

על העיוורון כתנאי הכרחי לאפשרותה של הראייה: ביקורת הביקורת של הפילוסוף (עמנואל קאנט) על האסטרונום (טיכו ברה) (ברה)

א. מבוא: ביקורת הביקורת על הפרויקט של טיכו ברה והשאלות המתבקשות
ממנה

באחד הפרקים הלקוחים מתוך חיבור קצר שראה אור ב 1798 (ריב הפקולטות), דן הפילוסוף הגרמני עמנואל קאנט, במגבלות היכולת לגזור את המגמות ההיסטוריות ארוכות הטווח מתוך ההתנסות האקטואלית. הפרובלמטיקה הכרוכה בגזירה כזאת נובעת לדעתו מבחירה שגויה בנקודה שממנה משקיפים על מהלך ההיסטוריה האנושית. כדי להמחיש את כוונתו הוא מביא לדוגמה את הניסיון חסר התוחלת, לכוון תאוריה אסטרונומית ישירות מתוך נתוני התצפית. אם מביטים על כוכבי הלכת מכדור הארץ אזי רגע אחד הם נראים נסוגים לאחור, וברגע אחר נראה שהם עומדים במקומם ולעתים אף מתקדמים. אולם אם הנקודה שממנה מביטים היא השמש, דבר שרק התבונה מסוגלת לו, אז רואים שהכוכבים נעים תמיד במסלולם לפי ההיפותזה של קופרניקוס. אך משום מה קאנט אינו מסתפק בהמחשה זו, והוא מוסיף ומעיר בהקשר אליה: "אנשים מסוימים, שבדרך כלל אינם בלתי נבונים, מתעקשים להחזיק באופן נוקשה בהסברים לתופעות ובנקודת המבט שעליה החליטו בעבר, גם אם יסתבכו בתיאוריות שגויות [...]".¹ הערתו של קאנט כוונה אל האסטרונום הדני המפורסם, טיכו ברהה (1546 – 1601), ואל העמדה המיוחדת בה נקט ביחס למחלוקת בין הקוסמולוגיה הגאוצנטרית לבין הקוסמולוגיה ההליוצנטרית.² טיכו (כפי שמקובל לכנות אותו בספרות) לא קיבל אף אחת משתי התאוריות היריבות בשלמותה, ומפת היקום הגאוא-הליוצנטרית, שהוצעה על ידו, הורכבה מיסודות שנלקחו משתייהן גם יחד.

ד"ר אבנר כהן, אורנים, המכללה האקדמית לחינוך

¹ קאנט, 2007: 7-8

² שם: 161, הערה 49. המחלוקת בין שתי התאוריות הקוסמולוגיות נוגעת אל אופן התיאור של היקום, והתנועה הנראית (מהארץ) של השמש, הירח וכוכבי הלכת על רקע כוכבי השָׁבֵת. על-פי הקוסמולוגיה הגאוצנטרית, במרכז של תנועה זו עומדת הארץ (למעשה, מערכת של נקודות המוסטות מעט ממנה, ונקראות "נקודות משה" או "אקוונט" [equant]). על-פי הקוסמולוגיה ההליוצנטרית, נקודת הציר שסביבה חגים הגופים השמימיים היא דווקא השמש, ובהתאם לכך הארץ אינה נחה אלא נעה (הקוסמולוגיה ההליוצנטרית המודרנית מייחסת לארץ תנועה כפולה, סביב השמש במסלול שאורכו שנה, וסביב עצמה במסלול הנמשך לאורך יממה). לתרשים המדגים את שתי הקוסמולוגיות, ראו נספח א.

גריבין, 2010: 27-30, 34; כהן, 1966: 22, 35; Nier, 1986: 377; Kuhn, 1966: 85, 108, 180

200 שנים מאוחר יותר, כאשר קאנט כותב על עמדתו של טיכו ביחס למחלוקת, היא כבר הוכרעה מזמן ובאופן חד-משמעי לטובת התאוריה ההליוצנטרית. לפיכך יכול היה קאנט לראות בסירובו של טיכו לאמץ תאוריה זו דוגמה לקיבעון מחשבתי מצדו של מלומד שלא ניתן להטיל ספק בכישוריו ובהישגיו.

עד לשלהי המאה ה-20 היה יחסו של קאנט אל טיכו טיפוסי לספרות שעסקה בעלילה של הולדת המדע המודרני בכלל, ובהתפתחותה של האסטרונומיה במאות ה-16 וה-17 בפרט. ספרות זו גינתה, בדרך כלל, את טיכו בשל התנגדותו להיפותזה הקופרניקאית, וראתה במודל הגאו-הליוצנטרי שהוא הציע, התחמקות מההכרעה המתבקשת בין ההיפותזה החדשנית לבין הקוסמולוגיה המסורתית.³ אולם בעשורים האחרונים של המאה שחלפה החלו להישמע גם קולות אחרים, וניכרת תפנית מסוימת בהערכה כלפי טיכו והפרויקט האסטרונומי שלו. במחקר האקטואלי מועלית לעתים קרובות הטענה שהסתייגותו של טיכו מהתאוריה ההליוצנטרית (בגרסה הקופרניקאית שלה) לא הייתה כל כך שרירותית ובלתי מבוססת מבחינה מדעית כפי שהוצגה על-ידי קאנט ומלומדים נוספים שקדמו לו או שבאו בעקבותיו.⁴ במשתמע ניתן ללמוד מטענה זו שהבחירה של קאנט בגישתו של טיכו כדוגמה לעקשנות בלתי רציונלית, המתגלה לפעמים גם אצל אנשים רציונליים, אינה מוצלחת במיוחד. מעבר לכך, בחירה זו מעידה כנראה על כך שקאנט לא ירד לעומקם של השיקולים המורכבים שעמדו מאחורי הקונספציה של טיכו.

לאור השינוי, החלקי לפחות, ביחסו של המחקר כלפי טיכו, מתבקש אפוא לברר את השאלות הבאות: (1) האם, ובאיזו מידה, ניתן למצוא הצדקה מדעית למאבקו של טיכו בהיפותזה הקופרניקאית?; (2) אם אפשר למצוא הצדקה כזאת, כיצד ניתן ליישב אותה עם ההסכמה המקובלת בנוגע לתפקיד החיוני והחיובי, שמילאה ההיפותזה הקופרניקאית בהתפתחות המדע? כלומר, כיצד יכולה להיות הצדקה מדעית הן להיפותזה הקופרניקאית והן למערכה שניהל טיכו נגדה?; ו-(3) אם יכולה להיות הצדקה מדעית גם להיפותזה הקופרניקאית וגם למערכה נגדה, מה אומרת לנו אפשרות זו על המדע?

שאלה אחרונה זו מתייחסת כבר לגבולות ההכרעה במסגרת הדיון הנערך בקהילת מחקר נתונה. אבחונם של גבולות כאלו כרוך גם בהצבעה על המרחב המשתרע מעבר להם. במרחב זה, מן הסתם, כבר לא ניתן להעניק תוקף או לשלול אותו גם מקביעות הסותרות זו את זו, משום שהוא מתחיל במקום בו מסתיימת יכולת ההבחנה. משמע יש לנו כאן אפוא עניין בסוגיות של עיוורון וראייה.

³ Christianson, 2002: 228; Pannekoek, 1989; Koyre', 1973: 163; Schofield, 1981: 92; Dreyer, 1891; Thoren, 1991

⁴ Voelkel, 2005: 79-90, 103-4; 1998: 1-34; Christianson, 2002: 228-247; Howell, 1998: 515-537; Blair, 1990: 355-377; Rosen, 1981: 257-265

ב. היחס בין השיקולים המתמטיים, הפיזיקליים והתיאולוגיים כפי שהוא מתבטא בעמדתו של טיכו כלפי הקוסמולוגיה הפטולמאית וההיפותזה הקופרניקאית

מדבריו של קאנט משתמע שמלכתחילה לא היה בסיס מדעי לטיעונים שהועלו על-ידי טיכו נגד ההיפותזה הקופרניקאית. ניתן להבין שלדעתו של קאנט טיעונים אלו, וכן גם השיטה הגאו-הליוצנטרית שטיכו עצמו פיתח, הומצאו רק כדי לספק הסוואה, רציונלית לכאורה, להסתייגותו העקשנית והאמוציונלית מהקוסמולוגיה ההליוצנטרית בתבנית הקופרניקאית שלה. על-פי ההערה של קאנט, מצטיירת אפוא הסתייגות זו כעמדה שאינה נובעת מטעמים תבוניים אלא ממניעים אישיים. האומנם מהוות עבודותיו של טיכו ותפיסותיו הקוסמולוגיות, ביטוי לעיוורון הדוגמטי המיוחס לו על-ידי קאנט?

המחקר האקטואלי לא מתעלם מטעויותיו של טיכו, אולם בניגוד לקאנט, הוא אינו מייחס אותן רק לגחמות שרירותיות ולאמביציות יומרניות. הנתונים מלמדים שגישתו של טיכו אל האסטרונומיה אינה נקייה מחולשת דעת, ומהטיות כאלו ואחרות, אך היא מתאפיינת גם במידה לא מבוטלת של יצירתיות וחדשנות, ובמידה דומה של קפדנות וזהירות. בתקופתו של טיכו נהנתה כאמור התאוריה הגאוצנטרית ממעמד דומיננטי, ואילו התאוריה ההליוצנטרית נתקלה ביחס עוין וחשדני.⁵ אולם בכך לא היה כדי למנוע את טיכו מלבקר בחריפות את התאוריה המקובלת, ומלשבח בנדיבות את הישגיה של התאוריה המודרת והמודחקת (למרות התנגדותו אליה). כבר בשלב מוקדם מאוד של עבודתו המדעית, בעקבות תצפית שערך באוגוסט 1563, גילה טיכו שההתלכדות של שבתאי (Saturn) וצדק (Jupiter) חלה באיחור של חודש לפי לוחות אלפונסין (Alfonsine Tables) הישנים, ובאיחור של ימים אחדים בלבד לפי הלוחות שתוקנו והותקנו על-ידי קופרניקוס. אמנם, כפי שמבהירים וולקל וגינגריץ', בניגוד לרושם המוטעה שנוצר מאוחר יותר, לא היה בנתונים אלו כדי להוכיח שככלל, התחזיות הקופרניקאיות הן מדויקות יותר מהתחזיות האלפונסיניות (לעתים דווקא ההפך הוא הנכון). אבל היה בהם כדי להטיל ספק בתקפותה של הקוסמולוגיה הפטולמאית, שעליה נשענו הלוחות האלפונסיניים.⁶

ספקותיו של טיכו הלכו וגברו לאחר שבנובמבר 1572 הופיעו בקונסטנציה קסיופאה, סימנים שהעידו לדעתו על הופעתו של כוכב חדש במרחק שעולה על מרחקו של הירח מכדור הארץ.⁷ הפרשנות שהעניק טיכו לסימנים אלו העלתה אותו, באופן

⁵ Westman, 1986: 81; Gingerich & Voelkel, 1998: 85, 89-90; Barker & Goldstein, 1998: 233; Blair, 1990: 355

⁶ הלוחות האלפונסיניים יוצרו במחצית המאה ה-13 בטולדו שבספרד, בהוראתו ובתמיכתו של מלך קסטיליה אלפונסו העשירי. הלוחות נועדו לספק נתונים כדי לחשב את מצב השמש, הירח וכוכבי הלכת ביחס לכוכבי השבת. לוחות אלו היו אמורים לעדכן לוחות ישנים יותר שכונו לוחות טולדו, ולצורך זה הם נשענו על תצפיות קודמות של אסטרונומים מוסלמים. בעריכתם הסופית של הלוחות השתתפו מלומדים בני דתות שונות, כולל יהודים ומוסלמים. ראו בורסטין, 1989: 241; 78; Gingerich & Voelkel, 1998: 78

⁷ קונסטנציה היא קבוצת כוכבים שבמבט מכדור הארץ נראים קרובים זה לזה על כפת השמיים. כמעט בכל המקרים, הקרבה בין כוכבי הקבוצה היא אופטית בלבד: המרחקים

מיידי, על המסלול המוביל להתנגשות גלויה עם המסורת הקוסמולוגית העתיקה, שעדיין משלה בתקופתו. על-פי מסורת זו, מהווה הספירה של הירח את הגבול בין העולם הארצי לעולם השמימי, באזור שמעליה אמור להישמר סדר מושלם, וממילא גם נצחי, ובתחומו לא ייתכנו כל שינויים. לפיכך לא יכולה הייתה המחשבה על הכוכב החדש להתיישב עם המסורת הקוסמולוגית הנתונה.⁸

העימות בין טיכו לבין המסורת החריף עוד יותר לאחר שתצפיות שערך בכוכבי שביט שהופיעו ב-1577, ו-1585 לימדו אותו כי כוכבים אלו נעים בין כוכבי הלכת וחותכים את מסלוליהם. מסקנה זו של טיכו (שלה היו שותפים כבר אז אסטרונומים רבים אחרים באירופה), עמדה בניגוד לגרסה של הקוסמולוגיה האריסטוטלית-פטלמאית המסורתית, שהניחה את קיומן של ספרות בדולח חומריות, שעליהן נישאים כוכבי הלכת. ספרות בדולח אלו היו אמורות לחסום את מעברם של כוכבי השביט דרכן. אם, כפי שהיה סבור טיכו, כוכבי השביט עוברים בכל זאת במרחב שבו ממוקמות ספרות אלו, הרי שאין מנוס מהקביעה כי הן אינן קיימות. מקביעה זו עולה כי לא ניתן עוד להבין את תנועת כוכבי הלכת בהתאם להסבר המסורתי שלה, כאילו היא נובעת מכוח הסיבוב של מסלולים פיזיים-חומרניים (הספרות הנושאות את הגופים השמימיים). יתר על כן, מאחר והמסלולים אינם חומרניים, יש לתאר אותם במונחים של יחסים גיאומטריים ולהתייחס לתנועת הכוכבים כאילו היא מתרחשת בחלל ריק (שמנקודת ראותן של הפיזיקה האריסטוטלית והקוסמולוגיה הפטלמאית הוא בלתי אפשרי). תגליות אלו הובילו אפוא את טיכו למסקנה שמן הראוי לערוך רביזיה טוטלית בתפיסה האסטרונומית שהייתה מקובלת בזמנו. תוכנה של רביזיה זו לא היה אמור להצטמצם רק לדחייתם של מודלים קוסמולוגיים ספציפיים, הוא התבטא גם בדרישה מפורשת להשענת המודלים החלופיים על תצפיות מדויקות ועקביות במקום על האוטוריטה של המקורות המקובלים.⁹

אך לדעתו של טיכו, הבעייתיות של הקוסמולוגיה הפטלמאית אינה מצטמצמת להעדר יכולת הכלה של התמורות ביקום שמעל הירח. הפגמים העיקריים שלה נובעים מהאבסורדיות המתמטית המונחת ביסודה. בשימוש שעושה טיכו בביטוי זה הוא מתכוון לציין שההסברים שסופקו על-ידי תלמי לתופעות האסטרונומיות המוכרות, חייבו אותו לוותר על הקוהרנטיות הפנימית של התאוריה שלו. חוסר הקוהרנטיות התבטא בכך שתנועתם של כוכבי הלכת, כפי שהוצגה במסגרת הקוסמולוגיה הפטלמאית, נותרה בלתי עקבית ובלתי אחידה בכל הנוגע לכללים האחראים להתנהלותה, נקודת הציר שלה, כיוונה, והיחס בין מהירותה לבין מרחקה מכדור

האמתיים של כוכבי כל קבוצה מכדור הארץ וזה מזה, הם עצומים, ואין ביניהם כל קשר פיזי, אך על כפת השמים בלילה הם נראים סמוכים זה לזה. גריבין, 2010: 65; Falk, 2003: 54-55; Gingerich & Voelkel, 1998: 78

⁸ גריבין, 2010: 65-66; בורסטין, 1989: 245; Falk, 2003: 54; Howell, 1998: 531

⁹ שייפין, 2009: 27, 30; Gingerich & Finocchiaro, 2009: 35; Voelkel, 2005: 84-85; Blair, 1990: 355-6, 357, 376-7; Nier, 1986: 379; Kuhn, 1966: 91

הארץ.¹⁰ טיכו הירבה לשבח את קופרניקוס דווקא משום שבכל הנוגע לליקויים עקרוניים אלו, הייתה לתאוריה ההליוצנטרית שלו עדיפות לוגית ברורה על פני התאוריה הגאוצנטרית של תלמי. משמע, הבעיות הבלתי פתורות בהיפותזה הפטולמאית זכו למענה מלא או חלקי במסגרת השיטה הקופרניקאית.¹¹ אולם, עדיפותה היחסית של שיטה זו, בעיני טיכו, לא הפכה אותו לחסיד שלה אלא למבקר שלה. דווקא בשל הכרתו ביתרונותיה של השיטה החדשה, הוא לא יכול היה להתעלם מחסרונותיה. חסרונותיה של השיטה הקופרניקאית תוארו על-ידי טיכו, בדרך כלל, במונחים פיזיקליים במהותם. על-פי החומר, הן זה שפורסם על-ידי טיכו בחייו, והן זה שנותר בכתובים אחרי מותו, הוא הוטרד בעיקר מהנחת היסוד של הקוסמולוגיה ההליוצנטרית המייחסת לכדור הארץ תנועה. כבר בהרצאה שנשא ב-1574, הבהיר טיכו כי לדעתו הנחה זו היא בגדר של אינוס העקרונות הפיזיקליים הבסיסיים ביותר. הוא היה סבור שהארץ היא גוף כבד ומסורבל מדי מכדי לייחס לו תנועה מהירה ומתמדת. סביר יותר לחשוב שתנועה כזאת אופיינית דווקא לגופים השמימיים, שצורתם והחומר העדין והקבוע שממנו הם מורכבים, נוצרו כביכול עבודה. כדי להמחיש את הבעייתיות הכרוכה בהנחה אודות תנועת הארץ, טוען טיכו שלו הייתה הארץ סובבת על צירה, כפי שקופרניקוס היה סבור, הרי שאבן שהייתה מוטלת ממגדל גבוה הייתה נופלת במרחק מה מצדו של המגדל. לפיכך יכול היה טיכו להסיק שההנחה של תנועת הארץ, העומדת

¹⁰ כדי להתאים את התנועה הנצפית של כוכבי הלכת לדרישה המסורתית של המעגליות המושלמת, היה על תלמי לבצע שני תיקונים גדולים ברעיון הבסיסי שהארץ נמצאת במרכז היקום וכל היתר סובב סביבה. ראשית היה עליו ליישב את המעגליות עם השינויים החלים במרחקם של הכוכבים מכדור הארץ. לצורך זה הוא תיאר את תנועתו של כוכב לכת מסוים כסיבוב במעגל קטן סביב נקודה שהיא עצמה חגה במעגל מושלם סביב כדור הארץ. המעגל המשני הקטן נקרא אפיציקל (epicycle). שנית, היה עליו להסיט את נקודת הציר של תנועות הגופים השמימיים ממרכז הארץ אל מערכת של נקודות מרוחקות מעט ממנה, והנקראות נקודות אקוונט (equant), שהן שונות מגוף שמימי אחד לאחר. הארץ עדיין נחשבה לאובייקט המרכזי ביקום, אך כל היתר הסתובב סביב נקודות אקוונט, לא סביב הארץ עצמה. הודות לשני תיקונים אלו הצליחה ההיפותזה הפטולמאית להשיג הלימה סבירה יחסית לתופעות השמימיות. אולם לדעתו של טיכו, תיקונים אלו יצרו מערכת מסורבלת מדי. מאחר שבמסגרת מערכת זו הוסברה תנועתו של כל כוכב בנפרד, היא נאלצה להישען על מספר גדול מדי של כללים שלא היו קשורים זה לזה, ולא נבעו זה מזה. הסתם המרכז של מערכת זו מהארץ אל נקודות אקוונט שונות, העמידה בספק את קיומו של מרכז כלשהו עבור מערכת זו, וטיכו, בדומה לקופרניקוס עצמו, ראה בכך פגם עקרוני. יתר על כן, להערכתו של טיכו, מספר האפיציקלים שהניחה ההיפותזה הפטולמאית, והגודל שהיא ייחסה להם, היו בלתי סבירים לחלוטין. מן הסתם היה טיכו ער גם לכך שבמסגרת היפותזה זו אין התאמה בין מרחקיהם של כוכבי הלכת מהארץ לבין מהירותם. כלומר משך הזמן הנדרש לחלק מכוכבי הלכת המרוחקים מהארץ כדי להקיף אותו, היה קצר יותר מאשר זמן ההקפה של כוכבים קרובים יותר לארץ, למרות שמסלוליהם של הכוכבים המרוחקים והמהירים הם ארוכים בהרבה מאלו של הכוכבים הקרובים והאיטיים. ראו גריבין, 2010: 26, 29, 37; כהן, 1966: 23, 26; שייפין, 2009: 27, 39-40; Gingerich & Voelkel, 1998: 85, 89; Westman, 1975: 184; Blair, 1990: 356, 359-360; Kuhn, 1976: 72, 85, 91

¹¹ כך למשל נותרו אפיציקלים גם במסגרת השיטה הקופרניקאית, אולם הם לא היו אמורים להסביר את התנועה הלא אחידה של כוכבי הלכת אלא רק לתקן את סטיותיהם מהמסלול המעגלי. את ההנחה בדבר המעגליות המושלמת של מסלולי הכוכבים ירש קופרניקוס מהמסורת הפטולמאית, ובהקשר זה לא פיקפק. הנחה זו תוקנה רק ב-1605 על-ידי יוהאנס קפלר שהחליף את המסלולים המעגליים במסלולים אליפטיים. Gingerich & Voelkel, 1998: 85, 89, 103; Howell, 1998: 525; Blair, 1990: 359-360; Nier, 1986: 37

ביסוד ההיפותזה הקופרניקאית, הופכת אותה לאבסורד פיזיקלי השקול רק לאבסורד המתמטי, האינהרנטי כאמור לקוסמולוגיה הפטולמאית.¹²

יחסו של טיכו כלפי ההיפותזה הקופרניקאית כלל, אם כן, את הכרתו ביתרונותיה המתמטיים והאסטרונומיים מצד אחד, ואת מודעותו לחסרונותיה הפיזיקליים מצד שני.¹³ הכרעתו נגד היפותזה זו התבססה על ההנחה שאף-על-פי שתיאור נכון של מבנה היקום חייב להתבסס על התאמה בין התפיסות התיאולוגיות, הפיזיקליות והאסטרונומיות, הרלבנטיות שלהן למשימה זו אינה זהה. התחשיב האסטרונומי, ככל שהוא נשען על תצפיות מדויקות, יכול לספק מידע על תנועת הגופים השמימיים, אך לא על טבעם. שאלה זו היא מעניינן של התיאולוגיה והפיזיקה. מאחר והתנועה יכולה להיות מיוחסת רק לגופים, שאת טבעם אנו כבר מכירים, יש קדימות לתפיסות התיאולוגיות והפיזיקליות הדנות בשאלות אלו, על פני העמדות של האסטרונומיה, שאינה מטפלת בהן. האסטרונומיה עשויה אמנם לתרום לחקר היקום, אבל המבחנים התצפיתיים שהיא עורכת יכולים רק לבחון את ההיפותזות הפיזיקליות, ובשום פנים ואופן לא לכוון אותן. הוא הדין בשאלה של תנועת כדור הארץ. מאחר וטיכו לא מצא שום סיבה פיזיקלית לחרוג מההשקפה הסטנדרטית השוללת תנועה מהארץ, הרי שבהתאם לסדר העדיפויות שגיבש, אכן היה עליו לדחות את ההיפותזה הקופרניקאית חרף מעלותיה האסטרונומיות והמתמטיות.¹⁴

התנגדותו של טיכו להנחת היסוד של התאוריה ההליוצנטריסטית בנוגע לתנועת הארץ לא נפלה אפוא בחריפותה מהתנגדותם של מוסדות הדת להנחה זו. אולם בהבדל ממוסדות אלו, הביקורת של טיכו כלפי ההנחה אודות תנועת הארץ, לא התבססה על השקפה תיאולוגית אלא על תפיסה פיזיקלית. קביעה זו עומדת לכאורה בסתירה להצהרותיו הכלליות של טיכו בדבר התפקיד החשוב שממלאת התיאולוגיה עבור המשימה של הכרת היקום, אולם היא משקפת טוב יותר את התנהגותו המחקרית ועמדתו המעשית בהקשר זה. העדיפות שהעניק טיכו לפיזיקה על פני התיאולוגיה היא ברורה, ובדרך כלל גם אינה שנויה במחלוקת. טיכו לא נמנע אמנם מהטיפול בשאלה של ההתאמה בין תנועת הארץ לבין כתבי הקודש, אבל הוא הקפיד להקדים את הביקורת הפיזיקלית שלו על ההיפותזה הקופרניקאית, לביקורת התיאולוגית שלו עליה. מעבר לכך, על-פי-רוב, הגביל טיכו את הדיון שלו, בהיבט התיאולוגי של היפותזה זו, למסגרת

¹² טענה זו מתייחסת אמנם רק לתנועת כדור הארץ סביב עצמו, ובה כשלעצמה אין כדי לשלול במישרין את תנועת הארץ סביב השמש, אבל בעקיפין היא מערערת על ההיפותזה הקופרניקאית בכללותה, משום שהיא מקשה על ההסבר של חילופי היום והלילה (במהלך של יממה). ראו גריבין, 2010: 71; Blair, 1990: 25; Finocchiaro, 2009: 68; Wilson, 1999: 68; 356, 357, 361; Gingerich & Voelkel, 2005: 85, 86, 103; Falk, 2003: 56

¹³ מאחר והאסטרונומיה, על-פי ההשקפה המקובלת בתקופתו של טיכו, אמורה למדוד את תנועותיהם של הגופים השמימיים, היא נושאת אופי מתמטי. לפיכך האלגנטיות המתמטית של השיטה הקופרניקאית נתפסת כיתרון גם מבחינה אסטרונומית. בהתאם לכך טען גם קופרניקוס שרק קוראים בעלי שליטה במתמטיקה מסוגלים לשפוט את התפיסה האסטרונומית שלו, שהרי "מתמטיקה נכתבת עבור מתמטיקאים", ראו: Kuhn, 1976: 8; Dear, 1987: 136, 138, 146-147; Barker & Goldstein, 1998: 233; Nier, 1986: 379

¹⁴ Howell, 1998: 517, 526; Blair, 1990: 356.

המצומצמת של התכתבויותיו הפרטיות. בהתבטאויותיו הפומביות, בהקשר לסוגיה של תנועת הארץ, הוא הציג שיקולים שנשענו על התאוריות הפיזיקליות שרווחו בתקופתו, וראיות שהתבססו על תצפיות אסטרונומיות, בעיקר אלו שהוא ערך בכוחות עצמו. בהתכתבויותיו הפרטיות דחה טיכו בתוקף את הניסיונות לפרש את כתבי הקודש באופן יותר חופשי, כדי להוכיח שהם מתיישבים עם תנועת הארץ. לדעתו, במקום לחפש פירושים חדשים לכתבים אלו, עדיף היה לחשוף את האמתות הפיזיקליות הגדולות החבויות בהם. אולם טיכו עצמו מעולם לא טרח לחפש אותן, ובחר לנצל את כישוריו האינטלקטואליים כדי לקדם את המחקר האסטרונומי שלו. הוא נותר אם כן מחויב עמוקות לכתבים ה"נכיים, אבל רק במידה שניתן היה לגזור מהם, בהתאם לתפיסתו הפיזיקלית, את היציבות של הארץ. לפיכך, סביר להניח שאמות המידה של טיכו לתקפותן של השיטות הקוסמולוגיות השונות, היו קודם כל העקביות הפנימית שלהן, והתאמתן אל השכל הישר והתצפית (הן הארצית והן השמימית), ורק אחר כך נאמנותן אל הקנון הדתי-כנסייתי, והאינטרפרטציות המוסדיות המוסמכות שלו.¹⁵

ראיה נוספת לסדר היררכי זה (של אמות המידה של טיכו לתקינותן של התאוריות הקוסמולוגיות) ניתן למצוא ביחסו לעמדתם של כתבי הקודש בנוגע למוצקות של המסלולים עליהם נעים כוכבי הלכת. הזכרתי קודם כי כבר ב-1577, הגיע טיכו למסקנה שכוכבי הלכת נעים בחלל ריק, ואינם נישאים על גבי ספרות חומריות החגות מסביב לארץ. מסקנתו של טיכו עמדה כאמור בניגוד לגרסה של הקוסמולוגיה המסורתית (האריסטוטלית-פטולמאית), שבמהלך ימי הביניים אומצה כאמור על-ידי הכנסייה הנוצרית. אין תמה אפוא שמסקנתו של טיכו הותקפה, בין השאר, באמצעות נימוקים המצביעים על הסתירה בינה לבין כתבי הקודש. טיכו, שנדרש להגן על מסקנה זו (ששללה את קיומן של ספרות חומריות שעליהן נישאים כביכול כוכבי הלכת) לא ניסה להוכיח את הלימתה לטקסטים בעלי ערך דתי, אלא הסתפק בכך שהצביע על העדר עמדה חד-משמעית מצדם בנוגע אליה. הוא לא שלל אפוא את האוטוריטה של טקסטים אלו, אולם גם לא היה זקוק לה כדי לבסס את התאוריות הקוסמולוגיות והאסטרונומיות שלו. מסתבר אפוא שטיכו מגלה גמישות רבה בנוגע לדרישה להתאמתן של ההשערות אודות מבנה היקום אל הקנון הכנסייתי והפרשנויות המקובלות שלו. גמישות זו מתבטאת לא רק בהקשר של הביקורת שלו כלפי ההיפותזה הקופרניקאית, אלא גם מחוץ להקשר זה, כלומר בהקשר לבעיות אחרות המופיעות באופן עצמאי ממנה, מתוך המחקרים והתצפיות שלו עצמו.

אבל התנהגותו המחקרית של טיכו אינה מלמדת שלשאלות התיאולוגיות אין עבורו תפקיד, להפך, היא מסייעת להגדיר אותו באופן מדויק יותר. מאחר והתפיסה המדעית בתקופתו של טיכו, בניגוד לתפיסות מודרניות יותר, לא אימצה עדיין את המכניזם חסר התכלית כהסבר בלעדי שלה, הרי שמבחינתה, תיאור הסדר ביקום חייב להציג גם את תכליתו. תכלית זו נתפסת אצל טיכו בהקשר דתי. היא אינה מנחה אמנם

¹⁵ Blair, 1990: 363-4; Gingerich & Voelkel, 2005: 86; Howell, 1998: 524, 526

את עבודתו התצפיתית והתאורטית, אולם הוא משתמש בה להצדקת עמדותיו הפיזיקליות ולהפרכת עמדות הנראות לו נטולות הצדקה כזאת.¹⁶

ג. בין קוסמולוגיה הליוצנטרית לפיזיקה אריסטוטלית

נראה, אם כן, שבתשתית הביקורת של טיכו על ההיפותזה הקופרניקאית, עומדת התביעה להלימה בין התאוריה האסטרונומית לתפיסה הפיזיקלית, ולממצאים האמפיריים המופקים על-ידי התצפית. מסקנה זו אינה מתיישבת עם הנרטיב הפופולרי, המתאר את המערכה שניטשה סביב ההיפותזה הקופרניקאית כקונפליקט בין דת למדע. על-פי נרטיב זה, מזוהה התפיסה ההליוצנטרית של קופרניקוס עם המדע, וההתנגדות אליה מתוארת כנובעת מטעמים דתיים, וכמובלת על-ידי מוסדות כנסייתיים. האופי המדעי והתצפיתי של הביקורת של טיכו כנגד התפיסה הקופרניקאית אינו מתיישב אפוא עם הנרטיב המקובל.¹⁷ אולם מלימוד הפולמוס שהתחולל במחצית השנייה של המאה ה-16 מתגלה שלא היה שום דבר יוצא דופן ביחסו של טיכו לתפיסה החדשה. חוקרים ומלומדים אחרים, שהשתייכו לקהילה המדעית, הביעו אף הם, בדומה לטיכו, את הערכתם ליתרונות המתמטיים של השיטה הקופרניקאית, ועם זאת הם לא נמנעו מלתקוף את ליקוייה הפיזיקליים.¹⁸ עמדתם של מלומדים אלו נבעה מהעדר ההתאמה בין הקוסמולוגיה ההליוצנטרית לבין התפיסה הפיזיקלית המקובלת בתקופה הנתונה. תפיסה זו, שעדיין הייתה אריסטוטלית ביסודה, לא יכלה להתיישב עם קוסמולוגיה המייחסת לארץ תנועה סביב השמש וסביב עצמה.¹⁹

על-פי מושגיה של הפיזיקה במאה ה-16, היא התייחדה במחויבותה לשכל הישר. מחויבות זו התבטאה לא רק באופי הרציונלי של התאוריות שלה, אלא גם בהשענתן על הנתונים של ההתנסות החושית. אולם במסגרת התנסות זו לא ניתן לחוש בתנועת הארץ. יתר על כן, היו טעמים נוספים להתנגדותו של השכל הישר להנחה הקופרניקאית של התנועה הכפולה של הארץ. לכאורה, על-פי ההיגיון הפשוט, הייתה תנועה זו אמורה להפוך תופעות מסוימות שאנו חווים אותן, לבלתי אפשריות, ותופעות אחרות שאיננו חווים אותן - להכרחיות. כך למשל, דומה שלו הייתה הארץ סובבת סביב עצמה (במהירות של 30 ק"מ לשנייה, כפי שחשב קופרניקוס), הרי שגופים הנזרקים מכדור הארץ כלפי מעלה, בתנועה אנכית, לא יכלו ליפול, ולנחות עליו בדיוק בנקודה שממנה הם נזרקו. במקום זאת היינו מצפים למצוא אותם הרחק משם. מצד שני, פגז של תותח, הנורה בכיוון סיבוב הארץ, היה חייב להגיע ליעד המצוי בטווח הרבה יותר רחוק מאשר פגז הנורה בעוצמה שווה אבל בכיוון ההפוך. ברוח זו נטען גם שלו הייתה הארץ מקיפה את השמש במהלך השנה, לא היה הירח יכול להיצמד למסלול המקיף את הארץ מדי

¹⁶ Siebert, 2005: 253; Blair, 1990: 364; Howell, 1998: 524, 526 Nier, 1986: 385-387; גריבין, 2010: 28

¹⁷ Olson, 2006: 57; Sewell, 2003: 10; Numbers, 1985: 59-61

¹⁸ Barker & Goldstein, 1998: 233; Blair, 1990: 355; Gingerich & Voelkel, 2005: 90
¹⁹ ראוי לציין שלא זו בלבד שהארגומנטים שהופנו נגד ההיפותזה הקופרניקאית נשענו, בחלקם לפחות, על התפיסה הפיזיקלית והממצאים התצפיתיים, גם לנימוקים שתמכו בה היה גם צביון מיסטי ודתי. ראו: Westman, 1986:185-186

חודש, ומכל מקום, היצמדותו אל הארץ בתנועתה מסביב לשמש הייתה הופכת לבלתי מובנת במונחים של התפיסה הפיזיקלית הנתונה.²⁰

בדיעבד מסתבר אפוא שהכלים הקונספטואליים והטכניים שעמדו לרשותו של המחקר האסטרונומי בסוף המאה ה-16 לא איפשרו לנקוט במסגרתו עמדה קוסמולוגית נקייה מפגמים. המשך תיחזוקה של הקוסמולוגיה הפטולמאית חייב את הוויתור על התביעה לקוהרנטיות פנימית ולעקביות מתמטית, הנדרשות מתאוריה מדעית. תביעה זו נענתה אמנם על-ידי הקוסמולוגיה ההליוצנטרית של קופרניקוס, אולם קוסמולוגיה זו, מצדה, הייתה כרוכה בבעיות פיזיקליות שבשלב זה היו נראות כבלתי ניתנות לפתרון. מאחר והגישות הקוסמולוגיות השונות לא חלקו ביניהן תפיסה משותפת של מדע, אי אפשר היה בשלב זה להביא אותן לידי הכרעה, ואף אחת מהן טרם זכתה במעמד הגמוני (לא בקהיליית המחקר ולא בתרבות הכללית). תומאס קון בספרו מבנה של מהפכות מדעיות, מגדיר מצב מעין זה כמשבר, שבמסגרתו איבדה כבר הפרדיגמה המדעית המסורתית את תוקפה, אך עדיין לא הבשילה פרדיגמה מדעית אלטרנטיבית שתתפוס את מקומה. ברור שבנתונים אלו לא יכול המחקר לפעול באופן תקין, ובזירה המדעית הלובשת אופי כאוטי, ואפילו אנרכיסטי, מתחוללת מלחמת כל בכל. אבל מנקודת ראותו של קון אין בכך שום אסון, לא רק משום שהמשבר הוא זמני בלבד, אלא גם משום שהוא מהווה תנאי הכרחי להתחוללותן של תמורות במדע, כלומר למעבר מפרדיגמה שהתיישנה לפרדיגמה חדשה.²¹

אולם לא חייבים לקבל את התאוריה של קון לגבי תולדות המדעים כדי להבחין בכך שבנסיבות בהן גיבש טיכו את תפיסתו הקוסמולוגית, לא הייתה הסתייגותו מהנחת היסוד של ההיפותזה הקופרניקאית בנוגע לתנועה הכפולה של הארץ, בבחינת עקשנות סתמית, כפי שהיא מתוארת אצל קאנט. מאחר שהסתייגותו של טיכו הייתה מבוססת על הניגוד בין התאוריה ההליוצנטרית לפיזיקה האריסטוטלית, הרי שהיא הייתה לגיטימית לחלוטין ביחס לתקופתה. העובדה שהביקורת של טיכו כלפי ההיפותזה הקופרניקאית נומקה קודם כל בשיקולים פיזיקליים, מלמדת שהיא לא נבעה רק מקנאות דתית. העובדה שלארגומנטים הפיזיקליים שהעלה טיכו כנגד היפותזה זו היו שותפים רבים בקהיליית החוקרים, מצביעה על כך שהיא בוודאי לא הייתה רק גחמה אישית. כדי שההתנגדות של טיכו לקוסמולוגיה הקופרניקאית אכן תהפוך לעמדה בלתי תקנית מבחינה מדעית, הייתה צריכה להתחולל מהפכה בתפיסת המדע. מהפכה זו אכן התחוללה, ובמרכזה עמדה הבנייתה של תאוריה פיזיקלית חדשה, שהושלמה רק לקראת תום המאה ה-17. לא זו בלבד שהפיזיקה החדשה עלתה בקנה אחד עם

²⁰ בורסטין, 1989: 245; שייפין, 2009: 35; 68; Wilson, 1999: 68; Finocchiaro, 2009: 25; Gingerich & Voelkel, 2005: 85-86; Blair, 1990: 356, 357; Falk, 2003: 56; Kuhn, 1966: 43

²¹ לשיטתו של קון, הפרדיגמה אינה רק תאוריה, אלא השקפת עולם כוללנית המתווה את דרך המחקר כולה. הפרדיגמה קובעת מהן התופעות הרלוונטיות למחקר וכיצד התאוריה מסבירה אותן. היא מצגיגה בפני המדענים את הבעיות הפתוחות העומדות על הפרק וקובעת קריטריונים לפתרונות הולמים. על הפרדיגמה וההבדל בין המצב התקני למצב המשברי של המדע ראו: קון, 2005: 134-45

הקוסמולוגיה הקופרניקאית (שעברה בינתיים שינויים ותיקונים), היא גם הדיחה את הפיזיקה האריסטוטלית העתיקה מהמעמד ההגמוני שבו החזיקה תקופה כה ארוכה.²² כתוצאה מכך התבטלה הסתירה בין התפיסה ההליוצנטרית לתאוריה הפיזיקלית, וההתנגדות כלפי ההיפותזה הקופרניקאית איבדה את הבסיס המדעי שלה. אולם תמורה זו התרחשה כאמור 100 שנים בקירוב אחרי מותו של טיכו, ולפיכך הערכת עמדותיו באמות המידה הרדיקליות שלה שגויה מיסודה. כדי להגיע להערכה מדויקת יותר של עמדותיו של טיכו, יש להתייחס לא רק להסתייגותו מההיפותזה הקופרניקאית ומקוסמולוגיה הפטולמאית, אלא גם לניסיונו להכריע ביניהן באמצעות תצפית, ולתאוריה המקורית שהוא פיתח בעקבותיו.

ד. ההיפותזה הקופרניקאית, הקוסמולוגיה הפטולמאית והתאוריה הגאו-הליוצנטרית במבחן התצפית

עצם הניסיון של טיכו להביא את המחלוקת הקוסמולוגית לידי הכרעה באמצעות תצפית, מהווה חידוש מרחיק לכת ביחס למתודות המקובלות במחקר בתקופה הנדונה. ביצוע התצפיות חייב מיומנות מיוחדת, והבהרת משמעותן הצריכה פרשנות מלומדת ומורכבת (שניתן היה לחשוד בה כי היא מוטה לצד זה או אחר, ומכל מקום לצדו של הפרשן). לפיכך הוטל בתקופה זו ספק רב ביכולתן של תצפיות לספק ראיות לממצא מהותי או אפילו מציאותי כלשהו. הדרישה שהופנתה כלפי שיטות מתמטיות כמו זו של קופרניקוס, ושיטות חישוב כמו זו של תלמי, הייתה פרגמטית ביסודה, כלומר אמת המידה עבורן הייתה יעילות השימוש בהן לצורך השגת המטרות המבוקשות מהן, ולא דווקא ייצוג מדויק של המבנים והתנועות המתרחשות ביקום. תביעתו העקרונית של טיכו להעמדת התאוריה למבחן התצפית מהווה אפוא תרומה חשובה להתפתחות המדעים בכלל והאסטרונומיה בפרט.²³

טיכו היה סבור שתוקפה של ההיפותזה הקופרניקאית עשוי להיבחן באמצעות ההתחקות אחר אפקט הפרלקסה (parallax). הפרלקסה אחראית להתהוות רושם של תנועה של גופים חסרי תנועה. כלומר הפרלקסה יוצרת מראית עין של תנועה של הגוף הנצפה. מראית עין זו אינה נובעת מתנועתו של הגוף הנצפה, אלא דווקא מתנועתו של הצופה. בהנחה שהארץ נעה סביב השמש, כפי שגורסת ההיפותזה הקופרניקאית, אמורה להתקבל מראית עין כזאת מתוך התצפית בכוכבי השבת. במהלך ההקפה השנתית של הארץ, משתנה מיקומה בחלל, ולכן, צופה העוקב מהארץ אחרי כוכב שבת כלשהו במשך פרק זמן מסוים, יראה אותו במיקומים שונים. ההקפה של הארץ מסביב לשמש חייבת לגרום למראית עין של תנועה של כוכבי השבת, למרות שכוכבים אלו קבועים למעשה במקומם. איתורה של הפרלקסה היה יכול אפוא לתת תוקף להיפותזה

²² Dear, 1987: 136, 147-148, 174-147; Kuhn, 1976: 5-17; שייפין, 2009: 41-39; Christianson, 2002: 237

²³ Barker & Goldstein, 1998: 252-253; Nier, 1986: 379; Wilson, 1999: 68; Blair, 1990: 376-377; Dear, 1987: 146, 151, 174; Finocchario, 2009: 35; Kuhn, 1966: 12, 16; Falk, 2003: 57

הקופרניקאית. העדר הבחנה בפרלקסה יכול היה להיות מוסבר רק כעדות לחוסר תנועה של הארץ, או כתוצאה ממרחק בלתי מתקבל על הדעת (במושגים של טיכו) בין הארץ לבין כוכבי השבת. קיים יחס הפוך בין גודלה של הפרלקסה לבין מרחקה מנקודת התצפית. ככל שהמרחק בין הצופה המצוי בתנועה לבין הגוף הנצפה חסר התנועה, גדול יותר, הופכת השפעת הפרלקסה עדינה וקשה יותר לזיהוי. מאחר ולרשותו של טיכו לא עמד ציוד טלסקופי מודרני ומשוכלל, יכולתו להבחין בפרלקסה הייתה מוגבלת ותלויה במרחק מקסימלי מסוים בין הארץ לכוכבי השבת. טיכו היה מודע למגבלה זו, אולם הוא היה סבור שכוכבי השבת אינם יכולים להיות ממוקמים במרחק רב עד כדי כך שתימנע ממנו ההבחנה בפרלקסה שלהם. סדרי הגודל של יקום, שבמסגרתו מרחקים מעין אלו הם אפשריים, נראו לו מפלצתיים, והוא היה משוכנע שהם כרוכים באובדן הפרופורציות הנאותות והסימטריות הראויות עבור העולם. מעבר לכך, החלל הענק שהיה צריך להיות מונח, במקרה זה, היה נטול כל תכלית פרט להצלתה של ההיפותזה הקופרניקאית. כפי שנאמר קודם, הקונספציה המדעית שהייתה מקובלת בתקופה זו, לא יכלה עדיין להשלים עם סדר נטול תכלית כהסבר לתופעות של המציאות. לפיכך, בהעדר ממצא פרלקטי, ובהעדר תכלית לממדים העצומים של המרחב שניתן היה להטיל עליהם את האחריות לחוסר היכולת להבחין בפרלקסה, יכול היה טיכו לראות בכישלון המאמצים לאתר את הפרלקסה אינדיקציה להעדר תנועה של כדור הארץ, משמע למופרכותה של ההיפותזה הקופרניקאית.²⁴

אולם טיכו לא הסתפק בכך, היה לו עדיין רעיון נוסף בנוגע להשגת הראיה הדרושה כדי להשיג הכרעה בין הקוסמולוגיה הפטולמאית וההיפותזה הקופרניקאית. במכתב מ-1584 לידידו, הפרופסור לרפואה ומתמטיקה הנרי ברוקאוס, הוא מספר על תצפיות שערך בסוף 1582 ובתחילת 1583 במטרה לבחון את שתי הקוסמולוגיות היריבות, ולקבוע סופית ובו-זמנית עמדה לגבי תקפותה או מופרכותה של כל אחת מהן. נקודת המוצא של המבחן הייתה ההבדל בין שתי הקוסמולוגיות בכל הנוגע ליחס בין מרחקם של השמש וכוכב הלכת מאדים מכדור הארץ. על-פי השיטה הפטולמאית, מרחקו של המאדים מהארץ אמור לעלות, תמיד, על מרחקה של השמש מהארץ, משום שהשמש ממוקמת במסלול הרביעי של הכוכבים החגים סביב כדור הארץ, ואילו מאדים ממוקם במסלול החמישי. בשיטה הקופרניקאית, לעומת זאת, מחליפים הארץ והשמש את מיקומם, השמש מועברת אל מרכז המערכת, וכדור הארץ מוסט ממרכז המערכת אל המסלול הרביעי של הכוכבים המקיפים את השמש. מאחר ומאדים ממשיך (גם על-פי ההיפותזה הקופרניקאית) להתמקם במסלול החמישי של כוכבי הלכת, הרי שכאשר הוא מגיע אל מול הארץ וניצב ישירות מעליה, הוא קרוב אליה יותר מאשר השמש. מאחר והגודל היחסי של הפרלקסות של הגופים השמימיים (במקרה זה השמש ומאדים) עומד ביחס הפוך למרחקם מנקודת התצפית שעל הארץ, הרי שלפי השיטה הקופרניקאית, ובניגוד לשיטה הפטולמאית, חייבת הפרלקסה היומית של מאדים

²⁴ גריבין, 2010: 28, 67; שייפין, 2009: 36, 253 (הערה 11); Wilson, Siebert, 2005: 253; 1999: 68; Blair, 1990: 364; Falk, 2003: 56; Nier, 1986: 385-387

לעלות בגודלה על הפרלקסה המקבילה של השמש. מכאן הסיק טיכו שמדידת הפרלקסה היומית של מאדים והשוואתה אל הערך היווני העתיק של הפרלקסה של השמש, אמורה לספק את הראיה האמפירית הדרושה להכרעה בין שתי הקוסמולוגיות. מאחר והוא היה משוכנע שהמכשור הטכני והמתודות התצפיתיות שהוא פיתח, מאפשרים כבר את מדידתה של הפרלקסה של מאדים, הוא היה סבור שיש בכוחו לערוך את ההשוואה המתבקשת, ולהביא את המחלוקת הקוסמולוגית אל סיומה.²⁵

מאחר ובמסגרת התצפיות של 3-1582 לא עלה בידי טיכו לאתר את הפרלקסה של מאדים, הוא הניח שהיא קטנה מכדי שניתן יהיה להתחקות אחריה, ובהתאם לכך הוא גם דיווח לברוקאוס על מסקנתו החד-משמעית: בניגוד למתחייב מההיפותזה הקופרניקאית, מאדים אינו מתקרב אל הארץ למרחק קצר יותר מזה של השמש אליה, ולפיכך, למרות האלגנטיות, הפשטות והשיטתיות המתמטית שלה, יש לדחות אותה.²⁶

לכאורה הייתה המסקנה הנחרצת של טיכו, כפי שהיא מוצגת במכתב לברוקאוס, אמורה להביא לידי סיום את ניסיונותיו של טיכו למצוא ולמדוד את הפרלקסה של מאדים. אך לא זו בלבד שניסיונות אלו נמשכים, הדיווחים שהוא מעביר עד 1589 למכותביו (מספר ידידים ועמיתים למחקר) על הממצאים העולים מהם, אינם עקביים, ואפילו סותרים זה את זה. אחרי שב-1584 הוא הודיע כאמור על העדר ממצא פרלקטי, ובעקבות כך על שלילת ההיפותזה הקופרניקאית, הוא מבצע סיבוב פרסה, וקובע במכתבים מ-1588 ומ-1589 כי התצפיות מראות שהפרלקסות היומיות של מאדים גדולות מאלו של השמש. מכאן שכאשר מאדים ממוקם מעל הארץ, המרחק בינו לבניה קצר יותר מזה של השמש אליה. משמע, התצפיות שוללות את הקוסמולוגיה הפטולומאית, ומתיישבות עם ההיפותזה הקופרניקאית (ועקרונית גם עם כל היפותזה אחרת המאפשרת את התקרבותו של מאדים אל הארץ למרחק קצר יותר מזה של השמש אליה).²⁷ התפנית בדיווחיו של טיכו לא הייתה מצטיירת באור כה בעייתי אלמלא היו דיווחיו הסותרים מתייחסים לתצפיות זהות שנערכו בין סוף 1582 לראשית 1583, ואלמלא היו בידו תצפיות, תחשיבים וניתוחים מוצלחים יותר משנת 1587, אשר עליהם הוא, משום מה, לא דיווח במכתביו מ-1588 ו-1589. מכתבים אלו מדהימים במיוחד משום שהם מדווחים כביכול על איתורה ומדידתה של הפרלקסה של מאדים, למרות שהמידע, שהושג מאוחר יותר אודות גודלה של מערכת השמש, מבהיר למעלה מכל ספק שהציוד הקדם-טלסקופי שעמד לרשותו של טיכו, היה רחוק מלאפשר את העמידה במשימות אלו.²⁸

²⁵ הפרלקסה היומית של כוכב לכת כלשהו היא ההבדל לכאורה בפוזיציה שלו שנוצר מראיתו בזניט (בניצב לנקודת התצפית) בהשוואה לפוזיציה שלו הנצפית על האופק. משום כך היא נקראת לעיתים גם הפרלקסה האופקית. ראו: Gingerich & Voelkel, 2005: 1-3, 79-81; Blair, 1990: 365

²⁶ Gingerich & Voelkel, 2005: 80-81

²⁷ מכתבי טיכו מספטמבר 1588 לקספר פקואר, מפברואר 1589 לקריסטוף רוטמן, ומנובמבר 1589 לתדיאוס הגסיאוס.

²⁸ Gingerich & Voelkel, 2005: 3, 4, 16, 25; Blair, 1990: 365

כיצד ניתן להסביר קושיות אלו? אן בלייר מפנה את תשומת הלב אל התמורה שחלה בתפיסתו הקוסמולוגית של טיכו בפרק הזמן שבין הדיווחים מ-1584 לדיווחים מ-1588 ו-1589. בתקופה המפרידה בין הדיווחים המוקדמים למאוחרים, גיבש טיכו את התאוריה הגאו-הליוצנטרית שלו, ואף נתן לה פומבי. תאוריה זו מהווה לדעתה של בלייר את קו פרשת המים בנוגע לדיווחים של טיכו, והיא אחראית לתפנית שחלה בהם.²⁹ הדיווח שהוא מעביר לברוקאוס ב-1584 חובר שנים אחדות לפני פיתוחה של התאוריה הגאו-הליוצנטרית. העדר הממצא הפרלקטי מהתצפיות שטיכו ערך, מתיישב עם עמדתו הקוסמולוגית בתקופה זו, משום שהוא מפריך את ההיפותזה הקופרניקאית, שטיכו כידוע מתנגד לה ממילא מטעמים פיזיקליים ביסודם. לעומת זאת בתקופה בה חוברו הדיווחים מ-1588 ו-1589 טיכו כבר מחויב לתאוריה הגאו-הליוצנטרית המקורית שלו, והתצפיות שהוא ערך מכוונות להגן עליה. מכאן שהעדרו של ממצא פרלקטי, מקבל בשלב זה משמעות שונה לחלוטין מבחינתו של טיכו. בדומה להיפותזה הקופרניקאית, גם על-פי התאוריה הגאו-הליוצנטרית של טיכו אמור מאדים, כשהוא ממוקם בקו ישר מעל הארץ (כלומר בניצב לארץ), להגיע למרחק קצר יותר מזה של השמש אליה. לפיכך הפרלקסה שלו חייבת להיות ניתנת לאבחון, לא רק על-פי ההיפותזה הקופרניקאית, אלא גם על-פי התאוריה של טיכו עצמו. טיכו בוודאי היה מודע לכך שבתקופה זו (החל מ-1587 לכל המאוחר), העדרו של ממצא פרלקטי אינו סותר רק את ההיפותזה הקופרניקאית אלא גם את התאוריה הגאו-הליוצנטרית שלו עצמו. בלייר מסבירה אפוא את השינוי בפרשנות המוענקת על-ידי טיכו לתצפיות של

1582-3, במאמציו לגבות את התאוריה שלו בנתונים אמפיריים.³⁰

וולקל וגינגריץ' חולקים על ההסבר של בלייר (אף שהם אינם מציגים אותו ישירות), אינם מייחסים אותו אליה, וכלל אינם נוקבים בשמה). לטענתם התמורה שחלה בדיווחים המאוחרים של טיכו (מ-1588-9) לעומת הדיווחים הקודמים (מ-1584) אינה נובעת רק מהשינוי שחל בתפיסתו הקוסמולוגית, כלומר מפיתוח התאוריה הגאו-הליוצנטרית שלו ומהצורך להצדיק אותה באמצעות נתונים תצפיתיים. לדעתם, דיווחים מאוחרים אלו אינם מהווים רק פרשנויות חדשות של נתונים הלקוחים מתצפיות ישנות, אלא הם מתייחסים לנתונים של תצפיות חדשות ומשופרות (מ-1587). טיכו אינו מדווח על תצפיות חדשות אלו, משום שבתקופה זו הוא נאבק עם חוקרים אחרים על זכות הראשונים לכינונה של התאוריה הגאו-הליוצנטרית, ולפיכך יש לו אינטרס להקדים ככל האפשר את הזמן של השגת הנתונים התצפיתיים שעליהם היא נשענת. מכאן מסיקים וולקל וגינגריץ' שהאמונה של טיכו ביכולתו למדוד את הפרלקסה של מאדים לא הייתה רק אשליה בלתי הגיונית. מאחר והתצפיות המאוחרות שלו נערכו במתקנים מודרניים ומשוכללים יותר מאלו שבהם הוא ערך את התצפיות המוקדמות,

²⁹ מודל היקום הגאו-הליוצנטרי של טיכו, ממקם את הארץ במרכז היקום. סביב הארץ נעים, על-פי מודל זה, השמש והירח. אולם בדומה למודל של קופרניקוס, סביב השמש חגים חמשת כוכבי הלכת. המודל של טיכו מערב אפוא יסודות פטולמאיים מסורתיים (הארץ נותרת במרכז) עם יסודות קופרניקאיים מודרניים (כוכבי הלכת נעים סביב השמש ולא סביב הארץ).

³⁰ Blair, 1990: 366-367; Gingerich & Voelkel, 1998: 24

ומאחר ושיטות החישוב שעמדו לרשותו במחצית השנייה של שנות ה-80 היו מתוקנות ומתקדמות יחסית לאלו שהיו בידו בראשית העשור, הוא יכול היה להניח שהכלים המדעיים שהוא רכש או בנה, אכן יאפשרו לו לאתר את הפרלקסה של מאדים ולמדוד אותה. אבל אין צורך להכריע במחלוקת בין בלייר לוולקל וגינגריץ' כדי לקבוע שעניינו של טיכו בהתחקות אחר הפרלקסה של מאדים מעולם לא היה ניטרלי. בלייר חותרת להוכיח קביעה זו לאורך כל המאמר שלה. אבל גם מחיבוריהם של וולקל וגינגריץ' עולה שעבור טיכו היווה המעקב אחר הפרלקסה (בראשית שנות ה-80, כמו גם בסיומן) אמצעי להפרכת תאוריות קוסמולוגיות שאותן הוא דחה ממילא, או לאישוש קוסמולוגיות שבהן הוא תמך מלכתחילה. בהקשר זה מציינים וולקל וגינגריץ' שגם כאשר הסתבר לטיכו באופן סופי שדיווחיו על איתור הפרלקסה של מאדים היו מוטעים, הוא לא נסוג מהקוסמולוגיה הגאו-הליוצנטרית שלו, אלא רק שקע בשתיקה בכל הנוגע לעיגונה בתצפית (על הפרלקסה).³¹ חילוקי הדעות הללו ממוקדים אפוא בשאלות הנוגעות לרקע ולסיבות העומדות מאחורי הדיווחים המאוחרים של טיכו על תצפיותיו המוקדמות. אולם הם שותפים להערכתה לגבי הזיקה בין התאוריה הגאו-הליוצנטרית של טיכו לבין הממצאים התצפיתיים שלו. כלומר, ההערכה שהתאוריה הגאו-הליוצנטרית לא הייתה מבוססת על תצפיות ולא נבעה מתוכן, מקובלת גם עליהם, ואינה שנויה אפוא במחלוקת. אולם האם מכאן עלינו ללמוד שעמדתו של טיכו כלפי התאוריה הגאו-הליוצנטרית אינה יכולה להיחשב כשקולה ותבונית, ועלינו לראות אותה, כפי שטוען קאנט, כדוגמטית ושרירותית?

ה. התאוריה הגאו-הליוצנטרית בראי תקופתה

בהערה שבמסגרתה מתייחס קאנט אל טיכו, הוא אינו מזכיר אמנם במפורש את התאוריה הגאו-הליוצנטרית, אולם סביר להניח שכאשר הוא מצביע על התופעה של התעקשותם של "אנשים מסוימים, שבדרך כלל אינם בלתי נבונים [...] להחזיק באופן נוקשה בהסברים לתופעות ובנקודות המבט שעליה החליטו בעבר, גם אם יסתבכו בתיאוריות שגויות [...] הוא מתכוון ליחסו של טיכו לתאוריה זו.³² ניתן אם כן להבין שלדעתו של קאנט, המציא טיכו את התאוריה הגאו-הליוצנטרית רק כדי להתחמק מקבלתה של ההיפותזה הקופרניקאית, ושמאחורי התחמקות זו עומדים מניעים זרים למחקר ולתבונה. לו הייתה התאוריה הגאו-הליוצנטרית מאולצת ומופרכת כל כך, כפי שמציג אותה קאנט, ניתן היה לצפות שהיא לא תחייב הקדשת מאמץ מיוחד להתמודדות נגדה. אולם הנתונים מלמדים שבמהלך המאה ה-17 עסקו תומכי ההיפותזה הקופרניקאית הרבה יותר ביריבות עם תאוריה זו, מאשר עם הקוסמולוגיה הפטולמאית שהייתה מקובלת על הממסד הכנסייתי. הסבר לכך ניתן למצוא במעמד הדומיננטי שרכשה לעצמה התאוריה הגאו-הליוצנטרית בציבור החוקרים והמלומדים

³¹ על-פי וולקל וגינגריץ', טיכו נוכח בטעותו בכל הנוגע למדידות הפרלקסה של מאדים אחרי שחוקרים אחרים פיתחו לוחות ותחשיבים להשתברות אור השמש והכוכבים, שהיו מדויקים יותר מהלוחות שלו עצמו. בהקשר זה ראו Gingerich & Voelkel, 1998: 25-26

³² קאנט, 2007: 87-88

בתקופה זו. מאחר ועבור הקופרניקאים היווה ציבור זה את הנמען הראשון והחשוב ביותר של ההיפותזה שלהם, לא היה עליהם להיאבק בקוסמולוגיה הפטולמאית שכבר לא הייתה רלוונטית לגביו, אלא בתאוריה הגאו-הליוצנטרית שהייתה ברת תוקף בעיניו. אבל אם התאוריה הייתה כל כך תלושה ובלתי מבוססת, כפי שטוען קאנט, כיצד יכלה להצטייר בעיני ציבור המשכילים בכלל, ובקהילה המדעית בפרט, לא רק כלגיטימית אלא גם כנורמטיבית?³³

כדי להתייחס לקושיה זו עלינו לוותר זמנית על התפיסות האסטרונומיות והפיזיקליות האקטואליות שלנו (שמאחר והן התגבשו בעקבות השלמתה של המהפכה המדעית בסוף המאה ה-17, הן גם התפיסות של קאנט) ולחזור אל ההשקפות שרווחו בתחומים אלו בתקופתו של טיכו ועוד עשרות שנים אחריה. רק מנקודת ראות זו ניתן להבין את יחסם של בני דורו של טיכו (ובני כמה דורות נוספים) לתאוריה הגאו-הליוצנטרית שלו.

מהפריזמה של חקר היקום בשלהי המאה ה-16, יש לזקוף לזכותה של תאוריה זו את השימוש בפתרון של ההיפותזה הקופרניקאית לבעיית התנועה הבלתי אחידה (האפיציקלים) המובנית לתוך המסורת הפטולמאית. אבל בניגוד להיפותזה הקופרניקאית, התאוריה של טיכו אינה מסתבכת באבסורד הפיזיקלי (במושגים של התקופה) של התנועה הכפולה של הארץ. משום כך היא פטורה גם מהמצוקה האסטרונומית הנובעת מהעדר ההבחנה בפרלקסה של כוכבי השבת, וגם מהדילמה האידיאולוגית-תיאולוגית הכרוכה בניסיון להיחלץ ממנה.³⁴ עבור הזמן שלה, מצטיירת אפוא התאוריה הגאו-הליוצנטרית, כשחרור מהחלקים המעיקים של המורשת הפטולמאית, שאינו כרוך בנפילה אל תוך המלכודת שטומנת לעצמה ההיפותזה הקופרניקאית. מזווית זו מהווה התאוריה של טיכו הצעה לקוסמולוגיה ריאליסטית הנתמכת על-ידי נתונים תצפיתיים. לפיכך יכולים וולקל וגינגריץ' וחוקרים נוספים לראות בה צעד בכיוון הנכון.³⁵

עם זאת ברור שהערכה זו של התאוריה הגאו-הליוצנטרית אינה מבטלת את הליקויים שלה ואת הסרבול והמתח הפנימי המובנים לתוכה. אלמלא ניתן היה להבחין באופייה הפרובלמטי של תאוריה זו מיד עם הופעתה, לא הייתה יכולה הביקורת עליה להתפתח, ולהביא לבסוף להזדחתה על-ידי היפותזה קופרניקאית מתוקנת המגובה בתפיסה פיזיקלית חדשה (שהלכה והתגבשה במהלך המאה ה-17 והושלמה רק סמוך לסיומה). אולם ההתייחסות אל התאוריה הגאו-הליוצנטרית מתוך הפריזמה של תקופתה מבהירה מדוע למרות חסרונותיה היא זכתה, לפחות לפרק זמן מסוים, למעמד חשוב במדע, בהגות ובתרבות של הציוויליזציה המערב-אירופית. משום כך דומה

³³ שייפין, 2009: 253; 89; Gingerich & Voelkel, 2005

³⁴ כאמור, כדי להיחלץ מהמבוכה הנובעת מחוסר היכולת להבחין בפרלקסה, יש להניח את קיומו של חלל ריק עצום בין כוכבי הלכת לכוכבי השבת, אבל אז מופיע קושי אחר: היקום, כמעט כולו, אינו אלא חלל חסר תכלית וריק ממשמעות. המחשבה של המאה ה-16 עדיין מתקשה להשלים ולעכל עובדה זו.

³⁵ גריבין, 2010: 71; 69; Wilson, 1999; 103; Gingerich & Voelkel, 2005

שההתייחסות אל התאוריה הגאו-הליוצנטרית מתוך פריזמה זו, מציגה באופן מאוזן יותר את מכלול פעילותו המחקרית של טיכו ולא רק את התנגדותו להיפותזה הקופרניקאית, לפחות בהשוואה לאופן שבו היא מתוארת על-ידי קאנט.

1. סיכום – גבולות הפרויקט המדעי של טיכו

בחינת עבודתו של טיכו לאור המערכים הקונספטואליים והפרדיגמטיים המקובלים בתקופתו, מתגלה אפוא כחיונית לחשיפת ההיגיון העומד מאחורי הסתייגותו העקשנית מההיפותזה הקופרניקאית, וחתירתו המאומצת לחיפוש תאוריה קוסמולוגית חלופית עבורה, כמו גם עבור ההשקפה הפטולמאית העתיקה. אולם לא ניתן להטיל על מערכים אלו לבדם את האחריות להתוויית הגבולות של הפרויקט המדעי של טיכו. מצד אחד, אין כל הכרח לוגי שהחוקר ינצל את מלוא הפוטנציאל של מערך המושגים והכללים שמעמידה התקופה שלו לרשותו. מצד שני, אלמלא היה השימוש המחקרי במערכים קונספטואליים ופרדיגמטיים נתונים מביא להכרת מגבלותיהם, היינו מתקשים להסביר מדוע נזקקים החוקרים להמצאת מושגים וכללים חדשים, ומדוע יכולות המצאות כאלו לפתוח עבורם אופקים שקודם לכן היו סגורים בפניהם. כלומר, המערכות הנתונות של הידע מכוננות את נקודת המוצא של החוקר, ולפיכך הן מהוות תנאי הכרחי לעבודתו, וממילא גם להבנתו את השיקולים האחראים להתנהלותה, אולם הן אינן יכולות להכתיב מראש את גבולותיה. משמע, אין בכוחם של מערכי הידע הטיפוסיים לתקופתו של טיכו להסביר מדוע עלה בידיו לחרוג במידה מסוימת מגבולותיהם, ומדוע לא עלה בידיו לפרוץ אותם אל מעבר למידה זו.

מאחר ומערכי הידע התקופתיים אינם יכולים להסביר כיצד נקבעים גבולות החריגה מהם, הרי שלצורך בירור שאלה זו יש לפנות אל העקרונות של כל מחקר ספציפי בנפרד. עימותם של עקרונות אלו עם מערכי הידע שהוזכרו, עשוי לסייע לנו לענות על השאלה שהוצגה. הדיון בנושא זה מוביל את וולקל וגינגריץ', כמו גם את בלייר, אל השימוש שעושה טיכו בערך הפטולמאי העתיק של הפרלקסה של השמש. טיכו מניח שערך זה הוא מדויק, והוא אינו מנסה לבחון אותו ולקבוע אותו מחדש. כפי שהסתבר בתקופה מאוחרת יותר, ערך זה היה שגוי וגדול בשיעור של עשרים פעמים לפחות מהערך הריאלי של הפרלקסה. כתוצאה מהשימוש בערך הפטולמאי המוטעה, התקצר מאוד המרחק של השמש מכדור הארץ, וממדי של היקום הצטמצמו באופן משמעותי. בלייר יכולה לראות בשימוש הבלתי מבוקר שעשה טיכו בפרמטר הפטולמאי חיזוק לטענתה שהוא אינו עומד בדרישות הרדיקליות שלו עצמו לפיתוח גישה ביקורתית כלפי האוטוריטה של המקורות המקובלים. אבל לדעתה אין בכך כדי להפחית ממקוריותו ותרומתו של טיכו לאסטרונומיה, אלא לקשור אותו לאו דווקא לעבודתו המחקרית אלא לקריאתו להחלפת המתודולוגיה המסורתית במתודולוגיה מהפכנית, משמע, לתביעתו לביסוס המודלים הקוסמולוגיים על תצפיות שיטתיות, במקום על האוטוריטה המיוחסת לכתבים כאלו ואחרים, ולהנחות הבלתי מאומתות

שלהם.³⁶ לעומת זאת, וולקל וגינגריץ' חושבים שאלמלא היה טיכו מאמץ את הערך הפטולמאי של הפרלקסה של השמש ללא כל ביקורת נוספת, הוא לא יכול היה לקוות כי יעלה בידו להכריע בין התפיסות הקוסמולוגיות היריבות באמצעות תצפית. תיקון הערך של הפרלקסה של השמש, וממילא הגדלת המרחק בין כדור הארץ לשמש, והרחבת ממדי היקום, היו מבטלים מראש את האפשרות למדוד, ללא עזרת טלסקופ משוכלל, את הפרלקסה של מאדים. לפיכך האימוץ הבלתי ביקורתי של טיכו את האומדן המסורתי של פרלקסת השמש, הוא שאיפשר לו את עריכתן של תצפיות חסרות תקדים בהיקפן ובאינטנסיביות שלהן, ואת פיתוחו של המכשור האסטרונומי המשוכלל הנחוץ לביצוען. כידוע, הוריש טיכו את תרשימי תצפיותיו ואת הציוד המחקרי שלו לקפלה, שהסתייע בהם רבות כדי לקדם את ההיפותזה הקופרניקאית ולהגיע אל תגליותיו. לפיכך סבורים וולקל וגינגריץ' כי עבור המחקר האסטרונומי, היוותה הטעות של טיכו תרומה שפוריותה אינה מוטלת בספק.³⁷

אולם גם אם מסכימים עם בלייר מזה, ועם וולקל וגינגריץ' מזה, שטיכו, למרות טעותו, או אולי דווקא בגללה, הביא את האסטרונומיה לפסגות חדשות, השאלה הרלוונטית לדיון ביקורתי בעבודתו אינה נוגעת להערכתה אלא להבנתה, כלומר להנחות המוקדמות שלה, המציבות ממילא את הגבולות שלה. העמידה על הנחות אלו מחייבת לברר מדוע קיבל טיכו את האומדן הפטולומאי של פרלקסת השמש, בניגוד למתודה המוצהרת שלו, ללא בדיקה, ומהי משמעותה של קבלה זו. העובדה שלטיכו היו רמזים עבים לכך שהאומדן הפטולומאי הוא בעייתי וראוי לבחינה, מחרیפה עוד יותר את הקושיה.³⁸

ההתמודדות עם קושיה זו מחייבת לדעתי להתייחס אל טיפולו של טיכו באומדן הפטולומאי של פרלקסת השמש כמקרה פרטי המייצג את העיקרון הכללי, המונח בתשתית תפיסתו המדעית. פעמים רבות מדגיש טיכו את הצורך לשמור על הקוהרנטיות הפנימית של התאוריה הקוסמולוגית, ולהשעין אותה על יסודות אמפיריים-תצפיתיים (בלשונו - להימנע מאבסורדים מתמטיים ופיזיקליים).³⁹ להערכתו, גם אם טיכו לא תמיד מקפיד במחקריו ובתאוריות שלו על קיומם של עקרונות אלו (כפי שמעירה בלייר), יש לתלות בהם את האחריות העיקרית הן להישגיו המחקריים והן למגבלותיהם.⁴⁰

כפי שכבר ניתן היה להיווכח, עומדים העקרונות שהוזכרו בבסיס הביקורת של טיכו כלפי הקוסמולוגיה הפטולמאית וההיפותזה הקופרניקאית. מצד אחד הם דוחפים אותו לשלול את הקוסמולוגיה הפטולמאית, מצד שני הם מונעים ממנו לחייב את ההיפותזה הקופרניקאית. לא זו בלבד שטיכו טוען שהיפותזה זו אינה מעוגנת בתצפיות, מנקודת ראותו היא סותרת את הנתונים האמפיריים של ההתנסות היומיומית הפשוטה ביותר, שבמסגרתה לא ניתן לחוש בתנועה הכפולה של הארץ, ואי אפשר שלא להבחין

³⁶ Blair, 1990: 376-377

³⁷ Gingerich & Voelkel, 2005: 103-104

³⁸ ibid

³⁹ ראה הערות 10, 11, 12 וכיוצא בזה.
⁴⁰ לגבי העמדה של בלייר ראה הערה 37.

בתנועת השמש מסביבה. דבקתו של טיכו בגישה שעבורה מספקת ההתנסות הישירה (בין אם היא ספונטנית ושגרתית ובין אם היא נרכשת במהלכה של תצפית שיטתית) את הנתון האולטימטיבי של המודל התאורטי, מפרידה אותו לא רק מהתאוריה ההליוצנטרית של קופרניקוס, אלא גם מהתאוריה הפיזיקלית המודרנית בכללותה. תאוריות אלו, בניגוד לתפיסתו של טיכו, אינן מתייחסות אל הנתונים של ההתנסות הבלתי אמצעית כעובדות עצמאיות ממנה, אלא כתוצרים התלויים בתנאים שבהם היא נחוות. לשיטתה של הפיזיקה המודרנית, כל תמורה בתנאים של ההתנסות הבלתי אמצעית תשנה את הנתונים שיתקבלו בעקבותיה. לפיכך לא תוכל התאוריה הפיזיקלית החדשה להסתפק בנתוני התצפית, אלא תשאף לבחון את התמורה החלה בהם כתוצאה משינוי תנאיה של ההתנסות. הפיזיקה המודרנית תחליף אפוא את התצפית הישירה במערכת של ניסויים שתייצר תנאים מלאכותיים. היא תמיר את התפיסה הגורסת שנתוני התצפית אינם תלויים בתנאים שבהם היא נערכת, בתפיסה החותרת להשפיע על הנתונים באמצעות יצירת תנאים חדשים לבחינתם. המרה זו תאפשר את הכרתו של היחס בין השינוי בתנאי ההתנסות לבין התמורה הנמדדת בנתונים המופקים מהם, ואת ניסוחו במונחים של חוקיות פונקציונלית.

מכאן כבר אפשר לגשת לשאלה של יחסו הבלתי ביקורתי של טיכו לערך של פרלקסת השמש. מאחר ומבחינתו של טיכו נותרה התצפית במעמד של הספק הבלעדי של הנתונים הרלוונטיים לכינונו של המודל הקוסמולוגי, קיבלו ממדי היקום משקל קריטי לגבי כל הפרויקט האסטרונומי שלו. כידוע, לא עמד לרשותו של טיכו מכשור טלסקופי, ובהעדר מכשור כזה, מאבדות התצפיות והמדידות את האפקטיביות שלהן ביחס למרחקים העולים על הממדים שקבעה הקוסמולוגיה המסורתית לגבי גודלו של היקום. לפיכך, גם אם המדידות שערך טיכו עוררו את חשדו לגבי הערך הפטולמאי של פרלקסת השמש, הרי שהוא אמור היה להיות מודע לכך ששינויו של אומדן זה עלול לתבוע ממנו מחיר כבד מדי. כפי שמבהירים וולקל וג'ינגריץ', האפשרות שאומדן זה גבוה מדי, פירושה היה שהיקום משתרע על פני מרחבים שעבור טיכו היו בלתי מדידים. ניתן להוסיף לכך שמאחר והקונספציה המחקרית של טיכו דורשת את ביסוסו של המודל הקוסמולוגי על התצפית האסטרונומית, הרי שנקיטת עמדה ביקורתית מצדו כלפי הערך הפטולמאי של הפרלקסה, הייתה עלולה להפוך את הפרויקט שלו לבלתי אפשרי ובלתי משמעותי כאחד. מבחינתו של טיכו לא היה אפוא האימוץ הבלתי ביקורתי של האומדן העתיק של הפרלקסה בחזקת טעות מוצלחת או פורייה, כפי שמציגים זאת וולקל וג'ינגריץ', אלא תנאי הכרחי ליישום הקונספציה המחקרית שלו במגבלות של הציוד האסטרונומי שעמד לרשותו.

מסתבר שבכל הנוגע להערכת גודלה של הפרלקסה ניתן לטעון, בדומה לקאנט, שטיכו מגלה עמדה עקשנית, ואולי אפילו דוגמטית. אך בניגוד להאשמה הכללית של

קאנט, עקשנותו של טיכו אינה סתמית, ואינה בבחינת גחמה אישית.⁴¹ כדי שמפעלו האסטרונומי של טיכו יישא אופי ביקורתי, עליו להישען על התצפית, אולם כדי שהתצפית תוכל להצטייר כאפשרית ומשמעותית, עליו לנקוט גישה בלתי ביקורתית כלפי האומדן המקובל של הפרלקסה. מאחר וגודל ידוע של הפרלקסה מהווה עבור טיכו תנאי לביקורת באמצעות התצפית, תנאי זה עצמו אינו יכול להיות מבוקר במסגרת המתודה שלו. לגבי טיכו העיוורון בהקשר לגודל הפרלקסה אינו אלא צידה האפל של ההתבוננות ביקום.

⁴¹ כאן אולי המקום להזכיר כי במסגרת הטקסט של קאנט, יש להתייחסותו אל טיכו ברהה חשיבות מאד שולית, ומן הסתם הערתו לגביו אינה פרי של מחקר מעמיק.

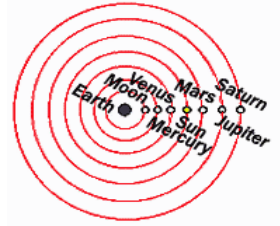
רשימת מקורות

- בורסטין, ד' (1989). המגלים, הגילויים החשובים על העולם והאדם מאז ימי קדם ועד ימינו. תל-אביב: כתר.
- גריבין, ג' (2010). היסטוריה של המדע. תל-אביב: ידיעות אחרונות.
- כהן, ב' (1966). לידתה של פיזיקה חדשה. רמת השרון: דביר.
- קאנט, ע' (2007). ריב הפקולטות. תל-אביב: רסלינג.
- קון, ת' (2005). המבנה של מהפכות מדעיות (תרי"ו מלצר). תל-אביב: ידיעות אחרונות, ספרי חמד.
- שייפין, ס' (2009). המהפכה המדעית. תל-אביב: רסלינג.
- Barker, P., & Goldstein, B.R. (1998). Realism and instrumentalism in sixteen century astronomy: A reappraisal. *Perspective on Science*, 6(3), 232-258.
- Blair, A. (1990). Tycho Brahe's critique of Copernicus and the Copernican system. *Journal of the History of Ideas*, 51(3), 355-377.
- Christianson, J.R. (2002). The legacy of Tycho Brahe. *Centaurus*, 44(3-4), 228-247.
- Dear, P. (1987). Jesuit mathematical science and the reconstitution of experience in the early seventeenth century. *Studies in History and Philosophy of Science*, 18(2), 133-175.
- Dreyer, J.I. (1891). *Tycho Brahe*. Edinburgh: Adam and Charles Black.
- Falk, D. (2003). The rise and fall of Tycho Brahe. *Astronomy*, 31(12), 52-57.
- Gingerich, O., & Voelkel, J.R. (1998). Tycho Brahe's Copernican campaign. *Journal for the History of Astronomy*, 29, 1-34.
- Gingerich, O., & Voelkel, J.R. (2005). Tycho and Kepler: Solid myth versus subtle truth. *Social Research*, 72(1), 77-106.
- Finocchiaro, M.A. (2009). *Defending Copernicus and Galileo: Critical reasoning in the two affairs*. Dordrecht: Springer.
- Howell, K.J. (1998). The role of biblical interpretation in the cosmology of Tycho Brahe. *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, 515-537.
- Koyre', A. (1973). *The astronomical revolution*. Ithaca, New York: Cornell University Press.
- Kuhn, T.S. (1966). *The Copernican revolution*. Cambridge: Harvard University Press.
- Kuhn, T.S. (1976). Mathematical vs. experimental tradition in the development of physical science. *Journal of Interdisciplinary History*, 7(1), 1-31.
- Nier, K.A. (1986). The importance of historical accuracy in philosophy of science: The case of Curd's conception of Copernican rationality. *Philosophy of Science*, 53, 372-394.

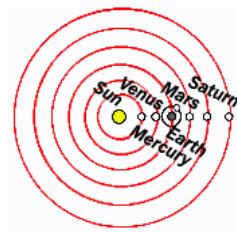
- Numbers, R.L. (1985). Science and religion. *Osiris*, 1, *Historical Writing on American Science*, 59-80.
- Olson, R.G. (2006). *Science & religion: 1450-1900*. Baltimore, Maryland: The John Hopkins University Press.
- Pannekoek, A. (1989). *A history of astronomy*. New York: Dover Publications.
- Rosen, E. (1981). In defense of Tycho Brahe. *Archive for history of exact sciences*, 24(4), 257-265.
- Schofield, C.J. (1981). *Tychonic and Semi-Tychonic world systems*. New York: Arno Press.
- Sewell, K.C. (2003). Calvin and the stars, Kuyper and the fossils: Some historiographical reflections. *Pro Rege*, 32, 10-22.
- Siebert, H. (2005). The early search for stellar parallax: Galileo, Castelli, and Ramponi. *Journal for the History of Astronomy*, 36(24), 251-271.
- Thoren, V. (1991). *The Lord of Uraniborg: A biography of Tycho Brahe*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Westman, R.S. (1975). The Melanchthon circle, Rheticus, and the Wittenberg interpretation of the Copernican theory. *Isis*, 66(2), 164-193.
- Westman, R.S. (1986). The Copernicans and the churches. In: D.C. Lindberg & R.L. Numbers (Eds.), *God and nature: Historical essays on the encounter between Christianity and science* (pp. 76-113). Berkely and Los Angeles: University of California Press.
- Wilson, D.B. (1999). Galileo's religion versus the church's science? Rethinking the history of science and religion. *Physics in Perspective*, 1, 65-84.

נספח 1

היקום על-פי הקוסמולוגיה הפטלומאית

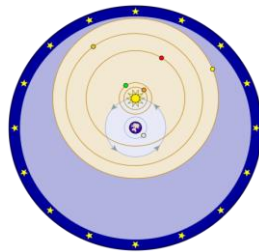


היקום על-פי ההיפותזה הקופרניקאית



נספח 2

היקום על-פי התאוריה הגאו-הליוצנטרית של טיכו ברהה



בתרשים זה של המודל הטיכוניאני, האובייקטים במסלולים הכחולים (השמש והירח) נעים סביב הארץ. האובייקטים במסלולים האדומים (כוכבי הלכת) נעים סביב השמש. מסביב נמצאים כוכבי השבת.