

## יחידה אסטרונומית – יחידת האורך של מערכת השמש

כפי שראינו, כבר היוונים הקדמונים ידעו להעריך את המרחק בין הארץ לשמש. מאז המדידות השתפרו מאוד. המרחק הממוצע של הארץ מן השמש (רדיוס המסלול הממוצע של הארץ) הוא כ-150 מיליון ק"מ (149,597,870,691 מטר). מי שעוסק במערכת השמש ימצא כי השימוש ביחידת האורך התקנית – המטר – אינו נוח. הוא יעדיף יחידת אורך רלוונטית למערכת השמש. היחידה הזו נקראת "יחידה אסטרונומית". סימונה הוא AU (Astronomic Unit). הטבלה שלפנינו מציגה את רדיוסי המסלול הממוצעים של כוכבי הלכת באמצעות היחידה הזאת (מקור: ויקיפדיה), וזה למעשה, מרחקם מהשמש בהשוואה למרחק כדור הארץ מהשמש.

| כוכב לכת | רדיוס מסלול (AU) |
|----------|------------------|
| כוכב חמה | 0.39             |
| נוגה     | 0.72             |
| ארץ      | 1.00             |
| מאדים    | 1.52             |
| צדק      | 5.2              |
| שבתאי    | 9.54             |
| אורנוס   | 19.22            |
| נפטון    | 30.06            |

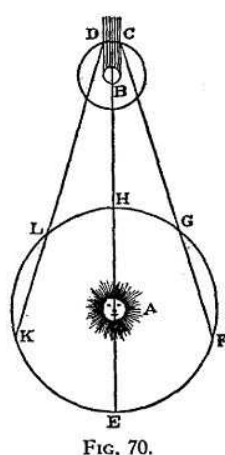
אנו רואים כי הצגת הנתונים באמצעות יחידה אסטרונומית מסייעת מאוד להבין את מערך המרחקים במערכת השמש.

## מהירות האור

### האם האור מתקדם כהרף עין

ברגע שאנו מדליקים גפרור, הוא מאיר למרחקים. קשה לנו להבחין אם היה נדרש לאור זמן לצאת מלהבת הגפרור ולהגיע למרחקים. זה מעלה את השאלה אם האור מתפשט מידיית או שהוא נע במהירות גדולה מאוד, כך שאנו מתקשים להבחין בדבר. אכן, האור גומא מרחקים אדירים בעת מצמוץ העין. שאלה דומה נשאלה גם באשר להתקדמות הקול, אך כאן התשובה הייתה פשוטה יותר. תופעת ההד מעידה על כך שנדרש זמן לקול לצאת מפינו, לפגוע בהרים המחזירים אותו ולחזור לאוזנינו. ניסויים ממרחקים דומים באור (לגלילאו מיוחס ניסוי כזה) לא הצליחו לגלות פער זמן. מכאן שאם גם לאור יש מהירות סופית, הרי שהיא גדולה בהרבה. רק במחצית השנייה של המאה ה-17 נמצאה תשובה. גם הפעם נדרשנו למעבדה האסטרונומית, מפני שמהירויות עצומות מחייבות מדידות על פני מרחקים עצומים. שוב מצאנו עצמנו נהנים מן השימוש במעבדה האסטרונומית, שמחכה לנו מבלי שטרחנו על העמדתה, ומזמינה אותנו להשתמש בה.

### זמני הליקוי של ירחי צדק כמפתח לקציבת מהירות האור (אופציונלי)



כבר בתחילת המאה ה-17 לימד אותנו גלילאו כי שימוש בטלסקופ פשוט חושף בפנינו ארבעה ירחים של כוכב הלכת צדק. מכאן ואילך אנשים מדדו את המערכת של צדק. לדוגמה: הם מדדו את משכי הזמן שבהם כל אחד מן הירחים האלה מקיף את צדק. האסטרונום הדני אולה רמר (Rømer) חקר תופעה מעניינת. בציור מתוך המאמר שלו אנו רואים את השמש (A) ואת צדק (B). צדק מטיל צל על האזור שבין D ל-C. העיגול שסביב צדק מציג את המסלול של אחד מן הירחים שלו – איו (Io). העיגול שסביב השמש מתאר את מסלול הארץ שממנה אנו צופים בכניסתו של Io לאזור מוצל (D)

וביציאתו מן האזור המוצל (C). פרק הזמן בין שתי כניסות של Io לאזור המוצל מייצג את משך ההקפה של Io (את צדק). אנו מצפים שכל זמני ההקפה יהיו זהים. המדידות הראו סטיות מסוימות.

רמר הבחין שיש שיטתיות בסטיות האלה. משתי הנקודות L ו-K אנו רואים את  $I_0$  באותו כיוון. בשתייהן היינו אמורים לזהות זמן הקפה זהה. אולם מתברר כי כאשר הארץ נעה מ-L ל-K, זמן ההקפה בנקודה המרוחקת (K) גדול במעט מזמן ההקפה בנקודה הקרובה יותר (L).

רמר הבין שהסיבה לכך היא שאיננו מודדים בדיוק את רגע הכניסה של  $I_0$  לאזור המוצל, אלא זמן מאוחר יותר, מפני שהאור צריך להגיע אל הארץ. בהקפה הבאה של  $I_0$  הארץ כבר רחוקה יותר, ולכן אנו מקבלים את האור באיחור גדול יותר. ההפרש בין שני האיחורים האלה מעיד על כך שהאור אינו מגיע מיד לארץ (בן רגע, במהירות אינסופית), מפני שהמהירות שלו סופית. מתוך הנתונים האסטרונומיים הצליח המלומד ההולנדי כריסטיאן הויגנס להעריך את מהירות האור. מאז השתפרה מאוד המדידה.

העבודה של רמר המחישה לנו שוב עד כמה ה"חלל", שהוא מעבדה כמעט ריקה אך גדולה מאוד, מסוגל להניב מסקנות מפליאות. שוב ראינו כי לעתים משחקי אור וצל "פשוטים" (אך מתוחכמים) בצירוף עם צפייה שקדנית ומדויקת, עשויים להוביל לתגליות גדולות.

## גודלה של מהירות האור

הערך העדכני של מהירות האור בריק הוא 299,792,458 מטרים לשנייה (כמעט 300,000 ק"מ לשנייה). זוהי אכן מהירות עצומה. איינשטיין הסביר מדוע אין מהירות גדולה ממנה. זוהי גם המהירות שבה עובר מידע בין הטלפונים הסלולריים שלנו. במהירות הזאת האור עובר מרחק ששווה לקוטר הארץ בארבע מאיות השנייה. האור היוצא בכיוונו ממכונת שבאה לקראתנו במרחק מאה מטר, יגיע אלינו כעבור שליש של מיליונית השנייה. יש לעשות בכיתה כמה הערכות זמן כאלה.

## יחידות אורך נוספות – דקת אור ושנת אור

כמה זמן נמשכת תנועת האור מן השמש אל הארץ? לשם כך עלינו לחלק את המרחק מן השמש במהירות האור (הסבירו לתלמידים בדיוק מדוע):  $150,000,000/300,000$  (המרחק בק"מ והמהירות בק"מ לשנייה). הזמן הוא 500 שניות – מעט יותר משמונה דקות.

נוכל להגדיר, אפוא, יחידת אורך שמתאימה למערכת השמש – דקת אור – המרחק שהאור עובר בדקה אחת – 18 מיליון ק"מ.

ככל שמערכת השמש מעניינת, היקום גדול בהרבה. יש עצמים שמימיים שנדרש לאור שיוצא מהם יותר משנה כדי להגיע אלינו. למטרות כאלה מתאימה היחידה **שנת אור** – המרחק שהאור עובר בשנה. סימונה של היחידה הוא ly.