

דברי האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים
כרך חמישי • חוברת 10

קופרניקוס באספקלריה של דורנו

חמש מאות שנה להולדתו

מאת

שמואל סמבורסקי



ירושלים תשל"ה

כל הזכויות שמורות לאקדמיה הלאומית הישראלית למדעים, תשל"ה

נדפס בדפוס אחוה בע"מ, ירושלים

קופרניקוס באספקלריה של דורנו

חמש מאות שנה להולדתו

מאת

שמואל סמבורסקי

תורתו ההליוצנטרית של קופרניקוס, אשר בימים אלה מלאו חמש מאות שנה להולדתו, היתה נקודת-מפנה רבת-משמעות בהיסטוריה של האידיאות. ספרו 'על הסיבובים' (*De Revolutionibus*), שהופיע שבועות מעטים לפני מותו בשנת 1543, הוא מן הספרים הקלאסיים של מדעי-הטבע, ולמעשה הוא הספר הקלאסי הראשון של העת החדשה. לפי עדותו שלו השקיע בו קופרניקוס מאמץ מחשבתי של למעלה משלושים שנה. בספר זה ביטל את הנחתו היסודית של תלמי (פטלמאיוס), הלוא היא ההשערה הגיאוצנטרית, שמשלה בכיפה אלף וארבע מאות שנה, והביא במקומה את ההנחה – הסותרת לכאורה את עדות חושינו – בדבר תנועתה הכפולה של הארץ, שמרכיביה הם הסיבוב היומי של הארץ סביב צירה והקפתה השנתית סביב השמש.

לכל ספר גורל משלו, ברם גורל מיוחד היה ל'על הסיבובים': בלי ליטול רשות מן המחבר וללא ידיעתו הוסיף אנדריאס אוסיאנדר, המביא לבית-הדפוס בנירנברג, הקדמה בעילום-שם, שבה מוצגת ההשערה ההליוצנטרית כתחבולה מאתימאטית גרידא, הבאה להקל על האסטרונומים בחישוביהם, ולא כתורה מדעית הטוענת לגילוי עובדה קוסמולוגית. כוונתו של אוסיאנדר בוודאי טובה היתה, כפי שעולה מן המשפטים הראשונים של דברי-ההקדמה שלו: 'אין אני מטיל ספק, כי רבים מן המלומדים ירגזו מאוד לשמע ההשערות החדשות שבספר, המתאר את הארץ כמתנועעת, ואילו את השמש כנחה במרכז התבל. וכדי לקדם רפואה למכה מטעים אוסיאנדר, אגב ההערה שאולי מוטב היה שלא להפריע את התורות הישנות והבדוקות, כי אין כלל צורך, שההשערה החדשה תהא אמיתית או מתקבלת על הדעת, ובלבד שתביא לידי חשבונות המתאימים לתצפיות.¹

טיעונו הפוזיטיביסטי המובהק של אוסיאנדר משולב אפוא בנקיטת עמדה לטובת תורת תלמי המקובלת מדורות, ואינו בא אלא כדי להחליש את הרושם הקשה שתורת קופרניקוס עלולה לעשות במחנה המומחים ואנשי-הדת גם יחד. נניח להם לפוזיטיביסטים של כל הזמנים – ויש כאלה גם בדורנו – הסבורים, כי בדברי אוסיאנדר יש

Nicolaus Copernicus, *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, eds. F. & C. Zeller, 1 Munich 1949, p. 403

שמואל סמבורסקי

יותר מלימוד סניגוריה על קופרניקוס, וכי לאמיתו של דבר נאמרו ברוח מדעית צרופה, השוללת כל דיבורים שהם על גילוי אמת מדעית ועל הממשות הפיסיקאלית, דיבורים שהם בעיניהם דיבורים בעלמא. הרי אליבא דידן, תפקידו של המדע אינו אלא מיתודולוגי, ובמחקר יש להסתפק במציאת שיטות המביאות לידי שיפור ממצאי התצפיות.

אולם חובה עלינו לשאול: האם קופרניקוס עצמו לא ראה בהשערותו אלא קונסטרוקציה מאתימאטית? קונסטרוקציה שהיא מוצלחת מזו של תלמי רק — כפי שמשמע מדבריו של אוסיאנדר — משום שבעזרתה אפשר להגיע ביתר קלות למסקנות מדויקות יותר בדבר מקומם ותנועתם של הכוכבים, ותו לא? האמנם טרח למעלה ממחצית הייו אך ורק למען שיפורה של שיטה והכשרתה להגדלת הדיוק המאתימאטי? או שמא היתה מטרתו העיקרית גילוייה של תמונת-עולם מדעית שהאמין כי היא התואמת את הממשות הפיסיקאלית ולא התמונה הגיאוצנטרית של תלמי. יש רמזים די והותר בהקדמתו של קופרניקוס עצמו לספרו, שאמנם זו היתה גישתו למחקרו — שלא להזכיר את העובדה, שאינו משתמש בספרו אף פעם במלה 'השערה' לגבי טיעונו. ועוד סימוכין לכך אנו מוצאים בהיסוסיו לפרסם את ספרו, למרות הפצרותיהם החוזרות ונשנות של מיודעיו. היסוסים אלה נבעו מן החשש, שפרסום האמת המדעית שגילה, ההופכת את הדעה המקובלת על פיה, יביא לידי התנגשות עם ההשקפה הדתית השלטת. ומי שאינו רואה עדויות אלה כמכריעות, ודאי ישתכנע מן הכתוב במכתב ששלח הבישוף טידמן ג'וז'ה מקולם, אחד מתומכיו של קופרניקוס, ליואכים רֵטִיקוס, פרופסור למאתימאטיקה בוויטנברג ותלמידו של קופרניקוס. במכתב זה, שנכתב ביולי 1543, חודשיים אחרי מותו של האסטרונום הגדול, מגיב הבישוף בחריפות על ההקדמה האנונימית שבספר שזה עתה הופיע בדפוס. וזה לשון דבריו:

מי לא יתמלא זעם על נבלה גדולה זו שנעשתה ושאינה אלא מעילה באמון? וייתכן, שאין לייחסה למדפיס, התלוי באחרים, אלא לקנאתו של אדם שחרה אפו על שנשטו את ההשקפה הקודמת ושהשתמש לרעה בתמימותו של המדפיס כדי לחתור תחת אמינותו של ספר זה במקרה שיצאו לו מוניטין. ואמנם כתבתי לסינאט של נירנברג את כל הדרוש, לפי דעתי, להחזרת האמון במחבר, למען לא ינוקה מי ששוחד על-ידי רמאותו של איש זר...²

מעשהו של אוסיאנדר והיסוסיו של קופרניקוס לפרסם את הספר מובנים לנו היום לאור תולדות הסכסוך עם הכנסייה כפי שהתפתח לאחר-מכן. אולם גם ההיסטוריה של העת העתיקה מלמדת על רגישותם של בני-האדם בעניין דחיקת הארץ ממרכז העולם ועמה דחיקת רגלי האדם מעמדה מרכזית זו. קופרניקוס, אף-על-פי שהיה בקי בספרות הקלאסית ונהג לצטט מתוכה, לא הזכיר את אריסטארכוס איש סאמוס, אשר הקדים אותו באלף ושמונה מאות שנה בהעלאת ההשערה ההליוצנטרית. מספרו של פלוטארכוס 'על פרצופו של הירח', שנכתב בשנת 100 לסה"נ, בערך, אנו למדים, כי השערה זו כבר עוררה את זעמו של בן-דורו של אריסטארכוס, הסטואיקן קליאֶנטֶס, שהאשים אותו בכפירה בעיקר. בספר זה משוחזרים ידידים מספר על טיבם הפיסיקאלי של הירח והארץ, ואחד מבני השיחה מעיר דרך-אגב:

קופרניקוס באספקלריה של דורנו

ובלבד, ידידי, שלא תתבע אותנו לדין על חילול הקודש, כפי שהיה סבור קליאנטס שחייבים להעמיד לדין את אריסטארכוס איש סאמוס על חילול הקודש, מפני שעקר ממקומו את בית-המוקד של העולם, בנסותו להציל את התופעות על-ידי ההשערה שהשמים עומדים במקומם והארץ מתנועעת במעגל האקליפטיקה ויחד עם זה היא סובבת על צירה-שלה.³

בית-המוקד, האח בה בוערת האש, היה מרכזו של הבית היווני, ולפי דברי תיאופראסטוס, הארץ היא בית-המוקד המשותף לאלים ולבני האדם. בדברים שלעיל נשמעת אפוא נימה דתית, המעידה על תודעת היווני בעניין זה; אולם ברור, שמקורה האמיתי של ההתנגדות לעקירת הארץ ממקומה המרכזי היתה הסלידה מדחיקת האדם ממעמדו המיוחד והנכבד בעולם. ואכן, ההלם שהיכתה תפיסה זו את האדם בעת העתיקה דומה בעוצמתו לזעזועים שגרמו השערתו של קופרניקוס במאה ה־16 והתיאוריה של דארווין במאה ה־19. הטענה הדתית לא היתה אלא האיצטלה בה עטה האדם – ביודעים או בלא-יודעים – את רגשי עלבוננו על שנפגמה דמותו כגולת-הכותרת של הבריאה. ברם, מצבו של קופרניקוס היה חמור מזה של אריסטארכוס, מפני קיומו של ממסד-הכנסייה האדיר והאפיטרופוסות שלה על אמונתו ומעשיו של האדם הסר למשמעתה. על כך רמז קופרניקוס בדבריה-המבוא שלו כאשר הקדים התקפות אפשריות על השערתו: 'ואם אולי יקומו דוברי להג רב אשר למרות היותם בורים בכל ענפי המאטימאטיקה ישימו עצמם כשופטים ויעזו להטיל דופי בחיבור זה ולהתקיפו בגלל איזה מקום שהוא בכתב-הקודש אשר סילפו אותו לטובת דעתם, הרי אין אני שועה אליהם וכו' למשפטם הפוחז.⁴

הביטוי 'המהפכה הקופרניקאית', המתייחס להשערה ההליוצנטרית של קופרניקוס, מקורו בדבריו של עמנואל קאנט במבוא למהדורה השנייה של 'ביקורת התבונה הטהורה', שבהם הוא משווה את החידוש שחידש בתורת הפילוסופיה הביקורתית שלו אל רעיונו של קופרניקוס:

נדמה לי, שדוגמאות המאטימאטיקה ומדעיה-הטבע, שהביאו למה שהביאו על-ידי מהפכה שבוצעה בבת-אחת, הן ראויות לתשומת-לב שתביא לידי הרהורים על עיקרי המפנה המחשבתי שהיה להם לתועלת כה מרובה... עד כה הניחו, שצריך שכל הכרתנו תישמע לאובייקטים... ואולי כדאי לנסות אם לא נתקדם יותר בבעיות המיטאפיסיקה בהניחנו שהאובייקטים יישמעו להכרתנו... ודבר זה דומה לרעיונו הראשון של קופרניקוס שלאחר שנתגלעו קשיים בכיאר תנועות הכוכבים על יסוד ההנחה שצבא השמים מסתובב סביב הצופה, ניסה שמא יצליח יותר בהניחו לצופה שיסתובב, ולכוכבים שיישארנו במנוחה.⁵

ואננם בדבריו אלה קלע קאנט לנקודה המרכזית של תורת קופרניקוס, היינו, למושג יחסיות התנועה והמסקנות המתבקשות ממנה לגבי ההבדל שבין תנועות אמיתיות ובין תנועות מדומות בכיפת השמים. קופרניקוס עצמו מבליט נקודה זו בשעה שהוא טוען, כי סיבובה היומי של כיפת השמים וכל הכוכבים אשר בה אינו אלא מדומה, וכי מקורו בסיבובה היומי של הארץ על צירה:

Plutarchus, *De Facie in Orbe Lunae*, 923 A 3

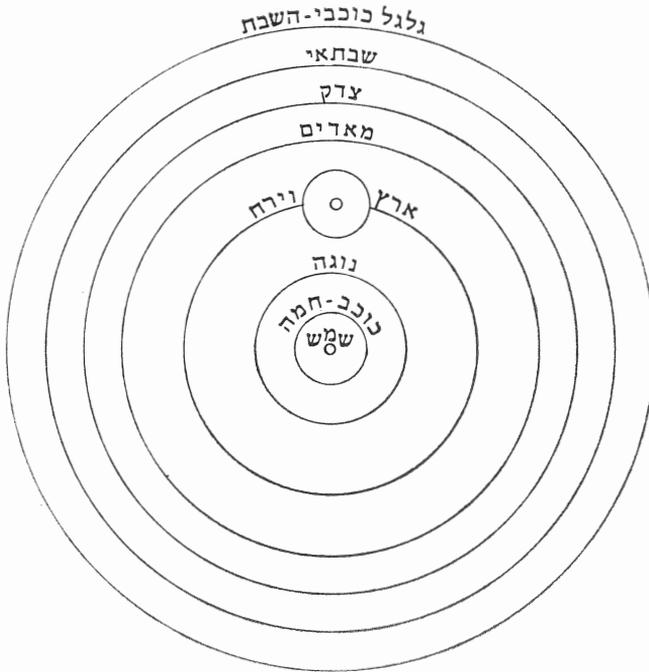
קופרניקוס (לעיל, הערה 1), הקדמה.

I. Kant, *Kritik der reinen Vernunft*², 1787, pp. 11–12 5

שמואל סמבורסקי

כל שינוי מקום שמבחינים בו, מקורו בתנועתו של העצם הנצפה או בתנועת הצופה או בתנועות שניהם גם יחד במקרה שהן שונות זו מזו... ואם יש לארץ איזו תנועה שהיא, הרי זו תשתקף בכל אשר מחוצה לה ובמגמה מנוגדת, כאילו הכול יעבור כביכול על-פני הארץ, וזהו אופייה של תנועת הסיבוב היומי. שהרי דומה, שזו דבקה בכל העולם כולו וכל אשר מחוצה לארץ, והארץ לבדה הינה יוצאת מכלל זה...⁶

אולם, כאמור, הנחת סיבובה היומי של הארץ על צירה אינה אלא חלק מן ההשערה הקופרניקאית. חלקה האחר, שהיה העילה העיקרית לפגיעה ברגשות המאמינים, הוא הטעון שלא הארץ שרויה במרכז מערכת כוכבי-הלכת, ולא השמש היא אחד מכוכבי-הלכת המקיפים את הארץ במשך שנה במסלול שהוא הרביעי במניין מסלולי הכוכבים האלה, היינו, אחרי הירח, כוכב-חמה ונוגה; אלא יש להחליף את מקומן של הארץ והשמש תוך כדי הצמדת הירח למסלולה של הארץ; במלים אחרות: הטעון הוא, שהשמש היא אשר נחה במרכז מערכת כוכבי-הלכת, ואילו הארץ היא אחד מכוכבי-הלכת – השלישי במניין, אחרי כוכב-חמה ונוגה – והירח מקיף אותה כלויין (ראה ציור 1).



ציור 1: המערכת ההליוצנטרית לפי קופרניקוס

6 קופרניקוס (לעיל, הערה 1), I, 5, עמ' 14.

קופרניקוס באספקלריה של דורנו

מן הראוי לציין פרט אחד שהוא מכריע לגבי הערכת משמעותה האפיסטמולוגית של השערת קופרניקוס, והוא, שהשערתו מתבססת על אותו מכלול של נתונים אמפיריים שהיה ידוע גם לתלמי. כל העובדות שהסתמך עליהן תלמי לשם ביסוס השערתו הגיאוצנטרית שימשו גם יסוד לקופרניקוס כאשר בא לבאר את השערתו ההליוצנטרית אלף וארבע מאות שנה לאחר-מכן. שניהם ידעו, כי כיפת השמים וכל אשר בה סובבת אותנו ביממה ממזרח למערב; שניהם ידעו, כי הירח והשמש מקיפים את הארץ – הירח במשך חודש והשמש במשך שנה – ממערב למזרח בהילוכם העצמי, כי מהירות הקפתם אינה קבועה, וכי מסלוליהם סוטים במקצת מצורתו של מעגל. שניהם ידעו, כי שניים מכוכבי-הלכת, הלוא הם כוכבי-חמה ונוגה, מקיפים אף הם את הארץ, אולם הקפותיהם צמודות להקפתה של השמש, כלומר, הם נעים ונדים סביבה הלוך וחזור תוך כדי הילוכה העצמי, באופן שפעם הם מופיעים ככוכבי-בוקר ופעם ככוכבי-ערב. שניהם ידעו, כי שלושת כוכבי-הלכת האחרים, מאדים, צדק ושבתאי, אף הם אינם נעים במעגלים מושלמים ובמהירות קבועה, אלא יתירה מזו – מפסיקים לעתים מזומנות את הילוכם ממערב למזרח, פונים אחורה ושוב חוזרים קדימה, תנועה היוצרת לולאות במסלוליהם. שניהם ידעו, כי הכהירות המשתנית של אור כוכבי-הלכת, בפרט אורם של הקרובים לארץ, כגון נוגה ומאדים, מעידה, שמרחקיהם מן הארץ אינם קבועים. ולבסוף, שניהם הכירו בקירוב טוב למדי את מחזורי הקפותיהם של כל כוכבי-הלכת סביב המרכז.

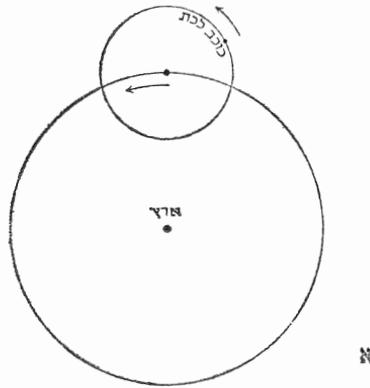
תנועתם הקצובה של כל הכוכבים במעגלים שהארץ היא מרכזם היתה בעיני האסטרונומים היוונים בבחינת אקסיומה. נאמנים לסיסמה שיש להציל את התופעות עלה בידם להסביר את כל הסטיות מן התנועה האידיאלית הזאת באמצעות השערת האפיציקלים, שתלמי מציג אותה בפרוטרוט בספרו. לפי השערה זו בניסוחה הפשוט ביותר, תנועתו של כוכב-הלכת היא צירוף של שתי תנועות קצובות במעגל: תנועתו של הכוכב במעגל-משנה, אפיציקלוס, ותנועת מרכזו של זה, הנע בעת ובעונה אחת במעגל ראשי סביב הארץ. בתנאים מסוימים עשויה תנועה מורכבת זו להיראות למסתכל השוהה על פני כדור הארץ כתנועה במסילה שהיא צירופו של מעגל ולולאות המשובצות בו (ראה ציור 2). ואספקט נוסף יש להשערת האפיציקלים, שיש בה צד שווה להשערת האקסוצנטריות, כלומר, להשערה שהארץ אינה שרויה במרכז המעגל הראשי. כל אחת מן ההשערות או שתיהן גם יחד יש בהן כדי לבאר את אשר עולה מן התצפיות: שמרחקיהם של כוכבי-הלכת מן הארץ והמהירויות של כוכבי-הלכת אינם קבועים אלא משתנים.⁷

תורתו הגיאוצנטרית של תלמי היתה אפוא מסוגלת לתת הסבר מניח את הדעת לכל העובדות הידועות, וזאת באמצעות הנהגתם של עקרון האפיציקלים ועקרון המעגלים האקסוצנטריים. עקרונות אלה אף הצטיינו בגמישות שבה ניתנו ליישום מורחב בשעת הצורך. ואמנם שיפור התצפיות האסטרונומיות אילץ את האסטרונומים להגדיל מדי-פעם את מספר האפיציקלים ולשנות את נקודת האקסוצנטריות במעגלים הראשיים. אולם סרבולה של שיטה זו כשלעצמו לא היה בו טעם מכריע לבטל אותה ולקבל במקומה את ההשערה ההליוצנטרית, שכן בזו האחרונה היתה הפשטה בלתי-נחצה

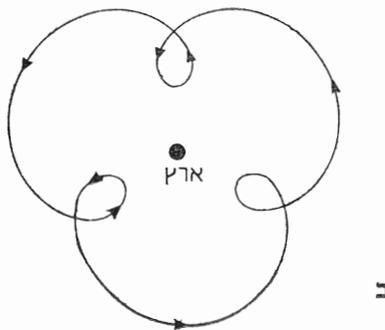
7 השערת האפיציקלים בתפקיד זה שימשה גם את קופרניקוס, שכן עדיין הניח, שמסלוליהם של כוכבי-הלכת סביב השמש הם מעגלים.

שמואל סמבורסקי

שפגעה בהשקפות ובהנחות מקובלות מקדמת-דנה. די היה לקיים את ההשערה הגיאוצנטרית ולהתאים אותה לנתונים שדיוקם שופר בעזרת התצפיות החדשות שנעשו במרוצת הזמנים.



א



ב

ציור 2: תנועת כוכב-לכת באפיציקלוס ותנועת מרכז האפיציקלוס (א); הלולאות שבמסלולי כוכבי-הלכת הנראות לצופה על פני הארץ (ב)

אם כן, מה ראה קופרניקוס, אחרי הרהורים ושיקולים של עשרות שנים, להחליף את מקומה המרכזי של הארץ בזה של השמש, ולהניח, כי הארץ אינה אלא כוכב-לכת המקיף את השמש אחת לשנה? קשה מאוד, ואולי בלתי-אפשרי, להתחקות אחר מקור האינטואיציה המדעית של חוקר גדול, כשם שאין שחר להתחקות אחרי מקור ההשראה שהיתה העילה ליצירתו של אמן גדול. ברם, אם נצניע לכת ונסתפק בחיפוש אחרי נקודות-אחיזה חשובות שסייעו לגיבושה של השערת קופרניקוס, נוכל לומר, שאחת מהן היה גילוי סיבתן האמיתית של אותן הלולאות שבמסלוליהם של כוכבי-הלכת החיצוניים מאדים, צדק ושבתאי, שזמני הקפותיהם הם שנתיים, שתיים-עשרה שנה ושלושים שנה, בהתאמה. לפי קופרניקוס, לולאות אלה משקפות לאמיתו של דבר את מסלולה השנתי של הארץ סביב השמש. נתברר לקופרניקוס בלי צל של ספק, שאם אמנם נעה הארץ במעגל בדומה לשאר כוכבי-הלכת, הרי תנועותיהם של אלה כפי

קופרניקוס באספקלריה של דורנו

שהן נראות לנו הן צירוף של הילוכם העצמי סביב השמש, כלומר, של תנועתם האמיתית, והשתקפות הילוכה של הארץ סביב השמש, כלומר, של תנועה מדומה, הנוצרת מכוח הסעת הצופה הארצי במעגל השנתי של הארץ. ואלה דבריו המפורשים של קופרניקוס בנדון זה:

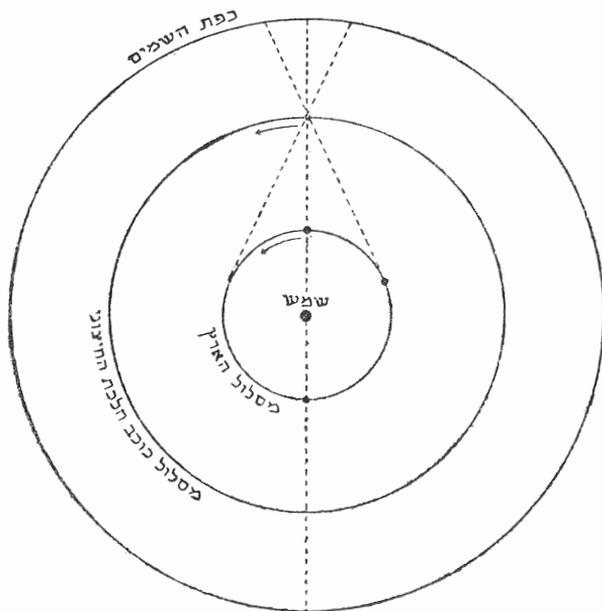
אם נביח, שהשמש שרויה במנוחה ונחליף את ההקפה השנתית של השמש בזו של הארץ, ... יוברר שגם חניותיהם של כוכבי-הלכת ונסיגותיהם והתקדמויותיהם לא ייראו כתנועתם שלהם, אלא כתנועתה של הארץ, המעניקה את התנועות האלה לתופעותיהם.⁸

סימוכין בעלי משקל להנחה זו מצא קופרניקוס בעובדה, שהן גודלן הן מספרן של הלולאות במסלוליהם של מאדים, צדק ושבתאי תלויים במרחקו של הכוכב מן הארץ ובזמן הקפתו סביב המרכז: גודל הלולאות יקטן עם המרחק, בעוד מספרן יגדל. שיקולים שונים במקצת קיימים לגבי תנועותיהם של כוכבי-הלכת הפנימיים נוגה וכוכב-חמה, הקרובים יותר לשמש מאשר הארץ, וזמני הקפותיהם סביב השמש קצרים משנה (מחזור הקפתו של כוכב-חמה הוא 88 יום, ושל נוגה – 225 ימים). תנועותיהם הלוך וחזור צמודות הן לשמש, אולם האמפליטודה של התנדודות של נוגה גדולה מזו של התנדודות של כוכב-חמה, משום שמסלולו של נוגה גדול יותר ממסלולו של כוכב-חמה. קופרניקוס מסכם את כל שיקוליו בזו הלשון:

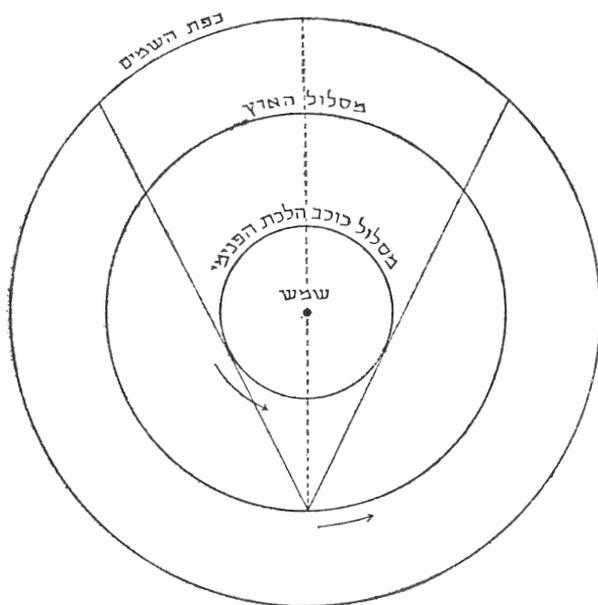
אנו מוצאים אפוא בסידור זה סימטריה נפלאה של העולם וזיקה ודאית של הרמוניה בין התנועה ובין גודל המסלול, כפי שאי-אפשר למצוא בשום אופן אחר. שהרי מי שאינו מתרשל בהתבוננות יכול להכיר כאן, על-שום-מה נראות התקדמותו ונסיגתו של צדק גדולות משל שבתאי וקטנות משל מאדים, ושוב, גדולות בנוגה מאשר בכוכב-חמה, וכן מדוע נראות חזרות כאלה במספר רב יותר בשבתאי מאשר בצדק, ובמספר מועט יותר במאדים ובנוגה מאשר בכוכב-חמה.⁹ (ראה ציורים 3–4).

וכאן עלינו לנתח את משמעותה האפיסטמיולוגית של השערת קופרניקוס ולהשוותה להשערה הגיאוצנטרית. אין-ספק, שכל השערה בתחום המדעים האמפיריים צריך שתהא תואמת את סכום העובדות הידועות, והחוקר המשער את ההשערה צריך שיסתמך על עובדות אלה, שהן הנתונות על-פי-רוב את הדחיפה החיצונית להיווצרותה של השערה חדשה. אולם העילה הפנימית לצמיחת השערה חדשה, הטעם העיקרי לכך, הוא, שהתמונה החדשה שהחוקר בא לצייר נראית לו תואמת יותר את העולם החיצון הממשי. מקורה הוא באינטואיציה של המדען, שאינה שונה במהותה מזו של האמן – בכוח הדמיון שלו. וכיד ההשראה הטובה עליו, הוא מגולל לפנינו את תמונתו שאינה דבקה בעדות החושים, אלא חורגת ממנה ואפילו נוגדת לה. טיבה של תפיסתו, אופייה של ההשערה, אינו מיתודולוגי, מעשה תחבולה. אין היא גורסת שיטה מועילה או פשוטה יותר, אלא מתבססת על אמונה בממשות החורגת מתחומי-התחושה שלנו, על האמונה המיטאפיסית, שאמנם העולם החיצון כך הוא ולא אחרת.

8 קופרניקוס (לעיל, הערה 1), I, 9, עמ' 21.
9 שם, I, 10, עמ' 26.



ציור 3 : מסלול כוכב-לכת חיצוני



ציור 4 : מסלול כוכב-לכת פנימי

קופרניקוס באספקלריה של דורנו

וכשם שהפלטתה של השערה חדשה אל מעבר לתחומי החושים, מעבר לעובדות הידועות, אל תוך מרחבים של תפיסה מקיפה יותר, היא המעצבת את דמותה בראשיתה, כך כרוך המשך קיומה בפוריותה. היינו, ביכולתה לגזור בדרך דידוקטיבית מסקנות חדשות מעל ומעבר לנתונים הידועים – מהן שמחוללה השערה אולי לא העלה על דעתו בשעה שהגה אותה – מסקנות שיש בהן כדי לסייע לממשיכי המחקר בעתיד והן בבחינת תרומות של ממש להתקדמות המדע. אולם עוד רעיון חשוב מעניק לאפיסטימולוגיה זו את מלוא משמעותה, רעיון שראשון הדוגלים בו בלשון ברורה היה קארל פופר בספרו *Die Logik der Forschung*, שנתחבר לפני ארבעים שנה, בקירוב. הואיל ושום חוק מדעי אינו ניתן לאימות ניסויי מלא בדרך האינדוקציה, הרי לפי השקפה זו ההבדל העיקרי שבין המדעים האמפיריים ובין תורות לא-מדעיות הוא, שכל השערה מדעית ניתנת באופן פוטנציאלי להפרכה. תורה מדעית צריך שתהא ניתנת לבדיקה באמצעות ניסויים שיטתיים הבאים להפריך אותה. כל עוד ניסויים או תצפיות אלה מעלים חרס בידם, כל עוד התורה עומדת בהצלחה בפני כל מבחן כזה ואין היא מופרכת, וכל עוד לא צצה תורה אחרת המתקבלת יותר על הדעת, הרי היא נשארת בתוקפה והיא שרירה וקיימת. נמצא אפוא, שמבין שתי השערות בדבר מהותה של הממשות הפיסיקאלית, המסתמכות על אותם נתוני התחושה, תהא האחת עדיפה על חברתה על-פי שני קריטריונים: הראשון הוא שתהא עשירה בתוכנה, בהרבותה לספק לנו מידע על אותה ממשות, ושפוריותה תהא ניכרת בכך שהיא עשויה להביא לידי גילוי עובדות חדשות בעתיד; והקריטריון השני הוא, שלפי תוכנה והמבנה הפנימי שלה יהיו מרובים בה הפרטים העשויים לשמש נקודות-אחיזה להפרכתה.

ברור אפוא, שבהתאם לשני קריטריונים אלה השערותו של קופרניקוס עדיפה על זו של תלמי. אם מעיפים מבט על הדיאגראמה של המערכת ההליוצנטרית, רואים מיד, שבעזרת חשבון גיאומטרי אלמנטארי אפשר למצוא על-פיה את מרחקיהם היחסיים של כוכבי-הלכת מן השמש. פרטי הישוביו של קופרניקוס נכללים בספר החמישי של חיבורו הגדול, ומהם מתברר, בין היתר, ההבדל שבחישובים אלה לגבי שני כוכבי-הלכת הפנימיים שמחזוריהם קטנים מזה של הארץ, מכאן, ולגבי שלושת כוכבי-הלכת החיצוניים, שמחזוריהם גדולים משלה, מכאן. קביעת הנתונים האסטרונומיים החשובים האלה בדרך כה פשוטה, כפי שעשה זאת קופרניקוס בפעם הראשונה בהיסטוריה, נתנה להשערה ההליוצנטרית יתרון עצום על פני ההשערה הגיאוצנטרית. ההיסטוריה לימדה אותנו, שבלעדי נתונים אלה לא יכול היה קפלר לגלות את החוק המקשר בנוסחה מאתימאטית את מרחקיהם של כוכבי-הלכת מן השמש עם מחזורי הקפותיהם סביבה, וחוק זה היה לאחת החוליות המהותיות בחישוביו של ניוטון שהביאו לניסוח חוק-הכובד הכללי שלו.

גם על-פי הקריטריון השני עדיפה השערותו של קופרניקוס. אותו קשר חד-משמעי שבין מספרן וגודלן של הלולאות במסילתו של כוכבי-הלכת חיצוני, מזה, ובין מחזור הקפתו ומרחקו ממרכז המערכת, מזה, הופך את תורת קופרניקוס קלה יותר להפרכה מזו של תלמי, שאין בה כל זכר לקשר פנימי כלשהו בין הנתונים האלה. שהרי תורת האפיציקלים קבעה את גודלו של כל אפיציקלוס ביחס למעגל הראשי לפי מידת הנתונים האמפיריים של כל כוכב וכוכב לחוד, ולא יכלה לגלות כל קשר בין נתוניו של כוכב אחד לאלה של משנהו. וכאן כדאי לצטט את דברי קופרניקוס מתוך הקדמתו לספרו, שבהם הוא מתייחס לדוגלים בהשערת תלמי:

שמואל סמבורסקי

אף-על-פי שדומה שפתרו הרבה תנועות הנראות לעין במספרים מתאימים... לא היה בידם למצוא ולחשב על-פיהם את עיקרו של הדבר, כלומר את צורת העולם והסימטריה הוודאית של חלקיו; אלא אירע להם כמי שאסף בשקידה ידיים, רגליים, ראש ושאר איברים ממקומות רבים, אבל לא ציירם לפי שיעורו של גוף אחד, כך שצירופם של אלו יהיה קרוב יותר למפלצת מאשר לאדם. ונמצא, שבמהלך ההוכחה שקוראים לה מיתודה השמיטו דבר הכרחי או הוסיפו דבר זר, שכלל איננו שייך לעניין.¹⁰

לעומת זאת מדגיש קופרניקוס בהמשך הדברים את הקשר הפנימי ההכרחי שבין חלקי תורת-שלו:

ולאחר שהנחתי את התנועות שאני חולק לארץ להלן בגוף החיבור, חזרתי ומצאתי תוך הסתכלות מרובה וממושכת שאם מייחסים את תנועותיהם של שאר כוכבי-הלכת להקפת הארץ ומחשבים לפי זה את הקפתו של כל כוכב וכוכב, לא זו בלבד שתופעותיהם עצמן יוצאות מזה, אלא שכל סדרי הכוכבים ומסלוליהם כולם, הם ושיעוריהם והשמים עצמם, מתקשרים עד כדי כך, שאי-אפשר לשנות שום דבר באף אחד מן החלקים בלא שתהא ערבוביה בשאר החלקים ובכל העולם כולו.¹¹

מובן מאליו, שכל דבריו אלה של קופרניקוס, שבהם השווה את השערתו להשערה הקודמת, אינם אלא חזות ציורית ועמומה של השיקולים האפיסטמיולוגיים שנתגבשו בצורתם הברורה רק במאה שלנו. בלשון הטרמינולוגיה המודרנית משתמע מן המשפטים שציטטתי מדבריו של קופרניקוס הטעון: 'השערתנו נוחה להפרכה בגלל הקשר הפנימי ההכרחי שבין חלקיה, מה שאין כן בהשערה הגיאוצנטרית', אולם אין-ספק, שקופרניקוס העיר מה שהעיר משום שהיה בטוח מכול וכול באמיתותה של ההשערה ההליוצנטרית שלו ובאי-נכונותה של התורה הגיאוצנטרית. מן הראוי לחזור ולהדגיש, שהאמונה באותה ישות מיטאפיסית הקרויה הממשות הפיסיקאלית היתה בכל הזמנים הדחף העיקרי להעלאתה של השערה מדעית ולמאבק על זכות קיומה. מקרהו של קופרניקוס היה הראשון מסוג זה, ולמעשה הוא פתח את עידן המדע בעת החדשה.

בראשית הרצאתי ציינתי, שלספרו של קופרניקוס היה גורל מיוחד במינו מחמת שצורפה אליו הקדמה בלא ידיעתו של המחבר. ואפשר להזכיר טעם נוסף שגרם כי גורלו של הספר יהיה שונה מזה של רוב החיבורים המדעיים הקלאסיים. הללו נתקלו עם פרסומם בהתנגדות חריפה, פחות או יותר, ורק במרוצת הזמן נתקבלו על דעת הנוגעים בדבר, ואילו 'על הסיבובים' זכה, שעוד לפני צאתו בדפוס עודדו את המחבר מדענים ואישים בעלי משקל בכמורה הקאתולית להוציאו לאור והוסיפו לתמוך בתורתו גם לאחר פרסומה, כלומר, לאחר מותו של המחבר. כדאי לצטט שורות מקספר ממכתב שהריץ ניקולאס שונברג, הקארדינאל של קאפואה, אל קופרניקוס שבע שנים לפני הופעת הספר:

כשסופר לי מפי רבים לפני שנים אחדות על הישגיך, נתחזקו בי רגשי הוקרתו כלפיך ובירכתני את בני דורנו שגדולה תפארתך ביניהם. כי נודע לי, שלא זו

10 שם, עמ' 5.

11 שם, עמ' 6.

קופרניקוס באספקלריה של דורנו

בלבד שנהירות לך תורותיהם של המאמימאטיקאים מן העת העתיקה, אלא שהנחת יסוד להשקפת-עולם חדשה. תורתך היא, שהארץ נעה והשמש תופסת את מקומו המרכזי של העולם, ושהרקיע השמימי הוא תמיד נח ויציב... ומשום כך, אישי המלומד, אבקשך בכל לשון של בקשה שתודיע על תגליתך זאת לציבור המלומדים...¹²

במחצית השנייה של המאה הט"ז קמו באנגליה, בגרמניה ובאיטליה מדענים ופילוסופים בעלי שם שתמכו בעמדתו של קופרניקוס. השערותו של האסטרונום הדני טיכו בראהה – שהיתה בכחינת פשרה בין זו של תלמי לזו של קופרניקוס, שכן שמה את הארץ במרכז המערכת והניחה שהשמש מקיפה אותה תוך כדי הקפתם של שאר כוכבי-הלכת סביב השמש – לא עוררה הדים של ממש בחוגי המדענים, ועד מהרה נשכחה.

אולם פני הדברים השתנו החל מסוף המאה הט"ז, ובראש ובראשונה בעטייה של התנגדות הכנסייה הקתולית לתורה החדשה. התנגדות זו היה לה משקל רב יותר מהתנגדותם של ראשי הדת הפרוטסטנטית הצעירה לוותר ומילאנכתון, שמיהרו לתקוף את ההשקפה ההליוצנטרית. התנגדות הכנסייה התעוררה בתגובה למוניטין שהוציא ג'ורדאנו ברוננו לתורת קופרניקוס במסע הרצאותיו באירופה. בתעמולתו הנלהבת לתורת קופרניקוס שילב ברוננו דעות בעלות תוכן אפיקורסי מובהק, וביניהן הנחת התפשטותו האינסופית של העולם, עולם שיש בו שמשות כמו השמש שלנו במספר אינסופי. ברוננו הועלה על המוקד בעוון כפירה בעיקר בשנת 1600, וזה הגביר את המתיחות ששררה בין המדע ובין הדת. הדברים הגיעו לידי משבר עם תגליתו של גליליי, אשר בשנת 1610 הבחין בטלסקופ החדש שלו בשלוש עובדות שבאו לסייע להשקפה ההליוצנטרית: תנועת כתמי השמש המעידה על סיבוב השמש על צירה; השינויים בצורותיו ובגודלו של כוכב-הלכת נוגה, שינויים התלויים במצבו היחסיים של נוגה לעומת השמש; וארבעת לווניי צדק המקיפים את הכוכב הגדול דוגמת הקפת כוכבי-הלכת את השמש.

בעובדות אלה ראה גליליי הוכחה חותכת לאמיתותה של השקפת קופרניקוס, והוא הפך לקופרניקאני נלהב, כמוהו כבן דורו קפלר. לעומת זאת נעשו בוואטיקאן הכנות להוצאת צו המוקיע את תורת קופרניקוס כהשקפה אפיקורסית. סמכותו של גליליי כמדען ששמו הולך לפניו היא שהניעה את צמרת הכמורה בוואטיקאן, והאפיפיור פאולוס החמישי בראשה, להעמיד את החוקר הדגול על החומרה הכרוכה בעמדתו ולשדלו שיקבל את תורת קופרניקוס כהשערה גרידא. אין אנו יודעים בוודאות את פרטי השיחה המפורסמת של גליליי והקארדינאל בלארמין, שנפגש עמו כשליח האפיפיור בשנת 1615. אולם כפי הנראה עמד גליליי על דעתו שהביע אותה שש-עשרה שנה לאחר-מכן בספרו על 'שתי מערכות העולם הגדולות, התלמיית והקופרניקאית'. פרסומו של ספר זה גרר את העמדתו של גליליי למשפט האינ-קוויזיציה. דעתו של גליליי היתה, ששיטתו של קופרניקוס היא הנכונה ואמיתותה הוכחה למעשה, ואילו בלארמין עמד על שלו וטען, שהשיטה ההליוצנטרית אינה אלא השערה. לא ברור מה היתה משמעותה של המלה 'השערה' כפי שהשתמש בה הקארדינאל המלומד. ייתכן שגרס, כאוסיאנדר בשעתו, שאנו עוסקים כאן בתחבולה

12 שם, עמ' 404.

שמואל סמבורסקי

מאתימאטית, וייתכן שהיה סבור שאנו עוסקים בטיעון, שמידת ודאותו מפקפקת ומכל־מקום פחותה מוודאותה של תורת תלמי. נראה, שבלארמין הטעים, שכל עוד לא ימציא המדע הוכחות אמפיריות ברורות לתנועתה הכפולה של הארץ, הרי ההשקפה הקופרניקאית נשארת בחזקת השערה, ומכאן שבינתיים אין הכנסייה הייבת לתת פירושים לכתבי־הקודש אשר יתיישבו עם השערה זו, ומעמדה של התורה הגיאוצנטרית, המתיישבת עם הפירוש המילולי של הכתוב, הוא ללא ערעור. כשחזקה של אלף וחמש מאות שנה לזכותה. זמן קצר לאחר שיחה זו, בשנת 1616, הוכנס חיבורו של קופרניקוס לרשימת הספרים האסורים מטעם הכנסייה ולא הוצא ממנה במשך מאתיים שנה. בערך, אף שכבר במחצית הראשונה של המאה הי"ז הכיר עולם המדע בתקפותה של התורה ההליוצנטרית בעקבות פרסומיהם של קפלר וגליליאי.

אם נדון באותה פלוגתא היסטורית מנקודת־ראותו של המדע הפיסיקאלי בעידן תורת היחסיות הכללית ונעמיד את הדברים על חודו של הדיוק המדעי הצרוף, יהיה עלינו לומר, שאין הצדק הגמור עם הקארדינאל שתלמי דיבר מגרוננו, ואף לא עם גליליאי שהיה שופרו של קופרניקוס. אי־אפשר לטעון, שהארץ נחה מנוחה מוחלטת ואילו השמש או השמים נעים בתנועה מוחלטת. כשם שאי־אפשר לטעון, שהשמש או כיפת השמים שרויות במנוחה מוחלטת, ואילו הארץ היא הנעה מבחינה מוחלטת. גירסת הפיסיקה המודרנית היא, שכוכבי־הלכת והשמש מקיפים את מרכז־הכובד המשותף שלהם, ועל כך יש בידנו הוכחות עיוניות מחוקי־המיכאניקה הבדוקים וראיות אמפיריות מתצפיותיהם של האסטרונומים בכוכבי־שבת כפולים שמסותיהם הן מאותו סדר הגודל. אולם, הואיל ומרכז־הכובד של מערכת־השמש שרוי בקירבה כה גדולה לשמש עד שלמעשה הוא מתלכד אתה, הרי ניתן לומר, שתשע מאות תשעים ותשעה קבים של האמת נטל קופרניקוס כאשר העמיד את השמש הנחה במרכז. והיא הנותנת גם לגבי סיבוב הארץ על צירה. על־פי תורת־היחסיות יש לדייק ולומר, שהארץ ועולם־הכוכבים סובבים זה כנגד זה, שהרי אין אנו גורסים קיומה של כל תנועה שהיא, בין תנועת התמדה ובין תנועה סיבובית, אלא כנגד שאר הגופים שבעולם. ואמנם אם נצייר לעצמנו קליפה כדורית הסובבת על מרכזה כדגם של עולם־הכוכבים המסתובב סביבנו, תתקבלנה במרכז, על־פי משוואות תורת־היחסיות הכללית, כל התופעות שבמאה הי"ט נהגו לראות בהן הוכחות חותכות לסיבובה המוחלט של הארץ על צירה במרחב, כלומר, הופעת כוחות צנטריפוגאליים וכוחות קוריולי על־פני כדור הארץ. במלים אחרות: הניסויים הפיסיקאליים שדרש הקארדינאל בלארמין אינם מוכיחים אלא את הסיבוב היחסי שבין השמים ובין הארץ, ואין כל מקום להכרעה מוחלטת לכאן או לכאן. אבל מתצפיות האסטרונומים למדנו, שגם שאר כוכבי־הלכת סובבים על צירם — כגון צדק, המשלים סיבוב שלם על צירו בפחות מעשר שעות, ואין ספק, שצופה העומד על פניו של צדק היה רואה את כדור הארץ סובב על צירו אחת לעשרים וארבע שעות, כשם שנוכחו בדבר גם האסטרו־נאוטים שעמדו על פני הירח. השכל הישר מחייב אפוא להסיק מכאן, שסיבובים אלה הם אמנם ממשיים, אלא שכל המתבקש מתורת היחסיות הוא, שהתוצאות הדינאמיות הידועות של הסיבובים מותנות בנוכחותן של כל הגאלאקסיות ושאר החומר שברחבי העולם. ואין כל טעם להסתבך בנקיטת עמדה קיצונית — שאמנם היא מותרת להלכה — ולומר, שהשמים סובבים את הארץ בעשרים וארבע שעות, ויחד עם זאת להניח, למשל, את סיבובו של צדק לעומת השמש. ואם יקום רלאטיביסט מושבע,

קופרניקוס באספקלריה של דורנו

הרוצה לתבוע את עלבוננו של תלמי, ויעמוד על דעתו, שכל הכוכבים שבעולם הם המסתובבים סביבנו באותו סיבוב יחסי, הרי ייתקל בכל הקשיים הידועים הכרוכים בתירוץ המהירויות העצומות שהגאלאקסיות הרחוקות חייבות לנוע בהן כדי להשלים סיבוב שלם ביממה אחת. ובנידון זה כבר פסק קופרניקוס את פסוקו בזה הלשון:

אין כל סיבה לחששו של תלמי שמא יתפוררו הארץ וכל העצמים אשר על פניה מחמת סיבובה היומי... ולמה אין הוא חושש פי כמה וכמה לשאר העולם שמהירות סיבובו עשויה לעלות בגודלה כגודל השמים מן הארץ?... ורצוני להוסיף ולומר, שנראה לי חסר-שחר לייחס תנועה לכולל ולמקיים ולא לנכלל ולמקיים, כלומר, לארץ... ומכל האמור יוצא, שתנועת-הארץ סבירה יותר מאשר מנוחתה.¹³

אין צורך למנות את כל העדויות המסייעות לתורת קופרניקוס, החל מתצפיותיו הטלסקופיות של גליליי, וגמור בכל תוצאות המחקר האסטרונומי עד לתקופת הטילים ששוגרו לחלל העולם בהצלחה על יסוד חישובים המבוססים על התורה ההליוצנטרית. שהרי כל העדויות האלה הן כאין וכאפס לעומת ההוכחה הטמונה בעצם התפתחות הפיסיקה, שלא היתה באה לעולם אילו לא תורת קופרניקוס. מחד גיסא, תורה זו היא שהולידה את חוקי קפלר, וחוקי קפלר הולידו את הפיסיקה הקלאסית של ניוטון, וזו אינה אלא קירוב ראשון לתורת היחסיות של איינשטיין שבאה בעקבותיה. ומאידך גיסא, סיפקו תורות אלה את הבסיס העיוני האיתן לטענותיו של קופרניקוס. שכן הלוגיקה של התפתחות מדע-הטבע מחייבת, שהצלחתו של שלב מאוחר יותר תהא מותנית בשלב הקודם, ושהיו ממצאיו של השלב המאוחר, לאחר שעמדו במבחן, חוזרים ומבססים ומחזקים את השלב הקודם, וכל זה תוך כדי תמיכה הדדית ואישור-גומלין של המוקדם והמאוחר גם יחד.

בעוד אשר השערת תלמי נשארה עקרה, וכבר במאה ה'12 לא היתה אלא פרק בעל עניין היסטורי גרידא, הרי ההשערה ההליוצנטרית הפכה לחלק אינטגראלי של התורה הפיסיקאלית בגלל פוריותה שעלתה לאין-ערוך על כל מה ששיער מחוללה, ושימשה מקור להוכחות האמפיריות לאמיתותה; רשאים אנו לומר, שההשערה העדיפה מבחינה אפיסטימולוגית היא גם הנכונה. אולם אי-אפשר להפריד את משמעותה האפיסטימולוגית של תורה זו ממשמעותה כפרק בתולדות האידיאות. עם בוא הקץ לגיאוצנטריות הקיץ גם הקץ על האנתרופוצנטריות. והרלאטיביזאציה של עמדת הצופה בעולם, הדחת האדם ממעמדו המוחלט, היתה בבחינת ירידה לצורך עלייה. שכן בעקבות הביטול של מעמדו המרכזי של האדם כקנה-מידה לעולם כולו בא החיפוש המתמיד אחרי אמות-מידה מוחלטות, החורגות מן התחום הסובייקטיבי, אחרי חוקי-שימור וישויות מוחלטות אחרות, שיסייעו לתמונת-העולם להשתחרר מאלמנטים אנתרופומורפיים. ואשר למחלוקת בין אנשי הכנסייה, שחרדו פן יבולע לדת, לבין המדענים, בעניין יישוב דברי הכתוב עם מסקנות המדע, הרי זו נראית לנו היום חסרת-משמעות נוכח התפתחות המדע מקופרניקוס ועד ימינו. שהרי אותו מתח שבין הרגשת אפסיות האדם ברחבי העולם ובין הרגשת יכולת הכרתו וכוח הסינתזה שלו, אותו מתח שהמחשבה המדעית ומסקנות הקוסמולוגיה הגבירו אותו

13 קופרניקוס (לעיל, הערה 1), I, 8, עמ' 18.

שמואל סמבורסקי

במידה כה עצומה — מתח זה הינו דתי במהותו, והוא מקורה של אותה חוויה דתית שמצאה את ביטויה בניגוד שבין 'מה אנוש כי תזכרנו' ובין 'ותחסרהו מעט מאלהים'. עלינו לראות את קופרניקוס לא כממציאה הגדול של שיטה פשוטה יותר או מועילה יותר, אלא כאיש שבכוח דמיונו שבר את אזיקיהם של מראות החושים, המגלה הגאוני של אמת מדעית שבגילוייה כרוכה אחת המהפכות הגדולות בהשקפת-עולמו של האדם.

הרצאה ביום י"ח באדר א' תשל"ג / 20 בפברואר 1973

דברי האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים

כרך שני

- 1 ש' סמבורסקי, שלושה פנים למשמעותו ההיסטורית של גליליאני. תשכ"ד (הדפסה שנייה תשל"א). 11 עמ'. 1.50 ל"י.
- 2 ש"ה ברגמן, שלינג על מקור האמיתות הנצחיות. תשכ"ד. 10 עמ'. 1.50 ל"י.
- 3 ח' ברה"ל, המחלוקת בין הניאוריאליסטים והניאופוזיטיביסטים — ריב מדומה ישן בקנקן חדש. תשכ"ד. 8 עמ'. 1.50 ל"י.
- 4 א"א אורבך, מעמד והנהגה בעולמם של חכמי ארץ-ישראל. תשכ"ה. 24 עמ' (אזל).
- 5 ח' פולוצקי, זמני הפועל בשפה המצרית העתיקה. תשכ"ו. 9 עמ'. 1.50 ל"י.
- 6 ח' פראוור, מעמדות, קומונות וחוקת ממלכת הצלבנים. תשכ"ה. 36 עמ'. 2.00 ל"י.
- 7 ש' פינס, הכינוי האיראני לנוצרים ויראי ה', תשכ"ו. 8 עמ'. 1.50 ל"י.
- 8 ש' סמבורסקי, מושג הזמן באסכולה הניאו-אפלטונית המאוחרת. תשכ"ו. 11 עמ'. 1.50 ל"י.
- 9 ח' תדמור, האנאלים של תגלת-פלאסר השלישי מלך אשור — פרק במחקר תעודות. תשכ"ו. 16 עמ', 4 לוחות. 2.00 ל"י.
- 10 מ' בנית, חקר הגלוסארים המקראיים של יהודי צרפת בימי הביניים — שיטה ויישום. תשכ"ו. 15 עמ'. 1.50 ל"י.
- 11 ח' ביינארט, תעודות האינקוויזיציה — מקור לתולדות היהודים והאנוסים. תשכ"ו. 14 עמ'. 1.50 ל"י.
- 12 ח' שירמן, השירה העברית שלאחר תקופת המקרא ובעיות מחקרה. תשכ"ו. 6 עמ'. 1.50 ל"י.
- 13 ש' פינס, היהודים-הנוצרים במאות הראשונות של הנצרות על-פי מקור חדש. תשכ"ט. 54 עמ'. 3.00 ל"י.
- 14 ד' אילון, העיר המוסלמית והאריסטוקראטיה הצבאית הממלוכית. תשכ"ו. 14 עמ'. 1.50 ל"י.

כרך שלישי

- 1 צ"א בראון, על האפשרות ועל הגיתוח המודאלי. תשכ"ו. 13 עמ'. 1.50 ל"י.
- 2 א' הד, קאנון ושריעה בחוק הפלילי העות'מאני הקדום. תשכ"ח. 13 עמ'. 1.50 ל"י.
- 3 ח' שירמן, הקרב בין בהמות ולויתן לפי פיוט עברי קדום. תשכ"ח. 36 עמ'. 2.00 ל"י.
- 4 ז' בן-חיים, תרומת מורשת השומרונים לחקר תולדותיה של העברית. תשכ"ח. 9 עמ'. 1.50 ל"י.
- 5 ב' אקצין, על המשפט הציבורי. תשכ"ח. 11 עמ'. 1.50 ל"י.
- 6 ש"נ אייזנשטרט, תמורה דתית, שינוי חברתי ומודרניזאציה — עיונים בהשלכותיה של 'התיזה על האתיקה הפרוטסטאנטית'. תשכ"ח. 39 עמ'. 2.00 ל"י.
- 7 ש' שקד, מגמות איסטריות בדת הזורואסטריית. תשכ"ח. 13 עמ'. 1.50 ל"י.
- 8 ח' וירשובסקי, *Liber Redemptionis* — נוסח קדום של פירוש מורה הנבוכים על דרך הקבלה לר' אברהם אבולעפיה בתרגומו הלאטיני של פלאוויוס מיתרידאטס. 15 עמ'. 1.50 ל"י.
- 9 א' לבונטיה, ברירת הדין בחוזים עבר-לאומיים. תשכ"ט (הדפסה שנייה תשל"ג). 68 עמ'. 3.00 ל"י.

כרך רביעי

- 1 **א' בלאו**, תיקונים מדומים בלשונות שמיות. תשכ"ט. 10 עמ'. 1.50 ל"י.
- 2 **א"פ רייני**, הסופר באוגרית — מעמדו והשפעתו. תשכ"ט. 18 עמ'. 1.50 ל"י.
- 3 **א' ב"י**, 'מדינה בתוך מדינה' — שורשה וגלגוליה ההיסטוריים של סיסמה אנטישמית. תשכ"ט. 22 עמ'. 1.50 ל"י.
- 4 **ש' סמבורסקי**, סטרוקטורה ומחזוריות — מאה שנה לתגליתו של מנדלייב. תשכ"ט. 11 עמ'. 1.50 ל"י.
- 5 **ח"ה בן-ששון**, היהודים מול הריפורמאציה. תשל"ל. 55 עמ'. 3.00 ל"י.
- 6 **א' ברי-הלל**, טיעונים בשפות פראגמאטיות. תשל"ל. 10 עמ'. 1.50 ל"י.
- 7 **א"ג' איר**, על מה שקיים. תשל"ל. 14 עמ'. 1.50 ל"י.
- 8 **ס' קרנר**, שינוי קאטיגוריאלי וטיעון פילוסופי. תשל"ל. 12 עמ'. 1.50 ל"י.
- 9 **מ"א סטון**, הספרות החיצונית במסורת הארמנית. תשל"ל. 15 עמ'. 1.50 ל"י.
- 10 **י"ל טלמון**, ראשית הקיטוב האידיאולוגי של המאה העשרים ומקורותיו. תשל"ל. 6 עמ'. 1.50 ל"י.
- 11 **ב"ר גולדשטיין**, על תרומתו של ר' לוי בן גרשון לאסטרונומיה. תשל"ל. 12 עמ'. 1.50 ל"י.
- 12 **ג' בר**, מבנה הגילדות התורכיות ומשמעותו להיסטוריה החברתית העות'מאנית. תשל"ל. 16 עמ'. 1.50 ל"י.
- 13 **ש"ש ויינברג**, ארץ-ישראל אחרי חורבן בית ראשון — דין-וחשבון ארכיאור-לוגי. תשל"ל. 15 עמ'. 1.50 ל"י.
- 14 **ש"נ קרמר**, מפיטי שומר — לקראת פרסומו של מוסף ל־ANET. תשל"א. 12 עמ'. 1.50 ל"י.
- 15 **מ' הרן**, שירת המצוות לאהרן בן מגיר — פיוט שומרני ליום-הכיפורים על תרי"ג מצוות על-פי הרמב"ם. תשל"א. 52 עמ'. 3.00 ל"י.
- 16 **ח' ברקאי**, כללי-התפעול של מערכת-הייצור של הקיבוץ. תשל"א. 15 עמ'. 1.50 ל"י.

כרך חמישי

- 1 **א' טברסקי**, ספר משנה תורה לרמב"ם — מגמתו ותפקידו. תשל"ב. 22 עמ'. 2.00 ל"י.
- 2 **ש' פרלמן**, מוקדון ביוון ומוקדון במחשבתם של מנהיגי יוון לפני קרב כירונאיה ואחריו. תשל"ג. 20 עמ'. 2.00 ל"י.
- 3 **א' פוקס**, דפוסים וטיפוסים של מהפכה חברתית-כלכלית ביוון מן המאה הד' ועד המאה הב' לפנה"ס. תשל"ג. 24 עמ'. 2.00 ל"י.
- 4 **א' נוה**, התפתחות הכתב הארמי. תשל"ד. 59 עמ', 12 לוחות. 4.00 ל"י.
- 5 **מ' אלטבאואר**, כתב-יד סלאבי קדום שנתגלה מחדש במנזר על-שם סאנטה קאתרינה. תשל"ד. 10 עמ', לוח. 2.00 ל"י.
- 6 **א' זקס**, שקיעת הלץ. תשל"ד. 15 עמ'. 3.00 ל"י.
- 7 **ש' סמבורסקי**, קפלר בעיניו של הגל. תשל"ה. 10 עמ'. 2.00 ל"י.
- 8 **רבקה הורביץ**, גילויים לתולדות התהוות הספר 'אני ואתה' של מרטין בובר. תשל"ה. 27 עמ'. 3.00 ל"י.
- 9 **א' גוטמן**, פילוסופיה של הדת או פילוסופיה של החוק? תשל"ה. 20 עמ'. 3.00 ל"י.
- 10 **ש' סמבורסקי**, קופרניקוס באספקלריה של דורנו — חמש מאות שנה להולדתו. תשל"ה. 14 עמ'. 2.50 ל"י.