קואורדינטות שמימיות - מושגי יסוד

לקריאה משלימה ולתרגולים

פרק זה מבוסס על פרקים א ו-ב' בספר
מדריך להכרת השמים, ד"ר יגאל פת-אל, הוצאת קוסמוס טלסקופים
http://cosmos.co.il/wfile/catalog/books.htm

פרקי תרגול לפרק זה מצויים באתר זה בפרקי מבוא ובתרגולים למורים:
http://education.org.il/edication/lab_edu.htm

קואורדינטות שמימיות - מושגי יסוד

- רוחות השמים
- כיפת השמיים
- מערכות קואורדינטות

הגדרות יסוד - אופק

כדור הארץ כדור מושלם

האופק מעגלי ומשתרע ל-360 מעלות

אין כל הסתרה לכיוון האופק

הצופה מצוי במרכז המעגל

הגאיואיד

- פחיסות - כדור הארץ אינו כדור מושלם. הוא פחוס בקטבים בגלל סיבובו סביר צירו ולכן קוטרו בקו המשווה גדול יותר

- עוותים מקומיים גיאומטריים – בגלל פחיסויות ובליטות ביחס למעגל המושלם, לכדור הארץ צורת גיאואידה, שמוגדרת על ידי מדידות גיאודזיות מדויקות

- עיוותי כבידה – בגלל המרחק השונה של פני כדור הארץ ממרכזו יש הבדלים בסדר ראשון של תאוצת הכובד על פניו.

- בשל התפלגות מסה שאינה אחידה, יש הבדלים מסדר שני של תאוצת הכובד על פני כדור הארץ

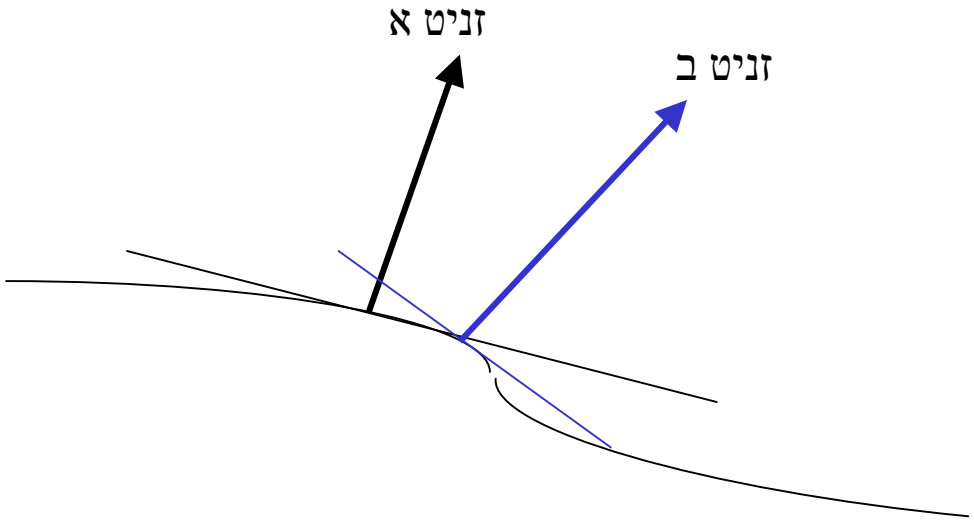
הגדרת הזניט והנדיר

הגדרה עממית – הזניט – הנקודה מעל הראש

הגדרה עממית – הנדיר – הנקודה "מתחת לרגלים"

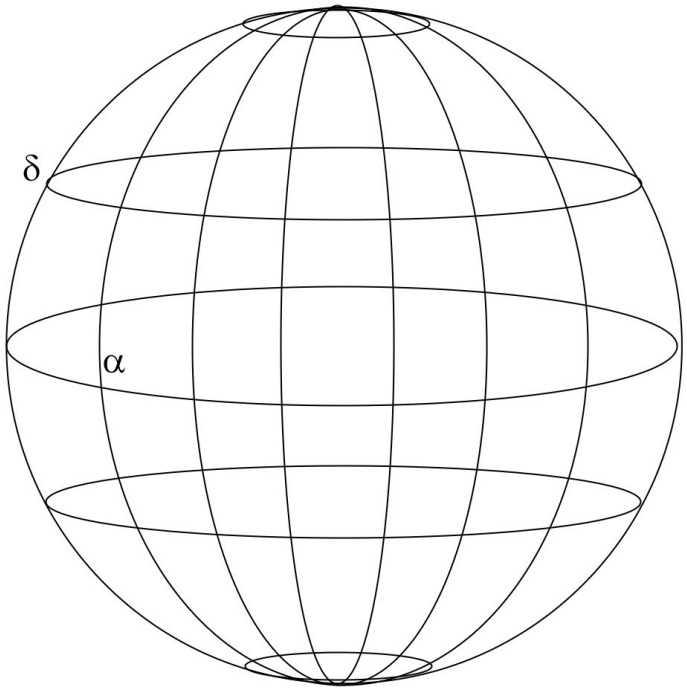
הגדרה גאויידית: זניט - הנורמל למשיק למקום הימצאו של הצופה

הגדרה גאויידית: הנדיר – המשך הקו של הזניט



המעגל הגדול

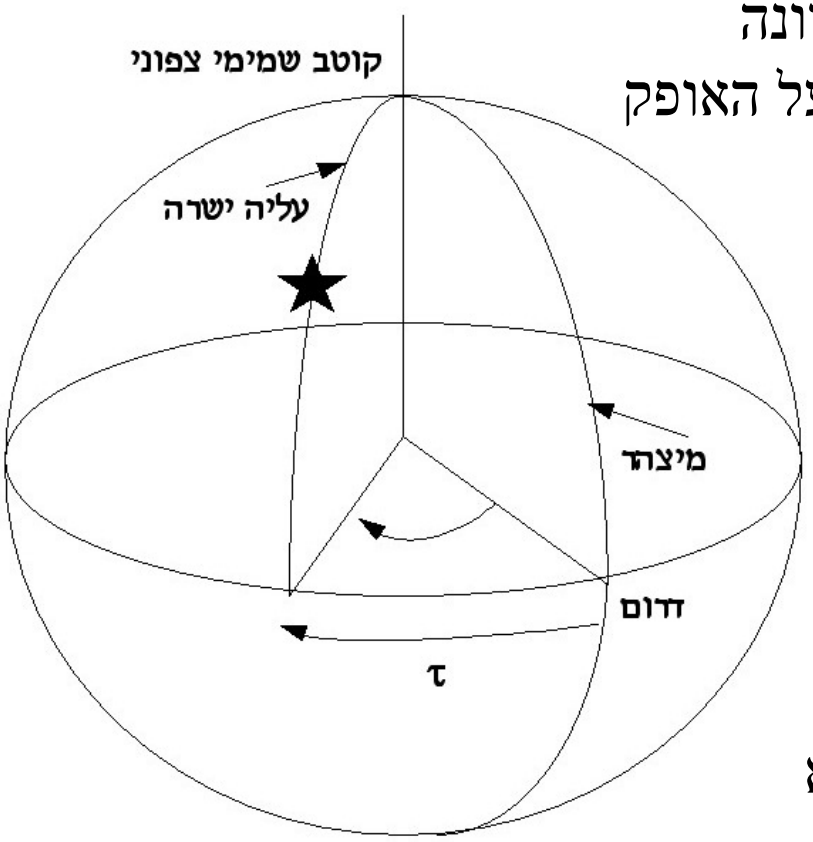
הגדרה – מעגל גדול הוא מעגל החוצה כדור
כאשר קוטרו זהה לקוטר הכדור,
מישור החיתוך עובר במרכז הכדור
בכדור הארץ, קווי האורך הם מעגלים גדולים ושווים בהיקפם (נזניח את צורת הגיאואיד)



הגדרת המצהר - מריאן

מעגל גדול החוצה את כיפת השמים מדרום לצפון ועובר דרך הזניט ומרכז כדור הארץ

כאשר גרם שמימי חוצה את המצהר אנו אומרים שהוא צוהר
לגבי צופה בחצי הכדור הצפוני:
כאשר הצהירה מעל האופק הדרומי – צהירה עליונה
גופים סובבי קוטב צוהרים גם צהירה תחתונה מעל האופק



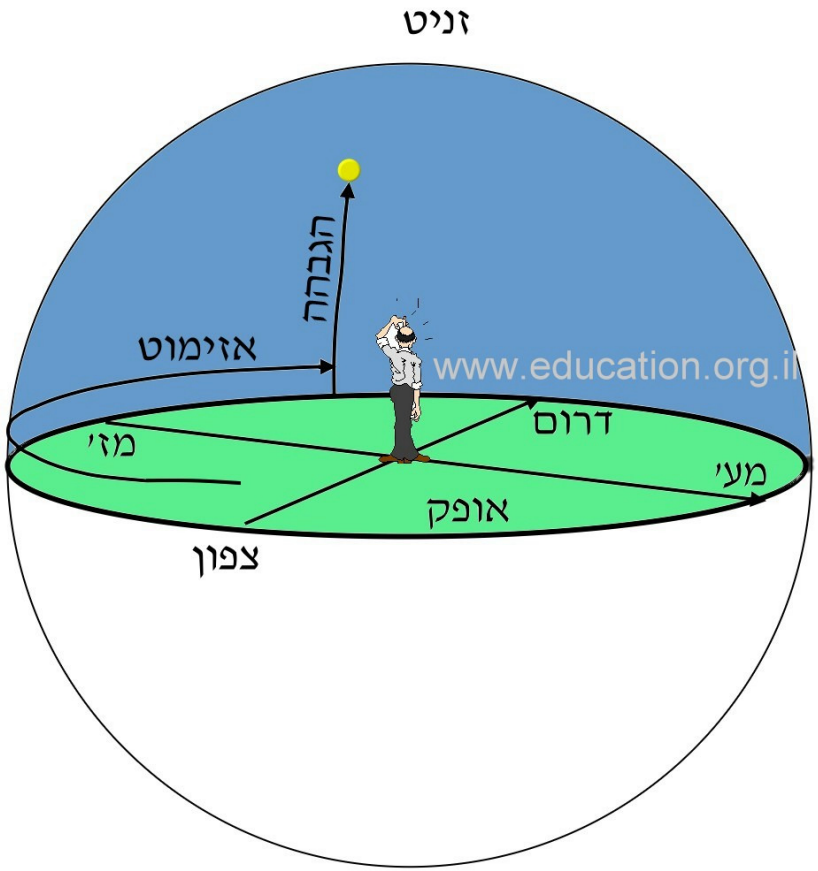
כאשר גוף צוהר צהירה עליונה הוא מצוי בשיא
גובהו מעל האופק בתנועתו היומית

המערכת הטופוצנטרית

מערכת קואורדינטות שמרכזה הצופה המצוי
על פני כדור הארץ.

אם מתייחסים למיקום מרכז כדור הארץ בחלל, יש לבצע תיקון
עבור מיקומו של הצופה על פני הכדור

המערכת האלט-אזימוטלית



המערכת האלט-אזימוטלית היא מערכת צירים שציריה מקבילים ומאונכים לאופק.

המערכת היא טופוצנטרית ונכונה רק עבור הצופה

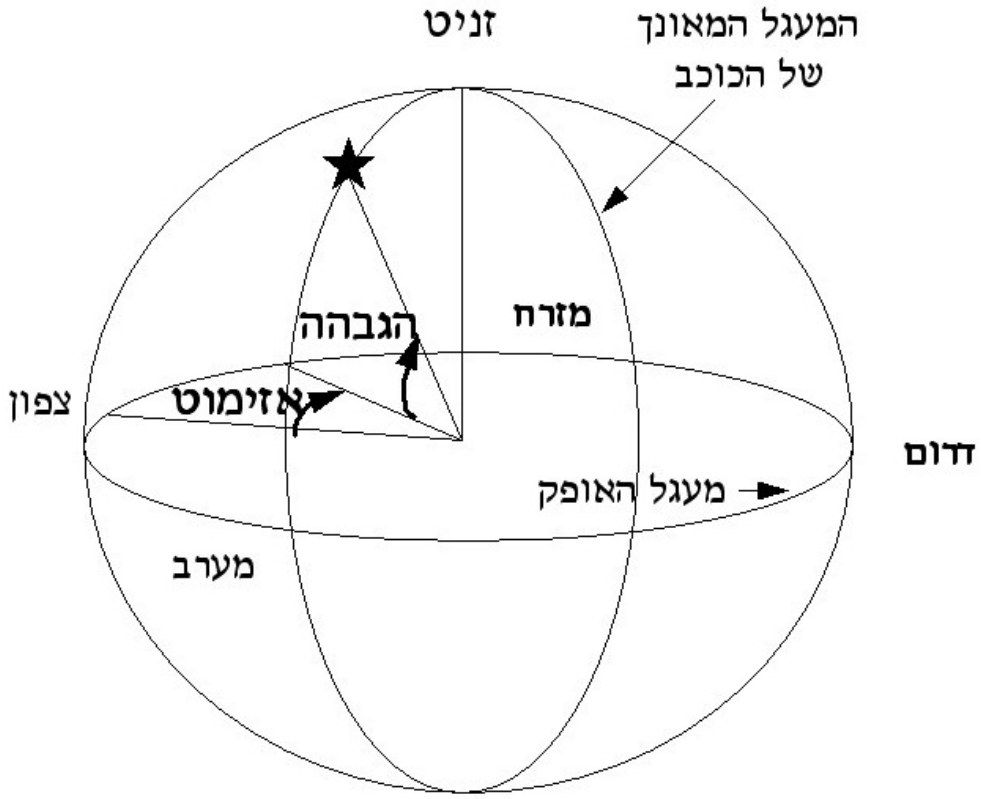
הזווית האופקית (אזימוט) נמדדת מהצפון מזרחה על האופק, ומקבלת ערכים של 0 עד 360 מעלות.

הזווית האנכית (הגבהה) נמדדת מהאופק לכיוון הזניט ומקבלת ערכים מ-0 עד 90 מעלות.

המערכת האלט-אזימוטלית

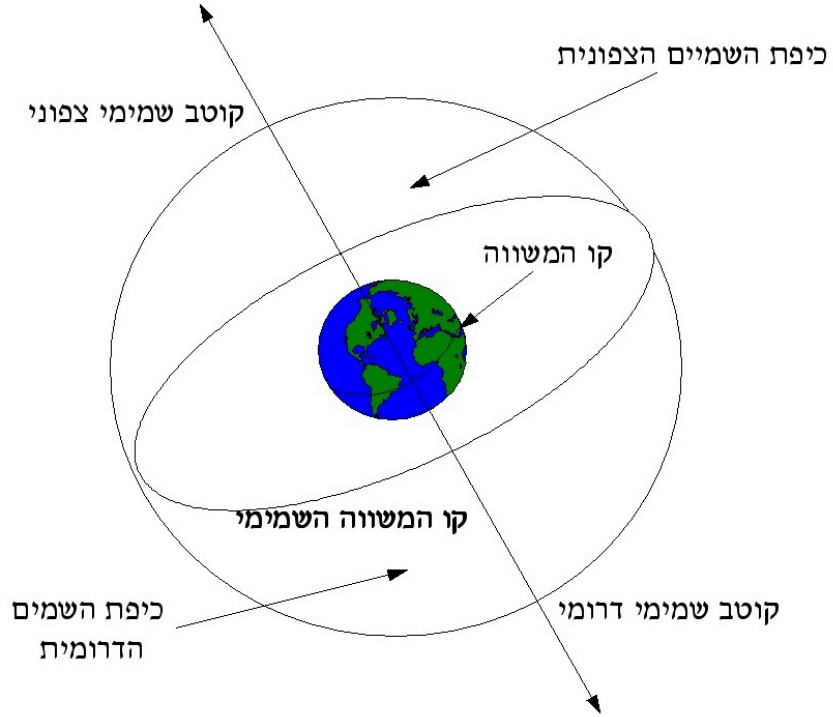
הציר האופקי נמדד מהצפון מזרחה. הזווית קרויה – אזימוט.

הציר האנכי הוא הגובה במעלות מעל האופק לכיוון הזניט – הגבהה.

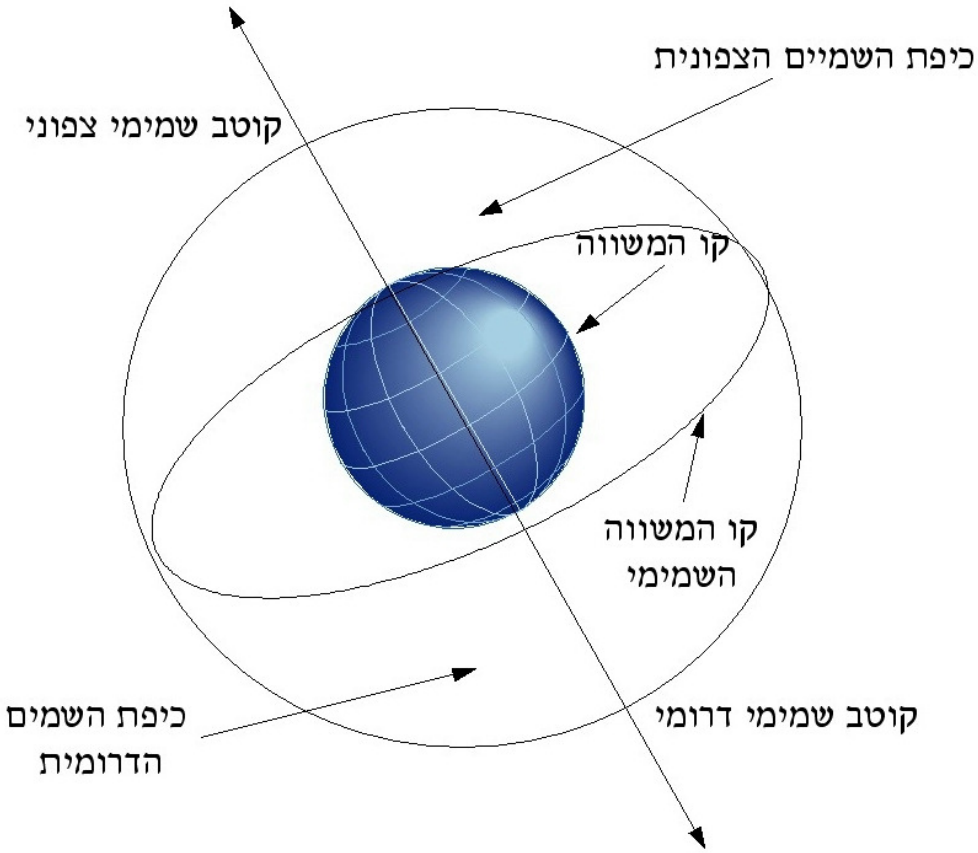


כדור הארץ בכדור השמים

כדור השמים הוא כדור דמיוני
עליו יש השלכה של מערכת הקואורדינטות הארצית
ציר הסיבוב של כדור הארץ מתווה את הקטבים השמיימיים שמצויים
בהמשכו של ציר סיבוב כדור הארץ
קו המשווה השמיימי מצוי על המישור של קו המשווה הארצי

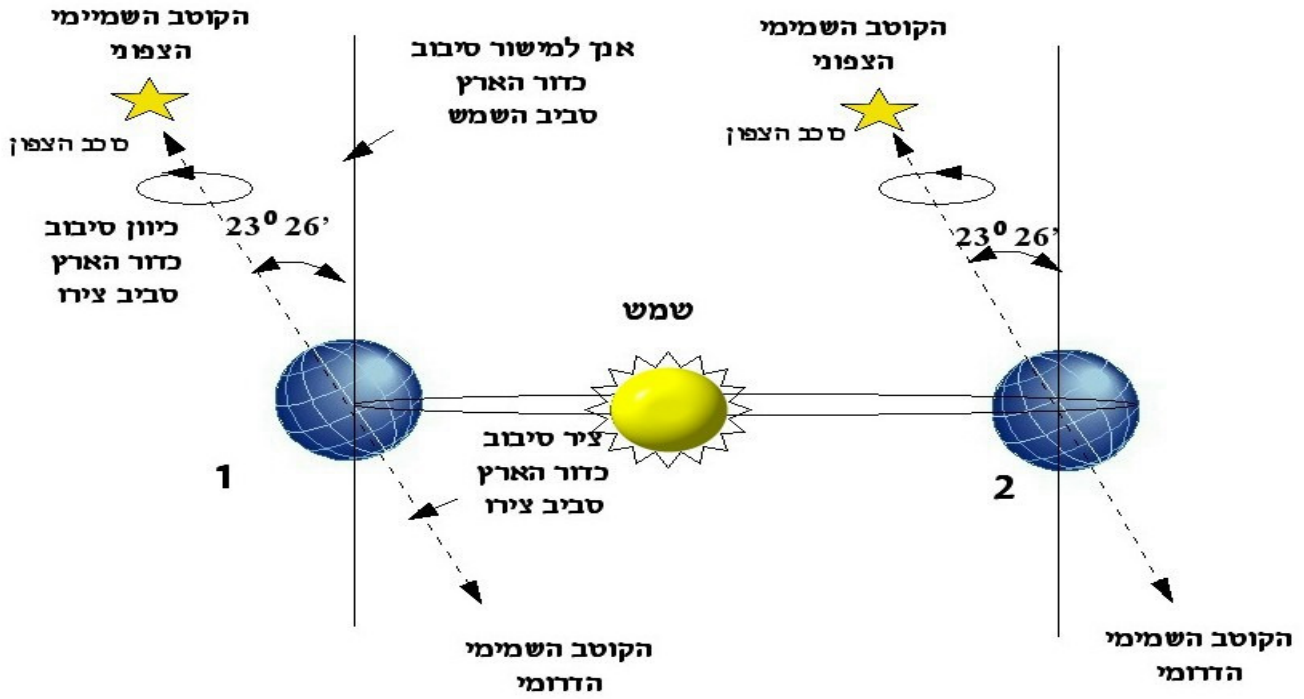


כדור השמיים במערכת המשוונית (אקווטוריאלית)



המערכת המשוונית והקטבים השמימיים

ציר סיבוב כדור הארץ נטוי בזווית של $23^0 25'$ ביחס לאנך למישור סיבובו את השמש ומצביע לאותה נקודה בשמים ללא קשר למיקומו ביחס לשמש (נזניח כעת את מחזור הנקיפה של ציר סיבוב כדור הארץ)

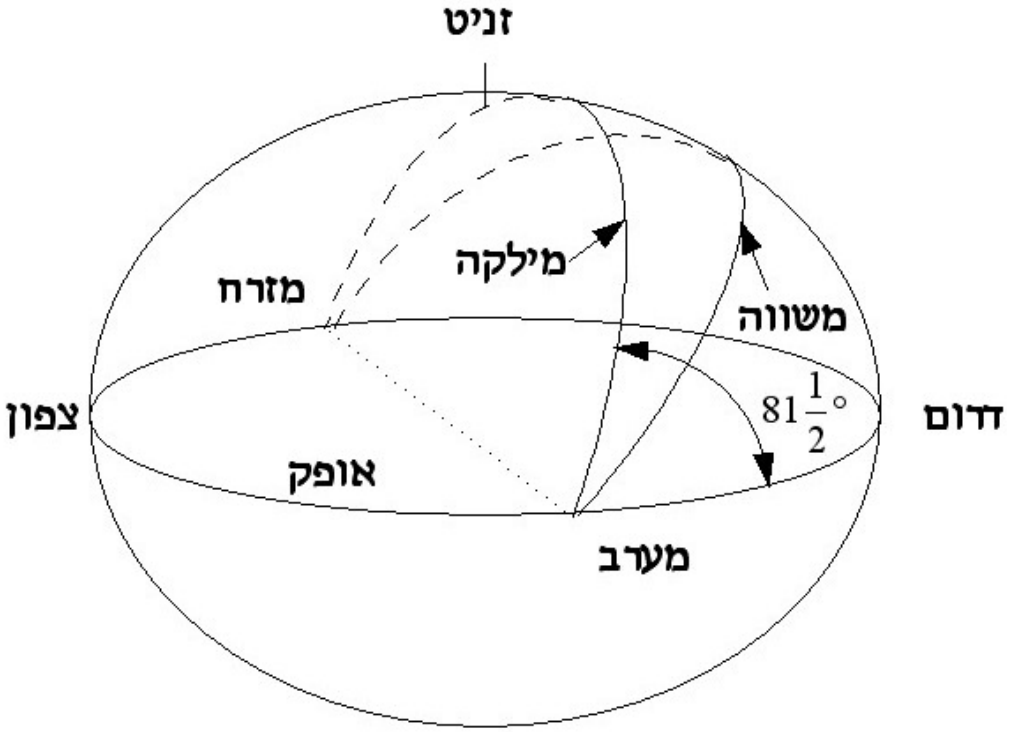


כדור השמים במערכת המשוונית

מערכת הצירים השמיימית מקבילה למערכת הצירים הגיאוגרפית של כדור הארץ. והיא אינה תלויה במיקומו של הצופה אלא בייחס למערכת הקואורדינטות של כדור הארץ.

קו המשווה השמימי הוא באותו מישור של קו המשווה

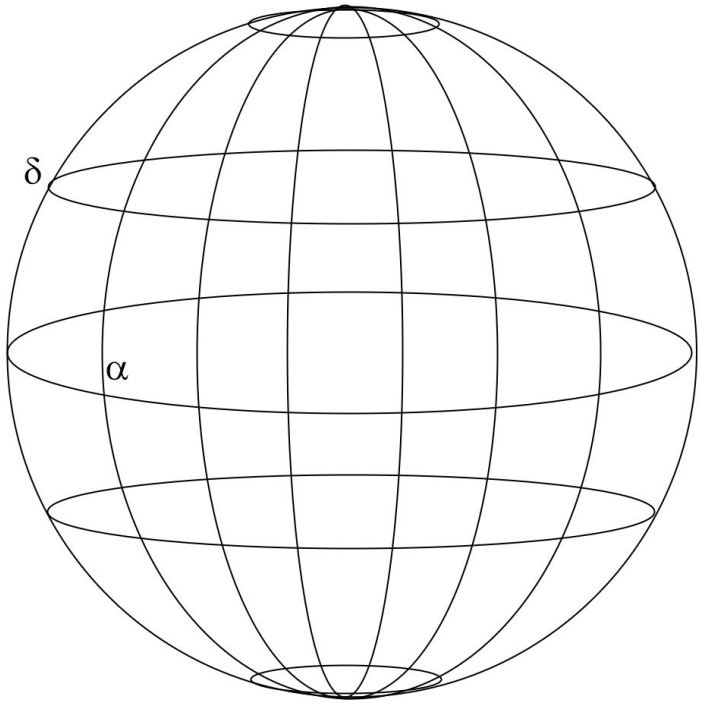
הקטבים השמימיים הם המשך ציר הסיבוב של כדור הארץ



קואורדינטות משוניות

מערכת הצירים שבה הקואורדינטות מקבילות לקו המשווה של כדור הארץ.

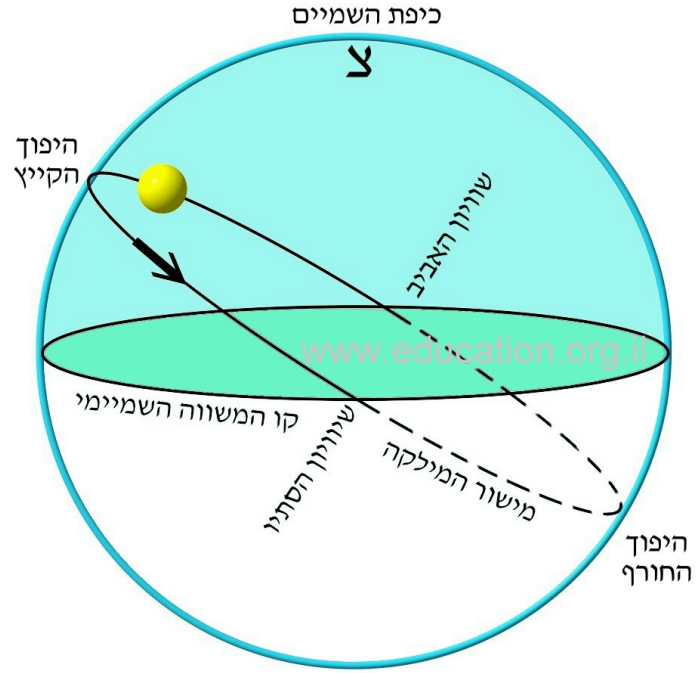
קו האורך התחילי נקבע לנקודה בה מצויה השמש על קו המשווה ביום שוויון האביב (נקודת האביב)



נקודות השוויון

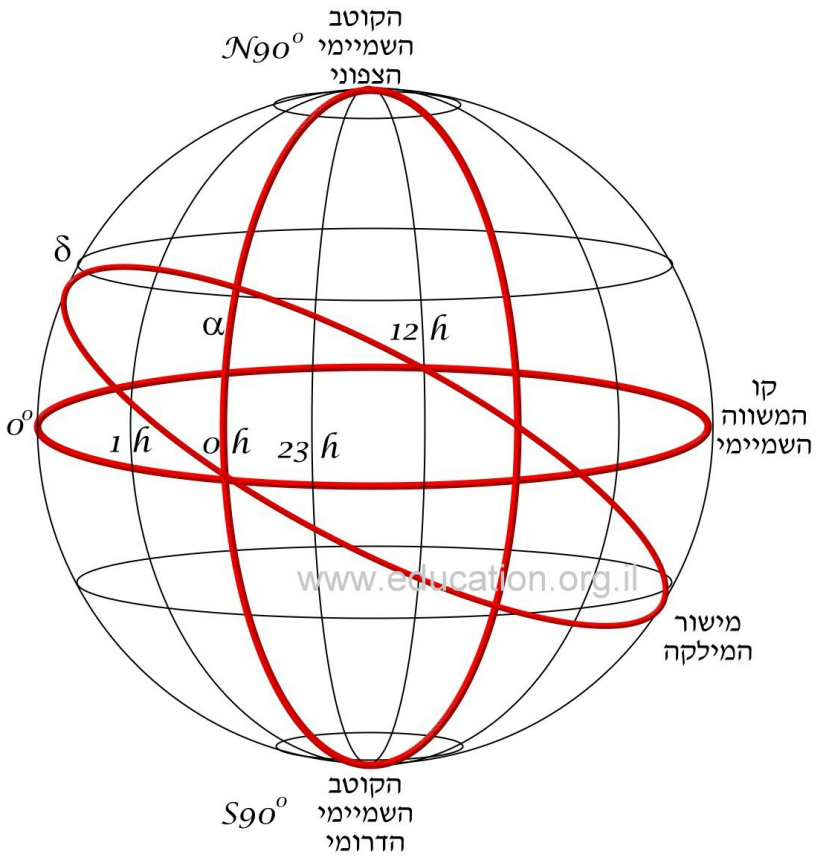
השמש נעה על פני כיפת השמים ביחס לקו המשווה השמימי. מסלול זה משיק למסלול סיבוב כדור הארץ סביב השמש וקרוי – מישור המילקה.

נקודות השוויון הן הנקודות בהן מרכז השמש חוצה את קו המשווה השמיימי בתנועתה על פני כיפת השמים. בימים אלה, אורך היום שווה לאורך הלילה



www.education.org.il

קואורדינטות משווניות - מישור המילקה



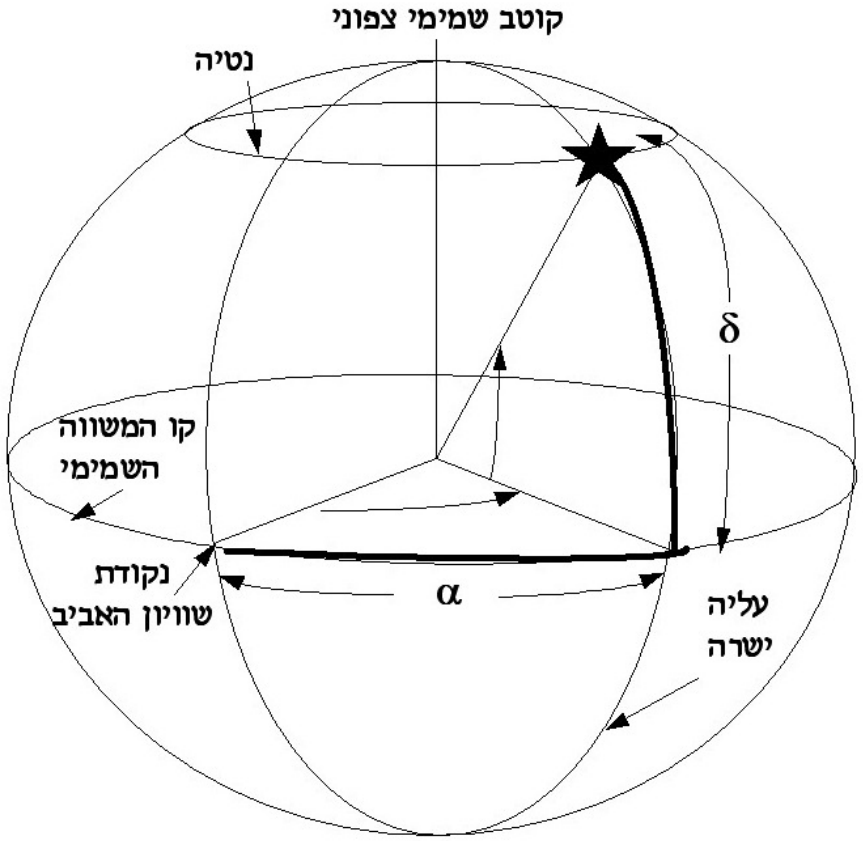
www.education.org.il

הזווית בין מישור המילקה לקו המשווה היא 23.5 מעלות (נובעת מנטיית ציר הסיבוב

שני המישורים – המילקה והמשווה, חוצים זה את זה בנקודות השוויון

נקודת שוויון האביב מוגדרת כנקודה שבה השמש עולה מדרום לצפון ומוגדרת כקו אורך שמיימי 0

קואורדינטות משוניות



נטייה – קו רוחב שמיימי Declination

$$-90^0 \le \delta \le +90^0$$

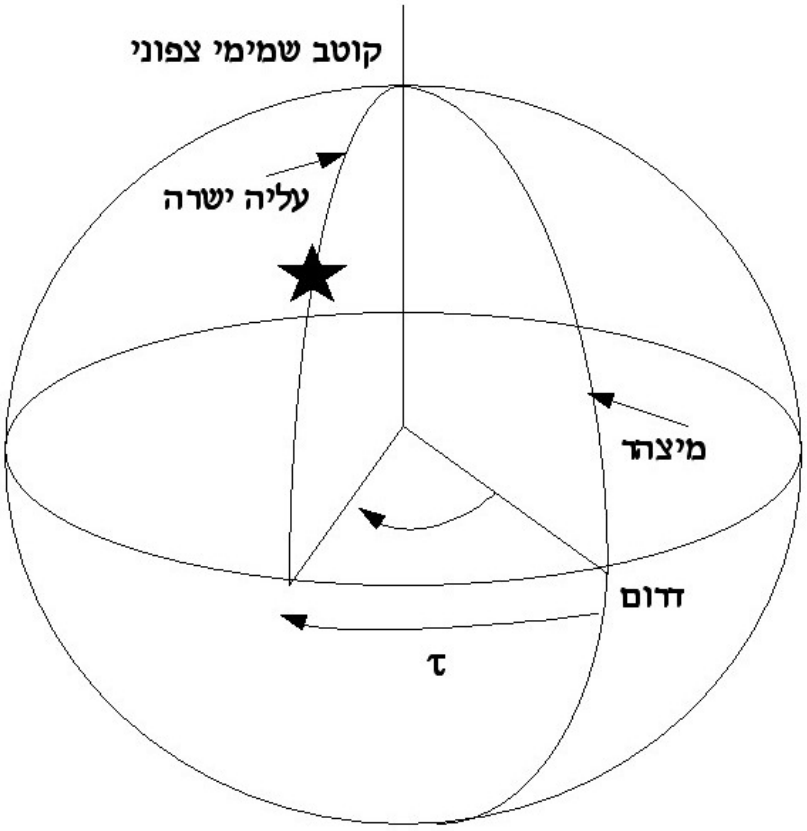
עלייה ישרה – קו אורך שמיימי Right Ascention

נמדדת מנקודת האביב מזרחה

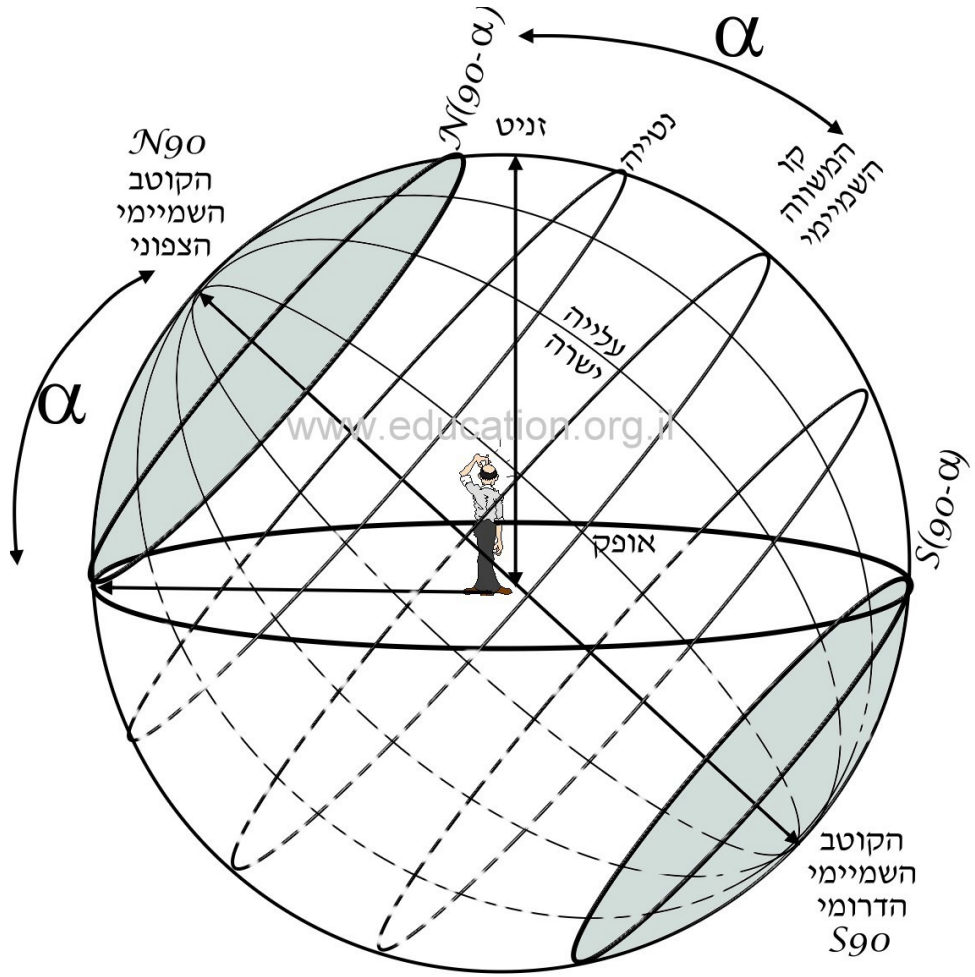
$$\alpha = 0^h - 24^h$$

$$1^h = 15^0$$

קואורדינטות משווניות



היראות השמים בהתאם למיקום הצופה



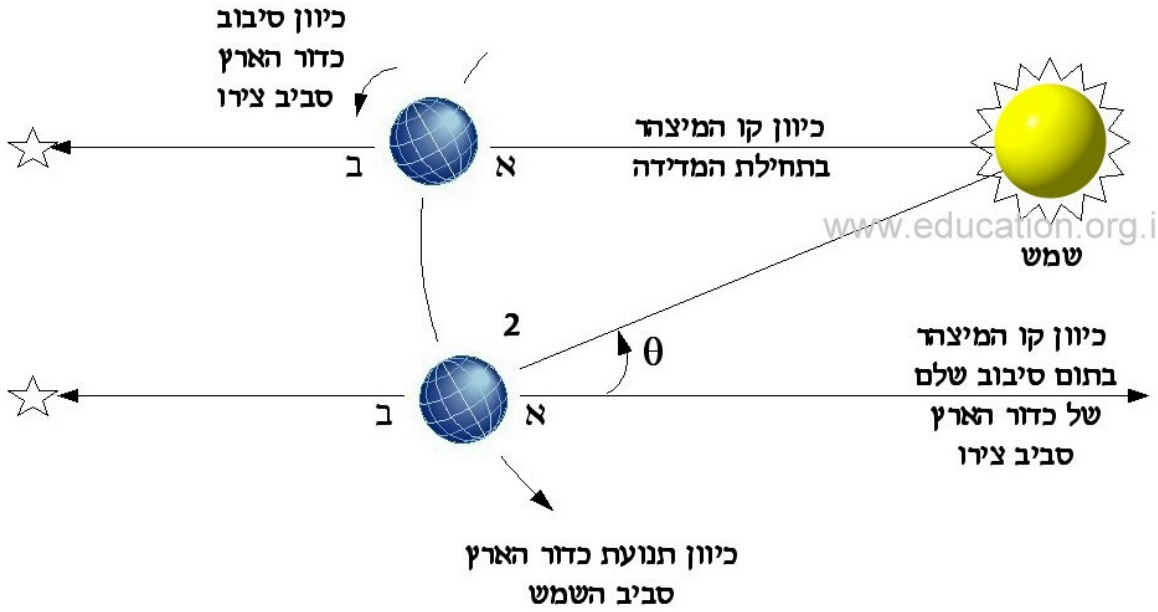
הגדרות

- קו רוחב השמיימי העובר בזניט הוא קו הרוחב של הצופה
- גובה הקוטב השמיימי מעל האופק שווה לקו הרוחב של הצופה
- כל הכוכבים שבין הקוטב השמיימי בקשת השווה לקו הרוחב של הצופה לא שוקעים (סובבי קוטב)
- כל הכוכבים שבין הקוטב הנגדי בקשת השווה לקו הרוחב לא עולים לעולם מעל האופק

היממה - הגדרות

היממה מוגדרת כפרק הזמן שבו כדור הארץ משלים סיבוב סביב צירו.

כיוון שכדור הארץ מקיף את השמש ואנו קובעים את היממה גם ביחס לשמש, יש הבדלים בין משך הסיבוב של כדור הארץ סביב צירו והיממה הנמדדת ביחס לשמש. כאשר כדור הארץ משלים הקפה שלמה סביב צירו, הוא גם נע קטע מסוים במסלולו סביב השמש



www.education.org.il

היממה השמשית הממוצעת

אנו מגדירים את אורך היממה על פי תנועתה של השמש בשמים. מלים אחרות, אנו מגדירים את אורך היממה כאשר השמש משלימה הקפה אחת מדומה סביב הצופה – או בין זריחה לזריחה, או בין שקיעה לשקיעה. מקובל למדוד את משך היממה על פי שני מעברים של השמש בקו המצהר

הגדרה: היממה השמשית הממוצעת הוא ממוצע הזמן החולף בין שני מעברים עוקבים של מרכז השמש במצהר. זמן זה הוגדר כ-24 שעות וזו היממה השמשית הממוצעת

כיוון שמסלול סיבוב כדור הארץ סביב השמש אינו סימטרי וציר הסיבוב שלו סביב צירו אינו מאונך למישור הסיבוב שלו סביב השמש, אורך היממה הנמדד לפי מיקום השמש יהיה שונה מאורך היממה השמשית הממוצעת.

שמש ממוצעת – תנועת השמש בשמים לו מסלול כדור הארץ היה עגול מושלם וציר הסיבוב שלו מאונך למישור המילקה

היממה השמשית האמיתית

אורך היממה השמשית האמיתי ימדד כאמור
לפי מחזור הקפה שלם של השמש על פני
כיפת השמים. לצורך העניין נגדיר מחזור
הקפה שלם ממצהר למצהר

הגדרה – היממה השמשית האמיתית הוא פרק
הזמן החולף בין שני מעברים
עוקבים של מרכז השמש במצהר.

היממה הסידרלית (כוכבית)

משך היממה הסידרלית מגדירה את פרק הזמן שבו משלים כדור הארץ סיבוב סביב צירו והיא אינה תלויה במיקום השמש בשמים.

הגדרה – פרק הזמן שבו משלים כדור הארץ הקפה שלמה סביב צירו ביחס לאין סוף

היממה הסידרלית קרויה כך בגלל שהמדידה היא ביחס לכוכבים (סידרלי – כוכבי) המצויים כה רחוק שאפשר להניח את מרחקם לאינסוף ביחס למרחק לשמש

אורכה של היממה הסידרלית ~23h56m

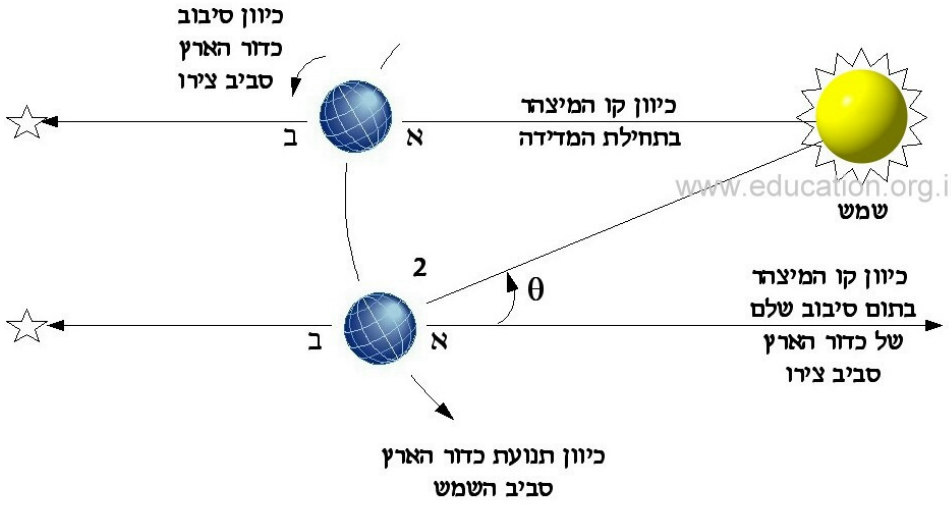
חישוב אורך היממה הסידרלית

היממה השמשית הממוצעת אורכת 24h ונסמן אותה ב- D_m

משך הקפה של השמש אורך 365.24219 יממות ממוצעות

לכן, כדי שהשמש האמיתית תגיע למצהר יש להוסיף את הקטע θ (בדקות)

$$\theta_m = \frac{1}{365.24219} x24hx60m \approx 3.94m$$



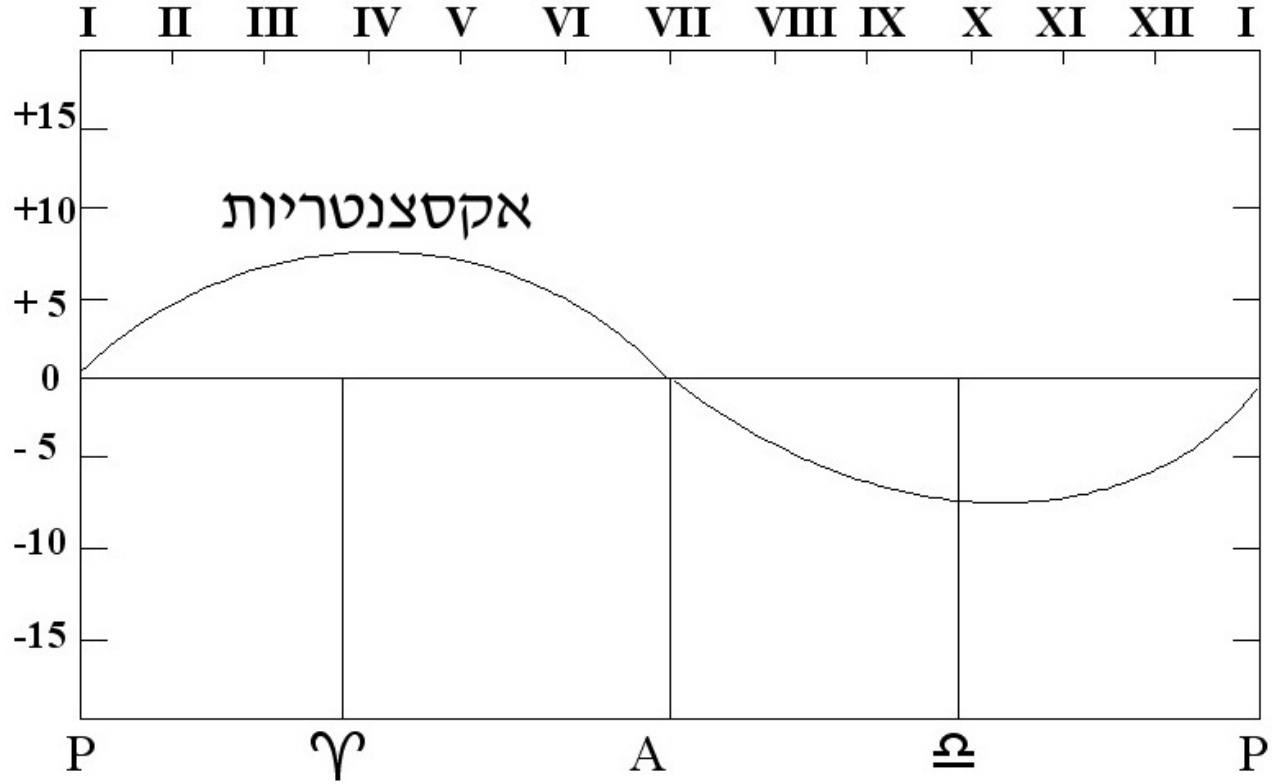
www.education.org.il

ומכאן, שאורכה של היממה הסידרלית הוא:

$$24h - 3.94m = 23h56.06m$$

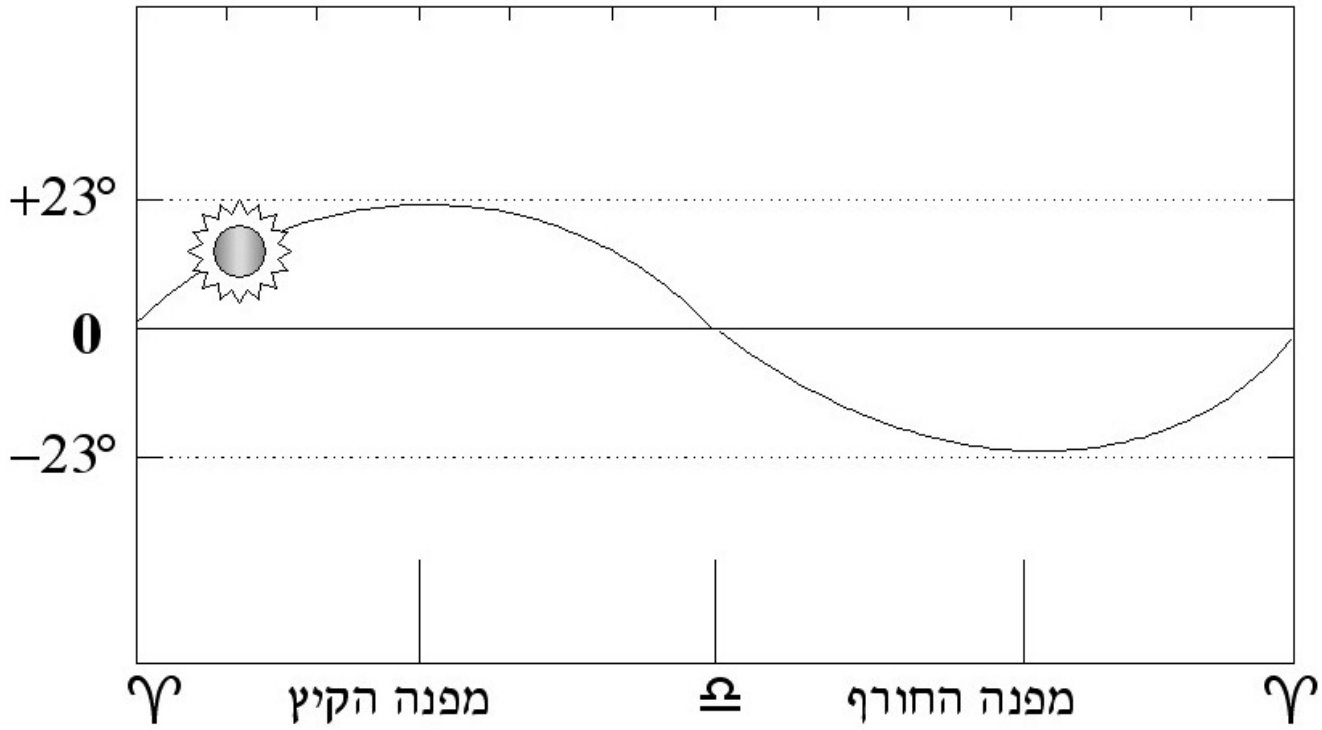
ההבדלים באורך היממה בגלל פחיסות המסלול

בגלל שמסלול כדור הארץ סביב השמש הינו אליפטי, אורך הקטע שבו הוא נע סביב השמש בכל יממה אחת משתנה (הוא נע מהר יותר בפריהליון מאשר באפהליון)



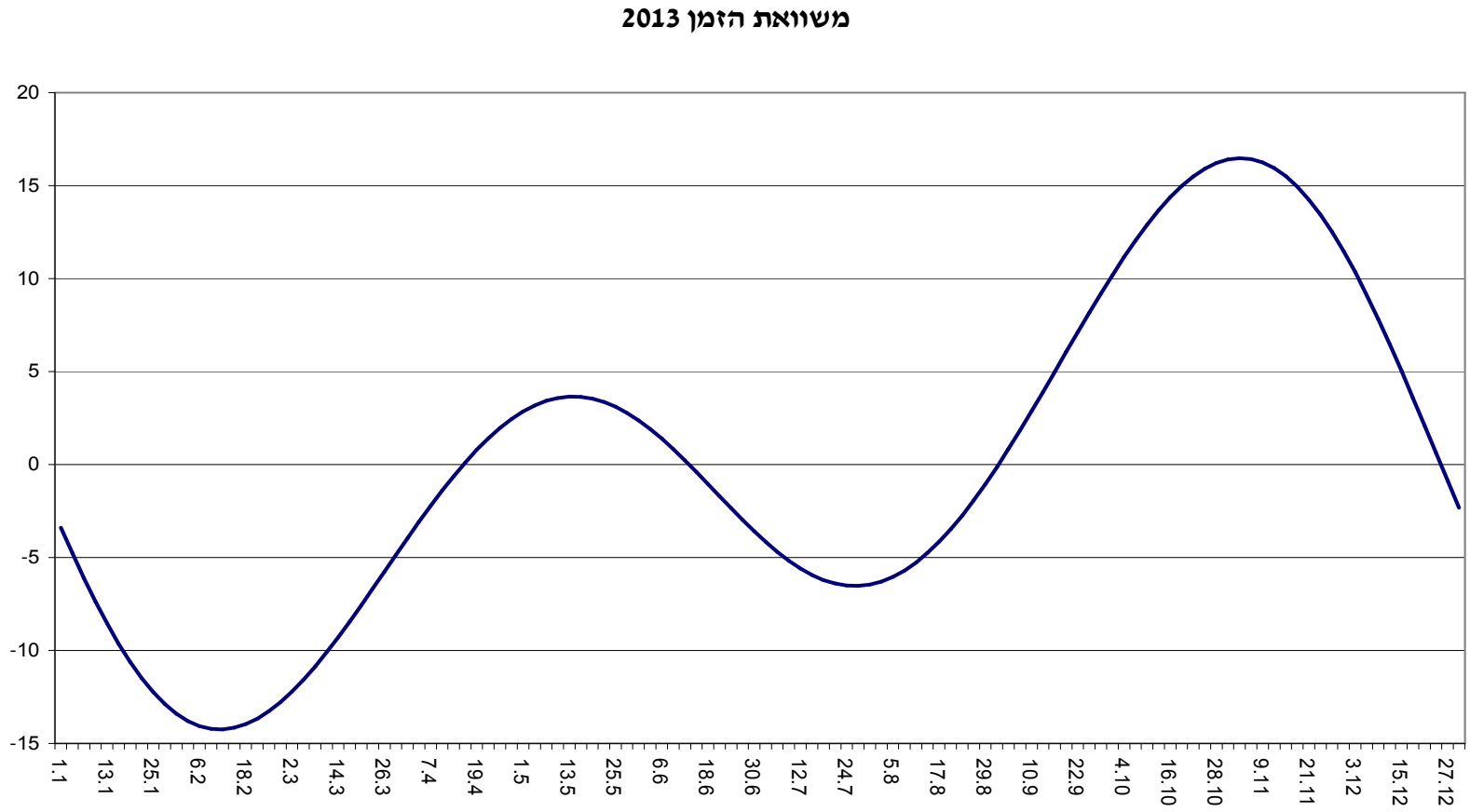
הבדלים באורך היממה בגלל זווית הנטייה

כיוון שציר סיבוב כדור הארץ אינו מאונך למישור הסיבוב, התנועה האופקית של השמש על כדור השמים מורכבת משתי תנועות – מאונכת ביחס לאופק ומקבילה לו. היחס בין שתי תנועות אלה משתנה בהתאם למיקום השמש ביחס למישור המילקה



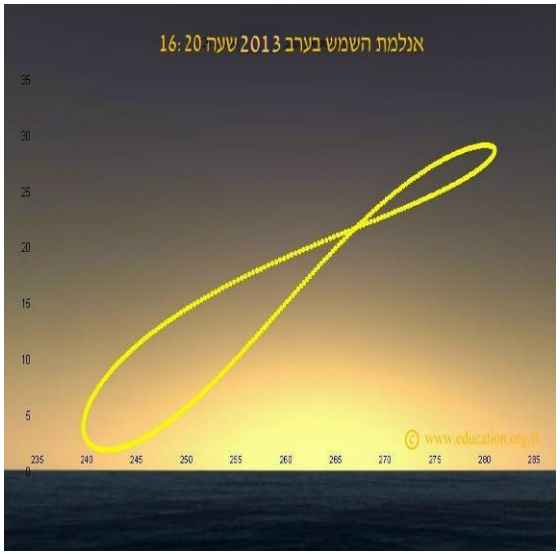
משוואת הזמן

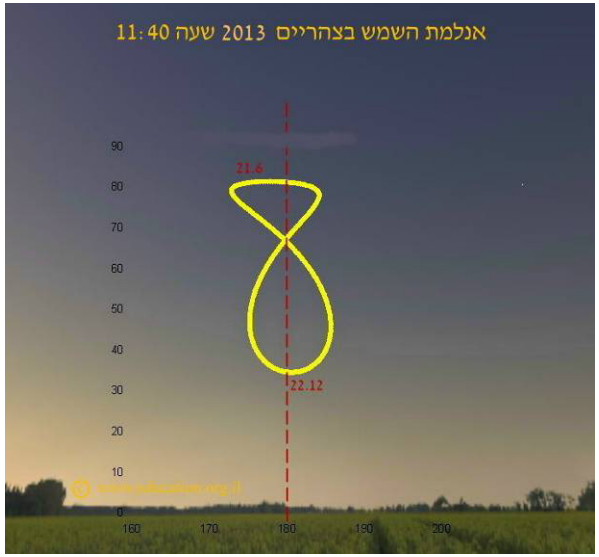
הגדרה – מגדירה את ההפרש בין היממה השמשית האמיתית ליממה השמשית הממוצעת בת 24 שעות אורך השנה



האנלמה

כיוון שאורך היממה השמשית האמיתית משתנה וכן גובה השמש מעל האופק בעת הצהירה משתנה בהתאם לעונות השנה, האנלמה היא השינוי הרציף במיקום השמש הנובע ממשוואת הזמן ונמדד בימים שונים אך בשעה זהה. באיורים למטה מצוין מיקום השמש ביחס לאופק באותה השעה בעת הזריחה (מימין), בעת הצהירה (במרכז) ובעת השקיעה (משמאל).





דמדומים

המעבר מיום ללילה אינו חד והוא הדרגתי. פרק הזמן החולף מעת השקיעה עד לחשיכה, או מהחשיכה עד לזריחה.

מחולק ל-3 חלקים:

דמדומים אזרחיים – מסתיים (מתחיל) כאשר המרחק הזוויתי של מרכז השמש מהזניט הוא 96 מעלות

דמדומים ימיים - מסתיים (מתחיל) כאשר המרחק הזוויתי של מרכז השמש מהזניט הוא 102 מעלות

דמדומים אסטרונומיים - מסתיים (מתחיל) כאשר המרחק הזוויתי של מרכז השמש מהזניט הוא 108 מעלות

בגלל מסלולה המשתנה של השמש בשמים במשך עונות השנה וכן בקווי רוחב שונים בכדור הארץ, משתנה משך הדמדומים

השנה

- הגדרה – פרק הזמן בו מקיף כדור הארץ את השמש הקפה שלמה

יש כמה הגדרות לאורך השנה בהתאם לתנועתה של השמש על כיפת השמים

אורכה של השנה הטרופית (נמדד בין מעברים עוקבים של השמש בנקודת שוויון האביב) – 365.24219 ימים

אורכה של השנה הסידרלית הנמדדת ביחס לאינסוף, הוא 365.25636 ימים

בגלל השפעת כוכבי הלכת וצורתה של השמש שאינה כדור מושלם השנה האנומליסטית (מפריהליון לפריהליון) היא 365.25964 ימים

זווית שעה

כדי להגדיר את מיקומו של גרם שמים על פני כיפת השמים במערכת הקואורדינטות המשוונית ביחס לצופה המצוי במיקום מסוים, אנו נעזרים בכמה הגדרות: זווית השעה וזמן הכוכבים.

זווית השעה:

הגדרה – הזווית שעבר הגוף במעלות מהמצהר מערבה

נמדדת או במעלות או בשעות של עלייה ישרה

מסומנת באות τ

שעון כוכבים

שעון כוכבים בנוי על המחזוריות של סיבוב כדור הארץ, סביב צירו ומחזורו זהה ליממה הסידרלית כ-23h56m

הוא אינו תלוי כלל בשמש אלא רק במשך הסיבוב העצמי של כדור הארץ סביב צירו. כיוון שפרק זמן זה (היממה הסידראלית) נמדדת ביחס לכוכבים, השעון נקרא – שעון כוכבים (או זמן כוכבים)

זמן כוכבים 0h בגריניץ מציין צהירה של נקודת האביב

שעון כוכבים מקומי

זמן הכוכבים המקומי θ, מציין את קו האורך השמיימי הצוהר עבור הצופה במצהר באותו הרגע

נציין את זמן הכוכבים המקומי באות θ

בהינתן זמן הכוכבים המקומי, והעלייה הישרה של הכוכב, α מתקיים הקשר בין זמן הכוכבים המקומי θ, העלייה הישרה של גרם שמים כלשהו, α לזווית השעה שלו τ:

$$\theta - \alpha = \tau$$

מערכת הקואורדינטות האקליפטית

מערכת הקואורדינטות המבוססת על מישור המילקה

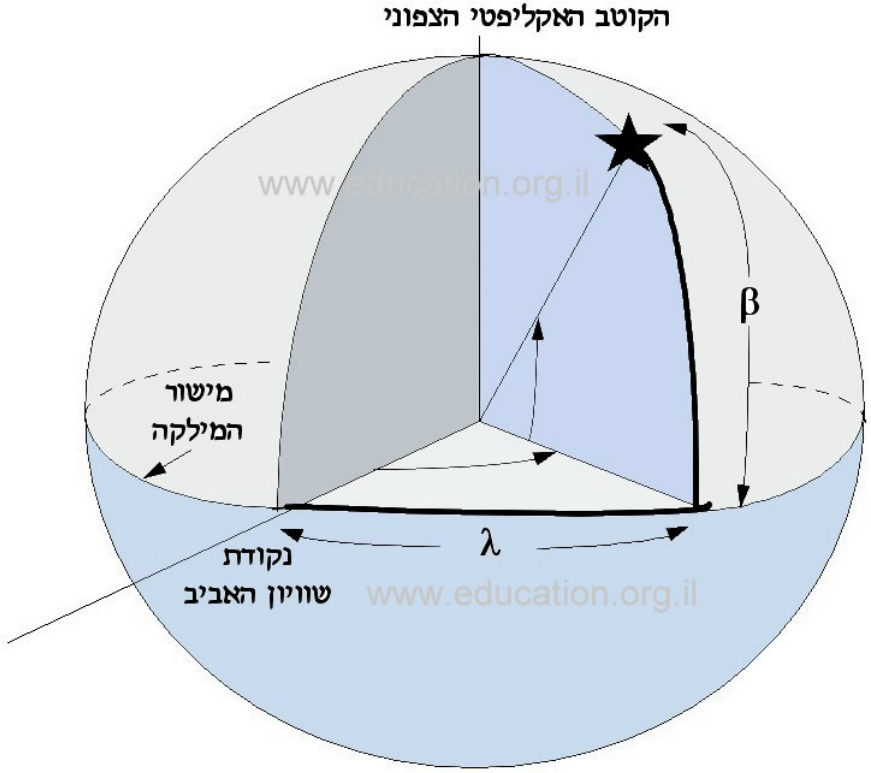
צירים הם:

- מישור המילקה
- הציר המאונך למרכז מישור המילקה

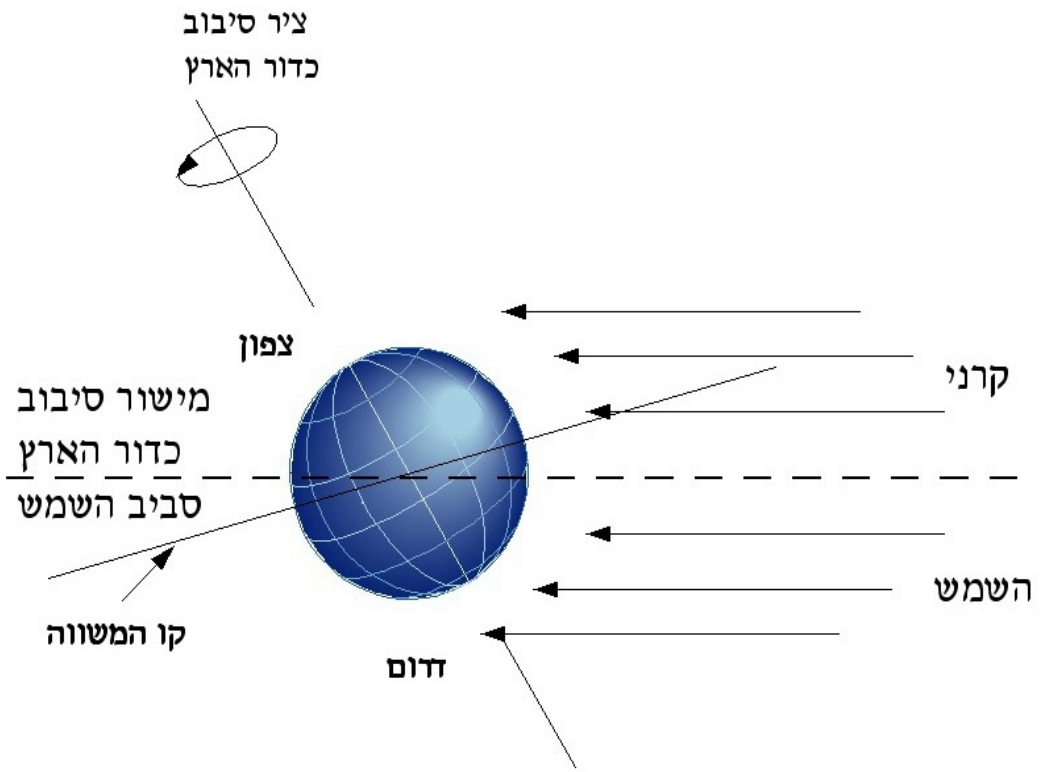
מיועדת לציון מיקומם של גרמי שמים במערכת השמש במערכת ייחוס התלויה במיקום השמש ביחס למישור סיבוב כדור הארץ סביבה

מערכת הקואורדינטות האקליפטית

מבוססת על מישור הסיבוב של כדור הארץ סביב השמש (מישור המילקה), כאשר הציר המאונך ניצב למישור המילקה.קווי הרוחב מסומנים באות λ ונמדדית מנקודת האביב מזרחה ואילו קווי האורך באות β.



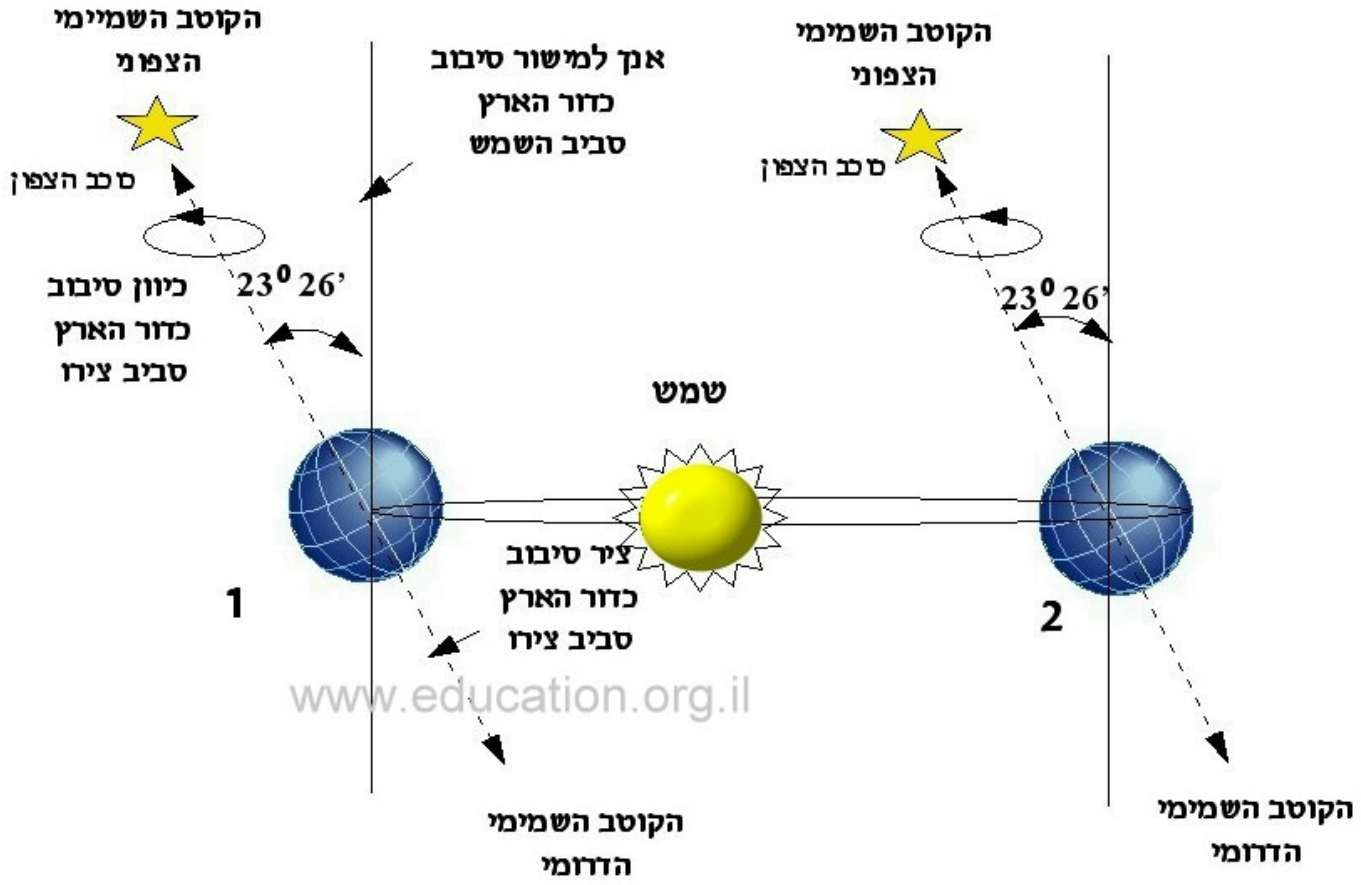
עונות השנה



הסיבה עיקרית לעונות השנה–
הגובה המשתנה של השמש מעל האופק בעת הצהירה בכל עונה.
ככל שהשמש גבוהה יותר מעל האופק, כך קרניה מחממים ביתר יעילות את הקרקע (סיבה משנית – ככל שגובה השמש מעל האופק גדול יותר, כושר החדירה שלהם את האטמוספירה גדול יותר)
סיבה משנית – אליפטיות המסלול של כדור הארץ(ההפרש בין הנקודה הקרובה ביותר ובין הנקודה הרחוקה ביותר בשמש במסלולו אינו גדול ואינו מהווה את הסביה העיקרית לעונות השנה)

עונות השנה ונקיפת ציר כדור הארץ

כיוון שכיוון ציר סיבוב כדור הארץ זהה במשך כל נקודה ונקודה במסלולו סביב השמש, בכל צד של מסלולו סביב השמש, פונה חצי כדור אחר של כדור הארץ לעברה.



המערכת הגיאוצנטרית

גיאו-ארץ. צנטר - מרכז

זו מערכת קואורדינטות שמרכזה הוא במרכז כדור הארץ. אנו נעזרים בה כדי לחשב את מיקומם של גרמי שמים על כיפת השמים בהתאם למיקומם ביחס לכדור הארץ.

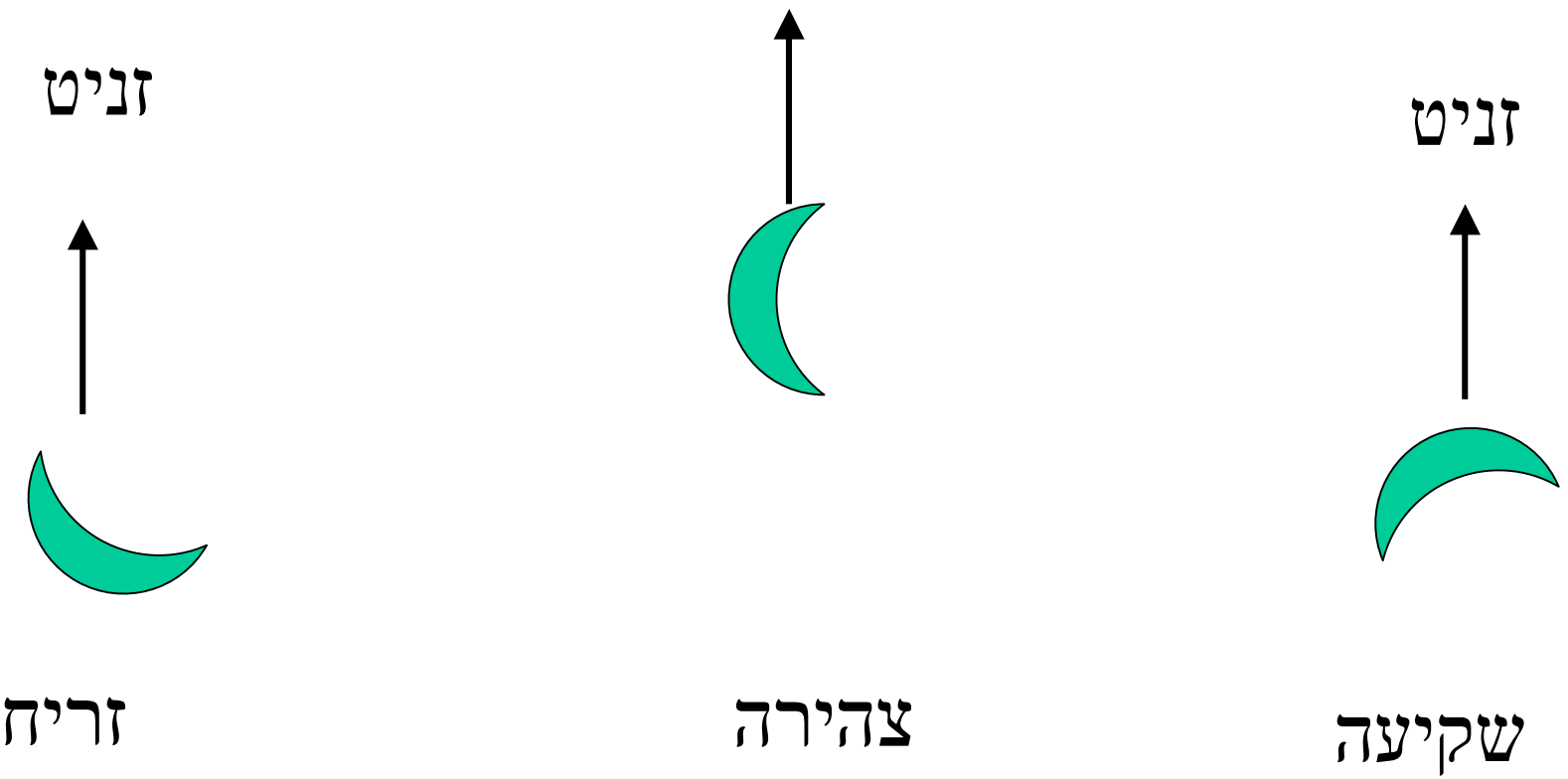
כדי לדעת מה מיקומו של גוף במערכת הגיאוצנטרית, יש לבצע תיקון למיקומו של הצופה (טופצנטרית)

בגלל השינוי, גרמי שמים כמו הירח, השמש וכוכב הלכת הקרובים ייראו בנקודות שונות ביחס למערכת המשוונית עבור צופים שונים (פרלקסה)

הזווית הפרלקטית

אין קשר לפרלקסה!

מציינת את הזווית שבין ציר צפון-דרום של גוף שמימי ביחס לאופק, בהתאם למיקומו על כיפת השמים



אברציה

שינוי במיקומו של גרם שמים הנגרם בגלל שמהירות כדור הארץ ביחס למהירות האור קבועה

כדור הארץ "מתקדם" לכיוון האור המגיע מהכוכב

נגרם שינוי של מיקום הכוכב עם כיוון התנועה של כדור הארץ
השינוי הוא מחזורי במשך השנה

אברציה שנתית

שינוי מיקום הכוכבים כתוצאה מסיבוב כדור הארץ סביב השמש

קבוע האברציה הוא k=20.49''

ההעתקה של מיקום הכוכב כתוצאה מאברציה היא:

$$\lambda' - \lambda = -20.49 \cos(\lambda - L) \sec \beta$$

$$\beta' - \lambda = 20.49 \sin(\lambda - L) \sin \beta$$

כאשר λ ו- β הם מיקום הכוכב במערכת אקליפטית ללא השפעת האברציה
ו-L הוא קו האורך של השמש (מרחק השמש מנקודת האביב במעלות)

אברציה יומית

נגרמת כתוצאה מסיבוב כדור הארץ סביב צירו

במערכת המשוונית האליפסה של ההעתקה תהיה ״0.32 בלבד