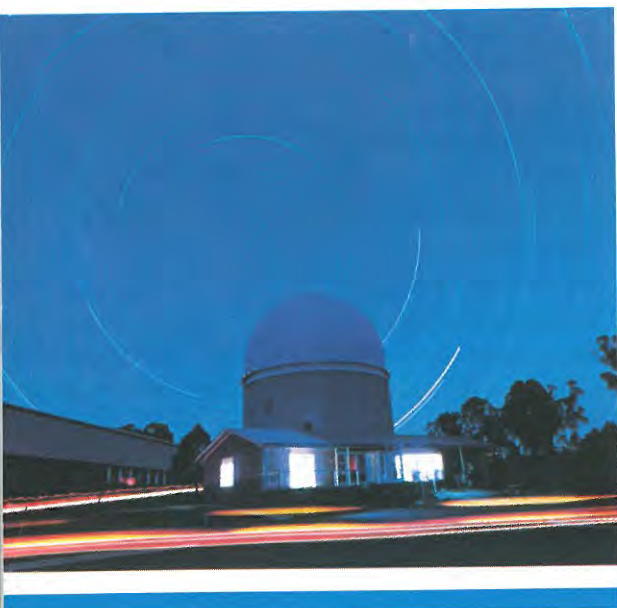


וואו, סבא-רביא ציאלוי! אשכ אזד על האפרוחון הזה. עוד לפני
שחיזה את שארית השאביו הפנומיים ומב את עצמו אל אחוץ אקאיטא,
בוודאי אשכ שהנה היצור היצור האחרונים. אך מה שראה נסופו היה
למעשה רק ההמלה. האם בוחים בואו לאפרוחונים, מוכנים למב
את עצמנו לעולם אדם בבוא - כמו למשל איש את האל החיזון?



מדע מהו

תנועת הסיבוב של
כדור הארץ סביב
צירו גורמת לכוכבים
להיראות כאילו הם
נעים על פני השמים,
כמודגם בצילום זה
שנעשה בחשיפה
ממושכת.



ראשית לכל, המדע הוא מכלול הידע על הטבע, והוא מייצג את כלל המאמצים, הממצאים, התובנות והחוכמה שקנה המין האנושי אודות היקום. שנית, המדע הוא פעילות אנושית שמשימתה היא לגלות את הסדר השורר בטבע ואת הגורמים השולטים בסדר הזה. ראשיתו של המדע עוד בימים שלפני שהחלה כתיבת ההיסטוריה, כשהחלו בני האדם לגלות סדירויות ויחסים קבועים בטבע, כמו תבניות הכוכבים בשמי הלילה ותופעות חוזרות של מזג האוויר, למשל מועד תחילתה של עונת הגשמים או התארכות היום. על יסוד תבניות אלה למדו הקדמונים לערוך תחזיות שאיפשרו להם לשלוט, במידת מה, בסביבתם.

זינוק גדול קדימה עשה המדע ביוון העתיקה במאה השביעית לפנה"ס ומשם הוא התפשט בכל אגן הים התיכון. התקדמות המדע נעצרה באירופה עם נפילת האימפריה הרומית במאה החמישית לספירה. בתקופה שבה היתה אירופה שרויה במה שמכונה "חשכת ימי הביניים", עסקו הסינים במיפוי כוכבי הלכת וכוכבי השבת ומלומדי העולם המוסלמי עסקו בפיתוח המתמטיקה. המדע היווני חזר לאירופה בהשפעה איסלמית שחדרה לספרד במהלך המאות ה-10, ה-11 וה-12, ובמאה ה-13 נוסדו האוניברסיטאות הראשונות של אירופה. הכנסת אבק השריפה לשימוש שינתה את המבנה החברתי והמדיני באירופה במהלך המאה ה-14. שילוב מיוחד במינו של מדע ואמנות היה הישגו המיוחד של ליאונרדו דה וינצ'י במאה ה-15. לקידום נוסף זכתה החשיבה המדעית במאה ה-16 עם המצאת הדפוס.

וגם זה קרה במאה ה-16: האסטרונום הפולני קופרניקוס חולל מחלוקת עמוקה כשפרסם ספר שבו הציע את הרעיון לפיו השמש שרויה במנוחה בעוד כדור הארץ סובב מסביבה. רעיון זה סתר את ההשקפה שהיתה רווחת אז, לפיה כדור הארץ הוא מרכז היקום. הוא סתר גם את כל מה שהורתה הכנסייה הנוצרית ולכן הוחרם שנים רבות. הפיסיקאי האיטלקי גלילאו נעצר על הפצת תורתו של קופרניקוס, וגם בשל רעיונות אחרים שתרם לחשיבה המדעית. אך כעבור מאה שנה נתקבלו דעותיו של קופרניקוס.

תופעות דומות התרחשו גם מאוחר יותר. בראשית המאה ה-19 היה גינוי חריף מנת חלקם של גיאולוגים שהחזיקו בדעות הסותרות את המסופר במעשה הבריאה התנ"כי. מאוחר יותר באותה מאה, כשכבר התקבלה הגיאולוגיה, הופנו חיצו הביקורת לעבר האבולוציה. דומה שתמיד ישנה קבוצה של הוגי דעות מרדניים שמשמיצים אותם, מדכאים אותם ואף מעמידים אותם למשפט, וכעבור זמן תורתם מתקבלת כבלתי מזיקה ולעיתים אף כחיונית להתפתחות האנושות. "בכל פרשת דרכים המובילה לעתיד תיתקל רוח הקדמה באלף שומרים המוכנים לחרף את נפשם על הגנת העבר".*

מדידות מדעיות

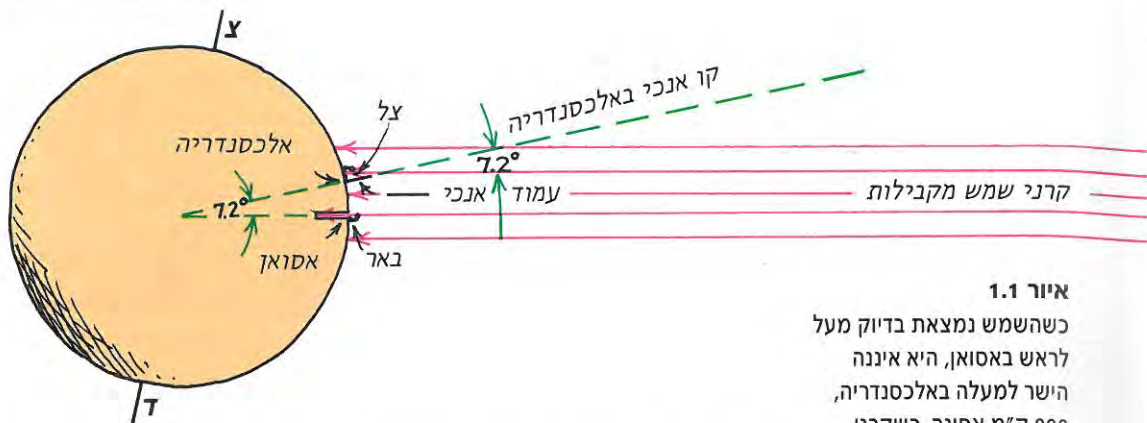
מדידות הן סימן ההיכר של מדע אמיתי; השאלה כמה אתם יודעים על משהו תלויה לעיתים קרובות באיזו יעילות הנכם מסוגלים למדוד אותו. היטיב לבטא זאת הפיסיקאי המפורסם מן המאה הקודמת, הלורד קלווין: "תכופות אני אומר כי כשמסוגלים אתם למדוד דבר ולבטאו במספרים, רק אז יודעים אתם משהו אודותיו. כשאינכם יכולים למדוד אותו ואינכם יכולים לבטאו במספרים, הרי שהידע שלכם הוא קלוש ובלתי מספק. הוא עשוי להיות תחילתה של ידיעה, אך רק בקושי תוכלו להתקדם במחשבותיכם לדרגת מדע, תהא משמעותו אשר תהא." מדידות מדעיות אינן דבר חדש - הן נעשו כבר בימי קדם. במאה השלישית לפנה"ס, למשל, כבר נערכו מדידות גודל מדויקות למדי של כדור הארץ, של הירח ושל השמש, ושל המרחקים ביניהם.

גודלו של כדור הארץ

הראשון שמדד את גודלו של כדור הארץ היה הגיאוגרף והמתמטיקאי ארטוסטנס בשנת 235 לפנה"ס לערך**. ארטוסטנס חישב את היקפו של כדור הארץ באופן הבא: הוא ידע כי השמש נמצאת בנקודה הגבוהה ביותר בשמים בצהרי ה-22 ביוני, היום הארוך בשנה. זה הזמן שבו מקל אנכי מטיל את הצל הקצר ביותר. אם השמש נמצאת הישר למעלה (בזנית), מקל אנכי לא מטיל צל

* מתוך "חובתנו החברתית" מאת הרוזן מוריס מטרלינק.

** ארטוסטנס היה המשנה לספרן הראשי באוניברסיטה של אלכסנדריה במצרים, שהקים אלכסנדר הגדול. ארטוסטנס היה אחד מחשובי המלומדים של זמנו וכתביו עוסקים בפילוסופיה, במדע ובענייני ספרות. כמתמטיקאי המציא ארטוסטנס שיטה למציאת מספרים ראשוניים. יוקרתו בקרב בני זמנו היתה עצומה - ארכימדס הקדיש לו אחד מספריו. כגיאוגרף הוא פרסם את החיבור "גיאוגרפיה", הספר הראשון שביסס את הגיאוגרפיה על יסודות מתמטיים ושטיפל בארץ ככדור המחולק לאזורים: קר, ממוזג ושחור. שנים רבות שימש החיבור כספר היסוד בתחום, וויליוס קיסר השתמש בו כעבור מאה שנה. ארטוסטנס חי רוב ימיו באלכסנדריה ומת בה בשנת 195 לפנה"ס.



איור 1.1

כשהשמש נמצאת בדיוק מעל לראש באסואן, היא איננה הישר למעלה באלכסנדריה, 800 ק"מ צפונה. כשקרני השמש מאירות הישר אל תוך באר באסואן, הן גורמות לעמוד אנכי הניצב באלכסנדריה להטיל צל האנכים בשני המקומות מכוונים אל מרכז כדור הארץ ויוצרים אותה זווית שקרני השמש מהוות עם העמוד באלכסנדריה. ארטוסטנס מוד ומצא כי זווית זו היא $1/50$ של מעגל שלם. לפיכך המרחק בין אלכסנדריה לאסואן הוא $1/50$ של היקף כדור הארץ. (בצורה אחרת, אורך הצל שמטיל העמוד שווה ל- $1/8$ גובהו ומשמעות הדבר היא שהמרחק בין שני המקומות הוא $1/8$ רדיוס כדור הארץ.)

כלל - כך קורה באסואן, הדרומית לאלכסנדריה (שם מצוי כיום הסכר המפורסם). ארטוסטנס למד על כך שהשמש באסואן נמצאת בדיוק מעל הראש ממידע שמצא בספרייה, שדיווח כי ב-22 ביוני השמש מאירה הישר אל תוך הבאר העמוקה של אסואן, כך שקרניה מוחזרות החוצה. מסקנתו של ארטוסטנס היתה כי אילו המשיכו את קרני השמש אל תוך כדור הארץ בנקודה זו, הן היו עוברות דרך מרכז הכדור. באותו זמן, מקל מאונך הניעץ בקרקע באלכסנדריה, מטיל צל שאת אורכו קל למדוד (איור 1.1).

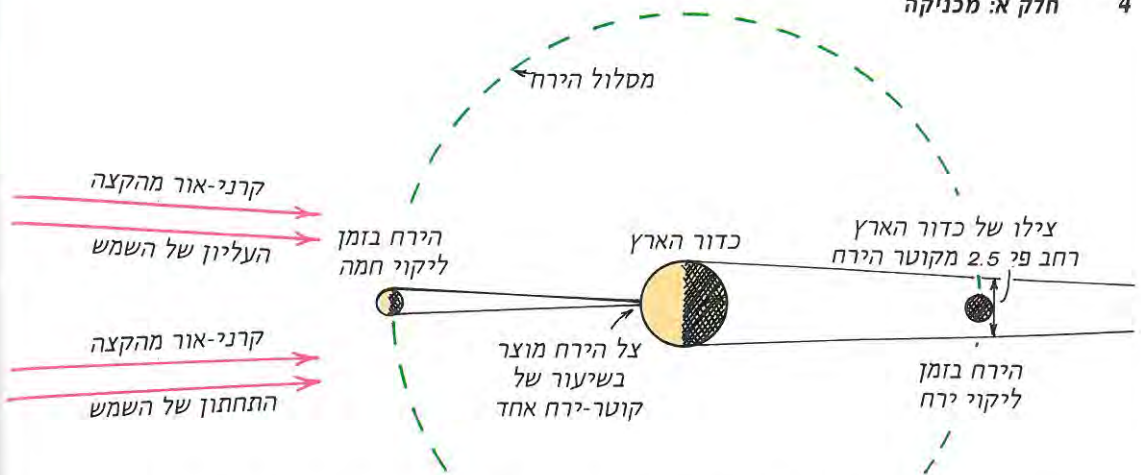
בצהרי ה-22 ביוני מדד ארטוסטנס את אורך הצל שמטיל עמוד אנכי באלכסנדריה. הוא מצא שאורכו שווה ל- $1/8$ גובה העמוד (איור 1.1). על פי הטריגונומטריה משמעות הדבר היא שהזווית בין קרני השמש לעמוד האנכי היא 7.2° . הואיל ו- 7.2° הן $7.2/360$, כלומר $1/50$ של מעגל, הסיק מכך ארטוסטנס כי המרחק בין אלכסנדריה לאסואן הוא $1/50$ של היקף כדור הארץ. במילים אחרות, היקף כדור הארץ הוא 50 פעמים המרחק שבין שתי הערים. הדרך בין שתי הערים מישורית פחות או יותר ונוסעים עברו בה לעיתים תכופות, ומודדים מצאו שאורכה 5000 סטדיות (800 ק"מ). ארטוסטנס חישב איפוא כי היקפו של כדור הארץ הוא $5000 \times 50 = 250,000$ סטדיות. תוצאה זו נמצאת בתחום של 5 אחוזים מן הערך המקובל כיום של היקף כדור הארץ.

אותה תוצאה מקבלים אם מתעלמים מן הזוויות מכל וכל ומשווים את אורך הצל שמטיל העמוד לגובה העמוד. שיקולים גיאומטריים מלמדים כי היחס אורך הצל לגובה העמוד שווה ליחס המרחק בין אלכסנדריה לאסואן לרדיוס כדור הארץ. וכך, כפי שהעמוד גובה פי 8 מאורך הצל שהוא מטיל כך רדיוס כדור הארץ צריך להיות גדול פי 8 מהמרחק שבין אלכסנדריה לאסואן.

מכיוון שהיקף המעגל שווה ל- 2π פעמים הרדיוס שלו, הרדיוס של כדור הארץ הוא פשוט ההיקף מחולק ב- 2π . ביחידות שלנו רדיוס כדור הארץ הוא 6370 קילומטרים והיקפו 40,000 ק"מ.

גודלו של הירח

משערים כי אריסטרכוס היה הראשון שהניח כי כדור הארץ סובב על צירו מדי יום, וכי זו הסיבה לתנועתם היומית של הכוכבים. הוא העלה גם את ההשערה כי כדור הארץ מקיף את השמש במסלול שנתי, וכי שאר כוכבי הלכת נוהגים



איור 1.2

בזמן ליקוי ירח אפשר להבחין כי הצל של כדור הארץ רחב פי 2.5 מקוטר הירח. בשל ממדיה הגדולים של השמש צילו של כדור הארץ הולך וצר. שיעור ההיצרות בולט בזמן ליקוי חמה, אז צילו של הירח מוצר כמעט בשיעור של קוטר הירח כולו במרחק שבין הירח לכדור הארץ. צילו של כדור הארץ צריך, איפוא, להיות מוצר בשיעור שווה על פני אותו מרחק. מכאן שקוטר כדור הארץ הוא 3.5 פעמים קוטר הירח.

באופן דומה*. הוא ערך מדידות מדויקות למדי של קוטר הירח ושל מרחקו מכדור הארץ. הוא ביצע כל זאת בערך בשנת 240 לפנה"ס, כ-1700 שנה לפני שרעיונותיו התקבלו סופית.

אריסטרכוס השווה את גודל הירח לגודל כדור הארץ כשצפה בליקוי ירח. ככל גוף אחר המצוי באור השמש, גם כדור הארץ מטיל צל. ליקוי ירח מתרחש כשהירח נכנס לתחומו של צל זה. אריסטרכוס חקר ומצא כי צילו של כדור הארץ במרחק שבו מצוי הירח רחב פעמיים וחצי מקוטר הירח. יש לזכור שצילו של כדור הארץ הולך וצר ממש כפי שצל הירח הולך וצר בזמן ליקוי חמה (באיור 1.2 הדבר מתואר בקנה מידה מוגזם). אז כדור הארץ חולף מבעד לצילו של הירח או, נכון יותר, רק לוחץ אותו - ליקוי חמה מלא מתרחש רק באזור מצומצם מאוד על פני כדור הארץ, כלומר - הירח מטיל רק כתם צל קטן יחסית על כדור הארץ. מאחר שצל הירח מוצר כמעט עד כדי נקודה על פני כדור הארץ, נוכל להסיק כי שיעור ההיצרות במרחק שבין הירח לבין כדור הארץ הוא קוטר ירח אחד. צילו של כדור הארץ במרחק כזה חייב, איפוא, להיות מוצר גם הוא בשיעור של קוטר ירח אחד. אם לוקחים זאת בחשבון, מקבלים שקוטר כדור הארץ שווה ל- $(2.5 + 1)$ פעמים קוטר הירח. כך הראה אריסטרכוס שקוטר הירח הוא $1/3.5$ מקוטר כדור הארץ. קוטר הירח המקובל כיום הוא 3640 ק"מ, ערך הנמצא בתחום של 5 אחוזים מן הערך שחישב אריסטרכוס.

השמש



מסלול הירח

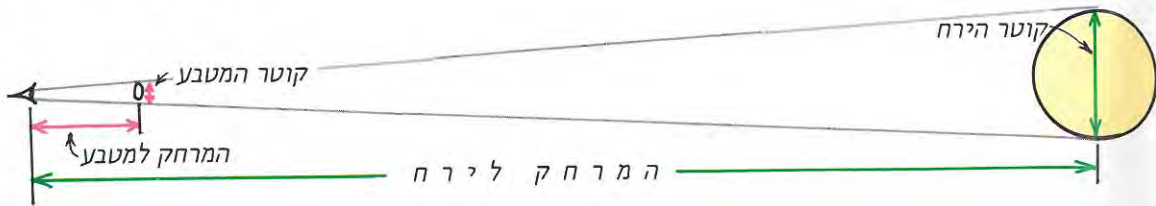


כדור הארץ (קטן מכדי להראות בקנה מידה זה)

איור 1.3

קנה המידה הנכון של ליקוי חמה וליקוי ירח. מכאן קל להבין מדוע ליקויים הם אירוע נדיר. (הם נדירים עוד יותר מפני שמסלולו של הירח מוטב בזווית של כ- 5° ביחס למישור ההקפה של כדור הארץ מסביב לשמש.)

* אריסטרכוס עצמו פקפק בהשערות, כנראה משום שמשך עונות השנה אינו שווה, עובדה שאינה תומכת ברעיון של הקפת כדור הארץ את השמש. חשוב מכך, כבר הקדמונים הבחינו בעובדה שמרחק כדור הארץ מן הירח משתנה. זו הוכחה ברורה לכך שהירח אינו מתווה מעגל מדויק במסלולו סביב הארץ. אם הירח אינו נע במסלול מעגלי מסביב לארץ, קשה היה לטעון שכדור הארץ נע במסלול מעגלי מסביב לשמש. ההסבר, היותו של המסלול אליפסי ולא מעגלי (וכמוהו מסלוליהם של שאר כוכבי הלכת), נתגלה רק מאות שנים אחר כך בידי יוהנס קפלר. בינתיים, נהגו להסביר את אי-ההתאמות בקיומן של תנועות של מעגלים על גבי מעגלים (מעגלים אפיציקליים).



$$\frac{\text{קוטר המטבע}}{\text{מרחק המטבע}} = \frac{\text{קוטר הירח}}{\text{מרחק הירח}} = \frac{1}{110}$$

המרחק אל הירח

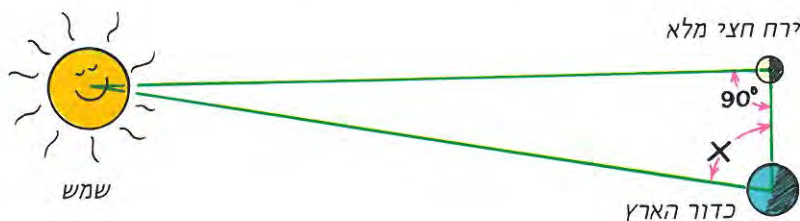
הצמידו מטבע קטנה אל החלון והתבוננו בה בעין אחת כך שהיא בדיוק תכסה את הירח המלא. הדבר יקרה כשהעין תהיה מרוחקת מן המטבע בקירוב כדי 110 קטרים של המטבע. במצב זה היחס קוטר המטבע למרחק המטבע הוא 1/110 בקירוב. משיקולים גיאומטריים קל לראות כי יחס זה שווה ליחס קוטר הירח למרחק הירח (איור 1.4). המרחק אל הירח גדול איפוא פי 110 מקוטר הירח. היוונים הקדמונים ידעו זאת. כל שנדרש כדי לחשב את המרחק שבין הארץ לירח היה קוטר הירח שמדד אריסטרכוס. היוונים הקדמונים ידעו, איפוא, הן את גודל הירח והן את מרחקו מכדור הארץ.

בעזרת מידע זה ערך אריסטרכוס מדידה של המרחק שבין השמש לכדור הארץ.

המרחק אל השמש

אילו חזרתם על ניסוי המטבע לגבי השמש (אל תנסו, הדבר מסוכן!) הייתם מקבלים תוצאה מפתיעה: היחס קוטר השמש למרחק השמש שווה גם הוא ל-1/110. ואמנם, השמש והירח נראים לעינינו, במקרה, בגודל שווה: את שניהם אנו רואים בזווית שווה (כ-0.5 מעלות). היחס שבין קוטר השמש למרחקה היה ידוע, איפוא, כבר ליוונים הקדמונים. אם ידוע היחס, די לקבוע את אחד משני הערכים - קוטר השמש או מרחקה מאיתנו, כדי לחשב גם את הערך השני. אריסטרכוס מצא דרך וביצע אומדן מקורב של הגדלים המבוקשים. וכך עשה.

הוא צפה במופע הירח כשהיה בדיוק בחצי מילואו, והשמש עדיין נראתה בשמים. במצב זה קרני השמש הנופלות על הירח יוצרות זווית ישרה עם קו הראייה אל הירח. הקווים שבין כדור הארץ והירח, בין כדור הארץ והשמש ובין הירח והשמש מהווים משולש ישר זווית (איור 1.5).



איור 1.4

תרגיל בשברים ופרופורציה: כשהמטבע בדיוק מסתירה את הירח, היחס שבין קוטר המטבע לבין המרחק מן העין למטבע, שווה ליחס שבין קוטר הירח לבין המרחק שבין לבין הירח (האיור אינו בקנה מידה נכון). ערכו של יחס זה הוא 1/110.

איור 1.5

כשהירח נראה בדיוק חצי-מלא, השמש, הירח וכדור הארץ יוצרים משולש ישר-זווית (קנה המידה אינו נאמן). היתר הוא המרחק ארץ-שמש. בעזרת טריגונומטריה פשוטה אפשר למצוא את היתר של משולש ישר זווית אם ידועה אחת הזוויות החדות במשולש ואחד הניצבים. הניצב הידוע הוא המרחק שבין כדור הארץ לירח. יש רק למדוד את הזווית x וניתן לחשב את המרחק שבין כדור הארץ לשמש.

מחוקי הטריגונומטריה נובע כי אם ידועות כל הזוויות במשולש ישר זווית, וכן אורכה של אחת מצלעותיו, ניתן לחשב את אורכה של כל צלע אחרת. אריסטארכוס ידע את המרחק שבין כדור הארץ לירח. בעת שהירח היה חצי מלא הוא ידע גם שאחת הזוויות במשולש היא 90° . כל שנותר לו לעשות הוא למדוד את הזווית השנייה, בין קו הראייה אל הירח לבין קו הראייה אל השמש. אזי, הזווית השלישית, זווית קטנה ביותר, היא 180° פחות סכום שתי הזוויות האחרות (סכום הזוויות בכל משולש הוא 180°).

מדידת הזווית בין קווי הראייה אל הירח ואל השמש קשה לביצוע בלי מד-זווית חדיש. ראשית, הן השמש והן הירח אינם נקודות, אלא עצמים התופסים שטח על פני הרקיע. אריסטארכוס נאלץ לצפות לעבר מרכזיהם (או לעבר אחד מקצותיהם) ולמדוד את הזווית בין כיוונים אלה, שהיא גדולה למדי - כמעט זווית ישרה! בקני מידה של ימינו המדידה שערך היתה גסה ביותר. הוא מדד 87° , ואילו הערך הנכון הוא 89.8° . כתוצאה מכך העריך שהשמש מרוחקת מכדור הארץ פי 20 יותר מן הירח, בעוד שבפועל מרחקה גדול פי 400 יותר. וכך, חרף העובדה שהשיטה שהמציא למדידת המרחק היתה ממש מעולה, המדידות עצמן לא היו כאלה. אולי התקשה אריסטארכוס להאמין שהשמש רחוקה כל כך, והוא טעה בכיוון הנוח לו. איננו יודעים.

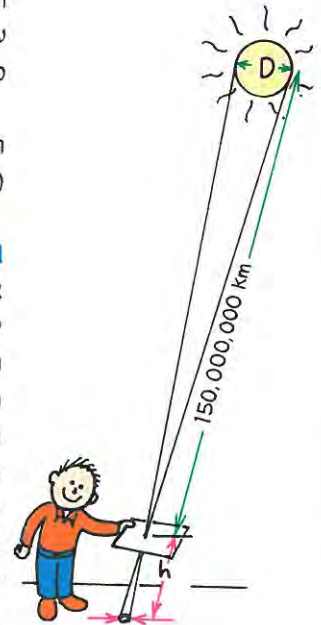
כיום ידוע שמרחק השמש מכדור הארץ הוא 150,000,000 ק"מ בממוצע. היא קרובה מעט יותר בדצמבר (147,000,000 ק"מ) ורחוקה מעט יותר ביוני (152,000,000 ק"מ).

גודלה של השמש

אם ידוע המרחק אל השמש, היחס $1/110$ שבין הקוטר למרחק מאפשר את קביעת קוטרה של השמש. דרך אחרת למדוד את היחס $1/110$, מלבד השיטה המתוארת באיור 1.6, היא למדוד את קוטרה של בבואת השמש המוטלת דרך חריר זעיר. כדאי שתנסו זאת. נקבו חור בגיליון קרטון והחזיקו אותו באור השמש. הדמות העגולה הנוצרת על המשטח שמלמטה היא למעשה בבואה של השמש. תבחינו בכך שגודל הבבואה אינו תלוי בגודל החריר אלא במרחקו מן המשטח. חריר גדול יותר ייצור בבואה בהירה יותר, לא גדולה יותר (כמובן, אם הנקב גדול מדי, לא ניתן עוד להבחין בבבואה - היא תיראה מטושטשת). במדידה זהירה של היחס בין גודל הבבואה לבין מרחקה מן החריר תתקבל התוצאה $1/110$.

1, השווה בדיוק ליחס קוטר השמש/המרחק כדור הארץ-שמש (איור 1.6). מעניין לציין כי בשעה שמתרחש ליקוי חמה חלקי, לבבואה הנוצרת באמצעות החריר צורת חרמש - בדיוק כצורת השמש המכוסה בחלקה! עובדה זו מאפשרת לנו לצפות בליקוי חמה חלקי מבלי להתבונן בשמש ממש.

האם הבחנתם בכך שזוהרורי השמש הנראים על הקרקע מבעד לצמרות העצים הם עגולים כשהשמש נמצאת גבוה בשמים ובעלי צורת אליפסה בעת שהיא נמוכה וקרובה לאופק? אלו הן בבואות-חריר של השמש, הנוצרות בעת שאור השמש עובר בחרירים שבין העלים, חרירים שהינם קטנים ביחס למרחק שבין העלים לקרקע שלמטה. כתם עגול בקוטר 10 ס"מ נוצר על ידי פתח המצוי בגובה 10×110 ס"מ מעל לקרקע. עצים גבוהים יוצרים בבואות גדולות; עצים נמוכים - בבואות קטנות. ואם הדבר מתרחש בשעת ליקוי חמה חלקי, לבבואות הנוצרות צורת חרמשים (איור 1.8).



$$\frac{d}{h} = \frac{D}{150,000,000 \text{ km}} = \frac{1}{110}$$

איור 1.6

זהרורי האור העגולים שמטיל החריר הם בבואות של השמש. היחס שבין קוטר הזהרורים למרחקם מן החריר שווה ליחס שבין קוטר השמש למרחקה מאיתנו: $1/110$. קוטר השמש הוא $1/110$ ממרחקה מכדור הארץ.



איור 1.7 (משמאל)
רנאר דייק בציור
כתמי השמש על
השמלה - אלה הן
בבואות של השמש
הנוצרות על ידי
פתחים קטנים
בעלים שלמעלה.

איור 1.8 (מימין)
זהרורי השמש דמויי
החרמש הם בבואות
של השמש בעת
ליקוי חמה חלקי.

המדע ומצבו של האדם התקדמו באורח דרמטי אחרי שנתגלה - לפני ארבע מאות שנה כמעט - כי ניתן לנתח את הטבע ולתארו באמצעות המתמטיקה. כשמבטאים את רעיונות המדע במונחים מתמטיים, הם חד-משמעיים. הם אינם לוקים בריבוי-המשמעויות שלעיתים כה קרובות גורם לבלבול בדיונים הנערכים בשפה רגילה. כשמבטאים ממצאים באופן מתמטי, קל יותר לאמת אותם או להפריכם באמצעות ניסויים. השיטות המתמטיות והניסוייות הן שהביאו להצלחתו העצומה של המדע*.

המתמטיקה - שפת המדע

הפיסיקאי האיטלקי גלילאו גליליי והפילוסוף האנגלי פראנסיס בייקון נחשבים בדרך כלל למייסדיה העיקריים של **השיטה המדעית** - שיטה שהתגלתה כיעילה ביותר לרכישת ידע חדש, לארגונו ולניסוחו. שיטה זאת, שהונהגה במאה ה-16, היא ביסודו של דבר כדלקמן:

1. זהה בעיה.
2. ערוך ניחוש מלומד - **השערה (היפותיזה)**.
3. ערוך תחזית של המסקנות המתבקשות מההשערה.
4. ערוך ניסויים לבדיקת התחזית.
5. נסח את החוק הכללי הפשוט ביותר המסכם את ההשערה, לאור תחזיותיה ותוצאות הניסויים.

* המבנה המתמטי של הפיסיקה נראה בבירור במשוואות שתיתקלו בהן בכל פרקי הספר הזה. תלמדו כי משוואות הן פשוט אמצעי מקוצר לביטוי יחסים שניתן לבטאם גם במילים. בספר זה אנו מתמקדים בהבנת מושגים - בעברית. משוואות הן ניסוחים מרוכזים המסייעים לנו בהדרכת החשיבה, ולא ננצל אותן בספר זה כמרשמים לפתרון בעיות מתמטיות. נסיון בוסר לפתור בעיות מתמטיות עשוי, לעיתים קרובות, לערפל את הפיסיקה. לכן רצוי לדחות את הנסיונות לפתור בעיות כאלה עד אחרי הבנת המושגים - אולי בקורס מתקדם יותר בפיסיקה. בספר זה ההבנה קודמת באופן ברור לחישובים.

השיטה שתיארנו נראית אמנם מוצלחת מאוד, אך לא תמיד היא היתה המפתח לתגליות חשובות ולפריצות דרך במדע. קיימים מקרים רבים של ניסוי וטעייה, ניסויים שנערכו ללא ניחוש מוקדם, וכן תגליות שהיו אקראיות לחלוטין, שתרמו לקידום המדע. הצלחתו של המדע נעוצה יותר בגישה כללית המשותפת לכלל המדענים מבשיטת פעולה מוגדרת. עיקריה של גישה זאת הם סקרנות חקרנית, עריכת ניסויים ותצפיות, וענווה לנוכח העובדות.

הגישה המדעית

מקובל לחשוב כי עובדה היא דבר מוחלט ובלתי משתנה. אך **עובדה** במדע היא בעצם הסכמה נרחבת בין צופים מנוסים על תוצאות סדרה של תצפיות בתופעה אחת. כך למשל, בעוד שבעבר היתה זו עובדה מוסכמת שכדור הארץ שטוח, כיום עובדה היא שכדור הארץ כדורי. לעומת זאת, השערה (היפותיזה) מדעית היא ניחוש מלומד שרק מניחים כי הוא עובדה עד להוכחתו באמצעות ניסויים. אם ניסוי שוב ושוב השערה מסוימת ולא הצליחו לסתור אותה היא עשויה להפוך לחוק או לעיקרון.

אם מדען מאמין שהשערה, חוק או עיקרון מסוים נכונים, אך מגלה ראיות הסותרות אותם, אזי רוח המדע מחייבת לנטוש את ההשערה, את החוק או את העיקרון, או לשנותם; זאת מבלי להתחשב ביוקרתם או בסמכותם של התומכים בהם. כך למשל, המדען והפילוסוף היווני הנערץ אריסטו (384-322 לפנה"ס) סבר כי גופים נופלים במהירות הנמצאת ביחס ישר למשקלם. השקפה שגויה זו שלטה בכיפה למעלה מ-2000 שנה עקב סמכותו המכרעת של אריסטו. אולם, ברוח המדע, ניסוי יחיד שניתן לאמתו, המוכיח את ההיפך, מכריע את הכף כנגד כל סמכות שהיא. במדע של ימינו, לטיעון המתבסס על סמכותו של מדען בעל מוניטין ויוקרה יש משקל מועט בלבד.

מדענים חייבים לקבל את תוצאות הניסויים שערכו כמות שהם גם אם היו מעדיפים תוצאות שונות. הם חייבים לשאוף להבחנה בין מה שהם רואים לבין מה שהם מעוניינים לראות, שכן, בדומה לכל אדם אחר, גם להם יש נטייה חזקה להשלות את עצמם*. בני אדם נטו תמיד לאמץ חוקים כוללניים, אמונות, רעיונות והשערות מבלי לחקור את נכונותם באופן יסודי, ולהוסיף ולהחזיק בהם עוד זמן רב אחרי שהוכח כי הם חסרי משמעות לחלוטין, שגויים, או לפחות מוטלים בספק. לעיתים קרובות הנחות מקובלות אינן עומדות למבחן הולם, רק משום שהן שגורות. תכופות יקרה כי לאחר שרעיון מסוים אומץ, מפנים תשומת לב רבה למקרים שדומה כי הם תומכים ברעיון, בעוד מקרים שנראה כי הם מפריכים אותו זוכים להצגה מעוותת או להתעלמות מהם מכל וכל.

מדענים משתמשים במילה תיאוריה באופן השונה משימושה בדיבור היומיומי. בלשון היומיום תיאוריה אינה שונה מהשערה - הצעה שלא אומתה במלואה. **תיאוריה** מדעית, לעומת זאת, היא סינתזה של מאגר גדול של ידע מצטבר הכולל היפותיזות אודות היבטים מסוימים של הטבע שנבחנו היטב ואומתו כראוי. הפיסיקאים, למשל, מדברים על התיאוריה של מבנה האטום, בכימיה שולטת התיאוריה המולקולרית ובביולוגיה מתבססים על התיאוריה של התא החי.

* חינוך עצמי נאות צריך לכלול לא רק את ההכרה שאנשים זרים עשויים לנסות לשטות בכם; חשוב אולי עוד יותר להכיר בנטייה של כל אחד מאיתנו להשלות את עצמו.

התיאוריות המדעיות אינן קבועות, אלא עוברות שינויים. התפתחותן של תיאוריות מדעיות היא תהליך הכולל שלבים של ניסוח מחודש ועידון. כך למשל, במאה השנים האחרונות עברה התיאוריה של האטום שוב ושוב שינויים ושיפורים עם הצטברותו של מידע חדש על התנהגותו של האטום. בדומה לכך, הכימאים שינו ושיפרו את השקפתם על האופן שבו נוצרים קשרים כימיים בין המולקולות, ואילו הביולוגים שיפרו ועידנו את התיאוריה של התא. השיפורים המוכנסים בתיאוריות הם הצד החזק של המדע ולא חולשתו. יש רבים שחשים כי שינוי הדעה הוא סימן של חולשה. מדענים מיומנים, לעומת זאת, צריכים להיות מומחים בשינוי דעתם. עם זאת, הם משנים את דעתם רק כשהם נתקלים בראיות ניסוייות מוצקות הסותרות את השקפתם, או כשהשערה פשוטה יותר מן הבחינה המושגית מאלצת אותם לנקוט בגישה חדשה. חשוב יותר לשפר את אמונותינו מלהגן עליהן. השערות טובות יותר מנוסחות בידי מי שמתנהג ביושר נוכח העובדות.

שלא בתחום עיסוקם, מדענים אינם ישרים יותר או מוסריים יותר מרוב בני האדם האחרים. אך במסגרת מקצועם הם עוסקים בתחום שבו הם חייבים לגלות יושר מוחלט, ללא שום משוא פנים. הכלל המרכזי במדע הוא כי כל השערה צריכה להיות נתונה לבחינה - צריכה להתקיים אפשרות, לפחות עקרונית, של הוכחה כי היא שגויה. במדע יש חשיבות רבה לקיומן של שיטות שיאפשרו להוכיח כי רעיון מסוים שגוי. זהו גורם מרכזי המבדיל בין מדע לבין לא-מדע. במחשבה ראשונה הדבר עשוי להיראות מוזר, מפני שלרוב כשאנו תוהים על משהו אנו מתאמצים במציאת דרכים לבדיקה האם הוא נכון. השערות מדעיות הן שונות בעניין זה. למעשה, אם רצונכם להבחין האם היפותיזה מסוימת היא מדעית או לא, חפשו האם קיים, עקרונית, מבחן שיכול להפריכה. אם מבחן הפרכה כזה אינו קיים, ההיפותיזה אינה מדעית.

חישבו על ההיפותיזה שהציע הביולוג צ'ארלס דארווין לפיה החיים התפתחו מצורות פשוטות לצורות חיים מורכבות יותר. ניתן היה להפריך השערה זאת אילו גילו הפליאונטולוגים כי יצורים מורכבים יותר הופיעו לפני היצורים הפרימיטיביים יותר. איינשטיין הציע השערה לפיה הכבידה גורמת לכיפוף של קרני אור. ניתן היה להוכיח כי השערה זו שגויה אילו היו מבחינים בכך שאור הכוכבים, הנראים בסמוך לשמש בשעת ליקוי חמה, אינו מוסט ממסלולו הרגיל. בפועל מתברר כי צורות החיים הפשוטות מופיעות לפני היצורים המורכבים יותר וכי אור הכוכבים מוסט ממסלולו בעת שהוא עובר סמוך לשמש, עובדות התומכות בהשערות. אם היפותיזה או טענה מדעית עומדות במבחן, רואים בכך עניין מועיל וצעד קדימה לביסוס של ידע נוסף.

חישבו, לעומת זאת, על ההשערה כי "אי שם ביקום קיימים חיים תבוניים על כוכב לכת כלשהו". זו אינה היפותיזה מדעית. בין אם היא מתקבלת על הדעת ובין אם לא, זה רק רעיון (ספקולציה). ניתן אמנם להוכיח את נכונותו על ידי גילוי מקרה אחד ויחיד של חיים תבוניים אי שם ביקום, אך אין כל אפשרות להפריך את ההשערה או להוכיח כי היא שגויה, גם אם לעולם לא יימצאו חיים כאלה. אם במשך שנים על שנים נחקור את פינותיו המרוחקות ביותר של היקום ולא נמצא שם חיים, לא תהיה בכך הוכחה שחיים כאלה אינם ממתנינים מעבר לפינה הבאה. השערה שאפשר להוכיח את נכונותה אך אי אפשר להפריכה אינה היפותיזה מדעית. טענות רבות מסוג זה מתקבלות על הדעת, ולעיתים קרובות הן שימושיות, אך הן נמצאות מחוץ לתחומן של המדע.



לאיש מאיתנו אין הזמן, הכוח והמשאבים לבדוק כל רעיון והשערה, וכך אנו סומכים לרוב על דברתו של מישהו אחר. כיצד אפשר לדעת למי להאמין? כדי להקטין ככל האפשר את הסיכון, המדענים מקבלים רק את דעתו של מי שרעיונותיו ניתנים לבדיקה - אם לא למעשה, אזי לפחות עקרונית. רעיונות שאי אפשר לבחון אותם נחשבים "לא-מדעיים". בטווח הארוך יש לכך השפעה המכתיבה יושר, שכן ממצאים המתפרסמים בקהילת המדענים כולה עוברים לרוב בדיקות נוספות. סופן של שגיאות (והונאות) להתגלות במוקדם או במאוחר; הרהורי לב חסרי יסוד נחשפים בסופו של דבר. מדען שנכשל בהונאה אינו זוכה להזדמנות שנייה בקהילת המדענים. היושר, שחשיבותו רבה כל כך להתקדמות המדע, הופך איפוא לעניין שכל מדען מעוניין בו באופן אישי. במשחק שבו כל הקלפים מתגלים בסופו של דבר, יש מעט מאוד רמאויות. בתחומי מחקר שבהם לא קל לקבוע מה נכון ומה שגוי, הלחץ לנהוג ביושר קטן באופן משמעותי.

שאלה

- אילו מן הטענות הבאות היא השערה מדעית?
 (א) האטומים הם חלקיקי החומר הקטנים ביותר שקיימים.
 (ב) המרחב כולו מלא בחומר שאינו ניתן לגילוי.
 (ג) אלברט איינשטיין הוא גדול הפיסיקאים במאה העשרים.

הרעיונות והמושגים החשובים לנו ביותר בחיי יומיום הם לעיתים קרובות בלתי מדעיים; נכונותם או אי נכונותם אינה ניתנת לקביעה ניסויית. בני אדם רבים מאמינים בכנות כי דעותיהם על הדברים הן הנכונות, וכמעט כל אחד מכיר אנשים אחרים המחזיקים בהשקפות מנוגדות לחלוטין. לכן דעותיהם של חלק מן האנשים (ואולי של כולם) בהכרח אינן נכונות. כיצד תוכלו לדעת אם לא אתם הם המחזיקים בהשקפות שגויות? ישנו מבחן פשוט. בטרם תוכלו להשתכנע במידה סבירה של ודאות כי אתם צודקים בדעתכם על עניין מסוים, עליכם להיות בטוחים שהינכם מבינים את ההסתייגויות ואת העמדות של מתנגדיכם החריפים ביותר. עליכם לברר לעצמכם האם השקפותיכם נתמכות בידיעה מספקת של הדעות המנוגדות או בידיעה מוטעה של השקפות היריב. תוכלו להבחין בכך אם תצליחו לנסח את העמדות ואת ההסתייגויות של החולקים עליכם לשביעות רצונם. גם אם תצליחו בכך, עדיין אינכם יכולים להיות בטוחים בצדקתכם, אך אם תעמדו במבחן זה, הסיכויים שהצדק עימכם בהחלט טובים יותר.

תשובה:

רק טענה (א) היא השערה מדעית, מפני שקיים מבחן של אי-נכונות. לא זו בלבד שניתן להוכיחה כשגויה, היא למעשה הוכחה בלתי נכונה. לא קיים כל מבחן שניתן להוכיח באמצעותו כי טענה (ב) שגויה ולכן היא בלתי מדעית. כזה הוא המצב לגבי כל עיקרון או מושג שלגביו אין כל הליך, אמצעי או מבחן שניתן להראות באמצעותו כי הוא שגוי (אם הוא שגוי). אחדים מן העוסקים במדע מדומה ומתחזים אחרים אינם מוכנים אפילו לשקול מבחן לאי-נכונות של טענותיהם. טענה (ג) היא קביעה שלא קיים מבחן לאי-נכונותה האפשרית. אם איינשטיין לא היה גדול המדענים, כיצד נוכל לדעת זאת? חשוב לציין כי הואיל ושמו של איינשטיין זוכה תמיד להערכה רבה, הדוגלים במדע מדומה מרבים להיתלות בו. אל לכם להתפלא, איפוא, אם השם איינשטיין, כמו גם אישים חשובים אחרים, מצוטטים לעיתים קרובות בידי שרלטנים המבקשים להעניק מידה של הערכה לעצמם ולהשקפותיהם.

שאלה

נניח כי במחלוקת בין שניים, א כנגד ב, אתם שמים לב לכך ש-א מציג נקודת ראות אחת בלבד וחוזר וטוען אותה שוב ושוב, בעוד ב מציג בבירור הן את עמדותיו והן את אלו של א. האם הסיכויים רבים יותר ש-א צודק או ב?

אף שהרעיון של הכרת נקודת הראות הנגדית נראה הגיוני לרוב האנשים החושבים, דווקא הגישה ההפוכה - התעלמות מרעיונות מנוגדים - היתה נפוצה הרבה יותר. לימדו אותנו לבטל רעיונות לא פופולאריים גם אם לא הבנו אותם בהקשרם הנכון. בחוכמה שלאחר מעשה ניתן לראות כי "אמיתות עמוקות" רבות ששימשו אבני פינה של תרבויות שלמות לא היו אלא השתקפויות רדודות של הבורות ששלטה באותה עת. רבות מן הבעיות שפגעו בחברות אלה נבעו מבורות זאת והטעויות שנבעו ממנה; דברים רבים שנחשבו כאמיתות פשוט לא היו נכונים. האם כיום השתנינו?

מדע, אמנות, דת

החיפוש אחר סדר ומשמעות בעולם שמסביבנו לובש צורות שונות: אחת מהן היא המדע. צורה אחרת היא האמנות, וזו גם אחת מהמשימות שנטלה על עצמה הדת. אף כי שורשיהן של שלוש צורות אלה נעוצים בימים קדומים, לפני אלפי שנים, המסורות של המדע הן צעירות יחסית. חשוב מכך, תחומיהם של המדע, של האמנות ושל הדת שונים זה מזה, אף כי לעיתים קיימת חפיפה מסוימת ביניהם. המדע עוסק בעיקר בגילוי תופעות טבע וברישומן, האמנויות עוסקות הרבה בתקשורת בין בני אדם, ואילו הדת פונה אל המקור, התכלית והמשמעות של כל אלה.

קיים דמיון מסוים בין ערכיהם המרכזיים של המדע והאמנות. בספרות נוכל למצוא מגוון עצום של חוויות אנוש; נוכל ללמוד על רגשות שונים זה מזה, מייסורי נפש ועד אהבה, גם אם טרם חווינו אותם בעצמנו. האמנויות אינן מעניקות לנו בהכרח ניסיון כזה, אך הן רומזות עליו. בדומה לכך, ידיעת המדע מלמדת אותנו מה ייתכן בטבע. הידע המדעי מסייע לנו לחזות את האפשרויות שהטבע טומן לנו בחובו, עוד בטרם התנסינו באפשרויות אלה. הוא מאפשר לנו לקשור דברים זה לזה, להבחין ביחסים ביניהם ובתוכם, ולהשליט מעט סדר ומשמעות בשפע העצום של אירועי-טבע המתרחשים סביבנו. המדע מרחיב את זווית הראייה שבה אנו רואים את סביבתנו הטבעית, ושאונו עצמנו חלק ממנה. ידיעה של המדעים ושל האמנויות כאחת מסוגלת ליצור שלמות המשפיעה על האופן שבו אנו רואים את העולם ועל ההחלטות שאנו מקבלים לגביו ולגבי עצמנו. אנשים משכילים באמת הם בעלי ידע הן באמנויות והן במדעים.

תשובה:

אין לדעת בביטחון. אולי ב ניחן בחריפות של עורך דין המסוגל להציג נקודות ראות שונות ועדיין לא להיות צודק. איננו יכולים להיות בטוחים לגבי הצד האחר. המבחן שהצענו כאן לנכונות או אי נכונות אינו מבחן לאחרים אלא עבורכם בלבד. הוא יכול לסייע להתפתחותכם האישית. בשעה שהינכם מנסים לפרט את הרעיונות של מתנגדיכם, עליכם להיות נכונים לגלות ראיות הסותרות את השקפותיכם ולשנות אותן, כמו מדענים המוכנים לשנות את דעתם. לעיתים קרובות זו הדרך להתפתחות אינטלקטואלית.

המדע והדת נבדלים זה מזה. המדע הוא אוצר של ידע ובו בזמן גם שיטה לבחינת סודותיו של הטבע; הדת עוסקת בערכים ובמשמעויות ובהשלכותיהם על חייו של הפרט והקהילה. בעוד עיסוקו של המדע הוא במנגנוני התהליכים בטבע, הדת רואה את תפקידה במציאת מטרה ומשמעות ליקום. המדע והדת נבדלים זה מזה כתפוזים מתפוחים ואינם סותרים זה את זה - השניים אינם נוגדים, אלא משלימים זה את זה.

כשנלמד בהמשך הספר על טבעו של האור, נטפל באור תחילה כתופעה גלית ואחר כך כאוסף של חלקיקים. גלים וחלקיקים הם לכאורה מושגים סותרים; לגבי מי שקנה ידיעה מעטה בפיסיקה, האור יכול להיות או גלי או חלקיקי, וצריך לבחור בין השניים. אך לפיסיקאי הנאור גלים וחלקיקים משלימים זה את זה, ובעזרת השניים ניתן להגיע להבנה עמוקה יותר של האור. בדומה לכך, אנשים שהינם חסרי ידע או בעלי ידע שגוי על טבעם העמוק יותר הן של המדע והן של הדת הם הסבורים לרוב שעליהם לבחור בין האמונה הדתית לבין המדע. רק בעל הבנה שטחית של המדע, של הדת או של שניהם יסבור כי ישנה סתירה בין היותו דתי בהשקפתו לבין היותו מדעי בחשיבתו.



גם המדע והטכנולוגיה שונים זה מזה. בעוד עניינו של המדע הוא בגילוי ראיות וקשרים בתופעות הנצפות בטבע, וביצירתן של תיאוריות המכניסות סדר לתופעות ומעניקות להן משמעויות, הטכנולוגיה עוסקת בכלים, בשיטות ובהליכים המאפשרים לעשות שימוש בתגליות המדע.

הבדל אחר בין המדע לטכנולוגיה הוא בהשפעתם על חייהם של בני האדם. המדע אינו כולל את הגורם האנושי. מדענים השואפים להבין את אופן פעולתו של הטבע אסור שיהיו מושפעים מהעדפותיהם ומהסתייגויותיהם האישיות, או מאלה של אנשים אחרים, או מהרעיונות השוררים אודות מה ראוי ומה לא. תגליותיו של המדען עשויות לגרום זעזוע לאנשים או להכעיסם, כפי שגרמה תורת האבולוציה של דארווין או התיאוריה לפיה כדור הארץ אינו מרכז היקום; אך האמת, גם אם אינה נעימה, סופה שתהיה בה תועלת כלשהי. ומלבד זאת, תמיד יש לנו האפשרות להימנע מלהאמין בה! אך שונים הדברים בתכלית לגבי טכנולוגיה, משעה שפיתחו אותה: אין לנו אפשרות להימנע מלהאזין לבום העל-קולי שגורמים מטוסי סילון הטסים מעל לראשינו, אין לנו אפשרות להימנע מלנשום את האוויר המזוהם, והבחירה אינה נתונה בידינו לחיות בעידן לא-גרעיני. שלא כמו המדע, התקדמות הטכנולוגיה צריכה להימדד במונחים של הגורם האנושי, תוך הכרה בכך שהטכנולוגיה משועבדת לנו ולא להיפך. מטרתה של הטכנולוגיה היא לשרת את בני האדם - אותנו ואת הדורות הבאים, לא רק את אלה השואפים להשיג תועלת מיידית לעצמם. הטכנולוגיה צריכה להיות אנושית אם רוצים שתוביל אל עולם טוב יותר.

לכולנו מוכר השימוש לרעה שנעשה בטכנולוגיה. יש רבים המאשימים את הטכנולוגיה עצמה בהשחתת הסביבה, ואף בריקבון החברתי בכללו - עד כדי כך שהיתרונות שמבטיחה הטכנולוגיה מתערפלים. הבטחתה של הטכנולוגיה

מדע וטכנולוגיה

היא איכות חיים גבוהה יותר. מן החוכמה יהיה להתמודד בשימוש לרעה שנעשה בטכנולוגיה מתוך ידיעה ולא מתוך בורות. יישום נכון של המדע והטכנולוגיה יכול להביא לעולם טוב יותר.

מדעי הטבע של ימינו הם ההתפתחות של מה שנקרא בעבר הפילוסופיה של הטבע. הפילוסופיה של הטבע עסקה בחקירתן של שאלות על הטבע שטרם נמצא להן מענה. משנמצאו התשובות הן הפכו לחלק ממה שכיום נקרא מדע. מדעי הטבע של ימינו מתחלקים לחקר העולם החי ולחקר העולם הדומם - למדעי החיים ולמדעים הפיסיקליים. מדעי החיים מתפצלים לתחומים כדוגמת הזואולוגיה, הבוטניקה והמיקרוביולוגיה. המדעים הפיסיקליים מתחלקים לתחומים כמו גיאולוגיה, אסטרונומיה, כימיה ופיסיקה.

הפיסיקה היא יותר מסתם אחד מענפי המדעים הפיסיקליים. היא המדע הבסיסי. היא עוסקת בעניינים הבסיסיים ביותר כמו תנועה, כוחות, אנרגיה, החומר, חום, קול, אור, ומבנם הפנימי של האטומים. עניינה של הכימיה הוא האופן שבו בנויים החומרים השונים שסביבנו, כיצד אטומים מתרכבים ויוצרים מולקולות, וכיצד כלל המולקולות מהוות את סוגי החומר השונים שמסביבנו. הביולוגיה מורכבת עוד יותר ועוסקת במערכות החיות. וכך, ביסודה של הביולוגיה נמצאת הכימיה, וביסודה של הכימיה נמצאת הפיסיקה. מושגיה של הפיסיקה משמשים גם במדעים מורכבים יותר אלה וזו הסיבה שהפיסיקה היא המדע הבסיסי ביותר.

ידיעת המדע מתחילה בהבנה בפיסיקה. בפרקים הבאים מוצגים ומוסברים מושגיה של הפיסיקה באופן שיאפשר לכם ליהנות מהבנתם.

פיסיקה - המדע הבסיסי

איזו מהפעילויות הבאות מביאה לידי ביטוי עילאי את השאיפות, הכישרון והתבונה האנושיים?

שאלה

(א) האמנות (ב) הספרות (ג) המוסיקה (ד) המדע

תשובה:

כולן! אך ערכו האנושי של המדע הוא אולי הפחות מזבן לרבים בחברתנו. הסיבות לכך הן מגוונות, החל מהדעה הנפוצה כי המדע בלתי מובן לאנשים ממוצעים ועד לגישה הקיצונית הגורסת שהמדע הוא כוח ההופך את החברה לבלתי אנושית. אך דומה שרוב המושגים השגויים על המדע נובעים מן הבלבול בין מדע לבין ניצולו של המדע לרעה.

יש אנשים, הרואים את המדע כקר ובעל גישה לא אנושית, המחפשים מרגוע לנפשם בתורות מיסטיות וגישות לא-מדעיות אחרות. רבים עוד יותר מאמצים גישה המשלבת מדע ומיסטיות כמו אסטרונומיה עם אסטרולוגיה או תופעות הטבע עם תופעות על-טבעיות. בניסיונם להישען על מדע ואמונות תפלות כאחד, הם עומדים ברגל אחת במאה העשרים וברגל אחת במאה השלוש-עשרה. לרוע המזל הם אינם רואים במדע הבסיסי פעילות אנושית מקסימה, שמשותפת בה מגוון רחב של בני אדם שבאמצעות הידע והכלים החדשים ביותר מצליחים להגיע רחוק יותר ולהעמיק את הבנתם אודות עצמם וסביבתם יותר משניתן היה אי-פעם בעבר. ככל שתרחיבו את הידע שלכם במדע, כן יעמיק היחס שתחושו אל הסובב אתכם. הפיסיקה נמצאת בכל דבר שהינכם רואים, שומעים, מריחים, טועמים ונוגעים!

במבט מקיף

לפני כמה מאות שנים בלבד השקיעו האמנים, האדריכלים והאומנים הכשרוניים והמיומנים ביותר את מיטב כשרונם, כושר ההמצאה שלהם ומאמציהם לבנייתן של קתדרלות ומקדשים מפוארים. לאחדות מיצירות האדריכלות הללו נדרשו מאות שנים להשלמתן, ומשמעות הדבר היא שאיש לא זכה לראות את תחילת הבנייה וגם את השלמתה. אפילו האדריכלים והבנאים שהגיעו לזקנה ושיבה לא יכלו לראות את פרי עמלם. חיים שלמים חלפו בצל הפיגומים, שבוודאי נראו לרבים ללא התחלה או סוף. מיקוד אדיר כזה של מאמצי אנוש נזקק למקור השראה בדמות חזון שהרחיק ראות אל מעבר לדאגות העולם הזה - חזון של היקום בכללו. לאנשים באותם הימים היו המבנים שהקימו מעין "חלליות של אמונה", מעוגנות היטב בקרקע אך פונות אל מרחבי היקום.

כיום מופנים מאמציהם של המדענים, המהנדסים, האמנים ובעלי המלאכה הכשרוניים ביותר לבנייתן של חלליות המקיפות את כדור הארץ ואחרות שישייטו הרחק מעבר לו. הזמן הנדרש לבנייתן של חלליות אלו קצר ביותר בהשוואה לזמן שנדרש לבניית מבני האבן והשיש של העבר. בין בוניהן של ספינות החלל יש כאלה שחיו עוד בטרם ערך צ'ארלס לינדברג את טיסת היחיד הראשונה בהיסטוריה לחציית האוקיינוס האטלנטי. מה יזכו הצעירים שבינינו לראות בפרק זמן דומה?

דומה כי אנו מצויים בראשיתו של שינוי מכריע בהתפתחותה של האנושות, שכן, כדבריה של שרית הקטנה בתצלום שבראשיתו של פרק זה, אולי אנו דומים לאפרוח העומד לבקוע מן הביצה לאחר שמיצה את משאבי הסביבה שבתוך קליפתו והוא עומד לפרוץ אל מרחב חדש לחלוטין של אפשרויות. כדור הארץ הוא עריסת קיומנו ושירת אותנו נאמנה. אך כדרך של עריסות, נוחות ככל שיהיו, הן הופכות ביום מן הימים קטנות מדי. וכאן, מתוך השראה הדומה במידה רבה לזו של בוני הקתדרלות והמקדשים, פנינו מופנות אל היקום. אנו חיים בעידן רב עניין!

תקציר מונחים

עובדה תופעה שיש לגביה הסכמה בין צופים שונים בעלי כישורים הולמים.

השערה (היפותזה) ניחוש מושכל; פירוש הגיוני של תצפית או תוצאת ניסוי שאינו מתקבל במלואו כעובדה עד לבחינתו החוזרת ונשנית בניסויים.

חוק השערה או קביעה כללית על יחסים בין גדלים מדידים בטבע שנבחנה בחינה חוזרת ונשנית ולא נסתרה. נקרא גם עיקרון.

השיטה המדעית גישה שיטתית לקניית ידע חדש, לארגונו וליישומו.

תיאוריה סינתזה של אוצר מידע רחב הכולל השערות שנבחנו היטב ואושרו אודות היבטים מסוימים של הטבע.

לקריאה נוספת

פיינמן, ר'. אתה בטח מתלוצץ מיסטר פיינמן. מחברות לספרות, 1995.

פייגלס, היינץ. הצופן הקוסמי, פסיקת הקוונטים כשפת הטבע. עם עובד, 1991.

ביולוגיה, נחשב לקל ביותר? לקשה ביותר? איזה מהם עוסק במערכות הפשוטות ביותר? המורכבות ביותר?

מטלות בית

נקבו חור בפיסת קרטון והחזיקו אותה בשמש. שימו לב לבבואת השמש הנוצרת למטה. כדי להשתכנע כי כתם האור העגול הוא אכן בבואה של השמש העגולה, נסו לחזור על הניסוי בחורים בעלי צורות שונות. גם נקב מרובע או משלוש יטיל בבואה עגולה, אם המרחק אל הבבואה גדול ביחס לגודל הנקב. אם קרני השמש מאונכות למשטח הבבואה, הבבואה תהיה עגולה; אם הקרניים יוצרות זווית עם משטח הבבואה, זו תקבל צורת עיגול מוארך - אליפסה. הניחו מטבע קטנה על הקרקע וכוונו את הבבואה כך שתחפוף בדיוק את המטבע. זו דרך נוחה למדידת קוטר הבבואה - השווה במצב זה לקוטר המטבע. אחר מידדו את המרחק בין הנקב למטבע. היחס בין גודל הבבואה למרחקה מהנקב אמור להיות $1/110$ בקירוב. ערך זה שווה ליחס בין קוטר השמש למרחקה מכדור הארץ. בעזרת הנתון שמרחק השמש מכדור הארץ הוא $150,000,000$ ק"מ, חשבו את קוטר השמש.

תרגילים

- בתשובה לשאלה: "מה מקור החומר המשמש לגדילת הצמחים?" שיער אריסטו משיקולי היגיון כי מקורו של כל החומר מקרקע הגידול. האם לדעתכם היפותיזה זו נכונה, שגויה או נכונה בחלקה? אילו ניסויים תוכלו להציע שיתמכו בדעתכם?
- הפילוסוף והמתמטיקאי החשוב ברטרנד ראסל (1872-1970) העלה על הכתב בצעירותו רעיונות, שאותם דחה בהמשך חייו. האם לדעתכם זה סימן של חולשה או של אומץ מצידו של ראסל? (האם אתם סבורים שהשקפותיו הנוכחיות על העולם ישתנו ככל שתלמדו יותר ויגדל נסיונכם, או שמא ככל שתקנו עוד ידע וניסיון הן רק יתחזקו? מה הניחוש שלכם?)
- ברטרנד ראסל כתב, "לדעתי עלינו להחזיק באמונה שהידע המדעי הוא אחד מהישגיו המפוארים של האדם. אינני אומר שידע אף פעם אינו גורם לזק. לדעתי טענות גורפות כאלה ניתנות תמיד להפרכה על ידי דוגמאות

שאלות חזרה

- מהו מדע? ענו בקיצור נמרץ.
- מה היתה התגובה האופיינית במהלך ההיסטוריה לרעיונות חדשים שנראו סותרים "אמיתות" מבוססות?
- מידות מדעיות**
- כשהשמש היתה בדיוק בזנית באסואן, מדוע לא היתה בזנית באלכסנדריה?
- כדור הארץ, ככל גוף אחר המואר על ידי השמש, מטיל צל. מדוע הצל הולך וצר?
- מדוע ערך אריסטארכוס את מדידות המרחק אל השמש בזמן מחצית מילואו של הירח?
- המתמטיקה - שפת המדע**
- איזו השפעה היתה לתגלית, שנעשתה לפני כשלוש מאות שנה, כי ביסוד הטבע קיים מבנה מתמטי?
- השיטה המדעית**
- פרטו בקצרה את השלבים המהווים את השיטה המדעית.

הגישה המדעית

- מהם ההבדלים בין עובדה מדעית, השערה, חוק ותיאוריה?
- בחיי יומיום אנשים זוכים לשבחים על האומץ שבו הם מחזיקים בדעתם ומסרבים לסטות ממנה. שינוי ההשקפה נחשב לסימן של חולשה. במה שונה המדע בעניין זה?
- בחיי יומיום ניתן להיתקל תכופות בבני אדם המציגים עניין בצורה מסולפת ושבתוך זמן קצר עמיתיהם סולחים להם על כך. במה שונה המדע בעניין זה?
- איזה מבחן תוכלו לערוך לעצמכם כדי להגדיל את הסיכוי שאתם צודקים ברעיון מסוים?

מדע, אמנות, דת

- מדוע מעודדים תלמידים המתמחים באמנויות ללמוד מדע ותלמידים המתמחים במדע ללמוד אמנות?
- מדוע מאמינים רבים כי יש לבחור בין מדע לדת?

מדע וטכנולוגיה

- מהי ההבחנה שבין מדע לטכנולוגיה?
- פיסיקה - המדע הבסיסי**
- בבית ספרכם, איזה מן המקצועות: פיסיקה, כימיה,

מתאימות. הדעה שאני מחזיק בה - ובתוקף - היא כי במקרים רבים הרבה יותר הידע מועיל וכי במקרים רבים הרבה יותר החשש מפני הידע - מזיק. "נסו למצוא דוגמאות לטענה זאת.

4. נמצא כי הצל שמטיל עמוד אנכי באלכסנדריה בצהרי היום הארוך ביותר, אורכו הוא $1/8$ מאורך העמוד. שרטטו תרשים הדומה לזה שבאיור 1.1 המראה כי יחס זה של 1 ל-8 מלמד על כך שהמרחק בין אסואן לאלכסנדריה הוא $1/8$ של רדיוס כדור הארץ.

5. כשעוברים מן הצל לאור השמש, החום שהיא מקרינה מורגש בבירור, ממש כמו החום המוקרן מתנור חשמלי בחדר קר. מפאת גודלה, השמש כה מרבה לחמם את כדור הארץ, למרות מרחקה העצום מאיתנו. מה לדעתכם גדול יותר, רדיוס השמש או המרחק בין כדור הארץ לירח? תוכלו לבדוק את תשובתכם בטבלה האחרונה שבנספח א'.