוכבים הבאה מראה את מצב השמיים ב 18 לנובמבר בשעה 02:00 שעון ישראל (עותקים נוספים ניתן להוריד מ: http://wise-obs.tau.ac.il/~eran/Leonids99/). הרדיאנט של מטר הלאונידים מסומן ב X. ניתן לסמן את מסלוליהם של מטאורים בהירים על גבי המפה, בציון הזמן שעברו.



דוחות יש לשלוח לאחד מהנמענים הבאים:
ערן אופק – מצפה הכוכבים ע״ש וויז, אוניברסיטת ת״א, ת״א 69978 או ב e-mail: eran@wise.tau.ac.il
אילן מנולים – ת.ד. 468 רעננה 43104 או ב e-mail: ilan@trendline.co.il
אנה לוין – האגודה הישראלית לאסטרונומיה, ת.ד. 149, גבעתיים 53101
שלומי עיני ב e-mail: shlomi@israelmail.com

דוח תצפית לצילום:

שם הצופה :
שם הצופה (אנגלית) :
טלפון :
מקום התצפית + קאו, :
תנאי ראות :
הערות :
האם ספרת/ה מטאורים בעבר? :
סוג המצלמה :
אורך מוקד :
צמצם :
רגישות סרט :

הערות	כיוון בשמיים	שעת סיום	שעת התחלה

דוחות יש לשלוח לאחד מהנמענים הבאים:
ערן אופק – מצפה הכוכבים ע"ש וויז, אוניברסיטת ת"א, ת"א 69978 או ב e-mail: eran@wise.tau.ac.il
אילן מנולים – ת.ד. 468 רעננה 43104 או ב e-mail: ilan@trendline.co.il
אנה לוין – האגודה הישראלית לאסטרונומיה, ת.ד. 149, גבעתיים 53101
שלומי עיני ב e-mail: shlomi@israelmail.com

נספח: רשימת מטרות המטאורים החזקים ביותר

כאמור קיימים כמה עשרות מטרות מטאורים, אך רובם מניב קצב שעתי חלש מאד. בחרנו להביא כאן רשימה נבחרת של מטרות מטאורים חזקים.

שם המטר	מקסימום[A]	משך[B]	ZHR[C]	R.A.[D]	[E]Dec.	Vel[F]	שביט אב[G]
קוואדראנטידים	Jan. 3	0.4	120	230	+49	42	
לירידים	Apr. 22	1	15[ג]	272	+33	48	Thatcher
אטא אקווארידים	May 4	6	25	336	+0	66	Halley
דלתא אקווארידים דרום	Jul. 29	8	30	331	-16	41	Icarus
דלתא אקווארידים צפון	Aug. 12	8	20	339	-5	41	
פרסאידים	Aug. 12	3	100	46	+57	60	Swift-Tuttle
ג'יאקובינידים (דרקונידים)	Oct. 9	1	10[ב]	290	+65	20	Giacobini-Zinner
אוריונידים	Oct. 21	2	30	95	+16	66	Halley
טאורידים (דרום)	Nov. 3	30	15	53	+12	29	Encke
טאורידים (צפון)	Nov. 5	30	15	54	+21	30	Encke
ליאונידים	Nov. 16	2	20[א]	152	+22	72	Tempel-Tuttle
ג'מינידים	Dec. 14	3	120	112	+32	36	Phaethon
אורסידים	Dec. 22	1	10	217	+76	34	Tuttle

[A] הזמן שבו מקסימום המטר מתרחש. משנה לשנה ייתכנו שינויים של כיום כתוצאה משנים מעוברות. בנוסף לכך שינויים גדולים יותר מתרחשים על סקלות זמן גדולות יותר. למשל לפני כאלפיים שנה התרחש שיא מטר הפרסאידים באמצע יולי. הסיבה להזזה הנ״ל במסלול המטאורידים הינה כתוצאה מהשפעת הכבידה של כוכבי הלכת במערכת השמש עליהם.

[B] משך הזמן שבו המטר פעיל בעוצמה של מחצית מהקצב המקסימלי.

[C] קצב זניט שעתי (Zenith Hourly Rate). זהו מספר המטאורים בשעה שהיה יכול לראות צופה בודד, הצופה בשמיים חשוכים, עם בהירות נראית מינימלית של 6.5 וכאשר הרדיאנט נמצא בזניט. עבור מטרות מטאורים רבים קצב הזניט השעתי איננו יציב ויכול לעבור שינויים מהותיים משנה לשנה (כמו סערות מטאורים).

[D] העלייה הישרה (Right Ascension) של רדיאנט מטר המטאורים בזמן שיא המטר (במעלות).

[E] הנטייה (Declination) של רדיאנט מטר המטאורים בזמן שיא המטר (במעלות).

[F] מהירות הכניסה של המטאורים לאטמוספירת כדור הארץ בק״מ לשניה.

[G] שביטי האב של חלק ממטרות המטאורים אינם ידועים. ייתכן שחלקם ״התאדו״ לחלוטין ואינם פעילים עוד. Icarus ו- Phaethon הינם אסטרואידים וייתכן כי בעבר היו שביטים פעילים.

[ג] הקצב משתנה משנה לשנה, עד כ- 90 מטאורים בשעה.

[ב] ייתכנו סערות מטאורים בשנים שבהם שביט האב בפריהליון.

[א] הקצב השנתי הממוצע של מטר הליאונידים הינו כ- 20 מטאורים בשעה. אך ייתכנו סערות מטאורים בקצבים של למעלה מ- 10,000 מטאורים בשעה כשנה או שנתיים לאחר ששביט האב חלף בפריהליון.