

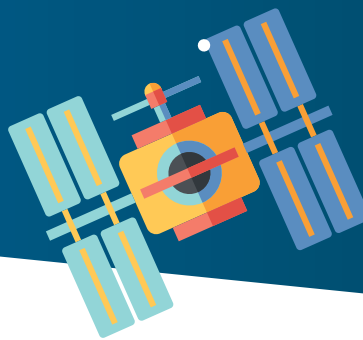


החיפוש אחר כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש שלנו

.....
גיל התלמידים: כיתות ח'–י'
מספר התלמידים: כ-38 (כיתה)
משך השיעור: 90 דקות

.....
נדרשים עזרים וידע בסיסי





מטרות

- התלמידים יסבירו מדוע האנושות מחפשת כוכבי לכת חדשים מחוץ למערכת השמש שלנו.
- התלמידים יגדירו את המושג אקסופלנטה ומושגי יסוד נוספים באסטרונומיה.
- התלמידים יציינו את המאפיינים הנדרשים לקיום חיים על פני כוכב לכת מחוץ למערכת השמש, ויבנו דגם המחשה.
- התלמידים יתארו את השיטות לגילוי כוכב לכת מחוץ למערכת השמש.

מקרא סיוונים במסר

- הטקסט המיועד להעברה לתלמידים מופיע כטקסט רגיל.
- רקע, הרחבה או עזרים למורה מופיעים בתוך מסגרת.
- הנחיות טכניות למורה מוצגות על רקע צהוב.

ידע בסיסי נרש

הכרת עקרון כוכבי לכת ושמשות החגים סביב מרכז כובד משותף

עכרים

- מצגת השיעור
- מחשב עם חיבור לאינטרנט
- מקרן
- דפי עבודה (נספח) לתלמידים





רצף השיעור



פעילות: פתיחה, הצגת שאלות מטעם המורה, במטרה לפתח מוטיבציה ללמידת הנושא.
דגשים: הקרנת כתבת חדשות עדכנית על גילוי כוכב לכת מחוץ למערכת השמש שלנו, המאפשר קיום חיים



פעילות: הצגת הגדרות ומושגים



פעילות: הצגת בעייתיות בגילוי כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש



פעילות: לימוד על גילוי חיים
דגשים: בניית מודל



פעילות: סקירת שיטות לגילוי כוכבי לכת וההבדלים ביניהן
דגשים: הפעלת תלמידים לצורך הדגמה, דף עבודה



פעילות: משוב עמיתים וסיכום





// סקף מספר 2

הקרינו את הכתבה בנושא גילוי כוכב לכת מחוץ למערכת השמש שלנו, המאפשר קיום חיים <https://www.youtube.com/watch?v=PJFjTnXDgQM>

// סקף מספר 3

בסקף מופיע איור המתאר חיים בכוכב לכת מחוץ לכדור הארץ. שאלו את התלמידים: מדוע אסטרונומים מחפשים כוכבי לכת?

אחת המטרות החשובות ביותר של החיפוש אחר כוכבי לכת היא למצוא עולם נוסף שבו יכולים להתקיים חיים. אנחנו רוצים לדעת כמה כוכבי לכת כמו כדור הארץ, שניתן לקיים בהם חיים, באמת נמצאים ביקום, ועד כמה הם נפוצים. התנאים לקיום חיים, לפחות כמו שאנחנו מכירים אותם כיום, דורשים איזון עדין של משתנים המאפשרים חיים, כמו טמפרטורה יציבה, אטמוספירה, גישה למים במצב צבירה נוזלי ותערובת גזים (אוויר).

מטרה נוספת של חיפוש אחר כוכבי לכת היא למצוא מקורות נוספים למשאבי טבע (למשל מתכות, חומרי גלם, מינרלים וכו'). על פני כדור הארץ משאבים אלו מוגבלים, וגילוי משאבי טבע מחוץ לכדור הארץ יוכל להוביל להתקדמות ולפיתוח האנושות.

עד סוף שנות השמונים של המאה העשרים, כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש שלנו היו קיימים רק בדמיון שלנו. במשך מאות שנים מדענים שיערו שהם קיימים, אבל לא הייתה טכנולוגיה מתאימה וידע מדעי מספק שיסייעו להוכיח זאת. עם התקדמות הטכנולוגיה, בעיקר בתחום בניית הטלסקופים, והתקדמות המחקר האסטרונומי, חלה פריצת דרך ונמצאה הוכחה לקיומם של כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש.



כוכבי הלכת נראים לנו זוהרים בשמיים וזאת משום שהם מוארים על ידי כוכב שבת ומחזירים את אורו לעינינו, כמו הירח. מסיבה זו טעו בעבר לחשוב שהם כוכבי שבת. קירוב כל נקודת אור הנראית בשמיים (למעט כוכבי הלכת במערכת השמש שלנו היא כוכב). יש בהם גדולים מהשמש שלנו ויש קטנים ממנה, אך לכולם מכנה משותף אחד: הם גופים ענקיים הנמצאים בחלל. הטמפרטורה בהם גבוהה מאוד והם מייצרים ומפיצים קרינה. השמש מפיצה קרינה, אך היא איננה מדורה ענקית. היא עשויה גזים, בעיקר מימן. בליבת השמש המימן מצוי בטמפרטורה ובלחץ גבוהים מאוד, וכתוצאה מכך נוצרת האנרגיה העצומה במרכז השמש, הגורמת לה להאיר בעוצמה רבה. בחלל כוכבים רבים. הם רחוקים מאוד זה מזה וכל אחד מהם מייצר ומפיץ קרינה. הטמפרטורה על פניהם היא אחד הגורמים המרכזיים שקובעים מה הצבע שבו נראה לנו הכוכב אדום, לבן, צהוב או כחול.



האזרות

כדי לצלול לעומק נושא כוכבי הלכת שמחוץ למערכת השמש שלנו, חשוב שנכיר מושגי יסוד באסטרונומיה: כוכב לכת, כוכב שבת, אקסופלנטה ויחידה אסטרונומית

שאלו את התלמידים:

מה הבדל בין כוכב לכת לכוכב שבת (שמש)?

כולנו מכירים את הכוכבים המנצצים לעינינו בלילה. מהם כוכבים? ממה הם עשויים? מדוע הם מאירים?

כדור הארץ הוא גוף בחלל, הוא אינו מייצר אור כמו השמש. קיימים עוד גופים כדוריים כמו כדור הארץ, המקיפים את השמש ואינם מייצרים אור. גופים אלה נקראים כוכבי לכת. כוכב לכת הוא גוף שנע בחלל, סביב כוכב שבת. השמש היא כוכב שבת. בניגוד לכוכבי לכת, כוכבי שבת (שמשות) הם נייחים, נשארים באותו מקום.

// סקף מספר 4

אקסופלנטה היא לכת שאינו שייך למערכת השמש שלנו; כוכב לכת המקיף מסלול של כוכב שבת שאינו השמש שלנו, או שאריות של כוכב שבת כזה. זהו מונח שטבע והגדיר איגוד האסטרונומיה הבין-לאומי.

מרחקים בחלל - מהי יחידה אסטרונומית? <http://www.space.gov.il/inspiration/149>

יחידה אסטרונומית היא מידת מרחק, המשמשת אותנו למדידת מרחקים בחלל ובמערכת השמש שלנו בפרט, שבה המרחקים עצומים. יחידה אסטרונומית נקבעה על פי מרחקו הממוצע של כדור הארץ מהשמש, והיא שווה ל-150 מיליון קילומטרים בקירוב. הסימון המוסכם ליחידה אסטרונומית הוא ראשי התיבות AU.





בעייתיות באינרטי כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש

1. לכוכבי לכת אין מקור אור עצמי; אור השמש שלהם, שמוקרן אליהם, מוחזר מהם. הם קטנים מאוד ביחס לכוכבי השבת (השמשות) שלהם. עוצמת החזר האור שלהם כה קלושה, שאין אפשרות להבחין בהם ישירות.

2. היחס בין המסות של כוכבי הלכת והשמשות גדול מאוד - מסה של כוכב לכת היא לרוב קטנה במידה ניכרת מזו של כוכב השבת שלו. לכן אפשר לראות את ההשפעה של כוכב לכת על כוכב השבת שלו רק אם הוא מאוד קרוב אליו.

מכאן, שנדרשות שיטות עקיפות לגילוי כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש שלנו.



מאפיינים נדרשים לקיום חיים על פני כוכב לכת מחוץ למערכת השמש שלנו

- בניית דגם גילוי חיים

// סקף מספר 6

אזור ישיב הוא אזור בחלל שבו מתקיימים תנאים מתאימים לקיום חיים, בדומה לתנאים המאפשרים חיים בכדור הארץ. אחת השאלות המעניינות ביותר היא, האם קיימים חיים בכוכבי לכת מחוץ למערכת השמש שלנו? עד כה לא נמצאו חיים על פני גוף כלשהו מחוץ לכדור הארץ. אם אנחנו רוצים לחקור כוכבי לכת בעלי פוטנציאל או היתכנות לקיום חיים, עלינו לצמצם את החיפוש שלנו לכוכבי לכת אשר מתקיימים בהם תנאים המאפשרים קיום חיים, לפחות כמו שאנחנו מכירים אותם כיום: טמפרטורה יציבה, אטמוספירה, גישה למים במצב צבירה נוזלי ותערובת גזים (אוויר). לא כל כוכבי הלכת זהים; הם נבדלים זה מזה, בין היתר, בגודלם ובטמפרטורה השוררת על פניהם.

<http://www.space.gov.il/inspiration/173>





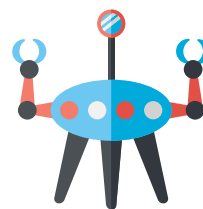
שאלו את התלמידים: למה הטמפרטורה חשובה?

טמפרטורה של כוכב שבת היא אחד הגורמים החשובים ביותר בקביעת האזור הישיב במערכת מסוימת. אזור ישיב הוא תחום תיאורטי סביב כוכב שבת, אשר יש בו טמפרטורות המאפשרות הימצאות של מים במצב צבירה נוזלי, שכן המפתח לקיומן של צורות החיים המוכרות לנו הוא מים. חוקרים רבים מאמינים כי המים הם שאפשרו את התפתחותם של החיים הראשוניים על פני כדור הארץ. אפשר לתחום את האזור הישיב או "אזור החיים" במערכת כוכבי לכת באמצעות נוסחה, המחשבת גבול פנימי וחיצוני של האזור ביחידות אסטרונומיות:

L הוא זוהר או בהירות של כוכב הלכת לעומת בהירות כוכב השבת שלו.

$$D_{\text{outer}} = 1.44 \cdot \sqrt{L} \quad D_{\text{inner}} = 0.75 \cdot \sqrt{L}$$

כעת התלמידים יערכו חקר של האזור הישיב במערכות שמש אחרות. בעזרת נתונים אמיתיים, התלמידים יבנו מודלים של מערכות שמש אחרות. כאשר מסתכלים על כוכב שבת (שמש) ועל כוכבי הלכת שלו, התלמידים יכולים לקבוע אם כל כוכבי הלכת במערכת מסוימת יכולים לתמוך בחיים, ולחקור את ההבדלים בין מערכת השמש שלנו למערכת אחרת. יש להכווין את התלמידים לבניית מודל של מערכת כוכבי הלכת שקיבלו. בהמשך מופיעים ארבעה דפי מידע על אודות מערכות שמש אחרות ודף מידע על אודות מערכת השמש שלנו. חלקו את הכיתה לקבוצות, בכל קבוצה עד ארבעה תלמידים. התלמידים יתבקשו לחשב את נתוני אזור החיים במודל אשר בנו, ולהסיק באילו מכוכבי הלכת במערכת שבנו יכולים להתקיים חיים.





לכל קבוצה יש צורך בציוד הבא:

דף מידע על מערכת השמש שלנו ודף מידע על מערכת שמש אחרת

לוח קלקר בגודל של כ-50 ס"מ X 50 ס"מ

נייר עטיפה שחור לכיסוי לוח הקלקר

קיסמים

פלסטלינה

סרגל

עט/עיפרון צבעוני

קישור לסרטון הדרכה לפעילות

א. עטפו את לוח הקלקר בנייר עטיפה שחור והדקו אותו ללוח.

ב. ציירו את מסלולי כוכבי הלכת במערכת השמש שקיבלתם. הקפידו על שרטוט קנה מידה.

ג. חשבו (באמצעות הנוסחא) את האזור הישיב וסמנו את גבולותיו בצבע על המודל.

ד. באמצעות פלסטלינה, עצבו וסמנו את השמש. חשבו על הצבע והגודל. נעצו את השמש במודל.

ה. באמצעות פלסטלינה, עצבו את כוכבי הלכת. קבעו כיצד עליהם להיראות, בהתחשב במסה שלהם ובסוגם.

ו. חשבו על צורת כוכבי הלכת במערכת השמש שלנו.

ז. הכינו הסבר לכיתה על מערכת השמש במודל שיצרתם.

[D8]: <https://www.youtube.com/watch?v=V7AhDjC4RNY>

מצ"ב סרטון לתוצר המצופה מהפעילות המפורטת



סיטות אינאי כוכבי לכת

מציאת כוכבי הלכת מחוץ למערכת השמש שלנו טומנת בחובה אתגרים רבים. עם התקדמות והתפתחות הטכנולוגיה, הדרך למציאת כוכבים חדשים נעשית נגישה יותר. לכן בשנים האחרונות מתגלים יותר ויותר כוכבי לכת כאלה. כיום יש כמה שיטות מקובלות לגילוי כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש:



א. מהירות ריאלית, אפקט דופלר או שיטת הנדנוד

// סקף מספר 7

הדגמה בכיתה שיטת הנדנוד:

נדגים את האפקט הזה באמצעות ריקוד!

בקשו משני תלמידים לבוא לקדמת הכיתה (רצוי שאלה יהיו התלמיד הגדול ביותר והתלמיד הקטן ביותר בכיתה).
ודאו שיש די מרחב סביבם!

בקשו מהם להסתובב כך שידיהם משולבות (יד ימין של התלמיד הגדול משולבת ביד ימין של התלמיד הקטן). כעת, בקשו מהתלמיד הגדול יותר לנסות ולהסתובב במקום, סביב נקודה אחת, בעוד התלמיד השני הולך סביב, כמקודם. התלמידים יבחינו כי התלמיד הגדול יותר ("כוכב השבת") "מתנדנד" מעט.

שיטה זו נחשבת לשיטה המניבה תוצאות איכותיות ביותר לגילוי כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש שלנו. השיטה נסמכת על העובדה שגם כוכב השבת (שמש) וגם כוכב הלכת הנמצא במסלול סביבו ינועו, בשל כוח המשיכה ההדדי הפועל ביניהם. אסטרונומים יכולים למדוד את השינויים במהירות של כוכב הלכת הנע סביב מרכז הכובד (כוכב השבת) ביחס לכדור הארץ.

שיטה זו יעילה מאוד למציאת כוכבי לכת כבדים מאוד, החגים קרוב יחסית לכוכב שבת (שמש). כדי למצוא כוכבי לכת החגים במרחק רב מכוכב השבת (שמש) שלהם, נדרשות שנים רבות של תצפית.

אפקט דופלר הוא אפקט הגורם להסחת אורך הגל של גלי קול וגלים אלקטרומגנטיים למשל אור נראה כאשר מקור הגל נע ביחס לצופה. אם מכונית צופרת תנוע כלפינו או תתרחק מאיתנו, גלי הקול המתקצרים ככל שנתקרב, יגרמו לנו לשמוע את הצפירה בטון גבוה יותר, ואילו ככל שנתרחק, הם יישמעו בטון נמוך יותר. וכך גם לגבי האור: ככל שנאיץ כלפי מקור אור (או שהוא יאיץ לכיווננו) הוא ייראה כחול וסגול יותר, עד שנחדל לראותו, וככל שנאיץ ממנו (או שהוא יאיץ מאיתנו) הוא ייראה אדום יותר ויותר. כאשר עצם נע לעברנו, גלי האור המוקרנים ממנו מתקצרים (תדירותם עולה) והתופעה נקראת הסחה לכחול. כאשר המקור מתרחק מאיתנו, הגלים מתארכים (תדירותם יורדת) והתופעה נקראת הסחה לאדום.

מקורם של המושגים "הסחה לכחול" ו"הסחה לאדום" נעוץ בעובדה שלצבע הכחול אורך גל קצר יותר מלאדום.

<http://www.space.gov.il/inspiration/1601>





2. שיטת המעבר (איקוי)

// סקף מספר 8

הדגמה בכיתה שיטת המעבר:

כדי להדגים שיטה זו, בקשו משני תלמידים לבוא לחזית הכיתה (רצוי שאלה יהיו התלמיד הגדול ביותר והתלמיד הקטן ביותר בכיתה). בקשו מהם לעמוד משני צדדיו של מסך לבן מואר מאחור או משני צדדיו של לוח לבן מואר והתמסרו בכדור עם כל אחד מהתלמידים. כעת, בקשו מהכיתה לדמיין כי הכדור הוא כוכב לכת המקיף כוכב שבת (שמש), ושאלו אותם אילו גדלים ותכונות הם יכולים למדוד בניסוי זה. אפשר להמשיך את הניסוי, כל פעם עם כדור בגודל אחר, כדי להראות שככל שכוכב הלכת קטן יותר, כך הוא יחסום פחות אור על הלוח.

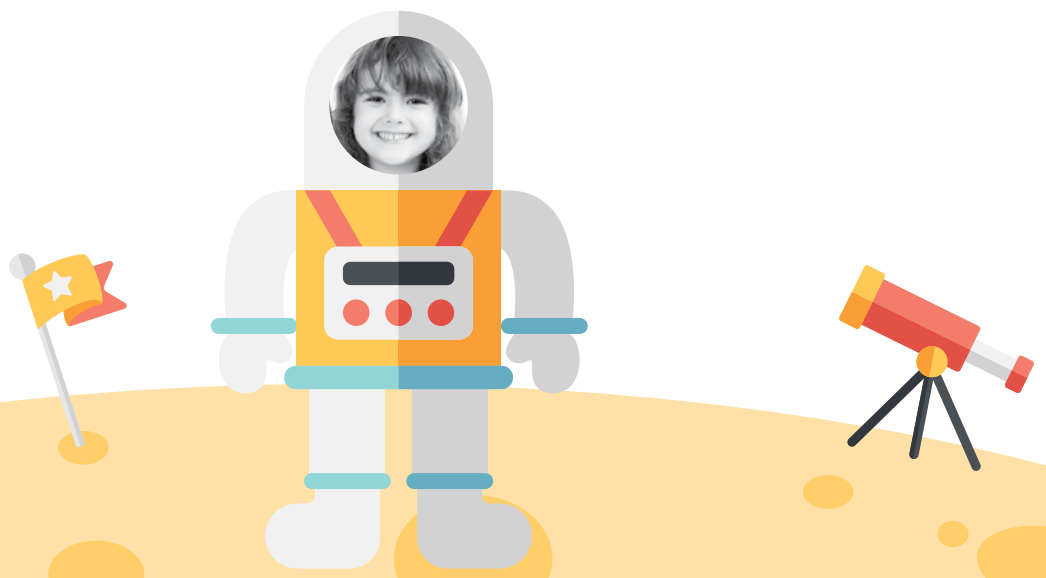
כאשר כוכב לכת חולף לפני כוכב או עובר על פניו, הבהירות הנצפית של כוכב הלכת מתעמעמת מעט (בעת המעבר כוכב הלכת, שאין לו אור עצמי, מפנה כלפינו את צדו האפל). על ידי מדידה של עוצמת הבהירות לאורך זמן, אסטרונומים יכולים לקבוע אם יכול להיות שיש כוכב לכת, או כוכבי לכת, אשר מקיפים את כוכב השבת (שמש). שיטה זו יכולה גם לעזור לאסטרונומים לקבוע את גודל כוכבי הלכת ביחס לגודלו של הכוכב שהם מקיפים, וכאשר מידע זה מצטרף למדידות מהשיטה הקודמת (מהירות רדיאלית או אפקט דופלר), אפשר לשער את הצפיפות של כוכבי הלכת. מדידות באמצעות שיטת המעבר ושיטת המהירות הרדיאלית מספקות לנו את המידע הרב ביותר על כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש שלנו.

כדי להשיג מסקנות אמינות ומבוססות יותר, החוקרים מגבים כל מידע שהושג באמצעות שיטת המעבר גם בבדיקות ובאישוש באמצעות שיטת המהירות רדיאלית (או אפקט דופלר).

3. הרציה ישירה

// סקף מספר 9

מכיוון שכוכבי הלכת עצמם הם מקורות אור ירודים למדי לעומת השמש (כוכב השבת) שלהם, שמייצרת אנרגיה ופולטת אור, כל אור שהם פולטים מועם עלי ידי אור הכוכב, ממש כפי שאור השמש מאפיל על אור הכוכבים בשעת היום. לכן קשה מאוד לזהות כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש שלנו באמצעות תצפית ישירה. באמצעים הטכנולוגיים הקיימים כיום, אפשר לצלם ולגלות כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש אם הם מאוד גדולים, אם הטמפרטורה על פניהם גבוהה ואם הם רחוקים מכוכב השבת שלהם.





פְּעִילוֹת - דף עבודה (אתלמידים מתקדמים)

אחת השיטות לגילוי כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש שלנו היא שיטת המעבר (ליקוי). כאשר כוכב לכת חולף לפני כוכב שבת המייצר את החום והאור של כוכב הלכת, הבהירות הנצפית של כוכב הלכת מתעמעמת מעט. על ידי מדידת עוצמת בהירותו של עצם לאורך זמן, אסטרונומים יכולים לקבוע אם זהו כוכב לכת המקיף כוכב שבת (שמש).



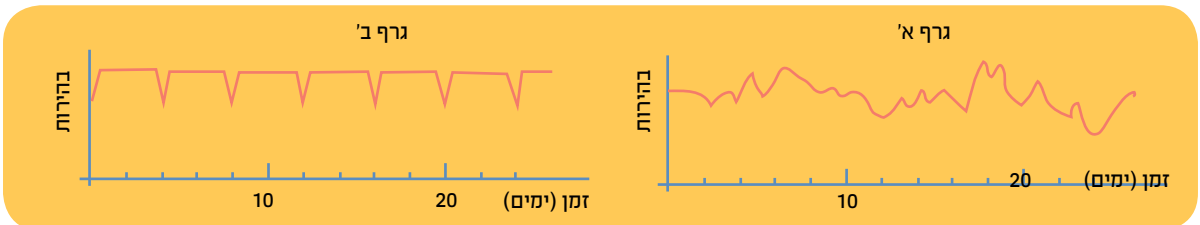
באיור מוצגים שני גרפים.

הציר האנכי מתאר את עוצמת הבהירות של כוכב הלכת באחוזים והציר האופקי מתאר זמן ביחידות של ימים. א. הסתכלו על הגרפים שלהלן וקבעו איזה מהם עשוי לייצג תהליך של מעבר (ליקוי), ואיזה מהם יכול לייצג תהליך אקראי, "רעש"?

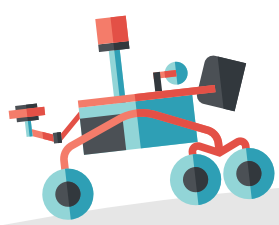
גרף א' - רעש, גרף ב' - תהליך מעבר

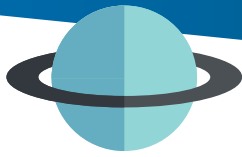
ב. בגרף המעבר, כמה זמן אורכת השלמת מסלול אחד של כוכב הלכת?

ארבעה ימים



באמצעות מדידות בשיטת המעבר אפשר לשער את גודלו של כוכב הלכת. לדוגמה, כוכב לכת גדול יביא עמעום (חסימה) גדול יותר של האור כאשר הוא חולף על פני כוכב השבת (שמש) שלו.





באיור מוצגים שני גרפים.

הציר האנכי מתאר בהירות של כוכב לכת באחוזים והציר האופקי מתאר זמן ביחידות של ימים.
א. איזה גרף מייצג כוכב לכת גדול יותר?

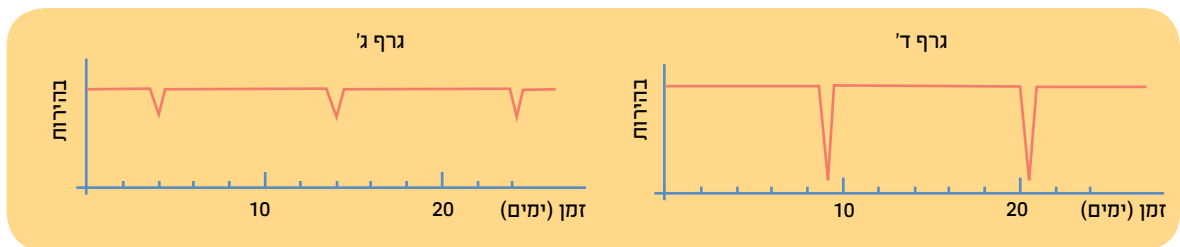
גרף ד'

מדוע?

הירידה בעוצמת האור רבה יותר, השטח שמסתיר כוכב הלכת גדול יותר ומכאן שהוא עצמו גדול יותר ביחס לכוכב מאשר בגרף ג'.
ב. בכל אחד מהגרפים, כמה זמן אורכת השלמת מסלול אחד של כוכב הלכת?

גרף ג' - 4 ימים

גרף ד' - 4.5 ימים



סיכום והצאת תוצרים

מטרתו של חלק זה להציג את התוצר בפני הכיתה ולקבל משוב מתלמידי הכיתה. בדרך זו אנו מחזקים את הבנתם של התלמידים ומפתחים את יכולתם להעביר משוב מקצועי לעמיתיהם ולהעביר להם ידע ותוכן לימודי מעמיקים. בשלב זה אתם, המורים, מתפקדים כמנחים בלבד. הבמה של התלמידים. אפשר לבחור תלמידים שיציגו ויסבירו בפני כל הכיתה, או לבקש מהם להתחלק לקבוצות ולעבוד בנפרד.

עם סיום בניית המודל, על התלמידים להסביר לעמיתיהם:

- אילו כוכבי לכת במודל נמצאים בתוך האזור הישיב או קרוב אליו?
- ב. האם יש סיכוי, לדעתם, למצוא חיים במערכת השמש שבנו? עליהם לנמק את דבריהם תוך התייחסות לנתוני כוכבי הלכת - טמפרטורה, כוח כבידה, ירחים החגים סביב כוכבי הלכת וכו'.