

מקופרניקוס ועד יוחנן פאולוס ה-2 מסע בחלל בעקבות התגליות האסטרונומיות

מאת: אוריאל פיינרמן

המסע לחלל של האסטרונוט הישראלי הראשון, אל"מ אילן רמון ז"ל, והתרסקותה הטראגית של מעבורת "קולומביה", גרמו לרבים להתעניין בנושא האסטרונומיה, בצורה מעמיקה יותר מאשר בעבר. זהו נושא שניתן לפתח במהלך המסע בפולין, כאשר מדריכים על דמותו של ניקולאוס קופרניקוס.¹ בשני אתרים הנמצאים בעיר קרקוב עשויים המדריכים להזכיר את המדען הפולני הנודע: באוניברסיטה הייגולנית שבה למד,² או ליד הפסל של קופרניקוס כסטודנט בקרקוב, שהוצב מאחורי האוניברסיטה, בפארק המקיף את העיר העתיקה.³

במאמר זה נבקש לתאר את המהפכה הקופרניקנית ואת השפעתה על תולדות המחשבה המדעית. כמו כן נציג את מאבקה של הכנסייה הקתולית בתורה החדשה, תוך כדי עמידה על הסיבות הפילוסופיות והתיאולוגיות שגרמו לאנשי דת לדרוח את גישת קופרניקוס.⁴ לדעתנו, אלה הם נושאים שעשויים לעניין את התלמידים המבקרים בפולין. האסטרונומיה והפילוסופיה של המדע הם מקצועות אוניברסליים, העוסקים במקומו של האדם בעולם. אמנם ברור שלא ניתן להאריך בהסברים בשטח, כפי שהארכנו במאמר, ואולם החלטנו לתאר את תולדות המהפכה הקופרניקנית בצורה ממצת, כיוון שגם בפראג, הנמצאת לעתים על מפת המסע, אפשר לשלב את הנושא בהדרכה, כפי שנראה בהמשך.

השיטה הגיאוצנטרית

עד לימיו של קופרניקוס הייתה השיטה הגיאוצנטרית, המעמידה את הארץ במרכז היקום, השלטת בעולם. השיטה הזאת התבססה על התיאוריות של תלמי, שחי במאה ה-2 לסה"נ במצרים ונחשב לאחד מגדולי המתמטיקאים, הגיאוגרפים והאסטרונומים בעולם העתיק. במצפה הכוכבים שלו באלכסנדריה, כתב תלמי ספר בנושא אסטרונומיה. מסקנותיו היו שהארץ נמצאת במרכז היקום, ושהיא מוקפת בידי גרמי השמיים, לפי הסדר הבא: הירח, השמש וכוכבי הלכת שהיו ידועים באותה תקופה: חמה, נוגה, מאדים, צדק ושבטאי. ה"דגם התלמאי" של היקום אומץ על-ידי המדענים במשך כ-1500 שנה.

עוד לפני תלמי, הציג הפילוסוף היווני אריסטו תפיסת עולם מגובשת, שקבעה אף היא את הארץ במרכז היקום. יחד עם זאת נתפסה הארץ כמקום של ליקויים לעומת גרמי השמיים המושלמים. התורה האריסטוטלית הזאת התאימה להשקפת העולם הנוצרית. צריך לזכור, שבמחשבה הנוצרית של ימי הביניים, נתפס העולם כמקום של חטא וזוהמה. בעולם העליון בלבד תזכה הנשמה לגאולה, לישועה ולחיים אמיתיים ונצחיים.

מי שהיטיב לשלב את תפיסת העולם של אריסטו בתוך הדת הנוצרית היה הפילוסוף הנודע תומס אקווינס (Thomas Aquinas), שחי במאה ה-13 באיטליה. לדעתו, היו האמונה והמדע תכונות שמקורן באל, ועל כן לא הייתה אמורה להיות שום סתירה בין האמונה הנוצרית לבין מסקנות המדע. לאחר מותו הפכו כתביו של אקווינס לפילוסופיה הדומיננטית של הכנסייה הנוצרית. תורת אריסטו הייתה מקובלת עד כדי כך, שמי שחלק על מסקנותיה נחשב ככופר ב"רוח הקודש".

כשמבקשים להבין את המהפך העצום שגרמה התורה הקופרניקנית על המחשבה הדתית, יש לזכור גם כן, שבימי הביניים היה תפקיד המדע לאשר את האמונות ואת ההנחות של הכנסייה.

האמונה קדמה למדע, בלטינית: "credo ut intellegam", ותפקיד המדע היה לשרת את התיאולוגיה: "philosophia est ancilla theologiae".

¹ ניקולאוס קופרניקוס היא הצורה הלטינית של שמו המקורי, ניקולאס קופרניק.

² בתוך האוניברסיטה נמצא אוסף חפצים בעלי ערך היסטורי. בין הממצאים המעניינים יש לציין גלובוס משנת 1510, שהיה בשימוש של קופרניקוס. ניתן להגיע למקום דרך גרם המדרגות היוצא מהחצר הפנימית של בניין האוניברסיטה.

³ מקום נוסף שפגשים בדמותו של קופרניקוס הוא ב"חדר ניקולאוס קופרניקוס" במכרות המלח שבויליצ'קה. ידוע שהמדען ביקר במקום בתקופת לימודיו בקרקוב. בשנת 1973, היא שנת ה-500 להולדת קופרניקוס, נחצב פסל ממלח במרכז החדר.

כן נזכיר את פסלו של קופרניקוס בוורשה, המוצב בחזית ארמון "סטאשיק", המשמש כיום את האקדמיה למדעים. המקום נמצא בקצה הצפוני של הרחוב היוקרתי "נובה שוויאט" (Nowy Swiat), בסמוך לאוניברסיטת ורשה. הפסל הוקם באמצע המאה ה-19, והוא מתאר את המדען הפולני כשהוא מחזיק בכלי עבודה של אסטרונום. בצומת שבו ממוקם הפסל יוצא רחוב "קופרניקה", שבו נמצאת דירת המסתור מתקופת השואה.

⁴ באחד המאמרים הבאים נעסוק בהתייחסות הוגי הדעות היהודיים לתורת קופרניקוס.

חמשת ה"מוסקטרים"

המעבר מהאסטרונומיה הקלאסית, שהייתה מבוססת על השיטה הגיאוצנטרית, לאסטרונומיה המודרנית התרחש במאות ה-16 וה-17. בביסוסן של התיאוריות החדשות לקחו חלק חמישה מדענים חשובים: ניקולאוס קופרניקוס, טיכו בראהי, יוהנס קפלר, גלילאו גליליי וסר אייזק ניוטון. חמשת המדענים באו מארצות שונות: פולין, גרמניה, דנמרק, איטליה ואנגליה, דבר המוכיח שההתקדמות המדעית אינה מוגבלת למדינה או לתרבות מסוימות אלא היא עניין אנושי אוניברסלי.

ניקולאוס קופרניקוס (1473-1543)

האיש אשר הניע את כדור הארץ

קופרניקוס נולד בעיר תורן (Torun) שעל נהר הוויסלה, באמצע הדרך בין לודז' לגדנסק.⁵ חבל ארץ זה היה זירת מלחמה בין גרמניה לפולין, ולכן ביקשו שתי המדינות את הכבוד להיות ארץ המולדת של המדען, מה עוד שאביו היה פולני ואמו גרמניה. לאחר שלמד מתימטיקה ואסטרונומיה באוניברסיטה הייגלונית שבקרוב, עבר קופרניקוס לאוניברסיטאות של איטליה, בבולוניה, בפירארה ובפדואה, שבהן למד רפואה ותיאולוגיה.

עם שובו לפולין התיישב קופרניקוס בעיר פרומבורק (Frombork), הממוקמת כיום ממזרח לגדנסק, לא הרחק מהגבול הרוסי. במקביל לעבודתו המדעית הוא השתלב בשירות הכנסייה וטיפל חנים אין כסף בחולים העניים של הסביבה.⁶

עוד בהיותו ברומא הרצה קופרניקוס על נושא האסטרונומיה לפי שיטת תלמי. יתכן שבמהלך ההרצאות חש, שעליו לבדוק את המוסכמות העתיקות בצורה קפדנית. תחילה ניגש לפתור בעיות מתמטיות בהקשר לתצפיות האסטרונומיות. מסקנתו הייתה שאין שום אפשרות מדעית לפתור את הבעיות האלה, ולכן חייבת להיות טעות בסיסית בהנחות היסוד. כך החלה המהפכה הקופרניקנית.

לאחר עשרות שנות מחקר, סיכם קופרניקוס את השקפתו המדעית בספר בשם "על הסיבובים", שפורסם בשנת מותו של המחבר. לפי האגדה, רגעים ספורים לפני מותו, הביאו לקופרניקוס את העותק הראשון של ספרו, אשר הודפס בגרמניה.

במבוא לספרו, שנכתב לאפיפיור פאול ה-3, התלבט קופרניקוס אם לא היה עדיף לגנוז את האמת האסטרונומית כפי שגילה אותה או, לפחות, לשתף רק מלומדים בודדים המסוגלים להתמודד עם דעות קדומות. ברור היה לו, שבייחוסו תנועה לכדור הארץ, יבקשו רבים לסלק אותו מהזירה המדעית. לדבריו, נכנע לבסוף לחץ חבריו, אשר האיצו בו לפרסם את מסקנותיו ברבים. טענותיו של קופרניקוס היו, שכדור הארץ מסתובב על צירו אחת ליום, ושהוא סובב את גלגל השמש אחת לשנה. במרכז היקום עומדת השמש, וסביבה נעים במעגלים כוכבי הלכת הידועים לפי הסדר הבא: חמה, נגה, ארץ, מאדים, צדק ושבתאי. לפי השיטה הזאת בלבד, ניתן היה לפתור את הבעיות המתמטיות של התצפיות האסטרונומיות.⁷

האמת היא שקופרניקוס לא היה הראשון לטעון שכדור הארץ אינו נייח.⁸ המדען הפולני גם לא התיימר לטעון, שהוא זה אשר גילה מחדש את התיאוריה ההליוצנטרית, המעמידה את השמש במרכז היקום. יחודו היה בכך, שהשכיל לבנות שיטה מתמטית שהוכיחה את נכונותה של התיאוריה.

⁵ תורן, כמו קרקוב וזמושץ', הוכרזה על-ידי יונסקו כאחת מערי המורשת התרבותית בפולין, וזאת בזכות מכלול המבנים הגדול ביותר במדינה הבנוי בסגנון גותי. בתורן נמצאים מספר אתרים הקשורים לקופרניקוס או המנציחים את דמותו. ברחוב קופרניקה מס' 17 נמצא הבית שבו נולד המדען ושרו גדל עד גיל 7. המקום משמש כיום כמוזיאון, ובו פריטים מחייו של קופרניקוס. ליד העירייה הוצב פסל של האזרח המפורסם ביותר שנולד בעיר, בשילוב כתובת בלטינית שתרגומה לעברית הוא: "ניקולאוס קופרניקוס מתורן, אשר הניע את כדור הארץ ועצר את השמש ואת השמיים". בשנת 1973 הוקמה בעיר אוניברסיטה על שמו של קופרניקוס, כשחנוכת המוסד הייתה ביום הולדתו ה-500. מובן שבין יתר הפקולטות נמצאת אחת ללימודי אסטרונומיה.

⁶ אמנם פרומבורק, כמו תורן, אינה ממוקמת על ציר המסע בפולין, ואולם כדאי לדעת שניתן לטייל בעיר בעקבות דמותו של קופרניקוס. התחנה הראשונה היא ב"מגדל קופרניקוס", הנמצא בתוך המצודה שבגבעת הקתדרלה. המגדל נבנה לפני שנת 1400, נהרס ושוקם מספר פעמים. בפעם האחרונה הוא שוקם לאחר מלחמת העולם השנייה. במגדל זה התגורר קופרניקוס, משנת 1504 ועד שנת 1543, היא שנת מותו. בקומה האחרונה של המגדל ניתן לראות תערוכה בנושא: "חדר עבודה של מדען בתקופת הרנסנס". המקום אמור לשקף את החדר שבו עבד המדען הנודע. התחנה השנייה, גם היא בגבעת הקתדרלה, נמצאת בארמון הישן של הבישופים. כיום משמש המקום כמוזיאון העירוני, ובין היתר ניתן לבקר בתערוכה קבועה על קופרניקוס ותגליותיו המדעיות. קופרניקוס נפטר בפרומבורק והוא קבור בתוך הקתדרלה של העיר.

⁷ ערים אחרות ב"דרך קופרניקוס" הן אולשטיין (Olsztyn), שבה עבד קופרניקוס כאדמיניסטרטור, ודוברה מיאסטו (Dobre Miasto), שבה שימש המדען הצעיר כמזכירו של דודו הבישוף.

⁸ כיום ידוע שתמונת היקום של קופרניקוס הייתה נכונה באופן חלקי בלבד. השמש אינה אלא אחד מכוכבים אין ספור, וליקום אין כלל מרכז כיוון שהוא אינסופי.

⁸ כבר במאה השלישית לפסה"נ הציע אריסטאקרוס מסאמוס לראות בשמש את מרכז היקום, ואולם כיוון שלא הייתה בידו שום אפשרות להוכיח את דבריו הוא גונה על-ידי חכמי זמנו ונשכח.

הבעיה המרכזית של קופרניקוס הייתה שלא יכול היה להוכיח את שיטתו. ראוי להדגיש שוב ושוב, שמה שידוע לכל בימינו היה בלתי נתפס לבני תקופתו. החושים הראו שהארץ נייחת ושהירח והשמש סובבים אותה. גם התנ"ך, שנתפס כמסמך אלוהי, תמך בגישה הגיאוצנטרית. וכי לא אמר יהושע "שמש בגבעון דום וירח בעמק אילון" (יהושע י ב)!! וכי לא קבע מחבר ספר קהלת ש"דור הלך ודור בא והארץ לעולם עמדת" (קהלת א ד)!!

יותר מכל, התקשו הקופרניקנים לתרץ את שאלות מתנגדיהם. לדוגמה, אם אכן כדור הארץ הסתובב על צירו במהירות של 30 ק"מ לשנייה, כפי שטען קופרניקוס, אדם שהיה זורק אבן באוויר היה אמור למוצאה הרחק ממנו. והנה על אף שהאבן ניתקה את עצמה מהארץ היא חוזרת ונופלת באותו מקום! וכן, במהירות כזאת, שהיא כ-100,000 ק"מ לשעה,⁹ היו אמורות לנשוב רוחות בלתי נסבלות והעננים היו צריכים לחלוף מעל ראשינו שלא באיטיות המאפיינת אותם!

מה היו ההשפעות הפילוסופיות של התיאוריה ההליוצנטרית? תחום אחד שהושפע מהתורה הקופרניקנית היה האסטרונומיה. באותה תקופה הייתה האסטרונומיה חשובה מאוד בחייהם של בני האדם. כשכדור הארץ היה במרכז היקום, פירוש הדבר היה שהאדם הוא במרכז ההווה, וכל גרמי השמיים סובבים את הארץ ואת האדם. במילים אחרות, הסיבוב מסביב לאדם היה סיבוב למען האדם. התיאוריה ההליוצנטרית הביאה להתערעור האסטרונומיה, שינוי מנטאלי קשה לבני התקופה.

התחום השני שעבר זעזוע היה, כמובן, התחום הדתי. תחילה לא חששה הכנסייה מהשפעה שלילית שעלולה להיווצר בעקבות פרסום "על הסיבובים".¹⁰ הספר, שהיה כתוב בלטינית ושהכיל נוסחאות מתמטיות מסובכות, לא היה נגיש לכל אחד, כפי שהמחבר כתב בעצמו ש"המתמטיקה נועדה למתמטיקאים".

הדמות המשמעותית הראשונה, אשר תרגמה את תורת קופרניקוס להשקפה פילוסופית שאימה על הכנסייה, היה הנזיר הדומיניקני ג'ורדאנו ברונו (Giordano Bruno, 1600-1548). לדעתו, אין הבדל מהותי בין החומר של כדור הארץ לזה של השמיים וגרמי השמיים. אותם חוקים תקפים בכל היקום, ולכן אין הבדל בין שמים וארץ. האל המניע את הכל אינו ממוקם מחוץ לעולם אלא הוא העולם עצמו המפעיל והמניע אותו מבפנים. התפיסה הדתית הזו, המכונה "פנתאיזם" והרואה אחדות בין אלוהים לטבע, לא יכלה, כמובן, להיות מקובלת על הכנסייה. לפתע כבר לא היו מקומות מוגדרים לגן העדן ולגיהנום, הראשון מעל גרמי השמיים והשני בתוככי האדמה. יוצא שיותר מהתיאוריה עצמה חששה הכנסייה מהמשמעות שלה. הסכנה הייתה כי תיווצר השקפה חדשה על האדם, ברוח תקופת הרנסנס.

ברונו, ששהה באנגליה בעת פרסום ספריו, נאסר עם חזרתו לאיטליה, ולאחר שבע שנים בבית-סוהר הועלה על המוקד. אולם השפעת ספריו המשיכה להיות ניכרת ומשמעותית גם לאחר מותו.

לפני שנמשיך בתיאור המהפכה הקופרניקנית, ברצוני להעיר הערה מתודית להדרכה. באחד השטורות הפולניים הישנים, בערך של 1,000 זלוטי, מופיע דיוקנו של קופרניקוס. בגב השטר ניתן לראות ציור של כדורי הלכת המסתובבים סביב השמש. נראה שהשטר יכול לשמש לכלי-עזר מעניין בהדרכה.

טיכו בראהי (Tycho Brahe, 1601-1546) האיש ששינה את הרקיע

האסטרונום הדני טיכו בראהי, שנולד שלוש שנים לאחר מותו של קופרניקוס, הוא האיש אשר בתצפיותיו תרם את התרומה המדעית הראשונה לביסוסה של התורה ההליוצנטרית. בראהי היה תוכן, שהרבה בתצפיות אסטרונומיות, שהן המדויקות ביותר שנעשו בעין בלתי-מזוינת. בשנת 1572 גילה האסטרונום כוכב חדש ברקיע. כדי להבין את חשיבותה ההיסטורית של הופעת הכוכב, יש לזכור שלפי הגישה האריסטוטלית המסורתית לא היה אמור להיות שום שינוי ברקיע שמעל הירח. בראהי עקב אחרי הכוכב במשך כשנה וארבעה חודשים עד שנעלם מן העין. זאת הייתה הוכחה חד-משמעית לחולשתה של השיטה המקובלת.

למרות זאת לא יכול היה המדען לקבל את תורתו של קופרניקוס בגלל השקפותיו הנוצריות. מסיבה זו פרסם שיטת ביניים, שטענה כי הארץ במרכז היקום, סביבה סובבים השמש והירח, וסביב השמש – חמשת כוכבי הלכת. עבור המדענים, שתמכו בשיטת קופרניקוס אך לא יכלו להודיע על כך בפומבי מפחד האינקוויזיציה, הייתה שיטת הביניים פתרון מצוי.

בעקבות מריבות אישיות נאלץ בראהי לעזוב את מולדתו והוא הגיע לפראג, לפי הזמנתו של הקיסר רודולף השני. כאן פגש ביוהנס קפלר, וביקשו להמשיך בעבודתו המדעית. כעבור שלוש שנים נפטר התוכן הדני ונקבר בכנסיית הטין שליד כיכר העיר העתיקה בפראג.

⁹ לשם ההשוואה, מהירותה של מעבורת "קולומביה" הייתה 8 ק"מ בשנייה, שהיא 29,000 ק"מ לשעה.

¹⁰ רק בשנת 1616 הוכנס ספרו של קופרניקוס ל"רשימה השחורה" של הספרים האסורים.

יוהנס קפלר (Johannes Kepler, 1630-1571) המדען שקבע את חוקי תנועת הכוכבים

קפלר, שנולד בגרמניה, התלהב מתורת קופרניקוס מהרגע ששמע עליה. לאחר שפוטר מהאוניברסיטה שבה לימד באוסטריה, בגלל אמונתו הפרוטסטנטית, נקרא על-ידי בראהי לשמש לו כעוזר במצפה הכוכבים שבפראג. עם מותו של בראהי, ביקש קפלר למצוא נוסחאות מתמטיות למערכת היקום. הוא עקב אחרי תנועת כוכב מאדים, וניסה למצוא שני מסלולים מעגליים – אחד עבור מאדים והשני עבור כדור הארץ שממנו ניתן לראות את מאדים. הפתרון הטוב ביותר הראה סטייה של 8 מעלות מהדרך המחושבת. צריך לציין, שהדעה המקובלת, עוד מתקופת אריסטו, הייתה שכוכבי הלכת חייבים לנוע במעגלים, כיוון שהעיגול הוא הצורה המושלמת. בעקבות הסטייה של מאדים הבין קפלר, שצורת התנועה של כוכבי הלכת אינה העיגול אלא האליפסה, כשהשמש נמצאת באחד ממוקדיה. זהו הראשון מבין שלושת "חוקי קפלר" המגדירים את תנועת הכוכבים. אמנם התקשה קפלר להסביר מדוע נעים הכוכבים בצורה אליפטית דווקא. שאלה זו תעסיק את התכנים במשך תקופה ארוכה, עד שניוטון יציג בגאוניותו הרבה את מסקנותיו. אגב, תגלית מעניינת נוספת של קפלר היא, שתופעת הגיאאות והשפל מושפעת מהירח. עם הזמן עזב קפלר את פראג, נדד בארצות שונות, ומת בעוני רב בשלויה.

גלילאו גליליי (Galileo Galilei, 1642-1564) האיש שנשפט בידי האינקוויזיציה

אין ספק שהתצפיות של בראהי והניתוחים של קפלר ראויים להערכה רבה, במיוחד אם לוקחים בחשבון שלא עמד לרשותם מכשיר הטלסקופ, שהמצאתו מתוארכת לראשית המאה ה-17. גלילאו גליליי, שנולד בפדוזה שבאיטליה, היה אחד הראשונים להבין את חשיבות הטלסקופ לשימוש האסטרונומי. עוד בהיותו פרופסור באוניברסיטת פדובה, כתב גלילאו לקפלר על תמיכתו בתיאוריה ההליוצנטרית. בשנת 1609 הצליח גלילאו לבנות משקפת ראשונה לשימוש אסטרונומי ומאז פיתח מכשירים משוכללים יותר ויותר. את הטלסקופ הראשון הציב על מגדל סן-מרקו בוונציה.

תחילה התבונן גלילאו בירח. התצפית הראתה, שהמבנה הטופוגרפי של הירח איננו חלק, כפי שחשבו עד אז, אלא מורכב מגיאיות ורכסי הרים. גם התצפית לעבר השמש וגילוי כתמי השמש הוכיחו שאין פני גרמי השמיים חלקים. מסקנותיו עוררו, כמצופה, את זעמם של חסידי התיאוריה האריסטוטלית, שייחסה אסטטיקה מושלמת ובלתי משתנית לשמיים.

גם ההתבוננות בשביל החלב חוללה מהפך תפיסתי. התברר, שאין מדובר בשביל קבוע ברקיע שנוצר כתוצאה של תופעה תת-ירחית, אלא "באוסף עשיר של כוכבים לאין-מספר: הוא אינו אלא המון כוכבים לאין-מספר, מכונסים בקבוצות צפופות. לכל מקום שאתה מכוון את משקפתך, אתה רואה ים של כוכבים, שרבים מהם גדולים ובהירים להפליא, ומספר הקטנים שביניהם אינו ניתן להימנות"¹¹. משמעותה של התצפית הזאת הייתה, שהיקום גדול יותר ממה שחשבו.

ההוכחה החד-משמעית בצדקת התורה הקופרניקנית התגבשה לאחר התצפיות לעבר כוכב צדק. לילה אחד ראה גלילאו שלושה כוכבים זעירים סביב צדק, שניים ממזרח ואחד ממערב. בלילה אחר הבחין בשלושת הכוכבים נמצאים בצד מערב. ובלילה נוסף גילה שיש כוכב רביעי הסובב את צדק. אלה היו ירחים מסביב לכוכב הלכת. הייתה בכך הוכחה, שגופים שמימיים יכולים להסתובב סביב כוכב שאיננו הארץ.

מובן שחסידי התורה הפתולמאית לא יכלו לקבל בשלוות נפש את תגליותיו של גלילאו. הם סירבו לצפות בכוכבים דרך הטלסקופ החדש שלו. על כך כתב גלילאו לקפלר את המכתב הבא: "קפלר היקר שלי, כמה חפץ הייתי שתתייחד אתי בצחוק לבבי פעם אחת. כאן בפדואה נמצא הפרופסור הראשי לפילוסופיה, שחזרתי וביקשתי אותו והפצרתו בו להסתכל בירח ובכוכבים דרך משקפת, והוא סירב בעקשנות. מדוע אינך כאן? כמה היינו צוחקים על פתיות מזהירה זו, כיצד הפרופסור לפילוסופיה של פיזה עמל לפני הדוכס הגדול בנימוקים הגיוניים, כאילו יכלו השבעות מסתוריות לנדות את כוכבי הלכת החדשים מן השמיים"¹². וכשאחד ממתנגדיו, שסירב אף הוא להתבונן בשמיים דרך המשקפת שלו, נפטר, איחל לו גלילאו בציניות "שלא יחמיץ לראות את מלוויו של צדק בדרכו לשמיים!"

אחת הטענות "המדעיות" של מומחי התקופה הייתה, שבעין בלתי-מזוינת אין האדם מסוגל לראות את ירחי צדק. לכן ירחים אלה אינם משפיעים, מבחינה אסטרונומית, על האדם, ואם כך – הם אינם קיימים!

¹¹ משה ימר, **תולדות המדע**, הוצאת "קריית-ספר", ירושלים תשי"ג, עמ' 143.
¹² שם.

טענה נוספת הייתה קשורה למספר המקודש 7. כל היקום היה מבוסס על המספר הזה, החל משבעת החורים בפני בעלי-החיים (שתי עיניים, שתי אוזניים, שתי נחיריים ופה אחד) דרך שבעת המתכות וכלה בשבעת גרמי השמיים (ירח, שמש, חמה, נוגה, מאדים, צדק ושבתאי). לא יתכן, אם כן, שיימצא כוכב נוסף ברקיע.

עניין שבעת הכוכבים היה קשור גם כן בחלוקת השבוע לשבעה ימים. בניגוד ליהודים, שכינו את ימות השבוע במספרים ורק ליום השביעי נתנו שם מיוחד, העניקו עמי אירופה שמות מיוחדים לכל אחד משבעת הימים. באנגלית, Sunday נקרא על שם השמש (sun), Monday - על שם הירח (moon). בצרפתית, ששימרה את המסורת הרומית, רוב ימות השבוע נקראו על שם כוכבי הלכת: ירח - Lundi - lune (יום ב'), מאדים - Mardi - Mars (יום ג'), נוגה - Mercredi - Mercure (יום ד'), יופיטר - Jeudi - Jupiter (יום ה'), ונוס - Vendredi - Venus (יום ו'), סטורנוס - Samedi - Saturne (היא שבתאי!). לדעת המתנגדים לגלילאו, הוספת כוכבי לכת עלולה הייתה לפרק את המבנה ההרמוני של השבוע ולגרום לזעזועים תרבותיים.

את מסקנותיו המדעיות סיכם גלילאו בספר בשם **"דיאלוג על שתי השיטות הגדולות של העולם, התלמאית והקופרניקאית"**, שיצא לאור בשנת 1632. בספרו שהיה כתוב בצורת דו-שיח, ניפץ המחבר את האמונות ואת ההנחות של חסידי השיטה הגיאוצנטרית. לבסוף הביא גלילאו את ההוכחה הטובה ביותר לשיטתו: תופעת הגאות והשפל. הרי במיכל מים שאינו זז עומדים המים במקומם, ולכן תופעת המחזוריות במפלס הים היא הוכחה לתנועתו של כדור הארץ. אמנם התברר בתקופות מאוחרות יותר, שהגאות והשפל אינן תוצאה של תנועת כדור הארץ אלא של כוח המשיכה של הירח. כאמור, קפלה היה הראשון לכרוך בין התנודות בים לבין הירח, אם כי בזמנו לא יכול היה להסביר את התופעה מבחינה מדעית. יוצא שגלילאו הצליח בספרו להוכיח את צדקת שיטתו בהוכחה שלא הייתה נכונה מדעית!

בניגוד לספרו של קופרניקוס, שנכתב בלטינית היא שפת האינטלקטואלים באותה תקופה, כתב גלילאו את ספרו באיטלקית, ובכך פרסם ברבים את השיטה ההליוצנטרית. הכנסייה לא יכלה עוד להבליג ולהתעלם מההשפעות השליליות מבחינתה. הביקורת כנגד גלילאו גברה. נזיר דומיניקני היטיב לנסח את ההתנגדות, כשציטט פסוק מ"**מעשי השליחים**" בברית החדשה: **"ואמרו: אנשי הגליל, למה אתם עומדים ומסתכלים על השמים?"** אמנם פסוק זה לא עסק באסטרונומים, אך הנזיר עשה בו שימוש תעמולתי.

באווירה זו החליטה הכנסייה להעמיד את המדען למשפט האינקוויזיציה ברומא. כעבור שנה – בדיוק תשעים שנה לאחר פרסום ספרו של קופרניקוס, התייצב גלילאו בן ה-70 בפני האפיפיור אורבאן ה-8 לאחד העימותים הגדולים ביותר בתולדות המדע.¹³ מפחד האינקוויזיציה חזר בו גלילאו ממסקנותיו המדעיות ו"הודה": **"איני תומך ולא תמכתי בדעתו של קופרניקוס, מאז נצטוויתי לזנוח אותה"**. לפי האגדה, לאחר שהתכחש לאמונה שכדור הארץ אינו מרכז היקום, מלמל לעצמו המדען את המילים הבאות: **"E pur su Muove"**, כלומר, **"ואף-על-פי כן, נוע תנוע!"**

גלילאו הושם במעצר-בית, וספרו נכנס ל-Index librorum prohibitorum, כלומר, לרשימת הספרים האסורים לקריאה. בשנת 1642 נפטר גלילאו, אך מי שהיה לאחד מגדולי המדענים בכל הזמנים לא הובא לקבורה ראווה בעקבות לחץ הכנסייה. גופתו הוסתרה במרתף של מגדל הפעמונים בכנסיית סנטה קרוציה בפירנצה. רק כעבור מאה שנה הועברו עצמותיו לתוך הכנסייה, והוצבה אנדרטה מעל קברו.

מדעים הוא, שרק בשנת 1822 (!) זנחה הכנסייה הקתולית את הדוקטרינה הגיאוצנטרית, והוציאה את ספר ה"דיאלוג" מרשימת הספרים האסורים. ובשנת 1992 (!), לאחר שהאפיפיור יוחנן פאולוס ה-2 הורה על בדיקה מחודשת של ראיות המשפט, טוהר שמו של גלילאו והוכרה תרומתו הייחודית להתפתחות המדע.

במישור הזיקה שבין הדת הנוצרית לעולם המדע, אפשר לראות בכך סגירת מעגל, שתחילתו באסטרונום הפולני קופרניקוס וסופו באפיפיור הפולני יוחנן פאולוס השני. האם יכול היה קופרניקוס להאמין, שיום יבוא ודווקא אפיפיור ממוצא פולני אשר למד כמוהו באוניברסיטה הייגלונית שבקרקוב, יכבד את זכרו של מדען איטלקי, שביסס את השיטה ההליוצנטרית המנוגדת לתפיסת הכנסייה...

איזק ניוטון (Isaac Newton, 1642-1727) הגאון שהשלים את המהפכה הקופרניקנית

להשלמת התמונה יש להזכיר את האיש אשר ביסס את התיאוריה הקופרניקנית מבחינה מדעית, הלא הוא המדען הנודע הבריטי סר איזק ניוטון. אמנם קידם גלילאו את השיטה ההליוצנטרית בזכות תצפיותיו האסטרונומיות, אך עדיין לא ידעו הקופרניקנים לתרץ את הטיעונים הנגדיים של תומכי השיטה הגיאוצנטרית. לדוגמה, איך ניתן היה להסביר שאבן הנזרקה באוויר כלפי מעלה

¹³ ראה: האל הלמן, **עימותים גדולים במדע**, הד ארצי הוצאה לאור ספרית מעריב, אור יהודה 2001, עמ' 17-32.

נופלת באותו מקום, מבלי להתחשב בסיבובו של כדור הארץ. האיש, אשר הצליח להעמיד פיזיקה חדשה שתתאים לקוסמולוגיה ההליוצנטרית, הוא המתמטיקאי והפיזיקאי ניוטון. בשנת 1687, כמעט מאה וחמישים שנה לאחר פרסום הספר של קופרניקוס, הציג ניוטון את תורתו הפיזיקלית על חוקי התנועה והכבידה. בפרסום ספרו הנודע, ה"פרינציפיה", או בשמו המלא "עקרונות מתמטיים של הפילוסופיה של הטבע", השלים ניוטון את המהפכה הקופרניקנית. מכאן ואילך תשלוט בעולם המדע ההשקפה הניוטונית, עד כדי כך שהיו אומרים שכשהאל ברא את העולם הוא קודם כל נמלך בניוטון! רק בתחילת המאה ה-20 תתרחש מהפכה מדעית - פילוסופית חדשה, כשהמדען היהודי יליד גרמניה, אלברט איינשטיין, יציג את תורת היחסות שלו.

לראות את כדור הארץ מסתובב

ולסיום, כאן המקום לשאול מתי נתגלתה סוף סוף ההוכחה המוחשית לסיבובו של כדור הארץ על צירו. בעצם, זאת הייתה הדרישה האולטימטיבית שאנשי הכנסייה דרשו מגלילאו, שלא היה מסוגל להוכיח בצורה חד-משמעית את תנועת כדור הארץ. האמת היא, שגלילאו לא היה רחוק מהתגלית הזו. כשהיה בן 19, צפה בנברשת שהייתה תלויה בחבל בתוך קתדרלה ושהתנוודה ברוח. מסקנתו הייתה, שהזמן הדרוש לתנודה אחת תלוי באורכו של החבל. כעבור עשרות שנים יושמה תגלית זו על-ידי מדען הולנדי בתעשיית השעונים. לו שיחק לו מזלו יכול היה גלילאו לשים לב לעובדה חשובה בתנועת המטוטלת. מתברר, שאם נעה המטוטלת בחופשיות, היא אינה מתנוודדת הלך ושוב בלבד, אלא היא משנה את כיוון התנודה ככל שחולפות השעות. ההסבר לתופעה הוא, שכדור הארץ מסתובב מתחת למטוטלת! התגלית הזאת נתגלתה במאה ה-19 על-ידי חוקר צרפתי בשם ליאון פוקו (Leon Foucault). פוקו קשר כדור במשקל 28 ק"ג לחבל, שנתלה לכיפת כנסיית הפנתיאון (Pantheon) בפריס, בגובה 67 מ'. בכל תנודת המטוטלת, שארכה הלך וחזור 16 שניות, "זז" הכדור מילימטרים אחדים הצידה. למעשה, לא שינתה המטוטלת כלל את מהלכה, אלא האולם כולו הסתובב במקצת. המטוטלת של פוקו עדיין פועלת בפנתיאון, ולפני שנים זכיתי לבקר במקום ולצפות במחזה הנפלא. סביב המטוטלת הוצב על הרצפה שעון עגול גדול ודמיוני. בתחילת הביקור נעה המטוטלת ליד המספר 10. אחרי כשעה, סימנה המטוטלת את המספר 11. החוויה המדהימה הזאת הזכירה לי הן את דבריו של פוקו, אשר הזמין את הציבור הרחב "לראות את כדור הארץ מסתובב", והן את משפטו האגדי של גלילאו "ואף-על-פי כן – נוע תנוע!"