

אריאל כהן

תוספת השניות לשעון הבינלאומי וחישובי המולד בלוח העברי: הצעה להגדרה בלתי תלויה של החלק ביחס להגדרת השנייה

ב-24 הזדמנויות שונות מאז שנת 1972 הוספה לשעון הבינלאומי UTC שנייה אחת שהגדרתה מבוססת כיום על אטום הצסיום 133 ולא על החלק ה-3,600 של החלק ה-24 של היממה כפי שהיה נהוג בעבר. כעבודתנו זו אנו מראים כי להגדרה שונה זו של השנייה יכולה להיות השפעה עקרונית על קביעת היום והשעה בהם חל המולד הממוצע של החודש העברי אם מגדירים את אורך החודש כ-29.5 יממות בנות 24 שעות המבוססות על השנייה האטומית ועוד 793 חלקים בני 3 ושליש שניות כל אחד.

כדי למנוע זאת אנו ממליצים להפריד את הגדרת השנייה המשמשת לקביעת הזמן בשעונו מהגדרת החלק שבבסיס הלוח העברי ולקבוע כי החלק, שלא כמו יחידת הזמן של השעון, ימשיך להיות מוגדר כחלק ה-1,080 של החלק ה-24 של הזמן הממוצע במהלך השנה משקיעה לשקיעה. זמן זה, בניגוד לשנייה המשמשת כבסיס למדידת הזמן הרשמי, משתנה, ותלוי באורך היממה המתארכת. במאמרנו אנו גם בוחנים את השפעת ההגדרה הזו על אורך החודש העברי.

א. מבוא

24 פעמים במהלך 37 שנים (מאז שנת 1972) הוספה לשעון הבינלאומי שנייה אחת שהגדרתה מבוססת כיום על אטום הצסיום 133. כך, למשל, בתום יום ה-31 בדצמבר 2008, שנייה אחת לפני תחילת שנת 2009 לפי שעון גריניץ', הוספה שנייה לזמן הבינלאומי (UT) וכל השעונים בעולם כווננו על פי שעון זה.

תוספת זו של 24 שניות נובעת מההתארכות ההדרגתית של היממה כתוצאה מהשפעת כוחות הגאות והשפל, וכיום אורך היממה הממוצעת הוא 24.00000056 שעות¹ לעומת הערך של 24.00000044 שעות שהיה בשנת 1972.²

1 <http://tycho.usno.navy.mil/leapsec.html> וראה 86400,002= שניות.

2 במאמר "Leap Seconds" של ה-Time Service Dept., U.S. Naval Observatory Washington, DC (http://tycho.usno.navy.mil/leapsec.html) מודגש כי השעון הבינלאומי המבוסס על השנייה המוגדרת באמצעות אטום הצסיום היה מראה על 24 שעות במדויק בשנת 1820. בהתבסס על קצב התארכות היממה המובא שם מגיע אורך היממה בשנת 2009 לערך של 24.00000056 שעות. מקורות אחרים מעמידים את אורך

תוספת זו של שנייה אחת נקבעת על ידי השירות הבינלאומי למערכות ייחוס ולסיבוב כדור הארץ (IERS - International Earth Rotation and Reference Systems Service). ארגון זה קבע בהודעתו מחודש ינואר 2010 כי תוספת של שנייה לא תתקיים בסוף יוני אך תיתכן בסוף יוני או בסוף דצמבר 2010.

במאמר זה נראה כי אי אפשר להתעלם מן העובדה שלתוספת זו, המוכתבת על ידי ההחלטות של ארגון בינלאומי, יש השפעה עקרונית על קביעת היום והשעה שבהם חל המולד של החודש העברי.

כדי להבהיר את ההשפעה של החלטה זו לא רק על קביעת השעה המדויקת של המולד העברי אלא אף על קביעת יום המולד של החודש העברי, נעיין בדוגמת הטבלה שזכרנו על ידי ע' מרצבך לשנת התשס"ח.³ נבחן את הדוגמה הבאה:

המולד של ראש חודש תשרי של שנת 1972 היה, בהתאם לחישובי הלוח העברי, ביום שישי (8.9) בשעה 10 בבוקר (שעה 16 לפי היום העברי) ו- 539 חלקים בני 3 ו- 1/3 שניות כל אחד (א' דראש השנה התשל"ג חל ביום שבת 9.9).

כדי לקבוע את היוב והשעה של כל המולדות העוקבים יש להוסיף על כל חודש שחולף, על פי הלוח העברי, 29 ימים, 12 שעות, 44 דקות ועוד חלק אחד (השווה, כאמור, ל-3 ו-1/3 שניות, ולפי י' לוינגר, ראוי להוסיף גם את מספר הדקות בחלקים כאשר בכל רקה 18 חלקים). כך, למשל, אם נרצה לקבוע את המועד של מולד חודש אייר של שנת התשצ"ד (5794), דהיינו 762

היממה כיום על 24.0000003 שעות: *Kelly Beatty, "Time for Another 'Leap Second'", Sky and Telescope, December 16, 2008.*

החישובים במאמר זה מתבססים על קצב השינוי הממוצע ב-36 השנים האחרונות, ולכן כחוסם הדיקו של החישובים הערך המדויק של אורך היממה כיום איננו משפיע על התוצאות.

3 דוגמה לחישוב המולדות היא הטבלה שהוכנה על ידי פרופ' ע' מרצבך לשנת התשס"ח, שבה ניתנים המולדות בדיוק של שניות. טבלה זו המבוססת על אורך החודש העברי מדגישה את הצורך לבטא את המועד עד לדיוק של שניות לפי השעון שבידינו וככלל זה צינן היום בשבוע על פי הלוח האזרחי ולא על פי הלוח העברי:

מרחשון	יום ה, שעה 16, 49 דקות ו-3 שניות (ש' חורף)
כסלו	שבת, שעה 5, 33 דקות ו-3 שניות
טבת	יום א, שעה 18, 17 דקות ו-10 שניות
שבט	ג, 1, 13
אדר	ד, 19, 45, 16
אדר ב	ו, 8, 29, 20
ניסן	מוצ"ש, 21, 13, 23
אייר	ב, 10, 57, 26 (ש' קיץ)
סיון	ג, 23, 41, 30
תמוז	ה, 12, 25, 33
אב	שבת, 1, 9, 36
אלול	א, 13, 53, 40
תשרי תשס"ט	יום ג, שעה 2, 37 דקות ו-43 שניות

4 יעקב לוינגר, "על הכרות המולד בבתי הכנסת", הליכות - ביטאון המועצה הרותית תל-אביב-יפו, 106-107 (ניסן תשמ"ה), עמ' 20-23.

תוספת השניות לשעון הבינלאומי והישובי המולד בלוח העברי

חודשים מאוחר יותר, יחלוף פרק זמן של 22,502 ימים (כני 24 שעות הנקבעות, כל אחת, על פי השעון שברשותנו), 7 שעות ו-546 חלקים ממולד תשרי של שנת 1972.

על פי לוחות החישוב של הלוח העברי יחול המולד החדש 5 חלקים (16 שניות ו-2/3 השנייה) אחרי תחילת יום רביעי של הלוח העברי.

אולם, מאחר שכבר כיום נוספו לשעון 24 שניות שהן למעלה מ-7 חלקים, חישוב המולד המתבסס על אורך החודש של הלוח העברי יוביל לכך שעל פי השעה הבינלאומית התוספת של 22,502 ימים 7 שעות ו-546 חלקים בני 3 ו-1/3 שניות כל אחד, תביא לכך שהמולד של חודש אייר בשנת התשצ"ד יהיה כבר כיום שלישי.

אם כך, מה יכריז הגבאי בבית הכנסת בשבת שלפני המולד? האם עליו להכריז כי המולד של חודש אייר התשצ"ד יהיה ביום רביעי או ביום שלישי?

אנו נראה כי הפתרון המעשי הנדרש המוצע בזה הוא להגדיר את יחידת הזמן העברית, החלק, כגודל משתנה השווה לאחד חלקי 1,080 של החלק ה-24 של היממה (הממוצעת) המתארכת ולא כיחידה מוחלטת המבוססת על 3 ו-1/3 שניות הנקבעות על ידי השעון האטומי.

הגדרה כזאת נראית, לכאורה, כהגדרה המקורית של החלק על ידי חז"ל, אך יש להדגיש כי חז"ל הגדירו כך את החלק באלף הראשון לספירה כיתר אומות העולם (ובעקבותיהם כל חוקרי הלוח עד למאה הנוכחית) מתוך מחשבה שזהו גודל קבוע בלתי משתנה השווה בערכו ל-1/3 שניות קבועות בגודלן.

הוכחה לכך שכוונת חז"ל הייתה לגודל קבוע שאינו משתנה "עד סוף העולם" ניתן למצוא, למשל, במשנה תורה לרמב"ם אשר בו נקצבים גם אורכי השנה והחודש ביחידות של ימים שעות וחלקים (הלכות קידוש החודש ו, טו): "מולד השנה שיצא בחשבון זה, הוא מולד ראש חודש תשרי. וכשתוסיף עליו א' י"ב תשצ"ג, ייצא מולד מרחשוון; וכשתוסיף על מולד מרחשוון א' י"ב תשצ"ג, ייצא מולד כסליו; וכן לכל חודש וחודש זה אחר זה, עד סוף העולם". אילו חשבו שהגדרת יחידות הזמן כחלקי יממה איננה מגדירה זמנים קבועים, היו חייבים להצדיק מדוע לדעת חז"ל משך הקפות השמש סביב כדור הארץ (כפי שהמערכת תוארה על-ידם) ומשך הקפת הירח אינם משתנים ביחידות אלה עם התארכות היממה.

אולם, כדי לשמר כיום במקורב את טבלאות החישובים של הלוח העברי מוצע כאן כי מעתה תהיה השעה של הלוח העברי מורכבת כבלוח העברי המקורי מ-1,080 חלקים כל אחת והיממה של הלוח העברי תהיה מורכבת מ-24 שעות כאלה. מכאן ואילך, החלק, השעה והיממה של הלוח העברי יהיו בעלי ערכים משתנים שיגדלו באופן פרופורציונאלי להתארכות היממה הממוצעת כתוצאה מכוחות הגאות והשפל.

פתרון זה יש להחיל לאחור משנת 1972 ובררך זו אפשר יהיה להמשיך ולקבוע את המולדות כבעבר ובהתבסס על לוחות העבר (וראה פרק הדין).

נדגיש כי בכך תהיה הגדרת יחידת הזמן בלוח העברי שונה במהותה מההגדרה המוחלטת של יחידת הזמן, השנייה, הנהוגה כיום בכל השעונים בעולם ובקבלת הגדרה זו נקיים במדינת ישראל

שתי מערכות נפרדות של השעון – מערכת אחת מוחלטת הכפופה להחלטת ממשלת ישראל בחוק קביעת הזמן משנת 1992, והמערכת השנייה, המערכת ההלכתית, שתהיה תלויה בחלקי היממה ושערי יחידותיה ישתנו עם הזמן.

במקביל לשינוי באורך היממה משתנה גם אורך החודש וזה בניגוד לכוונת מנכחי הלוח העברי באלף הראשון לספירה שהניחו כי אורך החודש הממוצע הוא קבוע ואינו משתנה עם הזמן הן בערכו היחסי והן בערכו המוחלט.

בהקשר לכך, נעיר כי החודש העברי ארוך בכמהחצית השנייה מהאורך הממוצע של החודש הסינודי המקובל כיום באסטרונומיה (29.5 ימים 44 דקות ו-3.3333 שניות ביחידות שהיו מקובלות בעבר מול 29.5 ימים 44 דקות ו-2.889 שניות) ועל כן אין בשינוי הגדרת החלק כדי לפגוע מעשית בדיוק היחסי של אורך החודש שבבסיס הלוח העברי. כפי שמציין י' לוינגר במאמרו⁵, ממילא גורם הבדל זה בין הערך המדויק של אורך החודש הסינודי הממוצע לבין אורך החודש הממוצע של הלוח העברי, לסטייה שהצטברה כיום לכדי שעותיים בקירוב. כפי שנפרט כפרק השני של המאמר, אין חשיבות לשינוי הקטן בערך המדויק של החודש האסטרונומי הממוצע המתקבל בחישוב המביא בחשבון את השפעת תוספת מספר השניות לאורך היממה בכמה עשרות שנים.

יחד עם זאת, נציין כי התארכות היממה כתוצאה מתופעת הגאות והשפל גורמת גם להתארכות החודש כאשר המדידה של שני אורכים אלה נעשית בשעונים המבוססים על שעונים אטומיים מוחלטים (וראה פרק הדיון). במאמר זה נראה כי ערכי ההתארכות המתאימים למילניום זה גורמים לכך שאפשר להתעלם, מעשית, מההשפעה של ההחלטה הבינלאומית על קביעת היום והשעה של המולד בלוח העברי באמצעות לוחות החישובים של העבר, ובלבד שהגדרת החלק בלוח העברי תהיה כגודל משתנה כפי שמוצע לעיל ולא תהיה עוד צמודה להגדרת השנייה.

לעומת זאת, אם הארגון הבינלאומי ישנה את מדיניותו המבוססת כיום על כך שהשעון המתואם הבינלאומי יהיה המיד בתחום של כשנייה בלבד ביחס לצהריים הממוצעים בקו האורך של גריניץ' (כשנייה שבה מתבצעת תוספת השנייה מתאים השעון שבידנו לשעון המבוסס על חלקי היממה בתחום של 0.1 שניות, אך ביתר הזמן השגיאה מגעת לכשנייה), יהיה עלינו לבחון מחדש את הפתרון המוצע כאן ביחס להגדרה מחודשת של החלק – וראה פרק הדיון. במיוחד הדברים אמורים אם הארגון הבינלאומי יחליט לשנות את השעון האטומי כאשר הפרש המצטבר יגיע לכדי שעה שלמה ואז יהיה צורך לשנות את כל לוחות השנה העבריים.

ב. השפעת התארכות היממה על אורך החודש הסדרי

החישוב בפרק זה ובפרק הדיון, הנעזר במשוואות הבסיסיות ביותר של שימור התנע הזוויתי, הוא חישוב ממוצע ומתבסס על ההאטה הממוצעת של סיבוב כדור הארץ במהלך 37 השנים האחרונות.

תוספת השניות לשעון הבינלאומי והישובי המולד בלוח העברי

נצא מנקודת הנחה כי האורך הממוצע של החודש הסינודי, M_1 , שהיה מקובל בשנת 1972, היה בקירוב 29 ימים, 12 שעות, 44 דקות ו-2.9 שניות (29.5305889 יממות = M_{sy}). אורך זה נגזר מהאורך הממוצע של החודש הסדרי, M_2 , שהיה, במקורב, 27 ימים, 7 שעות, 43 דקות ו-11.5 שניות (27.3216616 יממות = M_{sl}), באופן שמספר החודשים הסינודיים בשנה סדרית שווה למספר החודשים הסדריים + 1:

אם אורך השנה הסדרית, Y_{sl} , הוא 365 יום, 6 שעות, 9 דקות ו-9.5 שניות (365.25636042 יממות סינודיות = Y_{sl}), מתקבל כי אורך החודש הסינודי הממוצע, M_{sy} , ניתן על ידי:

$$M_{sy} = Y_{sl} / (Y_{sl} / M_{sl} - 1) = 1 / (1/M_{sl} - 1/Y_{sl}) = 29.5305889$$

לפי חישובי המצפה הימי של ארצות הברית⁶ היו בשנת 1820 ביממה סינודית ממוצעת אחת בדיוק 86,400 שניות של השעון האטומי (שנייה שהוגדרה רק ב-1967 כ-9,192,631,770 מחזוריים של הקרינה המתקבלת ממעבר בין שתי רמות היסוד של אטום הצסיום), כלומר 24 שעות אטומיות במדויק.

188 שנים מאוחר יותר, בסוף שנת 2008, הוצג אורכה של היממה הסינודית הממוצעת, T_{Dmean} , על ידי המצפה הימי של ארה"ב כבעל הערך המקורב של:

$$T_{Dmean,2009} = 86400.002 \text{ sec} = 24.00000056 \text{ h}$$

המבטא התארכות ממוצעת של היממה הסינודית בשיעור של כ-1.3 מילי-שניות בכל מאה שנה. במקביל

$$T_{Dmean,1972} = 86400.0016 \text{ sec} = 24.00000044 \text{ h}$$

בהמשך חישובינו נבריל, לצורך הדיוק, בין אורך היממה הסינודית (המוגדרת כפרק הזמן הממוצע מצהרי השמש האמיתיים לצהרי השמש האמיתיים העוקבים) לבין אורך היממה הסדרית המוגדרת על פי הזמן הנדרש לכדור הארץ לבצע סיבוב שלם סביב עצמו ביחס לכוכבים רחוקים. מאחר שבשנה סדרית יש יממה סדרית אחת יותר ממספר היממות הסינודיות, יהיה אורך היממה הסדרית⁸ בשנת 1972 נתון על ידי:

$$T_{Dmean,1972} = 24.00000044 * (365.2564/366.2564) \text{ h}$$

6 <http://tycho.usno.navy.mil/leapsec.html>

7 הערך הממוצע של יממה סינודית אחת מוגדר כפרק הזמן שבין שני מעברים (עליונים) עוקבים של מרכז השמש הממוצעת דרך מישור קו האורך של גריניץ'. היממה הסדרית, לעומתה, מוגדרת כשני מעברים (עליונים) של כוכב רחוק דרך מישור זה. במעבר העליון נמצאת השמש בקרבתה המרבית לזניט. וראה, למשל, הנספח המדעי לספרי, מסע אל ההיסטוריה של האסטרונומיה של (I): מסע לאוהבקיסטון, ירושלים 2007.

8 וראה הגדרת היום הסדרי המקורב, D_{sl} , בפרק הדיון.

לכן, הערך המקורב של המהירות הסיבובית בתחילת 1972 הוא (כפי שחושב על בסיס השתנות היממה מאז 1820):

$$\omega_{E1} = 2 \pi / 23.93447257$$

והערך המקורב של המהירות הסיבובית בתחילת שנת 2009 (כפי שחושב על בסיס כל השנים מאז 1820) הוא:

$$\begin{aligned} \omega_{E2} &= 2 \pi / 24.00000056 / (365.2564/366.2564) \\ &= 2 \pi / 23.93447269 \end{aligned}$$

(ערכים אלה הם ערכים ממוצעים בלבד משום שבפועל קצב השתנות מהירות הסיבוב אינו קבוע ועל כן הערך הממוצע תלוי במספר השנים המובאות בחשבון בחישוב הממוצע). השינוי בתנע הסיבובי של כדור הארץ הוא על-כן:

$$I_E (\omega_{E2} - \omega_{E1})$$

מתוך השימוש בחוק שימור התנע הזוויתי של מערכת כדור הארץ והירח, הירידה בתנע הסיבובי של כדור הארץ חייבת להתאזן על-ידי עלייה בתנע הזוויתי של הירח. רוח זה מתקבל על ידי התרחקות הירח מכדור הארץ (השינוי בתנע הסיבובי של הירח סביב צירו הוא זניח ביחס לשינוי הנגרם על ידי התרחקות הירח). המהירות הסיבובית הממוצעת של הקפת הירח סביב כדור הארץ בשנת 1972, ω_{M1} , ניתנת על ידי:

$$\omega_{M1} = 2 \pi / (M_{SI} * 24.00000044)$$

מומנט ההתמדה של הירח, שמסתו m_M , בתנועת הקפתו את כדור הארץ ניתן על ידי

$$I_{M1} = m_M R_1^2$$

כאשר R_1 הוא המרחק הממוצע של הירח מכדור הארץ כפי שהיה בתחילת 1972. לעומת זאת מומנט ההתמדה של הירח בתחילת 2009 השתנה לערך

$$I_{M2} = m_M R_2^2$$

אם נסמן ב- ω_{M2} את המהירות הסיבובית של הירח בתנועתו סביב כדור הארץ בתחילת 2009, יהיה השינוי בתנע הזוויתי של הירח נתון על ידי

$$\begin{aligned} I_{M2} \omega_{M2} - I_{M1} \omega_{M1} &= m_M R_2^2 \omega_{M2} - m_M R_1^2 \omega_{M1} = \\ I_{M1} \omega_{M1} (R_2^2 / R_1^2 * \omega_{M2} / \omega_{M1} - 1) & \end{aligned}$$

תוספת השניות לשעון הבינלאומי וחישובי המולד בלוח העברי

אולם, על פי החוק השלישי של קפלר

$$R_2^3 / R_1^3 = T_2^2 / T_1^2 = \omega_{M1}^2 / \omega_{M2}^2$$

ולכן

$$R_2^2 / R_1^2 = (\omega_{M1} / \omega_{M2})^{4/3}$$

השינוי בתנע הזוויתי של הירח בין השנים 1972 ו-2009 הוא, אם כן:

$$I_{M1} \omega_{M1} ((\omega_{M1} / \omega_{M2})^{1/3} - 1)$$

מהירות הסיבוב החדשה של הקפת הירח ניתנת, אם-כן, לחישוב מתוך המשוואה:

$$I_{M1} \omega_{M1} ((\omega_{M1} / \omega_{M2})^{1/3} - 1) = I_E (\omega_{E1} - \omega_{E2}) \quad (1)$$

(בהזנחת אפקטים מסדר שני הנגרמים על ידי השינוי בתנע הזוויתי של הירח בסיבובו סביב עצמו כשהוא תמיד מפנה את אותם הפנים כלפי כדור הארץ)

I_{M1} הוא מומנט ההתמדה של הירח הנובע מתנועת ההקפה שלו סביב כדור הארץ. ערכו של I_{M1} ניתן על ידי המכפלה של מסת הירח וריבוע מרחק הירח מכדור הארץ בשנת 1972 והוא גדול כ-131 פעם מ- I_E (שערכו ניתן על ידי 0.33 של המכפלה של מסת כדור הארץ בריבוע הרדיוס של כדור הארץ – המקדם 0.33 מחליף את המקדם 0.4 של כדור הומוגני משום המסה הגדולה של גרעין כדור הארץ).⁹

לאחר שנמיד את כל המהירויות הזוויתיות בזמני המחזור, המשוואה הנתרת היא:

$$((T_{M2} / T_{M1})^{1/3} - 1) = (1/131) * ((1/T_{E1} - 1/T_{E2}) * T_{M1} \quad (2)$$

יחס זמני המחזור של הקפת הירח בין השנים 1972 ו-2009 יהיה על כן:

$$(M2 / M1)^{1/3} = (24 * M1) * I_E / I_{M1} * (23.93447269 - 23.93447257) / 24^2 + 1$$

$$M2 / M1 = (1 / (24 * 131) * 27.32166 * 1.1 * 10^{-7} + 1)^3$$

כלומר

$$M2 = 1.0000000029 * M1$$

או

$$M2 = M1 + 0.0068 \text{ sec}$$

נציין כי במהלך 37 השנים היו 458 חודשים שלמים ולכן השינוי החודשי הוא בשיעור ממוצע של 0.0068/458 שניות. אורך החודש הממוצע בין 1972 ל-2009 היה $M1 + 0.0034 \text{ sec}$.

9 ולדוגמה, ראה הגרית מומנט ההתמדה של כדור הארץ ביחידות של MR^2 באתר <http://www.earth.northwestern.edu/people/seth/202/lectures/intro/mass.htm>

אם בסיס הזמן היה אורך החודש בשנת 1972 (רהיינו, M1) הרי שהשימוש באורך המשתנה של החודש היה גורם לתוספת מצטברת במספר השניות הקבועות שצריך היה להוסיף למועד תחילת המולדות בראשית 2009 של מעט יותר מ-1.5 שניות, שהיא תוספת של כחצי חלק אחד קבוע שלם.

ג. דיון

משוואה (2) מאפשרת גם את החישוב המקורב של המצב הסופי בו תהליך הארכת היממה והחודש ייפסק. מצב זה יתקיים כאשר אורך היממה ישתווה לאורך החודש ותופעת הגאות והשפל תיפסק.

במצב זה T_{M2} ישתווה ל- T_{E2} .

משוואה (2) תהיה במקרה זה עם נעלם אחד

$$((T_{M2}/T_{M1})^{1/3} - 1) = (1/131) * ((1/T_{E1} - 1/T_{E2}) * T_{M1}) \quad (2)^*$$

$$(T_{E2}/T_{M1}) = ((1/131) * (T_{M1}/T_{E1} - T_{M1}/T_{E2}) + 1)^3 \quad (3)$$

$$X = ((27.32166 - 1/X) / 131 + 1)^3 \quad (4)$$

$$X = ((27.32166 - 1/X / 131 - 1/X) / 1093 + 1)^3 \quad (4)^*$$

הפתרון של משוואה זו עבור X המוכפל ב-27.321662 מוביל לאורך חודש סדוי של 47.5 יממות. כאשר יגיע אורך החודש לערך זה יהיה אורך היממה הסדרית, D_{sid2} , גם הוא בן 47.5 יממות סדריות של היום, D_{sid1} :

$$D_{sid1} = 23^h 56^m 4^s$$

את אורך היממה הסינודית החדשה, D_{syn2} , ניתן לחשב מתוך העובדה שבשנה סדרית אחת גדול מספר היממות הסדריות ממספר היממות הסינודיות ביממה סדרית אחת במדויק כפי שחישבנו בפרק ב לעיל.

בהנחה שהאורך הממוצע של השנה הסדרית לא ישתנה (בהיותו מוכתב רק על ידי המרחק הממוצע של כדור הארץ מן השמש), יהיה האורך של היום הסינודי המתאים ל- D_{sid2} נתון על ידי

$$365.2564/D_{sy2} = 365.2564/(D_{sy2}) - 1$$

ולכן

$$D_{sy2} = 54.6$$

אורך החודש הממוצע בין מולד למולד יהיה שווה אף הוא לאורך זה של היממה הסינודית והוא יעמוד על 54.6 יממות של ימינו.

מובן כי פרק הזמן שיחלוף עד שאורך החודש הממוצע ישתווה לאורך היממה הממוצעת הוא

תוספת השניות לשעון הבינלאומי וחישובי המולד בלוח העברי

בסדרי גודל המתקבלים כחסרי משמעות מעשית לגבי הלוח העברי. אך לחישובים הללו יש השפעה בטווח הקצר יותר של מאות ואלפי שנים משום העובדה שאורך החודש משתנה בקצב שונה מהשינוי של אורך היממה והתיקון המוצע לגבי הגדרת החלק איננו פתרון "עד לקץ הימים" כפי שמציע הרמב"ם.

חישובינו לעיל מצביעים על הצורך להבחין בין שתי האפשרויות הבאות:

1. אם אורך היממה ימשיך להיות בסיס לחישוב אורך השעה, אזי אורך החודש הסינודי ילך ויקטן מערכו הממוצע כיום שהוא 29.5 יממות, 44 דקות ו-2.9 שניות עד לערך של יממה אחת. במקרה כזה, ההתרחקות של הירח כתוצאה מהתארכות היום גורמת "להתקצרות" החודש כשאורכו נמדד באמצעות מספר היממות.
2. אם אורך היממה ייקבע באמצעות השעון האטומי, אזי אורך החודש הסינודי הממוצע, בין מולד למולד, ילך ויגדל כשהוא נמדד ביחידות המוחלטות עד לאורך של 54.6 יממות של ימינו. במצב זה תתבטא ההתארכות של החודש במספר השעות והשניות המוחלטות שבו.

הלוח העברי נבנה על פי הידע האסטרונומי של האלף הראשון לספירה. האמונה שקרב ובא היום שבו ניתן יהיה לחזור ללוח המבוסס על עדריות בפני הסנהדרין ולא על כללים קבועים, נמנית עם הסיבות העיקריות לכך שהגורמים השונים נמנעים מלשנות את הלוח העברי על פי הידע האסטרונומי של ימינו.

כללי הלוח העברי גורמים לכך שתחילת האביב האסטרונומי הולכת ומקדימה את תחילת האביב הממוצע בלוח העברי בשיעור של יממה בכל כ-216 שנים. כבר היום כחמישית מחגי הפסח מתחילים למעלה מחודש לבנה שלם אחרי תחילת האביב, מצב שלא היה קיים לגבי אף אחד מחגי הפסח בעת שנקבעו כללי הלוח העברי.

משום כך, קביעת הפסח כחג האביב גורמת כבר עתה לצורך בניסוחים שונים לגבי הגדרת האביב בלוח העברי, דוגמת הקביעה כי הכוונה במונח אביב היא לכל 3 חודשי תקופת האביב, ניסוחים המצדיקים לכאורה את דחיית הצורך בתיקון הלוח.

ואמנם, אף על פי שסטייה זו ידועה ודווחה בספרות,¹⁰ לא נעשה דבר כדי לתקן את הלוח. אך עם מעבר השעון הבינלאומי לשעון המבוסס על שעון אטומי קבוע, מעבר המחייב גם את כל אזרחי העולם ובכללם גם את כל אזרחי מדינת ישראל, עולה השאלה הברורה: האם אורך החודש העברי גדל או קטן? אם לא נשנה דבר בנושא הגדרת יחידת הזמן, החלק, ביחס לשנייה, הרי שההכרזה בבתי הכנסת על השעה המדויקת של כל מולד לא זו בלבד שאיננה מתאימה למולד הממוצע האסטרונומי אלא שהיא גם איננה מוסיפה למולד החולף 29.5 ימים ו-793 חלקים

10 ראה עלי מרצבך, "חוזות חג הפסח לקראת הקיץ", בד"ר 18 (ניסן תשס"ז), עמ' 99-105; אריאל כהן, "אורכי החודשים ורכי מרידתם בעת קביעת כללי הלוח העברי במאה הרביעית (החודשים הסינודיים, הדרקוניים והסדריים)", מחקרי יהודה ושומרון 3 (1994), עמ' 371-378.

כדרישת הלוח. במצב הנוכחי היא מוסיפה בממוצע 29.5 ימים ו-793 חלקים ועוד $1/(18*3.33)$ שניות המתבטאות בטעות מצטברת של 7 חלקים מאז 1972.

אולם מאחר שבמאות הקודמות, לפני 1972, היו כל שעוני העולם מכוונים על פי אורך היממה, אפשר היה להתעלם מהתארכות היממה ומן השינוי באורך החודש ולהתמיד בשימוש בערך 29.5 ימים ו-793 חלקים שכל אחד מהם שווה באורכו ל-3 ו-1/3 שניות. כיום כבר אי אפשר עוד להמשיך ולומר כי בשעה שיש בה 3,600 שניות מוחלטות המבוססות על השעונים האטומיים, יש גם 1,080 חלקים, שכן, כמוסבר לעיל, השוואת 1,080 חלקים ל-3,600 שניות דורשת הכנת לוחות חדשים לכל המולדות.

הפתרון המעשי לכך בטווח מאות השנים הבאות הוא להחליט כי אורך החודש העברי ימשיך להיות בנוי, כבעבר, על שעון המבוסס על אורך היממה וכך, ציון השעה המקורבת של כל מולד ומולד יתאים גם לשעון שבידינו. ולדוגמה, שעת המולד של חודש אייר התשצ"ד המוזכר במבוא, שתהיה, כאמור, 796 חודשים לאחר מולד תשרי של שנת התשל"ג, חלה על פי הלוחות העבריים של העבר 5 חלקים לאחר תחילת יום רביעי. אם נשווה זאת לשעה הרשומה בשעוננו, הרי שלזמן הבינלאומי המצוין על ידי השעון הנמצא בשימושנו נוספו אמנם יותר מ-24 שניות, אך גם לסך כל החודשים העבריים מאז התשל"ג נוסף אותו מספר שניות (ערך לדיוק של שנייה) משום שיחידת הזמן, החלק, גדלה בדיוק בשיעור דומה. כך יוכל הגבאי להכריז על שעת המולד שתתאים לשעון המצוי בידינו.

את התיקון המוצע יש לסייג לטווח של מאות השנים הבאות, כי כפי שמראה החישוב לעיל לגבי "התקצרות" החודש ביחס ליממה כאשר מתמידים למדוד את אורך החודש ביחידות של אורך היממה, השינוי באורך היממה ובאורך החודש איננו ליניארי והוא עשוי להשתנות בצורה מעריכית כפי שמפורט במאמר: <http://www.ucolick.org/~sla/leapsecs/dutc.html> וראה טבלה שם לפיה בעוד כ-1,400 שנה יכול להיות כבר הפרש של 3 שעות (שלוש שעות) בין השעון האטומי לשעון המבוסס על אורך היממה ובעוד 6,000 עד 8,000 שנה הפרש של יומיים! להפרשים אלה תהיה גם השפעה על הצורך בשינוי אורך החודש הממוצע גם כאשר החלק מוגדר כגודל משתנה התלוי באורך היממה.