

העולם העתיק והקלאסי

לפה"ס ועד המאה ה-5

אסטרונומיה

נאסף ונערך בעברית ע"י פרופ' צבי קם

בפגישה האחרונה

שוחחנו על אופטיקה.

היום נדון ברקיע ובכוכבים.

אסטרונומיה מודרנית תלויה לגמרי באופטיקה.

אבל בעולם העתיק והקלאסי צפיה בכוכבים היתה בעין בלתי מזוינת, ועם מכשירי מדידת זווית פשוטים.

מדוע אסטרונומיה היתה חשובה לקדמונים?

השמים הקסימו את האדם מקדמת דנא.
יום ולילה - מחזוריות יומית של השמש, תנועת הכוכבים במשך הלילה.
מחזור חדשי של מופע הירח.

מחזור שנתי של עונות הקשור למסלול השמש והכוכבים (איך?)
שנוי מיקום הכוכבים רגע לפני הזריחה בין עונות השנה (האם קשור למסלול השמש?)
- חשיבות לחקלאות: הכנה לזריעה לפני עונת הגשמים.
תנועת השמש הירח והכוכבים וכוכב הצפון- מצפן לכוון מוחלט.
מאפשר מסעות רחוקים לסביבה לא מוכרת, וכוון המסע בחזרה.
מחזוריות וסדר ביקום נוסכים בטחון.

אבל:

גרמי השמים - בלתי מושגים, רחוקים,
תנועות שונות לכוכבי שבת וכוכבי לכת- הרקיע אינו עשוי מקשה אחת.
תופעות לא מחזוריות: ליקויי שמש וירח, גאות ושפל (מדוע לא מחזורי?)
שטפונות (המבול), סערות, ברקים ורעמים.
מתקשרים למיסטיקה, לדת ולאלוהים (בשמים ובים).

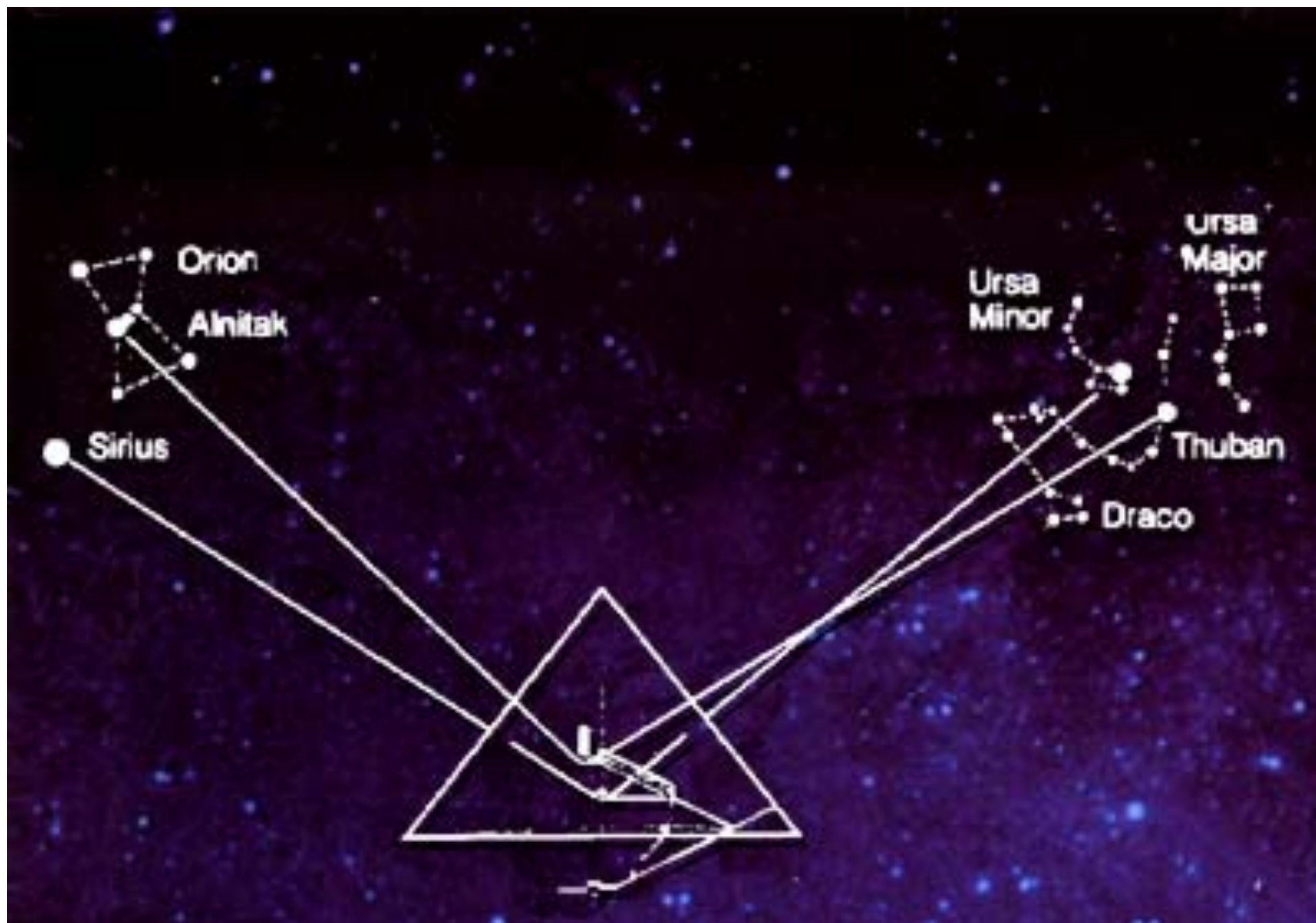
התיעוד הראשון מהבבלים והמצרים (משום מה?)

האסטרונומיה קשורה למתמטיקה ולמדידה נסיונית: 7 ימי שבוע, 60 דקות בשעה, 60 שניות בדקה, 360 מעלות.

מה הסיבות לחלוקות של 7 ו-60?

אולי הנוחיות ביצירת שברים $1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6$ בגלל הפקטוריזציה

כוון המבוא לחדר הקבורה בפירמידה כלפי כוכב



פירמידות השמש והירח של אצטקים - כנראה כוונו למקום שקיעת השמש פעמיים בשנה.



מצפה כוכבים של המאיה. כמו המצרים, גם הם בנו מבני ענק לקבוע כוונים של שקיעת השמש וכוכבים כלוח שנה חקלאי כדי לדעת מתי הגיע עונת השנה לזרוע.



אסטרונומיה ומתמטיקה התפתחו יד ביד

* מדידות על כוכבים – גיאומטריה

אורך היום, חודש הירח ושנת השמש ותיאומם: בעית יחס לא רציונאלי

625-547 BC Thales of Miletus

תלס – ניבוי זמן ליקוי חמה מהבנת שני המחזורים של השמש והירח.

569-475 BC - Pythagoras of Samos

פיתגורס – הארץ הוא כדור במרכז העולם, מסלול הירח נוטה כלפי קו המשווה של הארץ:
הבחין בזוית בין מישור סיבוב הירח לסיבוב השמש והכוכבים
הבחין כי כוכב הערב ונוס הוא אותו כוכב הבקר ונוס
העריך כמה כוכבים בשמים ספר באזור קטן וכייל לכל השמים
בעין רואים כאלף כוכבים. שביל החלב ונבולות.

ובטלסקופ? **תלוי בכשר הפרדה: (דיון בהגדלה ורזולוציה)**

האם צפיפותם של הכוכבים בשמים אחידה?

Oenopides of Chios ~490-420 BC

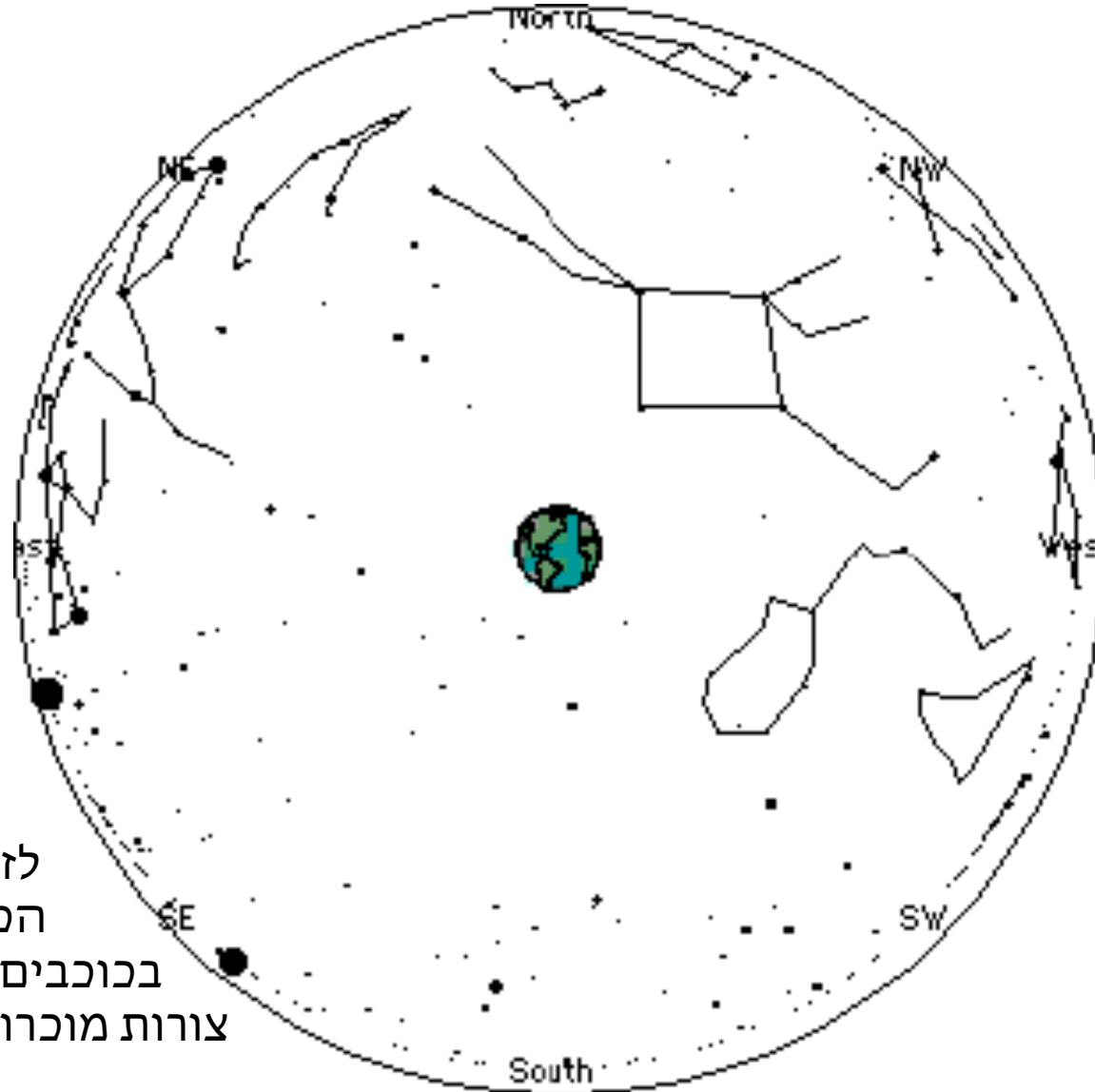
אנופידס – מדד את הזוית בין קו המשווה ומישור סיבוב השמש: 24°

–Anaxagoras of Clazomenae 500-428 BC

אנקסגורס מסביר שהירח מאיר באור השמש ומסביר ליקוי חמה ולבנה

השמים נראים לנו ככיפה מסתובבת
בסקלת זמן אפילו של שנים אין שינוי יחסי במיקום כוכבי השבת
נקודת קבע בשמים: כוכב הצפון

אבל מופע
שונה בקיץ
ובחרף, וכן
באותו זמן
במקומות
שונים.

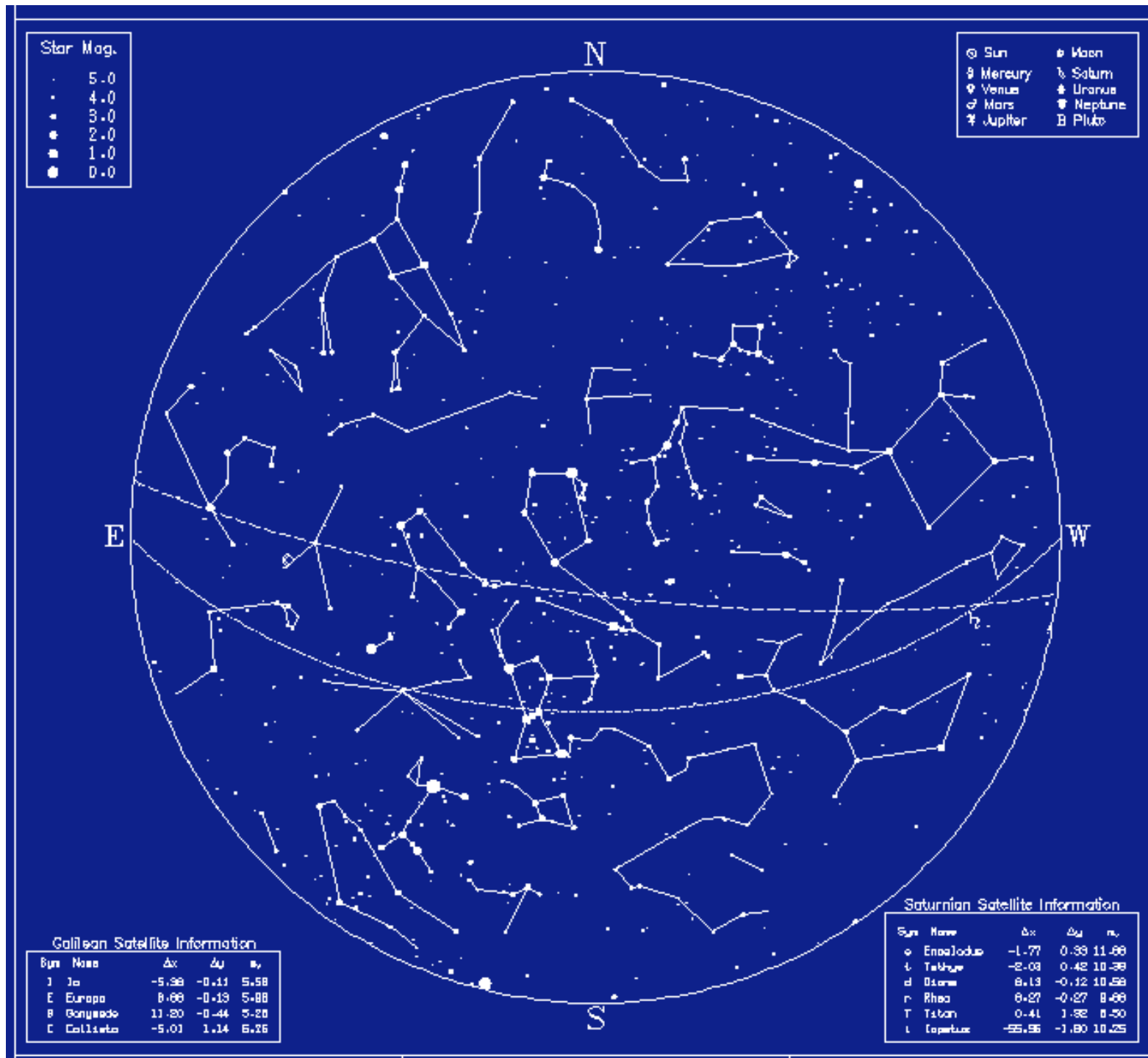


לזיהוי מיקום בכיפת
הכוכבים משתמשים
בכוכבים חזקים ומדמיננים
צורות מוכרות שהם משרטטים

גלגל מזלות (זודיאק) בפסיפס בית אלפה



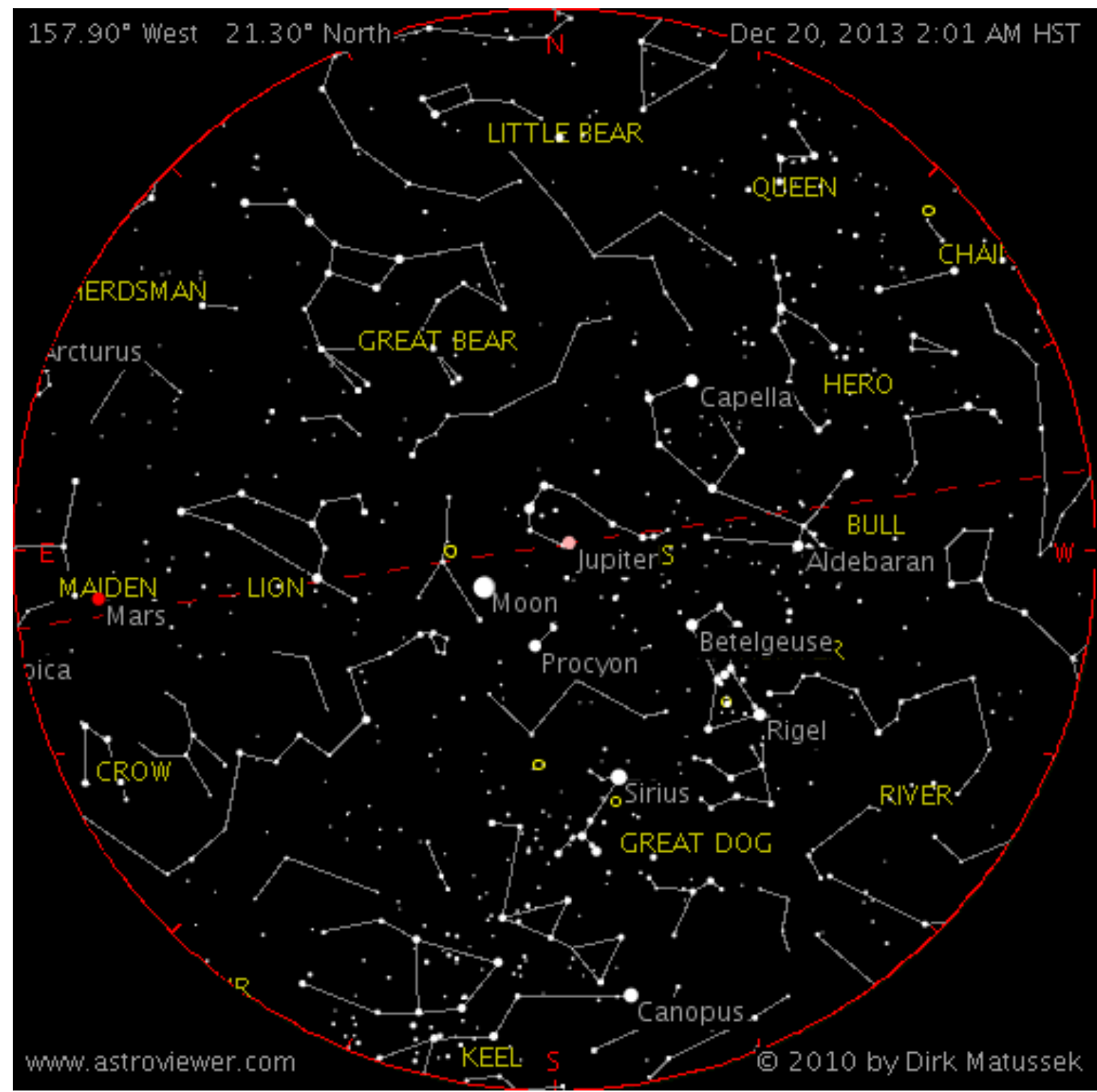
מפות המזלות ברקיע





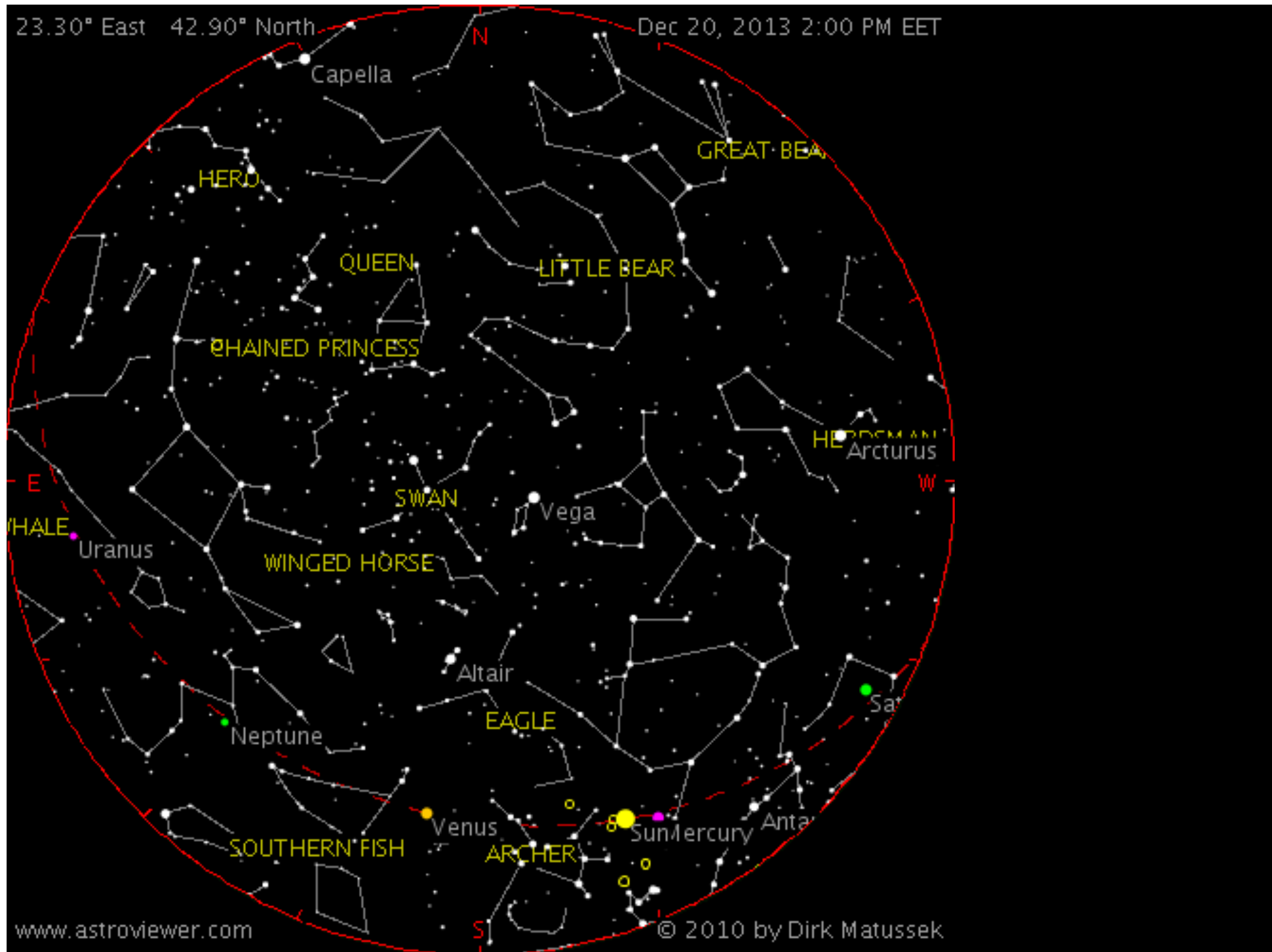
157.90° West 21.30° North

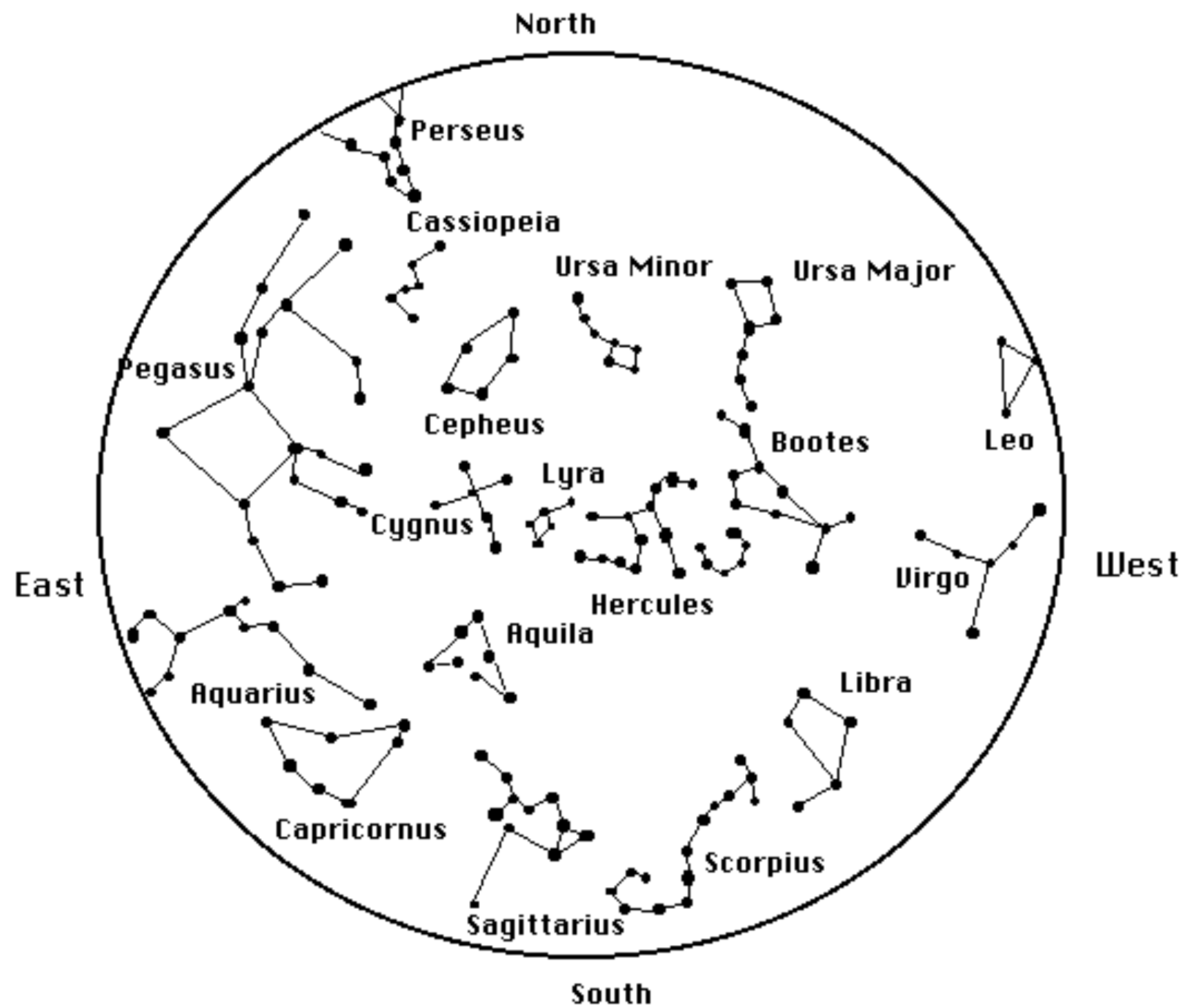
Dec 20, 2013 2:01 AM HST

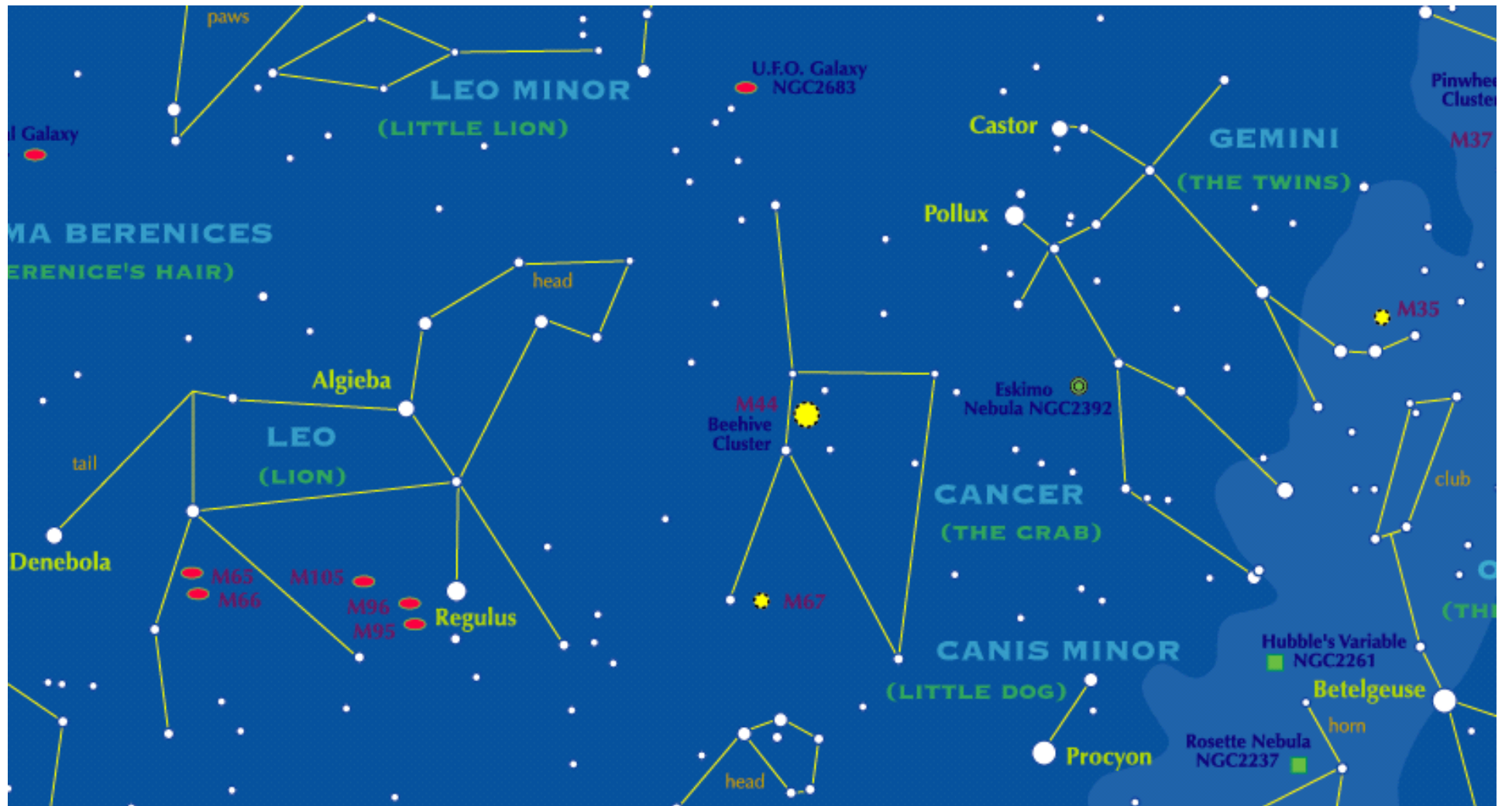


23.30° East 42.90° North

Dec 20, 2013 2:00 PM EET

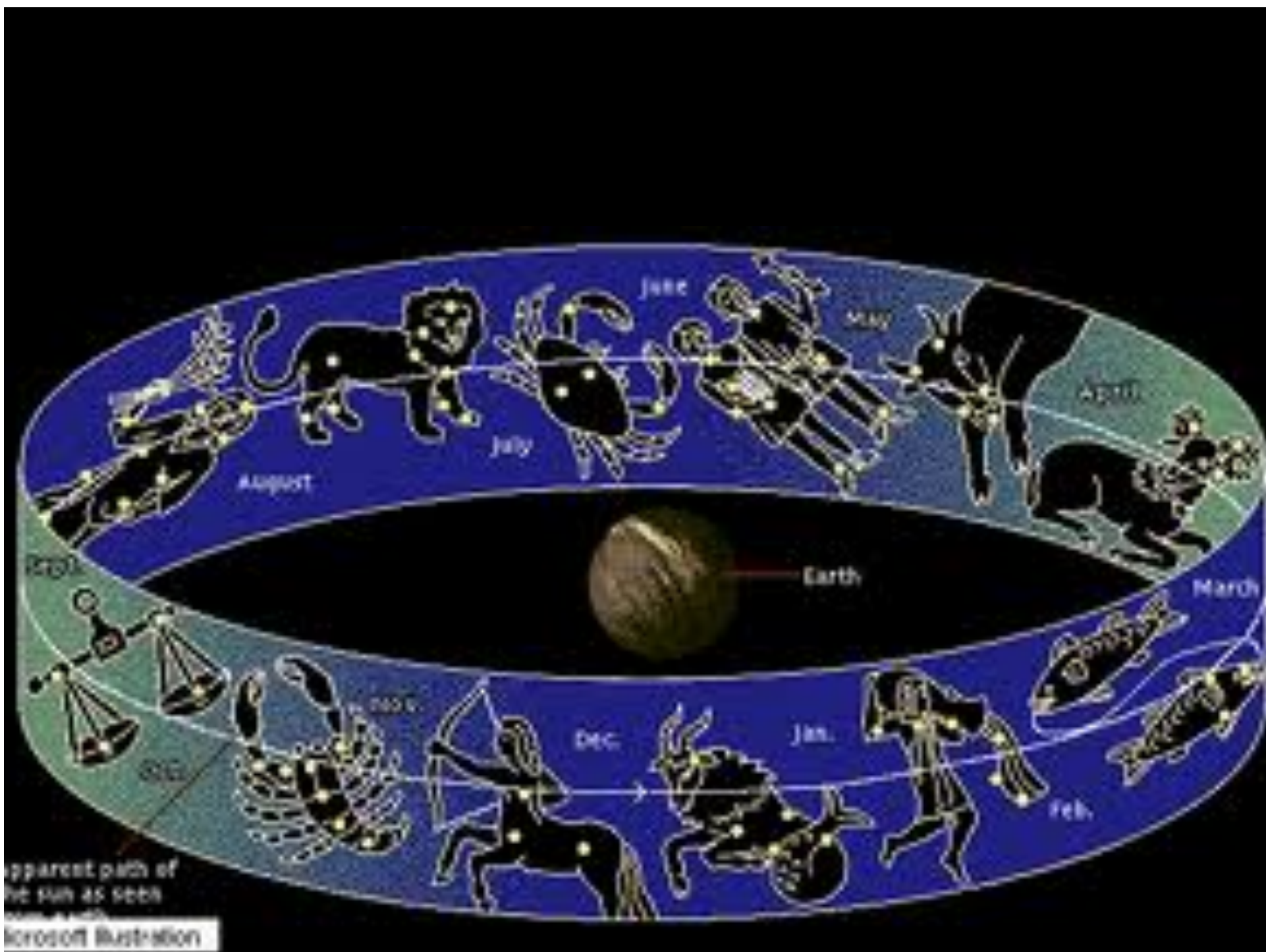






Orion

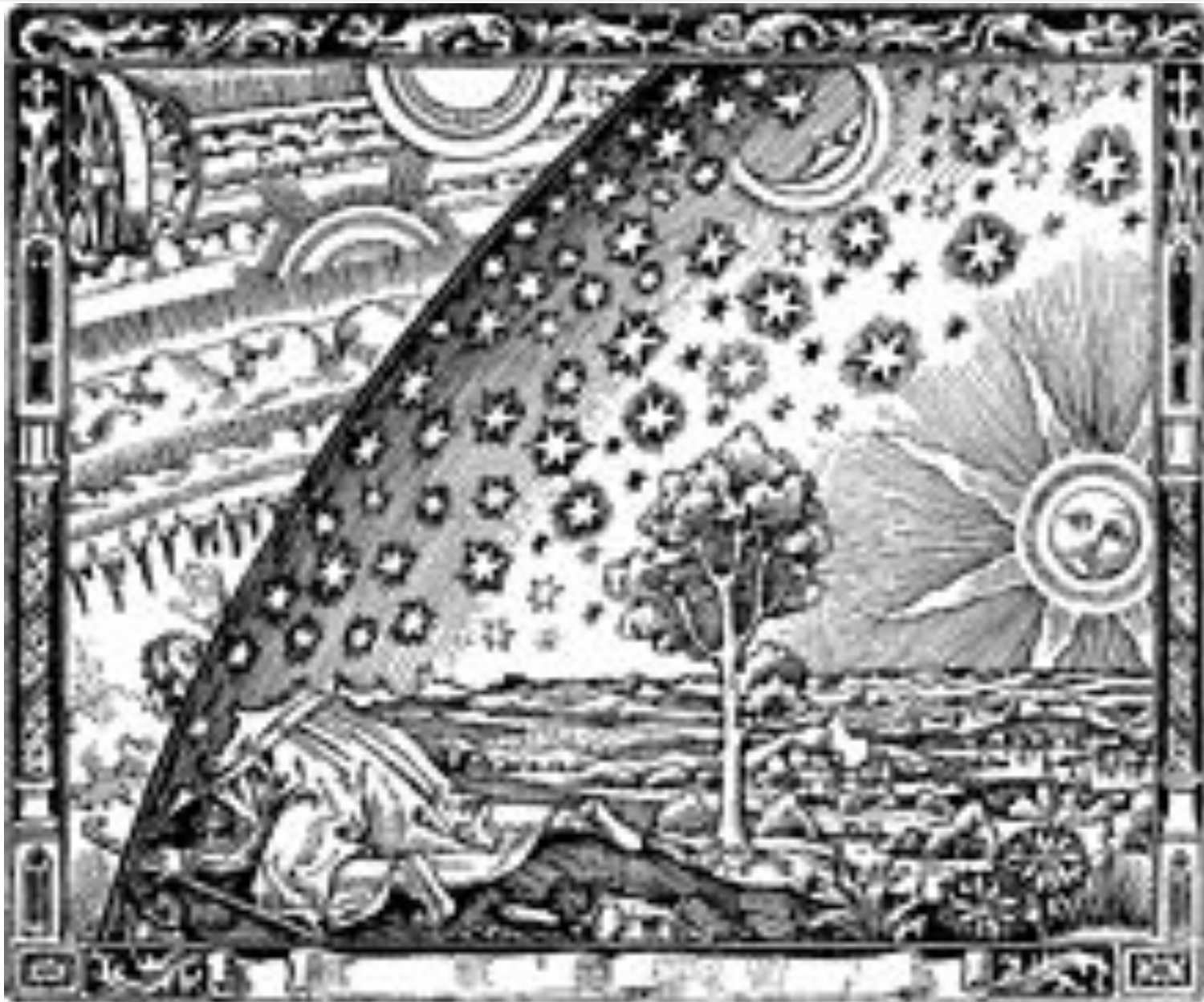




apparent path of
the sun as seen
from Earth

Microsoft Illustration

מדוע לא יתכן שכל גרמי השמים הם חורים במעטפת כדור אחת כמו שהקדמונים דמיינו?
ומדוע חשבו כך הקדמונים? - תנועת כוכבי הלכת, פרלקסה בין קיץ וחורף



Eudoxus of Cnidos יודוקסוס 350-410 לפה"ס –
 תיאר את מסלולי חמשת כוכבי הלכת שאז הכירו
 וכן את השמש והירח הנעים על קליפות כדוריות
 (ססטו: 9 קליפות).

מודל זה נשמר 2000 שנים – למה?

1 הרמס – מרקיורי (כוכב חמה)

2 אפרודיטה – ונוס (נגה)

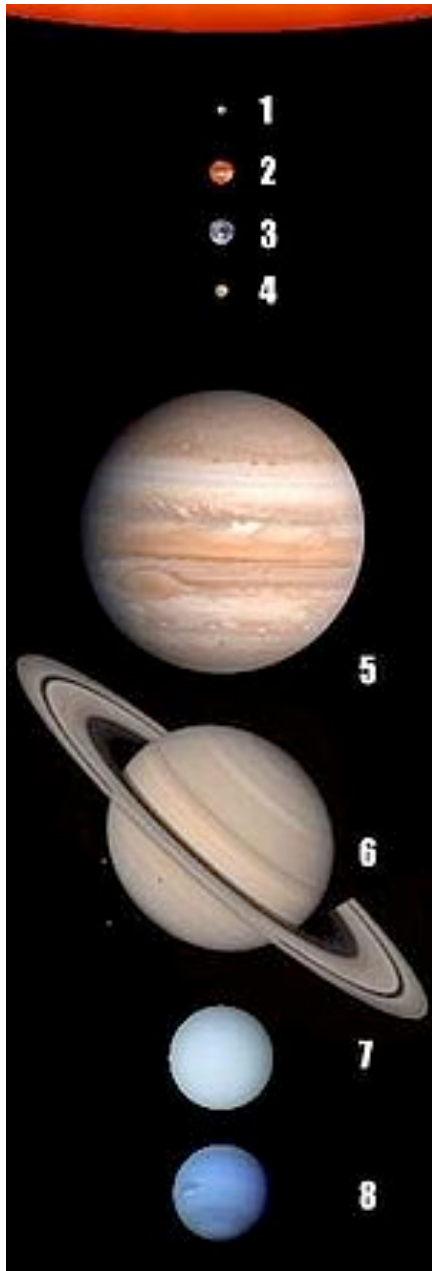
כדור הארץ

3 ארס – מרס (מאדים)

4 זאוס – יופיטר (צדק)

5 קרונוס – סטורן (שבתאי)

מדוע לא ראו הקדמונים את אורנוס ונפטון למרות שהם גדולים?



המרחקים
 מהשמש
 אינם
 בסקלה

לפה"ס 322-384 אריסטו Aristotle

מחלק את העולם לזה שמעבר לירח - הבנוי מכדורי בדולח מושלמים ולעולם מתחת הירח
בו לא פוסקים שינויים בארבעת היסודות - אדמה, מים, אויר ואש

המאות 2-3 לפה"ס אריסטרכוס והיפרכוס Aristarchus and Hipparchus

מציעים שהשמש במרכז תנועת הכוכבים heliocentric system היפרכוס מנהיג שימוש
באפיציקלים (מעגלי משנה) למודל הגיאוצנטרי של ידוקסוס מלפני 150 שנים.

Julius Ceasar & Sosigenes 45 BC

יוליוס קיסר וסוסיגנס - לוח שנת שמש ושנים מעוברות leap years המבוסס על 365.25
יממות בשנה.

60 לפה"ס - הירו Hero מאלכסנדריה

כותב "מטריקה, מכאניקה ופניאומטיקה" בנה מנוע קיטור, מדד קוטר כדור הארץ (טעה)

סלקוס Seleucus ב-150 לפה"ס גילה שגאות ושפל בים נגרמים ע"י הירח

Claudius Ptolemy 130

קלאודיוס תלמאי: הקוסמולוגיה שלו היתה המקובלת 1500 שנים: תנועת הכוכבים אחידה
במערכת עיגולים סביב עיגולים epicycles and equants ההולכים וגדלים מהירח, כוכב חמה
Mercury נגה Venus השמש צדק Jupiter ושבטאי Saturn כשהאדמה במרכזם. סביבם
כוכבים קבועים שתנועתם הסיבובית נגרמת ע"י התנועה של תשעת שכבות השמים שהם ללא
כוכבים

the Primum Mobile (the starless, swift-moving ninth heaven).

המוטיבציה לתמיכה במודל הליוצנטרי או גיאוצנטרי היתה בעיקר דתית - מאחר ודיוק המדידות
לא היה יכול לתת תמיכה מובהקת למודל אחד או השני

מודל של תנועת הארץ והכוכבים של תלמאי



<http://www.opencourse.info/astromy/introduction/>

השמש הירח וכוכבי הלכת נעים
קרוב למישור האקליפסה.
בתמונה המדהימה משמאל נראים
4 כוכבי לכת בקו אחד עם השמש
מיד לאחר שקיעתה.

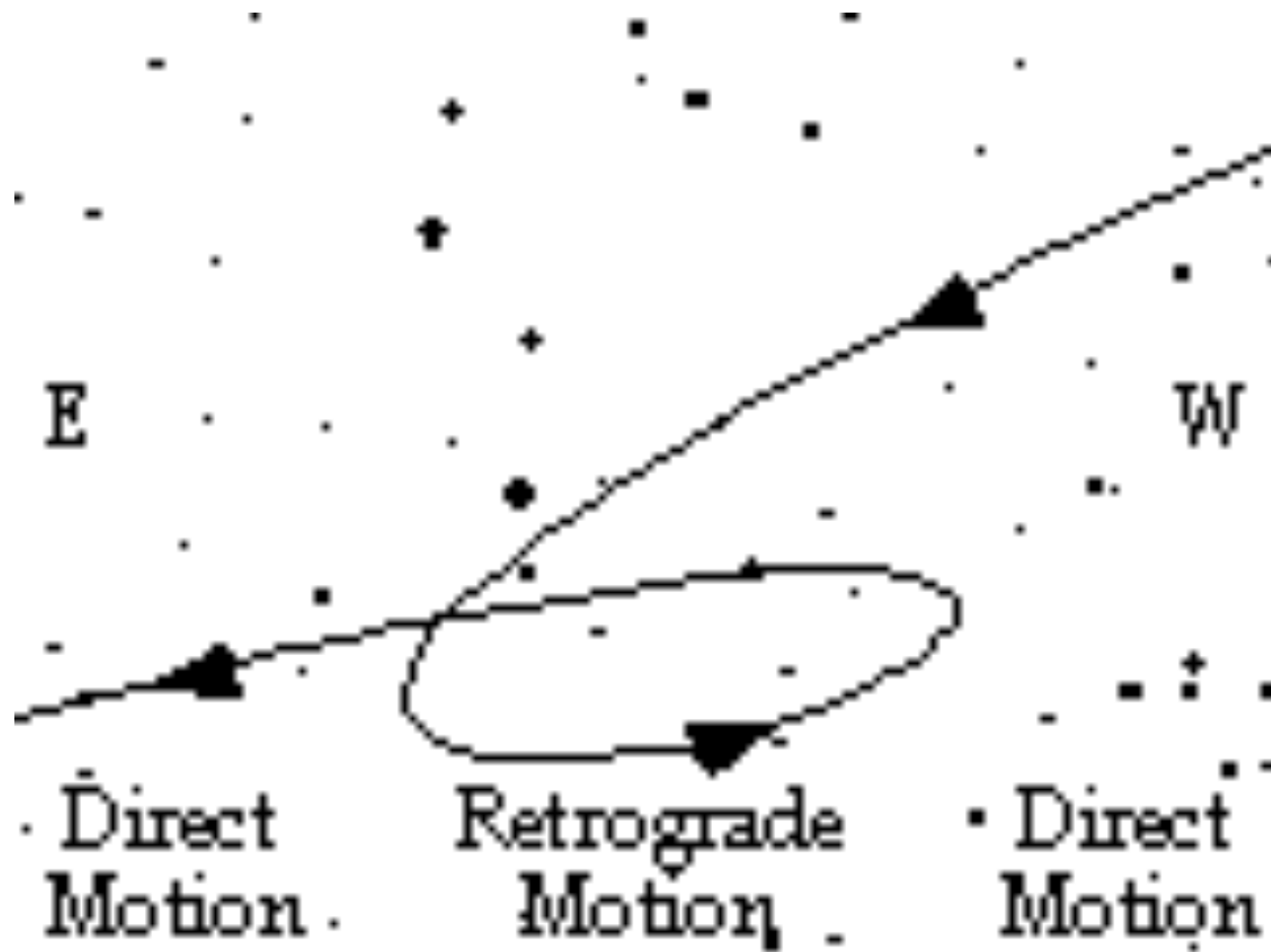


מאחר ומסלולם קרוב לשמש מהארץ, נגה וחמה נראים תמיד בסביבת השמש

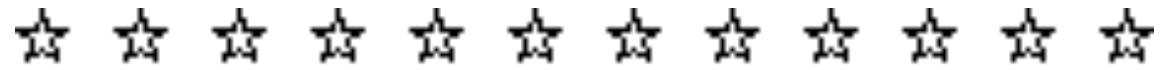
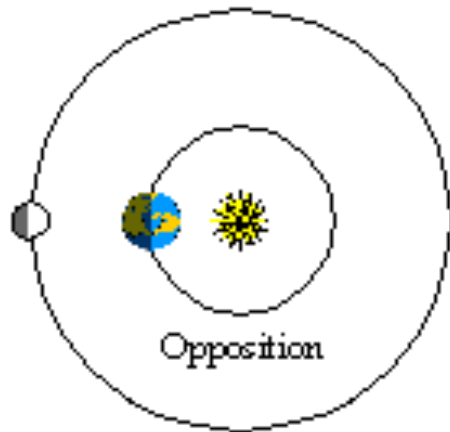
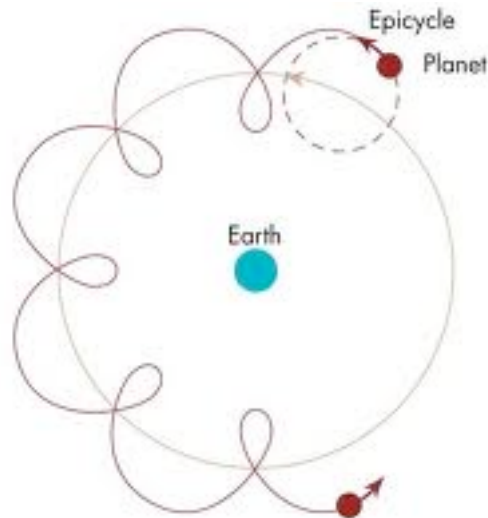
כוכבי הלכת Planets ביוונית - נודדים, נעים יחסית לשמים הקבועים של כוכבי השבת -
בסרט צדק (הבהיר) ושבתאי נודדים על פני ה"שמיים" עם תנועה לאחור
איך משתנה הבהירות?



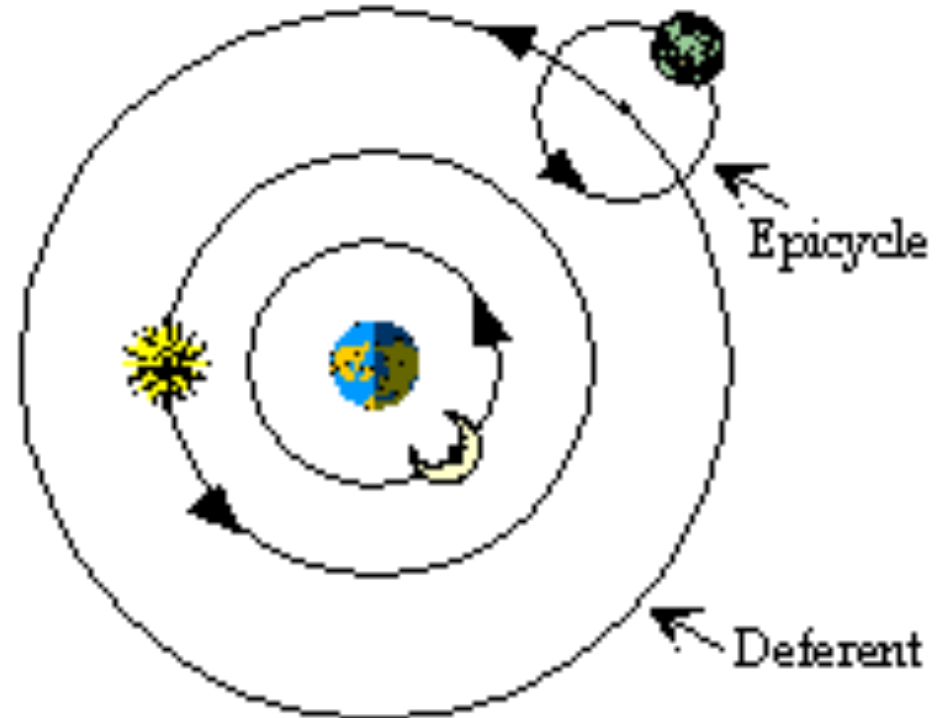
כמו שממכונית הנעה מהר ועוקפת מכונית שניה נראה שהשניה נעה לאחור.
הקדמונים הבחינו שמהירות כוכבי הלכת שונה, וקישרו מהירות איטית למרחק גדול



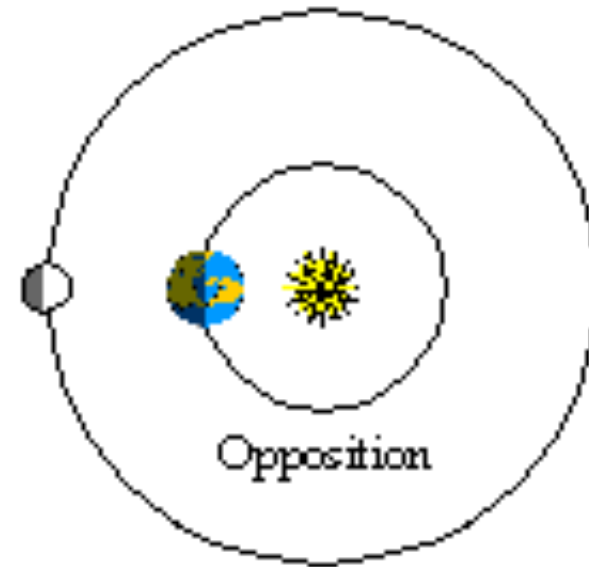
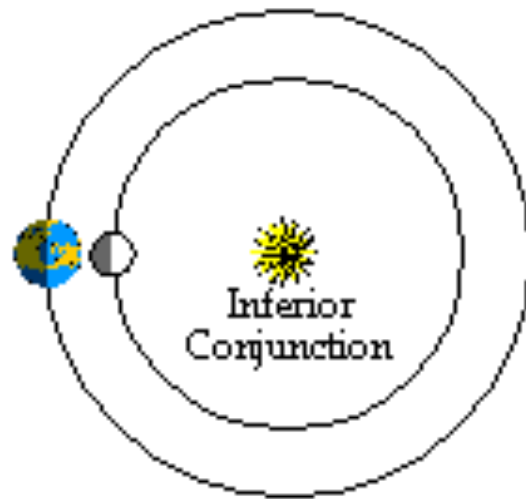
אפלטון הסביר את התנועה המסובכת של כוכבי הלכת ע"י תנועה במהירות קבועה במסלולים אפיציקליים של מעגל על מעגל שמרכזו בכדור הארץ וכך הסביר את התנועה לאחור של כוכבי לכת אך הוא לא הסביר את השנויים בבהירות (עוצמות) הכוכבים (בעיקר מאדים, מדוע?)



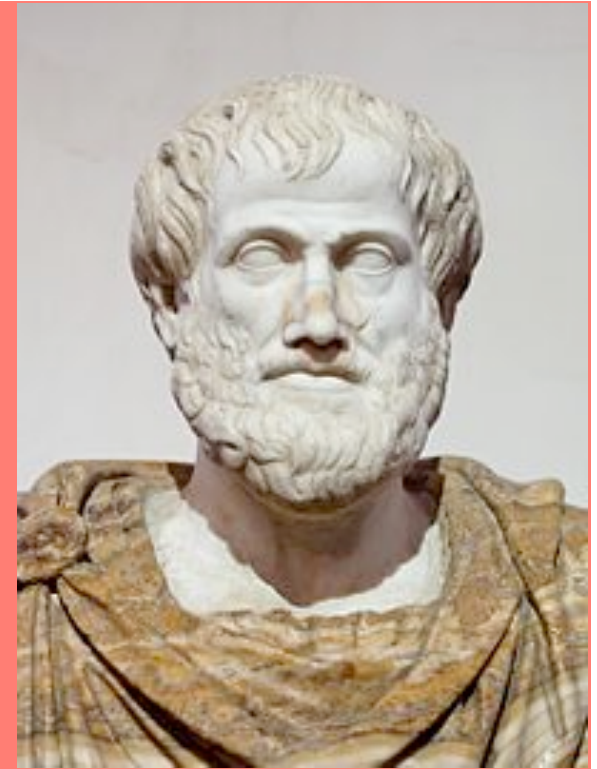
↑
Background Stars



מחזור כוכבי הלכת הנמדד מכדור הארץ דורש תיקון לכוכבים הקרובים אלינו (חמה, נגה ומאדים) בגלל תנועת כדור הארץ



אריסטו, (384–322 לפה"ס) Aristotle



איזה הוכחות יש לנו שארץ היא כדור עגול?

אריסטו:

כדור היא צורה מושלמת
האופק עגול
ספינה מתרחקת "שוקעת" באופק
ליקוי ירח - צורת צל הארץ עגולה
במסע דרומה רואים את כוכבי הלכת הדרומיים עולים גבוה יותר מעל האופק
חפצים נופלים בכל מקום כלפי מרכז הארץ



האל אטלס

מה הוא נושא על כתפיו?

חושבים בטעות שמדובר בכדור הארץ
אך הכדור הוא התבל (קריסטל הכוכבים)



מדידות של מיקום כוכבים מבוססות על מדידת זוויות
מדוע 360 מעלות? 60 מעלות: משושה או משולש שווה צלעות
אולי 6 כפול 10 אצבעות. ירושה מהבבלים שהשתמשו במספרים על בסיס 60

קשר זוויות למרחקים: פיתוח הגיאומטריה: **יחסי מרחקים בין משולשים דומים**.

אם הזווית קטנה, אורך הקשת, L , במעגל עם רדיוס 1 « קרוב מאד לאורך הצלע במשולש
אם הזווית, φ , מבוטאת ברדיאנים: $L = \varphi$

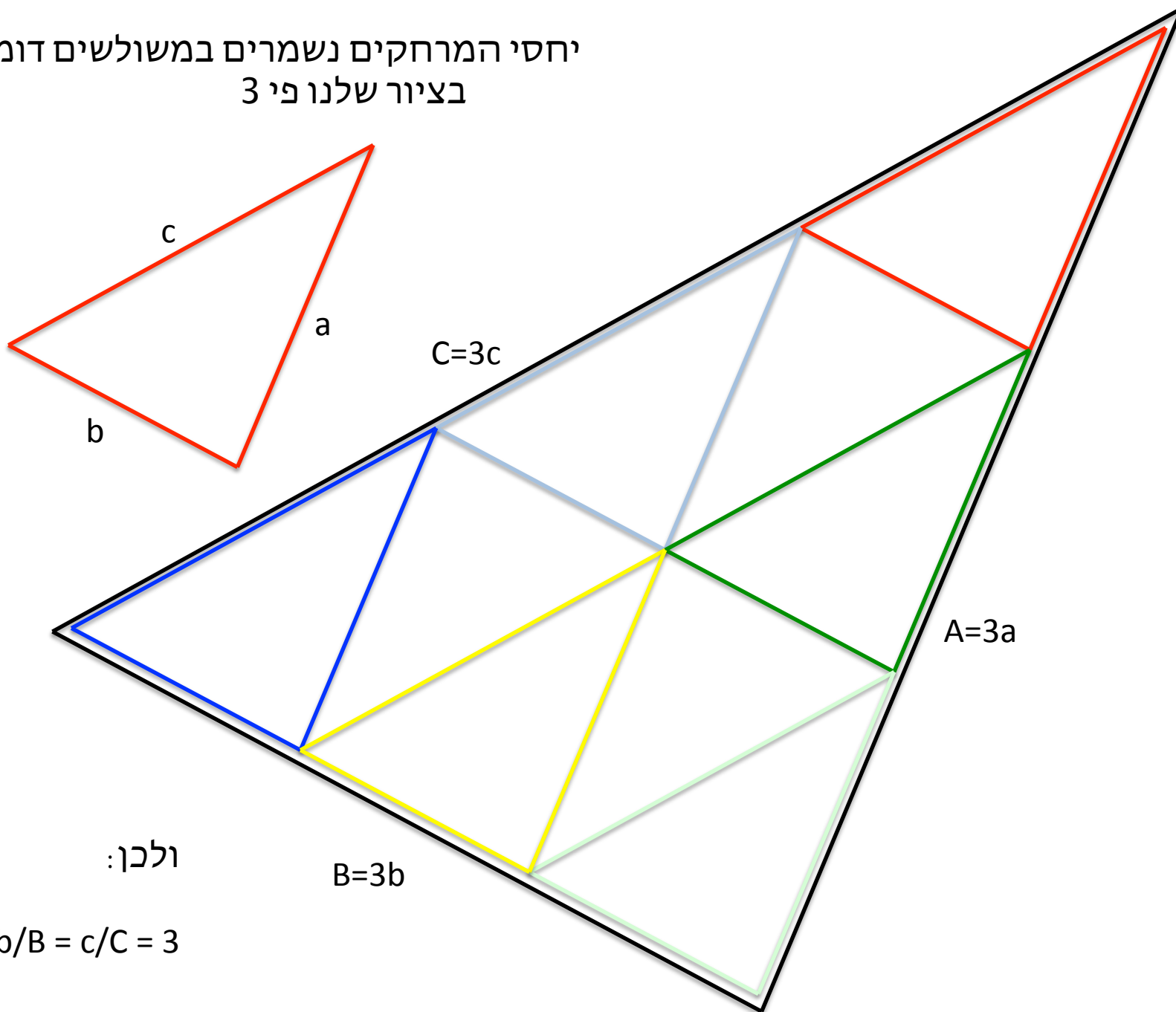
מדידת זווית כלפי האופק או כלפי אנך - חוט עם משקולת
מדידת זווית בין שני עצמים - שפורפרת כוון - הסקסטנט

עבודת לילה: תכנן מד זווית שימדוד זווית ראייה בין חפצים רחוקים
מדוד זוויות של כמה כוכבים ורשום שעת המדידה.
איך תמדוד זווית בין שני כוכבים אם מדדת זווית גובה וכוון לכל אחד?

(גיאומטריה כדורית)



יחסי המרחקים נשמרים במשולשים דומים:
בציור שלנו פי 3



ולכן:

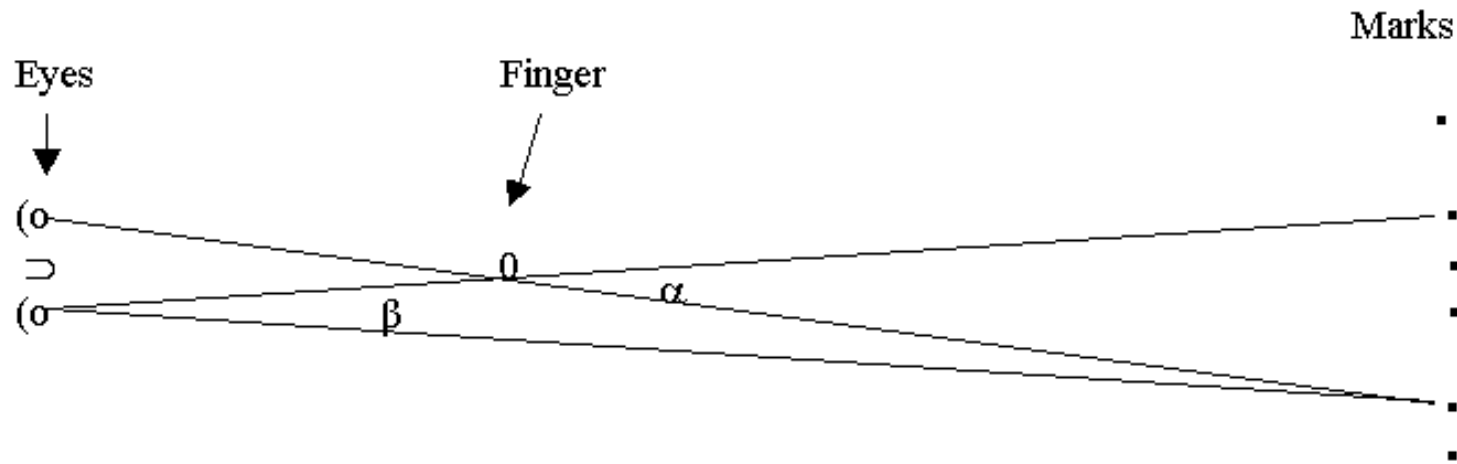
$$a/A = b/B = c/C = 3$$

איך למדוד מרחק לעצם רחוק מבלי להגיע אליו.



מדידת מרחקים בטריאנגולציה:

נצייר משולש דומה עם צלע $AB=1$ ונמדוד AC



מדידת מרחקים בפרלקסה: אם האצבע המושטת צריכה לזוז D במרחק X ממרחק

האצבע התזוזה Dx

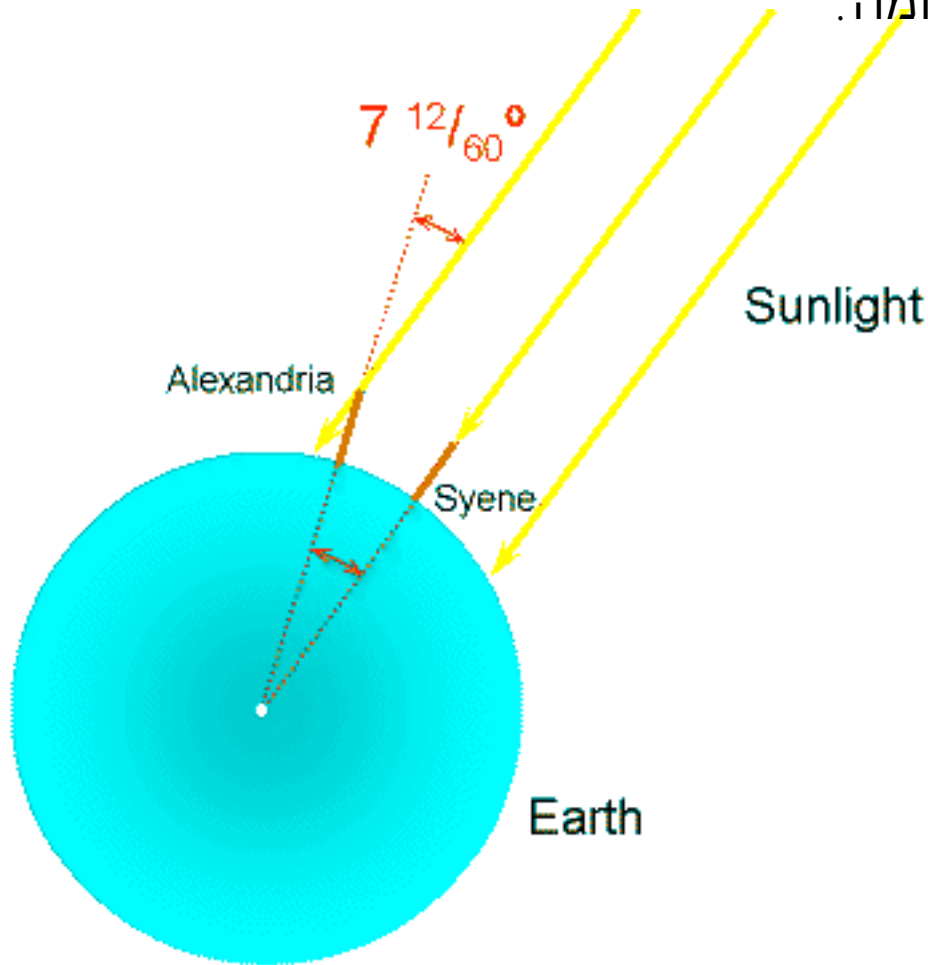
(שימוש נוסף: למיקום דמות מדומה באופטיקה – אין פרלקסה בינה לאצבע)



מדידת קטר כדור הארץ ארסטוטנס Eratosthenes לפה"ס 250
 כאשר בסיין (במעלה הנילוס) השמש בדיוק מעלינו (אין צל למוט אנכי)
 באלכסנדריה השמש בזוית $7^{\circ} 12'$
 (או $7.2^{\circ} = 7 + 12/60$)

איך מדד בדיוק באותו רגע בשני מקומות מרוחקים?

הניח שהשמש והירח רחוקים מרחק הגדול בהרבה מקטר הארץ,
 ומדד זווית בשני המקומות בדיוק בתחילת ליקוי חמה.



המרחק סיין-אלכסנדריה (נמדד בעגלה) =

925 ק"מ

$$925 \times 360 / 7.2 = 46,250 = \text{הקף כדור הארץ}$$

הערך כיום: 40,070 ק"מ

רדיס כדור הארץ 6400 ק"מ

האם נוכל למדוד הפרש זווית הצל בין מטולה
 לאילת? בין תל-אביב לאפקים? איך נעריך
 שגיאה?

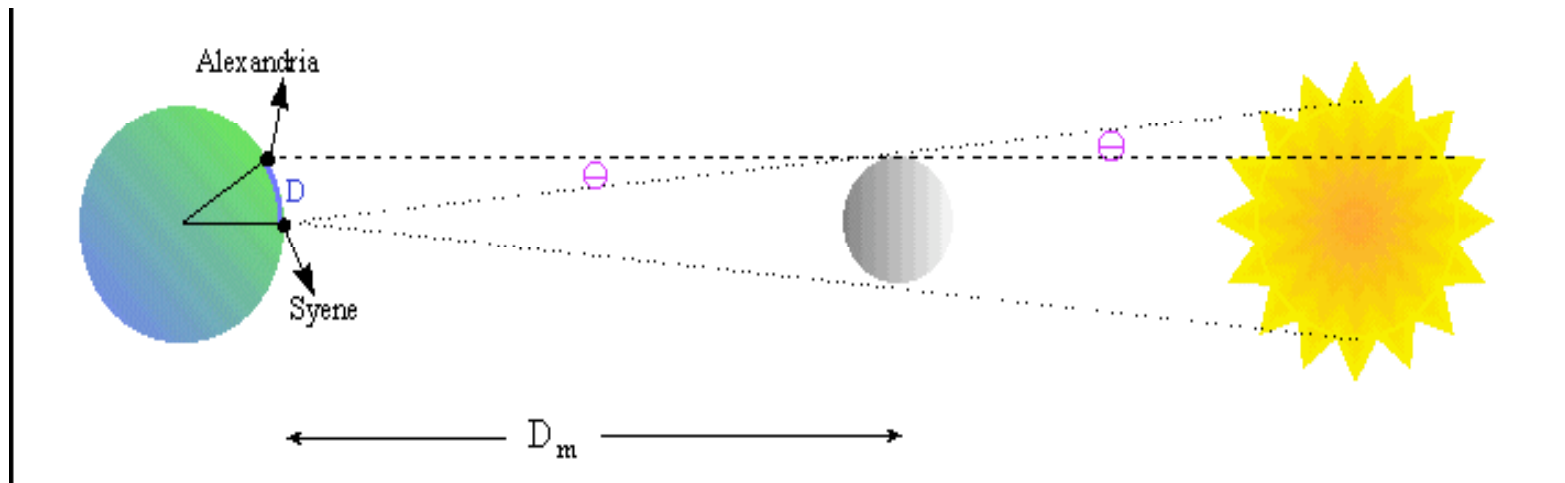


היפרכוס 120-190 לפה"ס Hipparchus of Nicaea

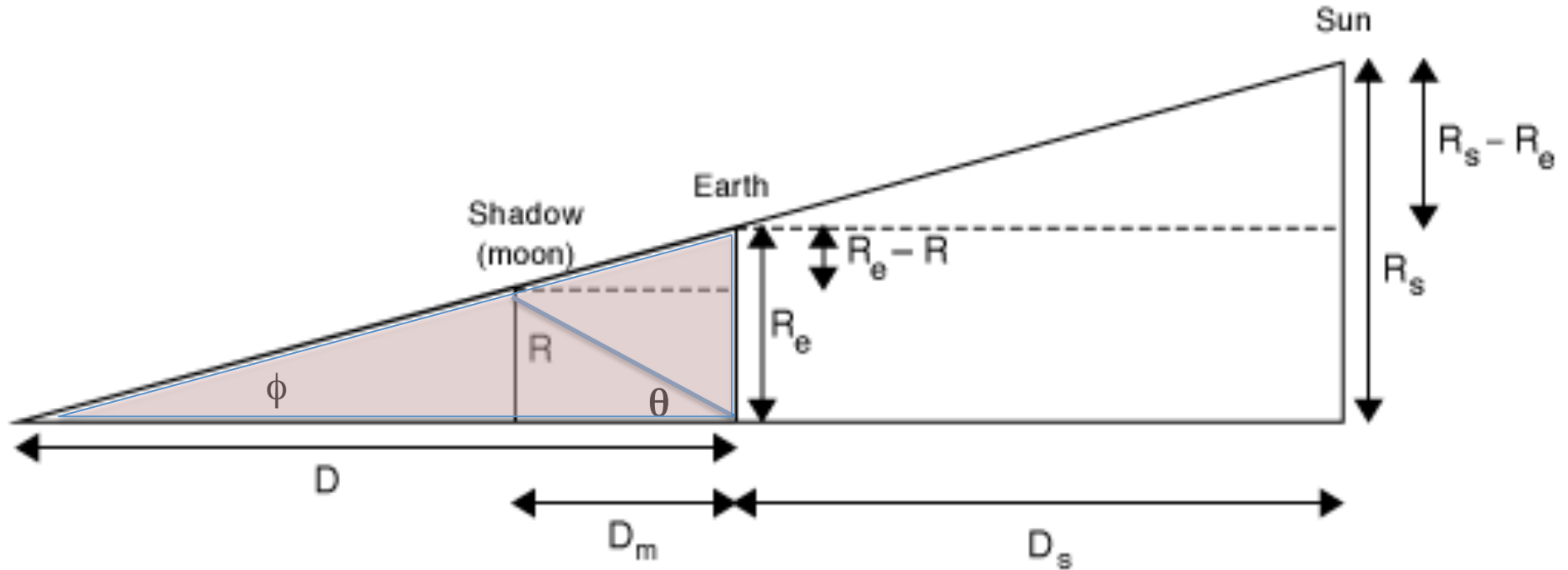
קטלוג הכוכבים הראשון, מיקום לפי latitude & longitude
מדידת המרחק לירח בהסתמך על פרלקסה
בגלל מדידותיו החוזרות והמדידות גילה את הפרססיה של כדור הארץ
והתנגד למודל ההליוסנטרי (השמש במרכז תנועת הכוכבים והארץ)

זווית הראיה של השמש = זווית הראיה של הירח = 0.5° (בדיוק: $0^\circ 33' 14''$)
בזמן ליקוי חמה מלא בסיין היה $1/5$ מהשמש גלוי באלכסנדריה $\theta = 0.1^\circ = 0.001745 \text{ rad}$
לכן המרחק לירח = 0.00174533 / המרחק סיין אלכסנדריה = $530,000 \text{ ק"מ}$
למעשה עוד תיקון: השמש היתה בזווית φ לאנך בליקוי: $\cos \varphi \sim 0.7$
נותן $371,000 \text{ ק"מ}$ הערך כיום: $384,403 \text{ ק"מ}$

$$\text{רדיאנים} = 0.0174533 = 1^\circ = 2\pi/360$$



שיטה שניה: הזמן שלוקח מתחילת עד סוף ליקוי ירח (הירח חוצה את צל הארץ) 10.8 דקות המתאים לזווית פי 2.5 מ- ϕ זווית הראיה של הירח



ידוע: R_e רדיוס הארץ, 6400 ק"מ

זווית ראית השמש והירח וגם זווית הצל שמטיל הארץ: 0.0087 רדיאנים $2\phi = 0.5^\circ$

לכן מהמשולש הורוד אורך הצל שמטיל הארץ: ק"מ $D = R_e / \phi = 230 R_e = 1,472,000$

זווית הראיה של צל הארץ במקום בו הירח $\theta = 2.5\phi$

לכן $R = \theta D_m$ $R = \phi (D - D_m) \Rightarrow D_m(\theta + \phi) = \phi D$

ולכן המרחק לירח ק"מ $D_m = \phi D / (\theta + \phi) = D / 3.5 = 66 R_e = 420,000$

מה גודל הירח?

אריסטרכוס 230-310 לפה"ס Aristarchus of Samos

האמין במודל ההליוצנטרי - השמש במרכז תנועת הארץ וכוכבי הלכת, הירח סובב לארץ

מדידת המרחק לשמש על סמך המרחק לירח:

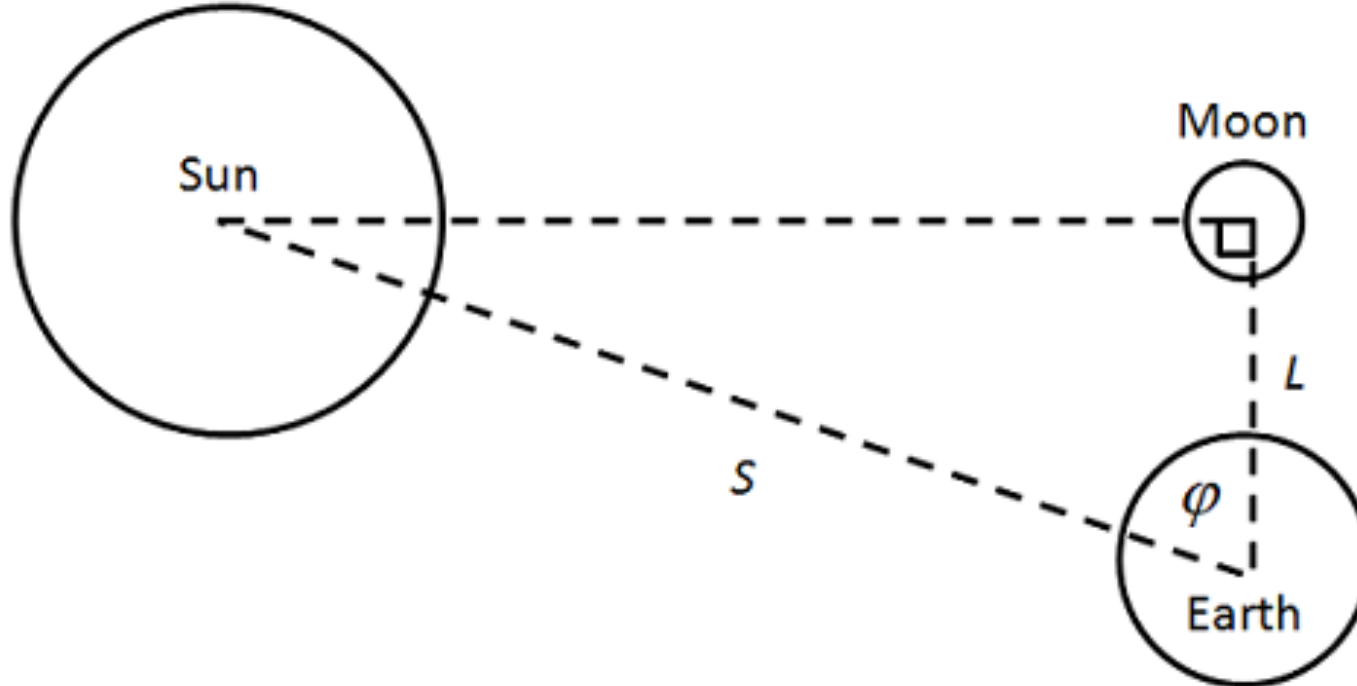
כשמופע הירח הוא בדיוק חצי, הקוים מהירח לארץ ולשמש אנכיים.

אם נמדוד את הזווית ϕ בין הירח לשמש נדע את יחס המרחקים לשמש ולירח S/L

אריסטרכוס מדד 87° והסיק שמרחק השמש פי 18-20 ממרחק הירח

טעות גדולה במדידה: למה? למעשה $S/L=360$.

מאחר וזיות הראיה של השמש והירח שוות, יחס המרחקים הוא גם יחס הגדלים של השמש והירח.



גרמי השמים כשעון זמן

השמש - ימים

(הירח - חדשים (ירחים)

זוית נטיה של מסלול השמש (זוית בצהרים) - תקופות השנה .

עם רישום מצטבר של מדידות בשמים התברר כי המחזוריות השנתית של מיקום כוכבי המזלות אינה בדיוק 12 חדשים

בסין - 12 חדשים ומחזור 12 שנים : שנת החולדה, השור

הטיגריס, הארנבת (או השפן) הדרקון, הנחש, הסוס,

הכבשה (או העז), החמור, התרנגול, הכלב, והחזיר .

רישום תנועת הכוכבים החל במאה ה-6 לפה"ס

זאנג הנג במאה הראשונה לספירה קיטלג 2500 כוכבים (Zhang Heng 78-139)

במאה ה-13 הקים 27 מצפי כוכבים וחישב אורך השנה כ-365.2325 ימים עליו בוסס

ב-1281 לוח השנה הסיני

בהודו - טקסט באסטרונומיה . תנועת כוכבים לצרכי דת Vedanga Jyotisa מ-1200 לפה"ס

אלכסנדר מוקדון הביא להודו את האסטרונומיה ההלניסטית

אריאבהטה (476-550) ממציא השיטה העשרונית השתמש בטריגונומטריה למדידת תנועת

הכוכבים ליקויי ירח ושמש ואורך השנה

ברהמגופטה (598-668) המתמטיקאי פיתח שיטה לחישוב מיקומי הכוכבים וטען שכדור

הארץ עגול ונע . כתביו תורגמו ב-770 לערבית בחצר החליף מנצור

באמריקה - מאיה : שנה חקלאית ושנה דתית

בפגישה האחרונה

למדנו על אסטרונומיה.

ראינו איך הסיבוב היומי של השמש הירח והכוכבים הביא למודל הרקיעים (תלמאי) ואיך ניסו להסביר את תנועות כוכבי הלכת על רקע כוכבי השבת.

הסברנו את השימוש בגיאומטריה למדידת מרחקים למקומות שאיננו יכולים להגיע אליהם, ולמדנו איך מדדו את רדיוס כדור הארץ, המרחקים לירח ולשמש.

היום נלמד על מפות, והשימוש בטריאנגולציה ובקואורדינטות ממיקום כוכבים למיפוי הארץ.

מפות

מפות בבליות עתיקות

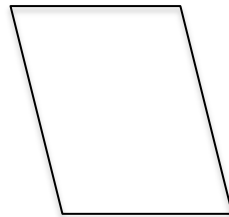
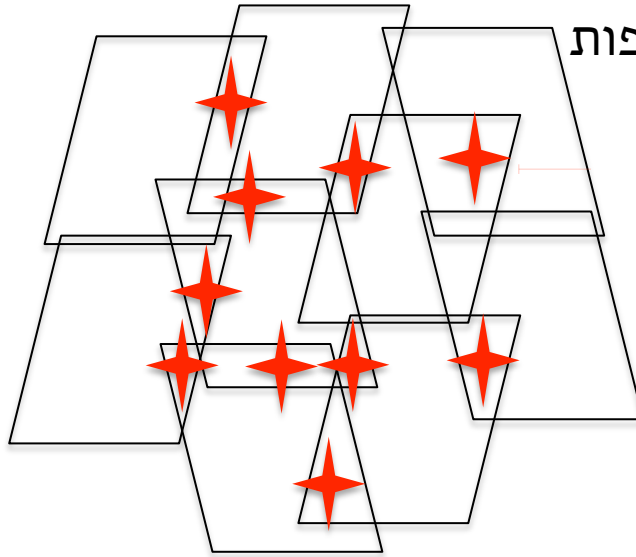
למעשה ציור העיר לפי מה שניתן לראות מהר הקרוב לעיר – בנינים, נהר, חומה מצרים – מיפוי לסימוני גבולות של חלקות אחרי גאות הנילוס



"תפירת" מפות מקומיות למפת עולם?
ע"י התאמה של נקודות ציון* שמופיעות בשתי מפות

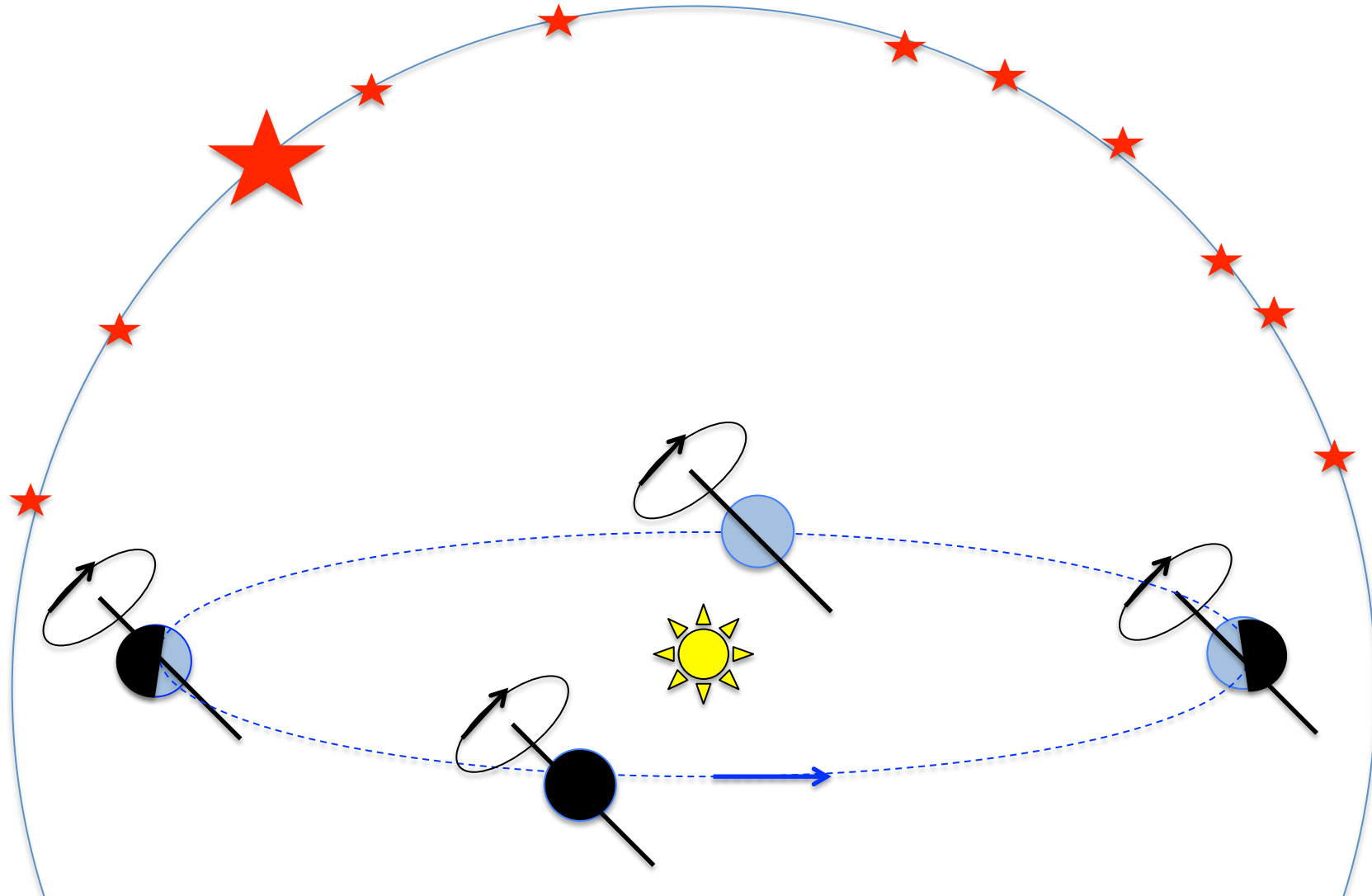
הבעיות:

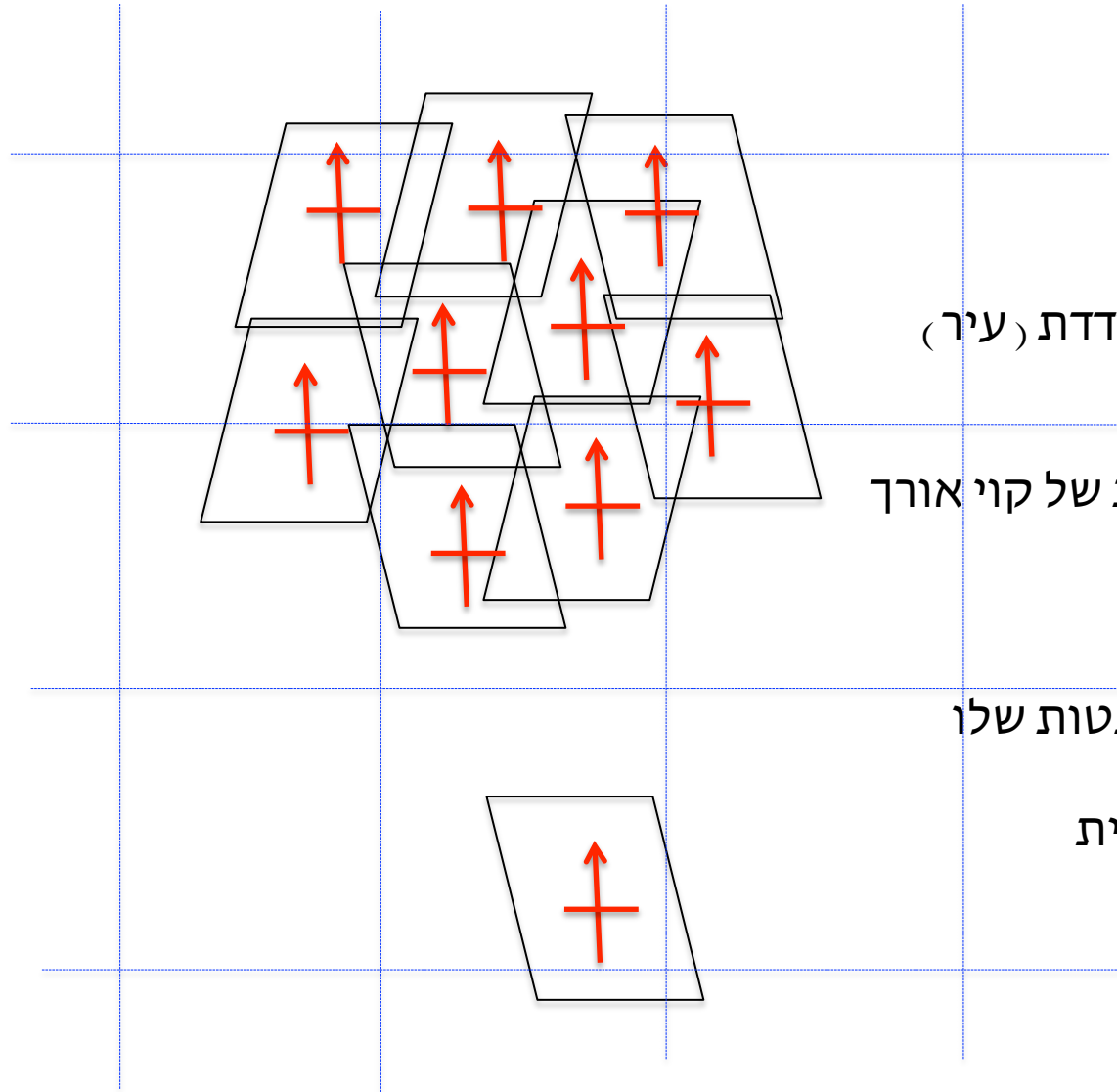
1. חופש בסיבוב עם נקודת ציון בודדת (עיר)
2. טעות מצטברת
3. חסר יכולת למקם אזור מבודד



גרמי השמים לקביעת מקום על הארץ: מפות

שירטוט מפות - קרטוגרפיה - יישום גיאומטריה. אבל כדוריות הארץ דורשת גיאומטריה ספירית!
מופעי הכוכבים בזריחה ובשקיעה - קו אורך זווית כוכב הצפון - קו רוחב
נווט בים - כוון הצפון ביום ובלילה (בטרם המצאת המצפן) קו אורך ורוחב
אבל דורש תיקון מצטבר לעונות השנה ולכן החשיבות של דיוק במדידות





פתרונות לבעיות:

* חפש בסיבוב אם נקודת ציון בודדת (עיר)

פתרון - כוון צפון

* טעות מצטברת

פתרון - מערכת קואורדינטות של קוי אורך

ורוחב

פיתרון - טריאנגולציה

* חסר יכולת למקם אזור מבודד

פתרון - ממוקם לפי קואורדינטות שלו

בעיה חדשה: פרישת מעטפת כדורית

דיקרכוס **Dicaearchus** לפה"ס 300 הגדיר רשת קואורדינטות
ארסטוטנס **Eratosthenes** לפה"ס 250 שמדד קטר כדור הארץ
הגדיר ראשית קואורדינטות בקו רוחב מרודוס לעמודי הרקולס (גברלטר)
עכשיו 36 altitude

וקו אורך 0 באיים הקנאריים מחוץ לחופים האטלנטיים של מרוקו היום longitude 18W
היפרכוס (**Hipparchus** ca. 190 – ca. 120 BC) השתמש במדידות כוכבים בבליית לקביעת
פרוססיה של ציר סיבוב כדור הארץ במעלה 0 למאה שנים



תלמאי **Ptolemy** 120AC קבע קואורדינטות של ערים מזויות כוכבים
וצייר מפת העולם בשתי שיטות השלכת כדור למישור. השתמש בסקסטנט
וקוודרנט, וקיטלג מיקומם של 1025 כוכבים ומסלולם של 5 כוכבי הלכת
שראה בעין בלתי מזוינת. האמין במודל גיאוצנטרי: הארץ במרכז היקום,
ולכן תיאר את מסלולי כוכבי הלכת
בספירלות קונצנטריות שמרכזן בארץ.
השתמש בטרואנגולציה כדורית כדי
למפות את הכוכבים בשמים:

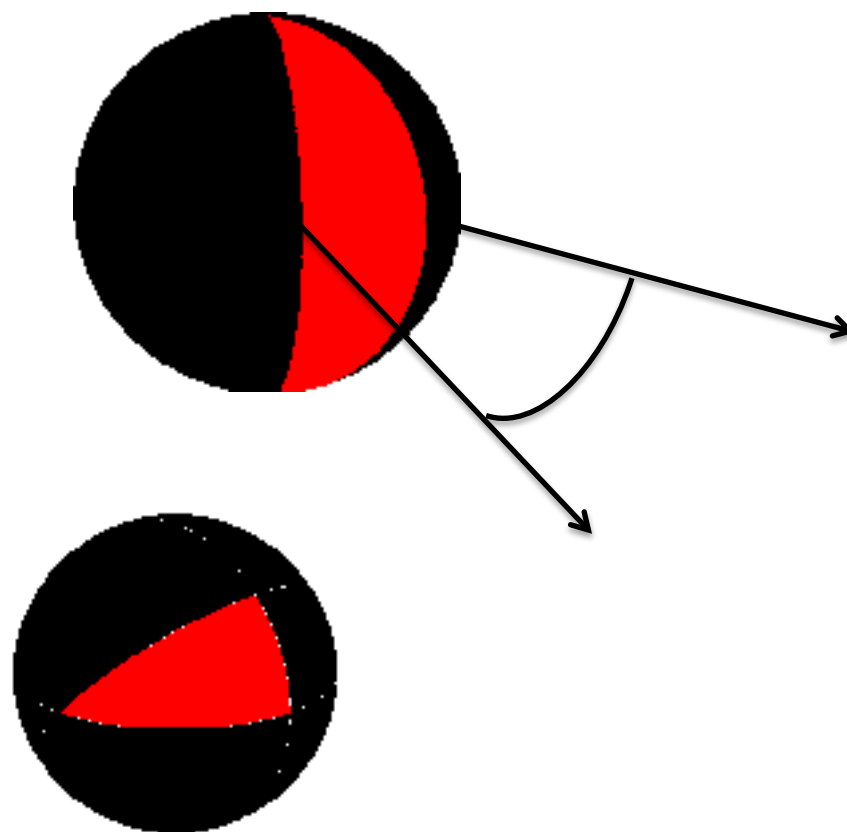
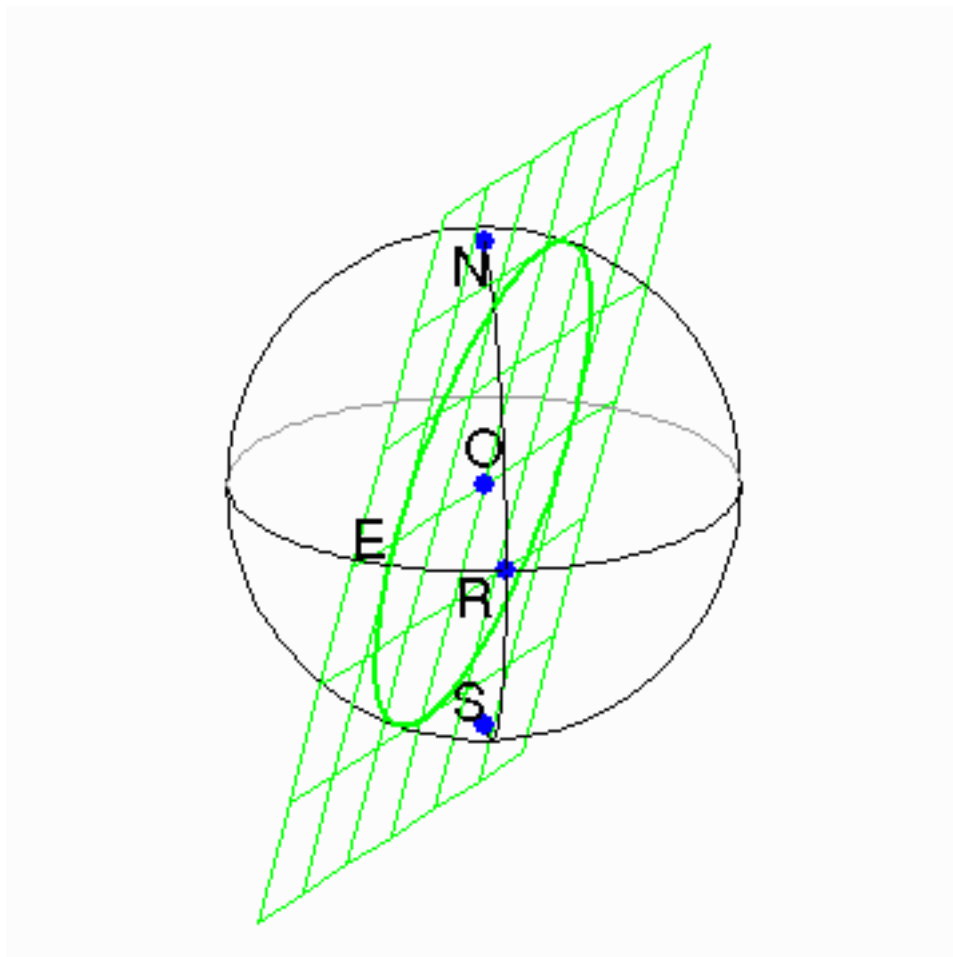


אל-בירוני **al-Biruni-1100** פיתח
גיאומטריה כדורית ויישם טריאנגולציה
למפות

מעגל גדול על פני כדור הוא חיתוך מישור העובר במרכז הכדור

זווית כדורית נמדדת בין שני מעגלים גדולים ויוצרת כמו פלח תפוז

משולש כדורי נוצר משלשה מעגלים גדולים העוברים, כל אחד, דרך שניים משלשת קדקדיו



מנלאוס מאלכסנדריה (Menelaus of Alexandria) במאה הראשונה תאר גיאומטריה כדורית

שטח משולש כדורי Δ הנוצר משלש קשתות שביניהן זווית A, B, C הוא: (משפט ג'ור (Girards Theorem)

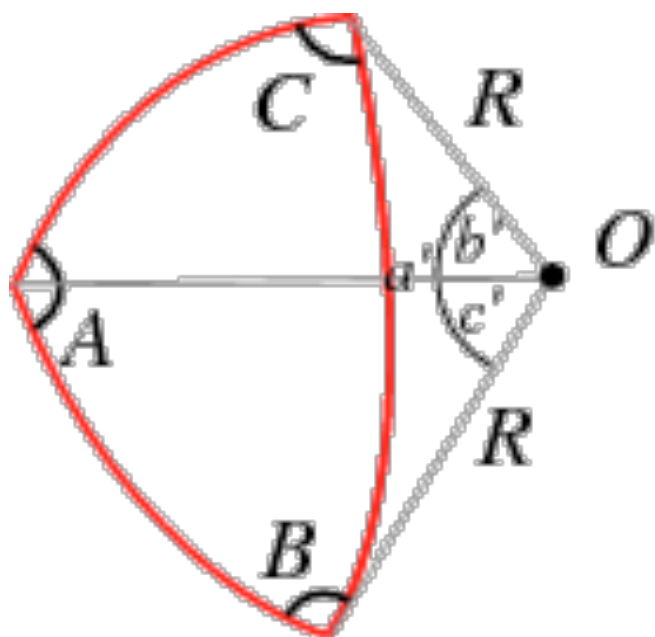
$$\Delta = R^2 (A+B+C - \pi)$$

או בצורה אחרת: סכום הזוויות של משולש כדורי:

$$A+B+C = \pi + \Delta/R^2$$

הוכחה: <http://math.rice.edu/~pcmi/sphere/gos4.html>

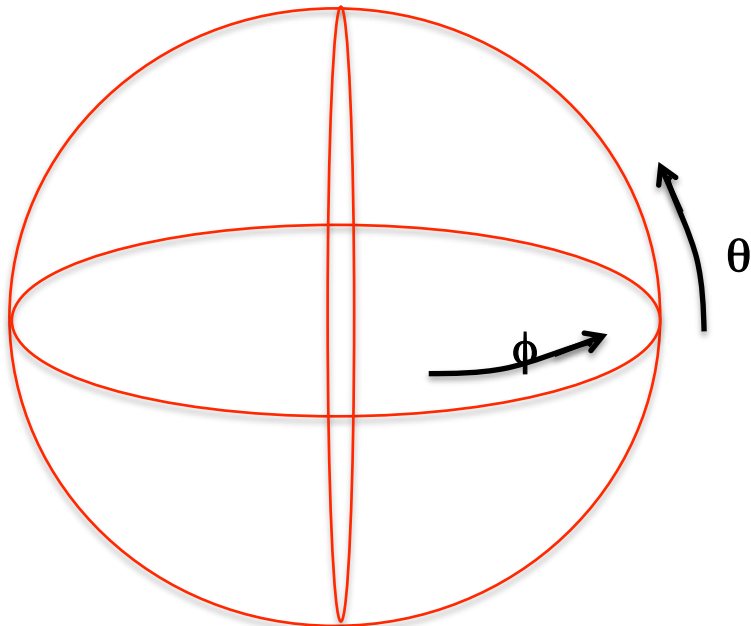
מכאן: שני משולשים עם זוויות שוות זהים (לא רק דומים כמו במישור) ומכאן גם: אין מפה מישורית של הארץ ששומרת גם על שטח וגם על זוויות.



במישור - סכום זוויות משולש = 180°
על פני כדור הסכום תלוי בגודל המשולש.

דוגמא פשוטה לסכום זוויות במשולש כדורי:
אם נחתוך תפוז בשלשה מישורים אנכיים העוברים
דרך מרכזו נקבל פלח של $1/8$ מנפח התפוז.
קליפת הפלח היא מעין משולש,
שלשת זוויות הקדקד שלו הן 90°
סכום הזוויות הוא 270° הייתכן?
הרי סכום זוויות המשולש הוא 180° !!!

נוכל לחשוב שאם ניישר את הקליפה על השולחן
יימתח המשולש וזוויות קדקדיו ייקטנו



אלכסנדר מוקדון (הגדול) 323–356 לפה"ס, העשיר את המדע ההלניסטי במדע מיצרי, מאסיה הקטנה (אנטיוכיה), ומפרס והודו.

המדע נתמך גם על ידי יורשיו שליטי מצריים תלמאי הראשון **Ptolemy I Soter 283–323 BC** ותלמאי השני **Ptolemy II Philadelphus 281 – 246 BC**

שבנו את הסיפריה הגדולה במוזיאון באלכסנדריה שבמצרים. הסיפריה לא רק אספה כתבי מדע, ספרות ודעת אלא גם היתה בית (מעין אוניברסיטה) לחוקרים ומדענים שנתמכו ע"י מלכי בית תלמאי. אסכולת אלכסנדריה היתה בית לרשימה מפוארת של השגים מדעיים:

אוקלידס והגיאומטריה

ארכימדס, שחישב את ערכו של π והגה את זירעי החשבון הדיפרנציאלי ותרם עם אחרים להדראוליקה ארטוסטנס שקבע שהארץ כדורית ומדד את הקפו, וגיאוגרפים שהציעו דרך ימית מערבה למזרח הרחוק גאלן שחולל מהפיכה ברפואה, ומדענים אחרים שתארו את המוח, העצבים, הלב ומערכת הדם, ומערכת העיכול אסטרונומים שהציעו את המודל ההליוצנטרי מדדו את אורך השנה $\frac{1}{4}$ 365 ימים והציעו שנה מעוברת הפטיה שהיתה מתמטיקאית חריפה עסקה בהוראה מדעית ונרצחה ע"י פנטים דתיים ככופרת.

הספריה נשרפה שלא בכוונה בהפצצת אלכסנדריה בלפידים מאוניות הכיבוש של יוליוס קיסר (47–), שוחזרה אך נשרפה ב-640 בעת הכיבוש הערבי מידי ביזנטיון כנראה בעידוד הנוצרים והמוסלמים בעיר שראו במדע דרך אסורה לפי חוקי הדת.

מפת העולם של
Fra Mauro
ונציה ~1460
הוזמנה ע"י
מלך פורטוגל

מראה את אירופה,
אפריקה ואסיה

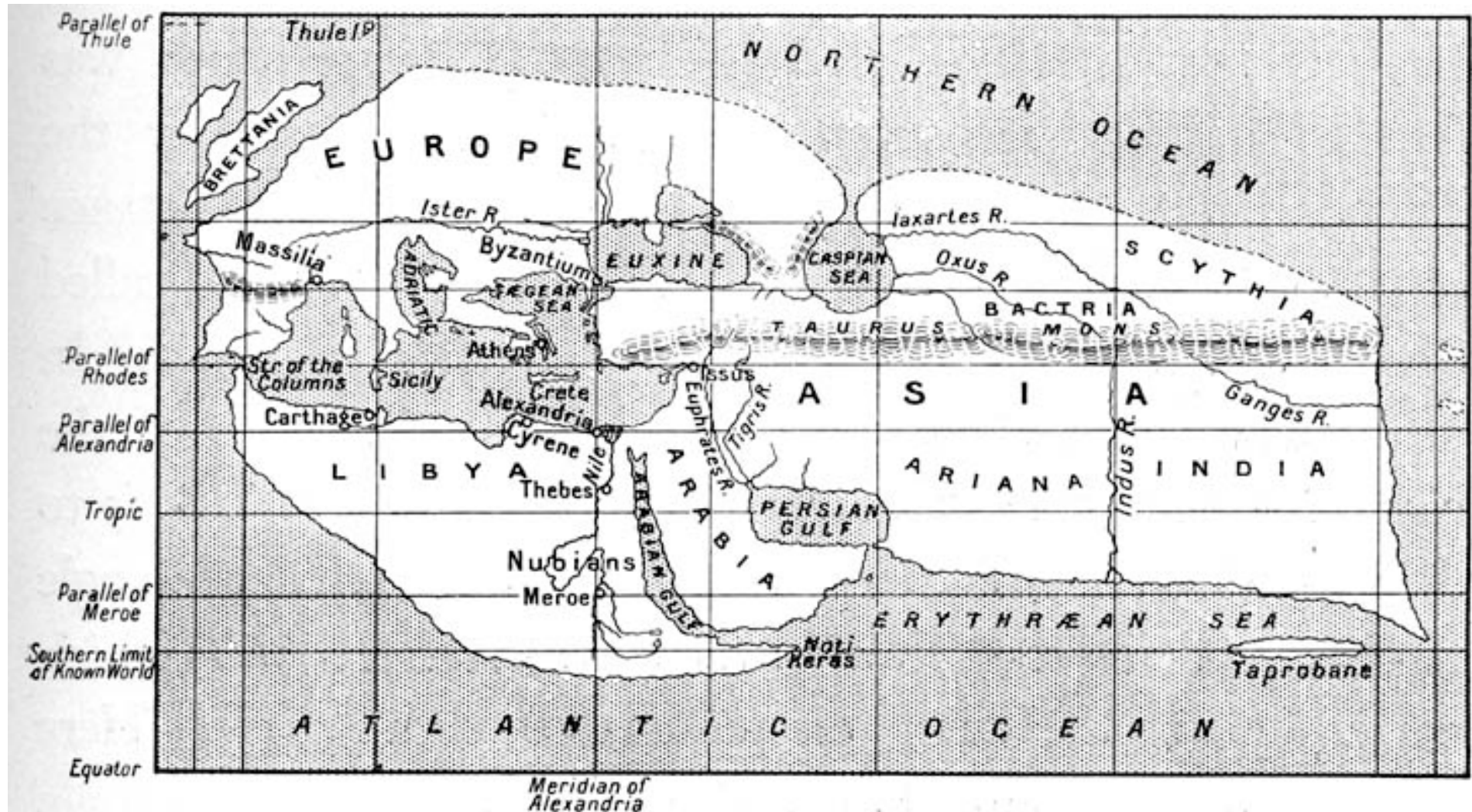
הגדיר רשת קואורדינטות

פירוט מדויק של
מפרצים
אך עוות מרחקים
מדוע?

פנים אסיה ואפריקה -
לא ידוע
טעויות מצטברות
במידת קוי רוחב

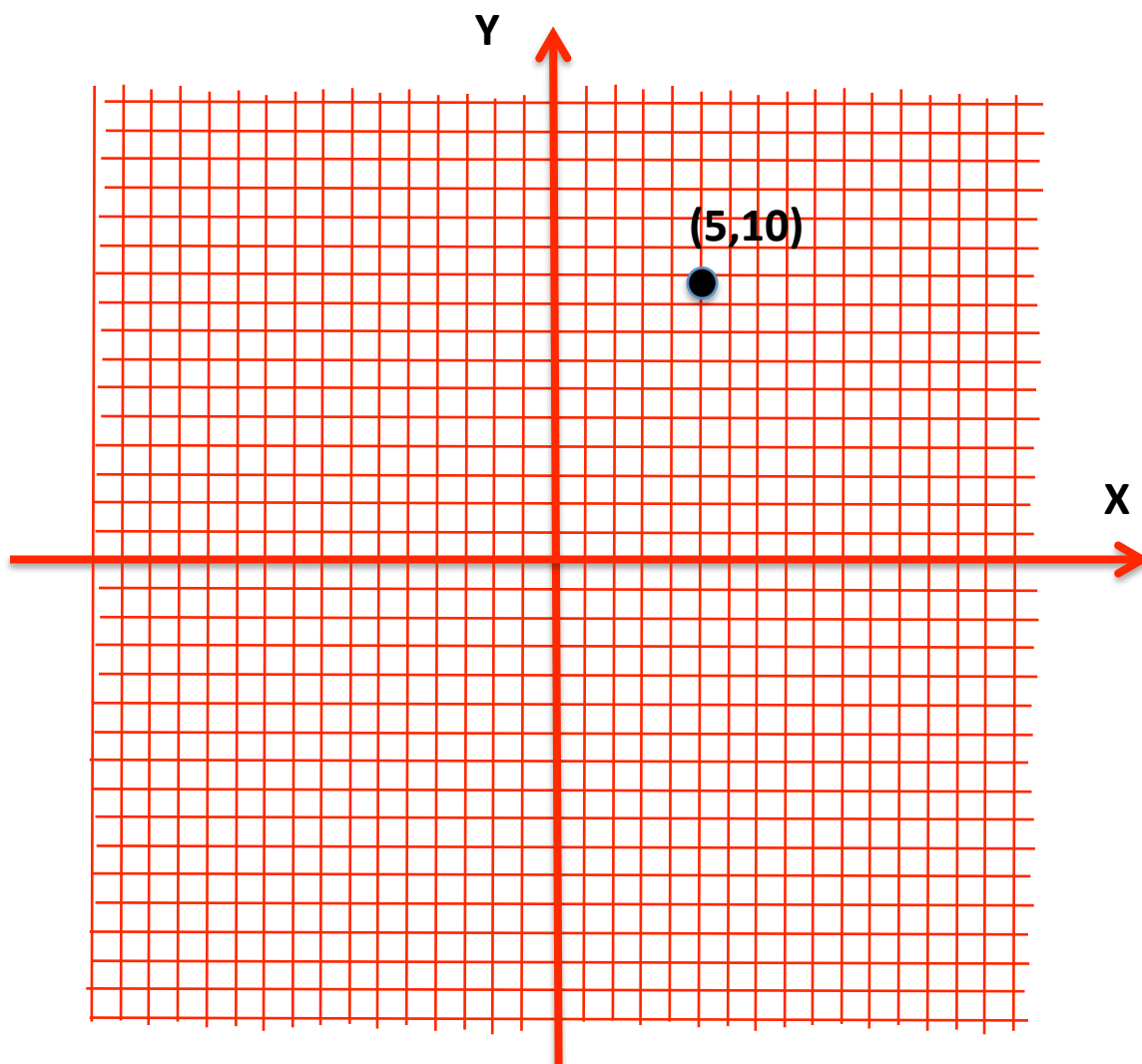


המפות הולכות ומרחיבות את העולם הידוע עם הזמן

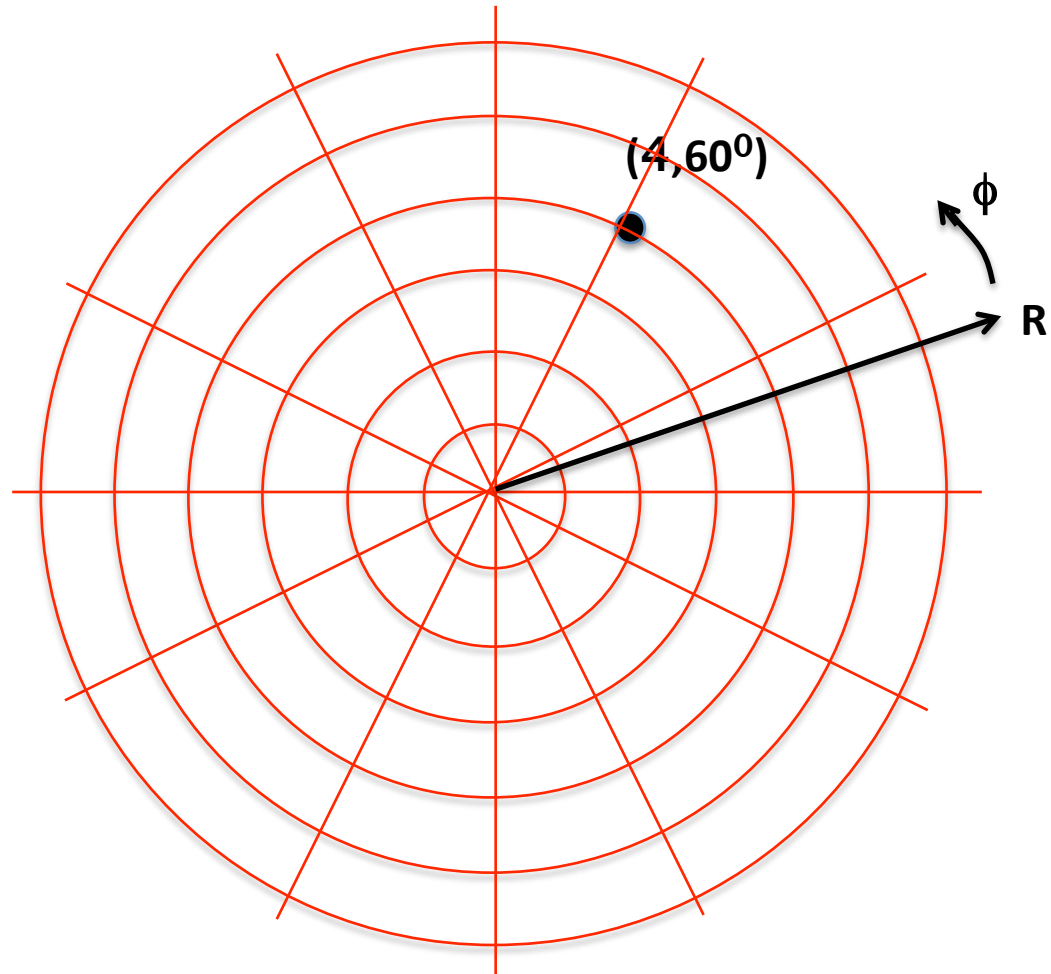


"אריסטרכוס הגדיר מיקום ע"י רשת אפקית ואנכית - קואורדינטות קרטזיות ראשית הקואורדינטות X_0 Y_0 : שרירותית. מעבר לראשית חדשה $Y' = Y - Y_0$ $X' = X - X_0$

. האם אפשר למקם נקודות במישור במערכת קואורדינטות אחרות?



"קואורדינטות קטביות (פולאריות)"



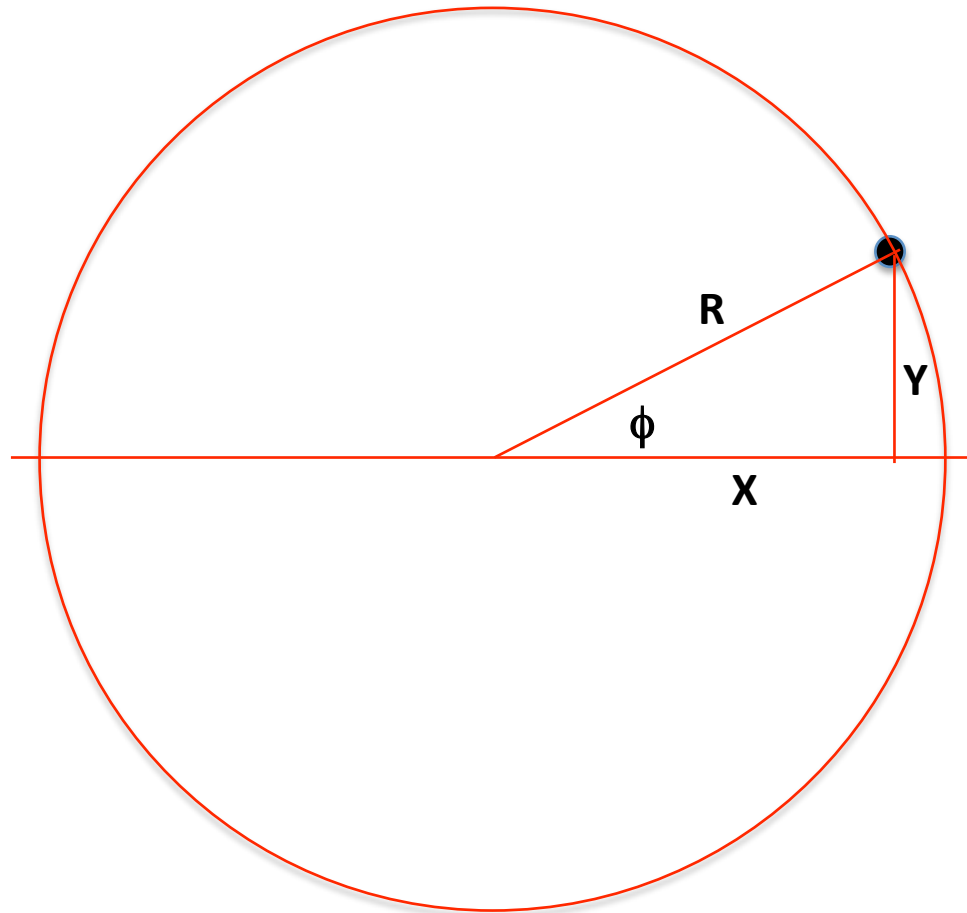
בשתי מערכות הקואורדינטות במישור הגדרנו שני משתנים בלתי תלויים.
איך נעבור מ- (x, y) ל- (R, ϕ) ולהפך?
טריגונומטריה: משתמשים ביחסים הקבועים בין צלעות משולשים ישרי זווית דומים

$$X = R \cos \phi$$

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

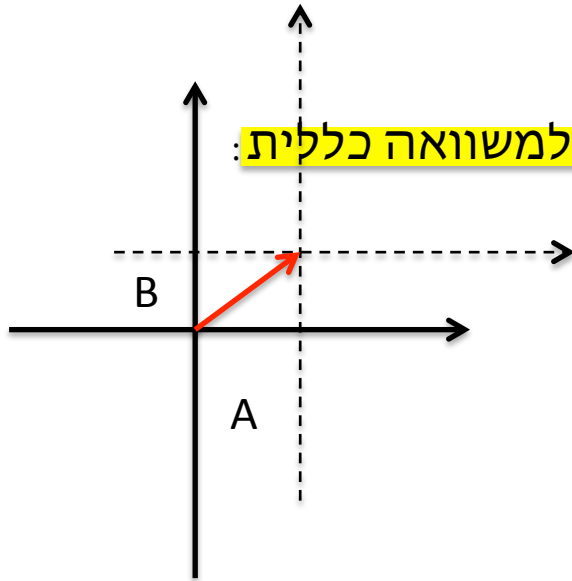
$$Y = R \sin \phi$$

$$\phi = \arctan (Y / X)$$



טרנספורמציה של קואורדינטות

איך לעבור מהמשוואה הקנונית למשוואה כללית:



הזזה

$$X=x+A$$

$$Y=y+B$$

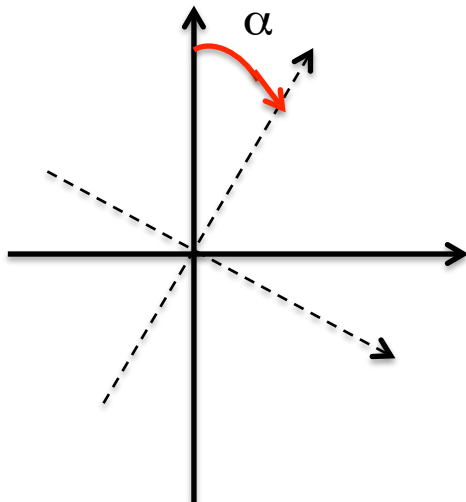
עוות כללי

$$X=ax+by$$

$$Y=cx+dy$$

אם $ad-bc = 1 = \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}$ הטרנספורמציה היא סיבוב (יוניטארית)

בזווית α ואז ניתן לכתוב:



$$X = \cos(\alpha)x + \sin(\alpha)y$$

$$Y = -\sin(\alpha)x + \cos(\alpha)y$$

איך נגדיר מקום במרחב (תלת ממדי):

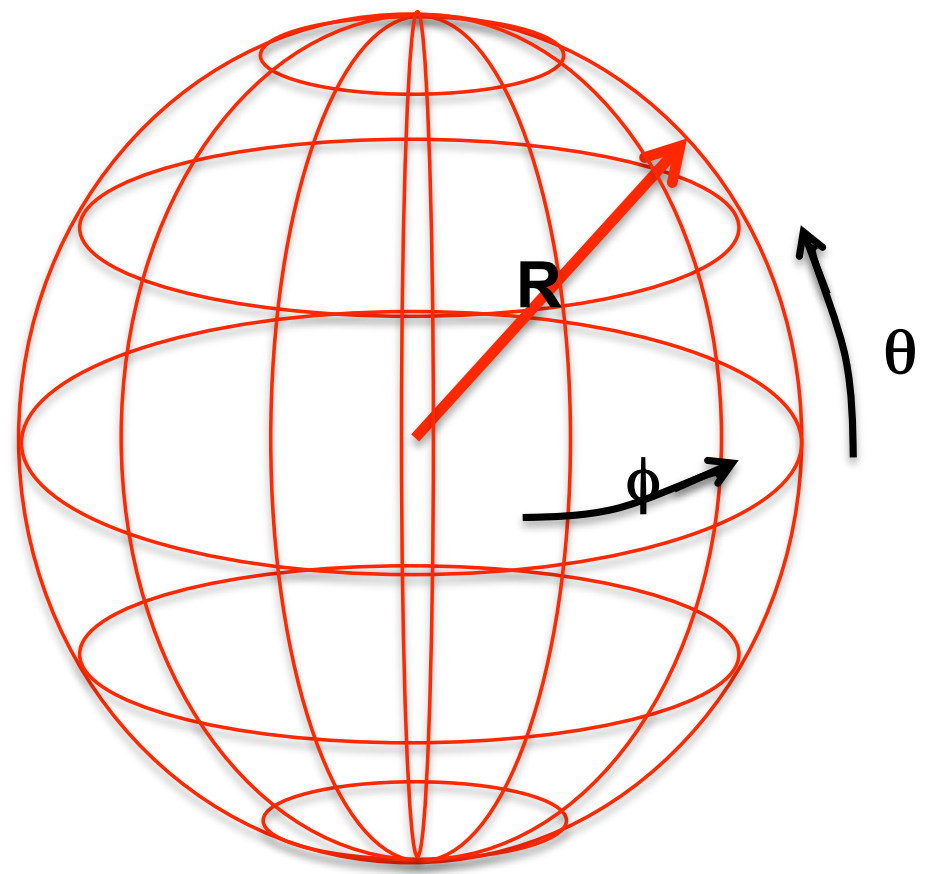
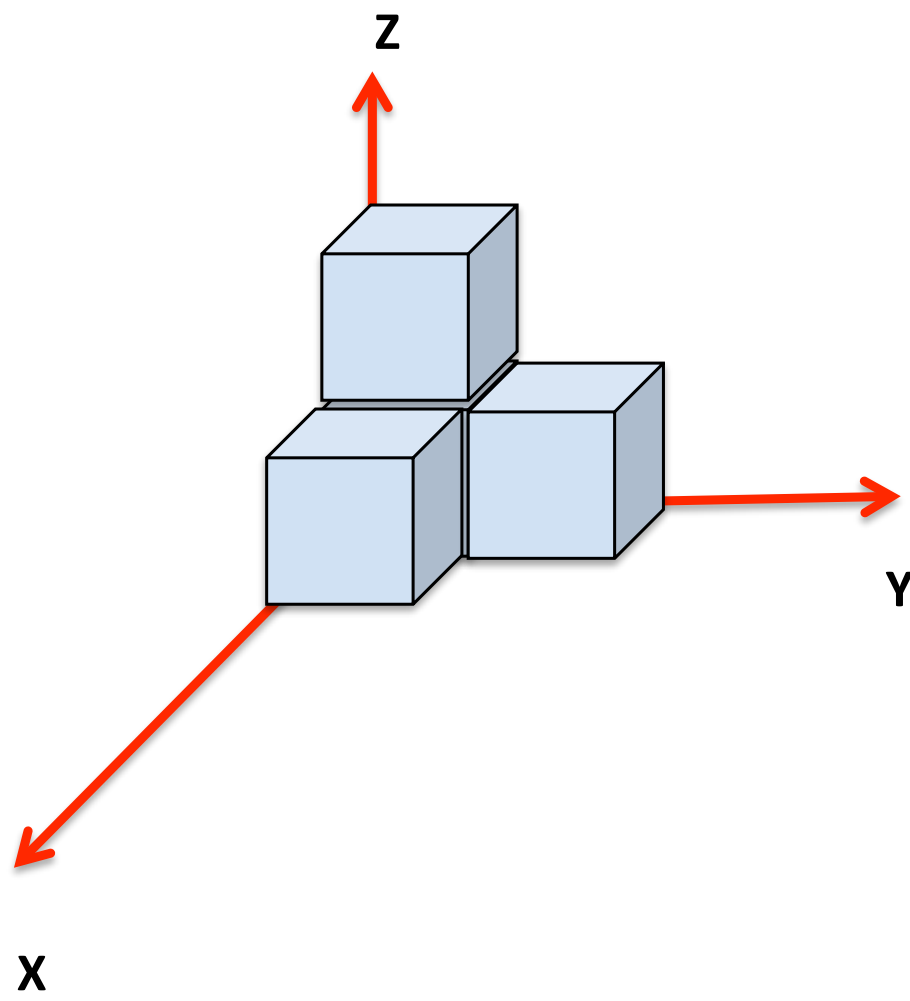
למשל 3 קואורדינטות קרטזיות X,Y,Z (מרחב תלת ממדי)

או רדיוס ושתי זוויות - $R \theta \phi$

איך הגדרנו מיקום כוכב:

זווית מהאפק, זווית מהצפון

מה קרה לרדיוס?



מפת העולם - הטלי שטח כדורי למישור:

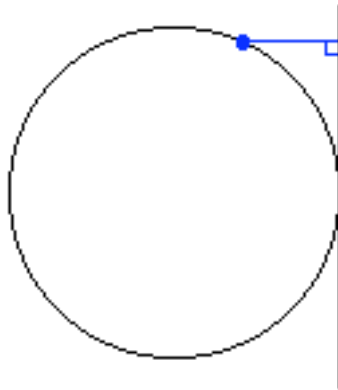
אורטוגרפי (היטל אנכי)
שומר זוויות מקומיות

גנומוני (ממרכז הכדור)
מעגל גדול-ישר

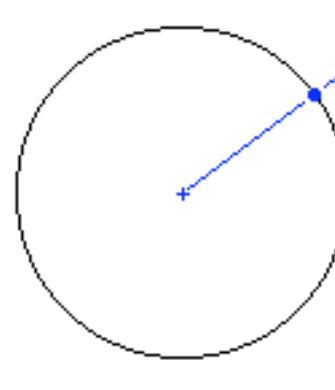
סטריאוגרפי (מקוטב)
מעגל עובר למעגל (או ישר)

שומר-שטח (מנקודת השקה)

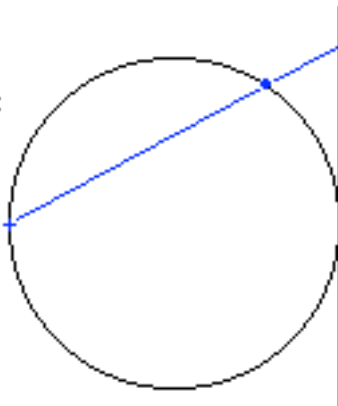
Orthographic



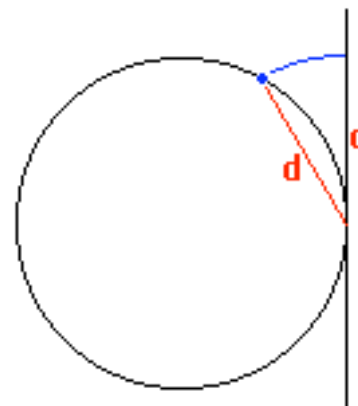
Gnomonic



Stereographic

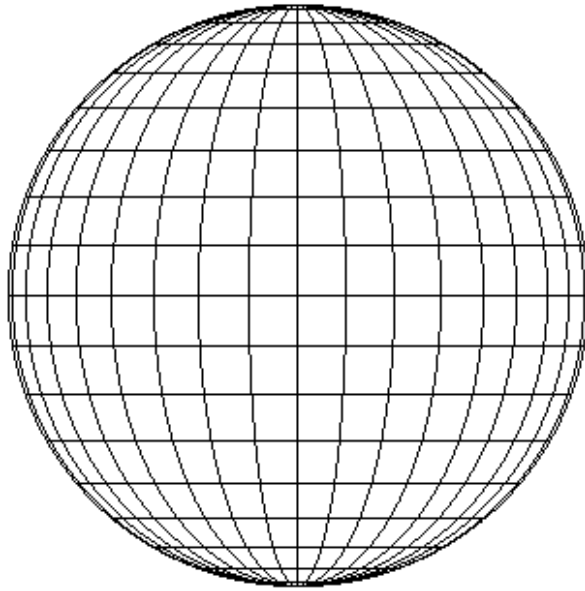


Equal-Area

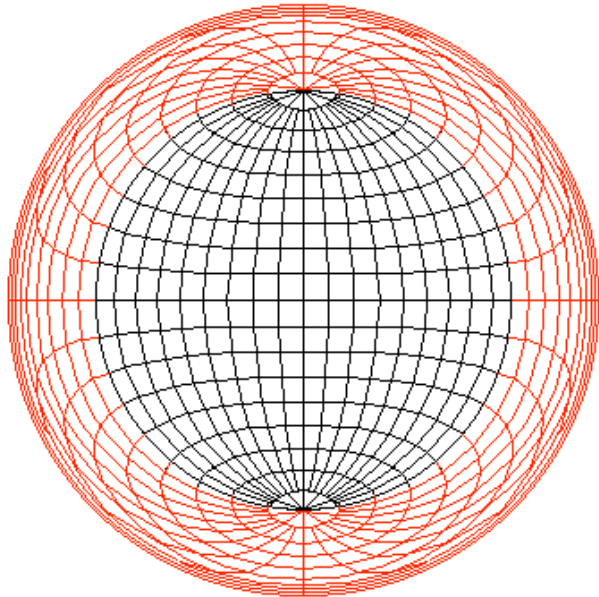


בהטל סטריאוגרפי: הטלי מעגלים על הכדור שאינם עוברים דרך מרכז ההטל הם מעגלים

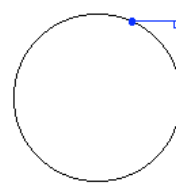
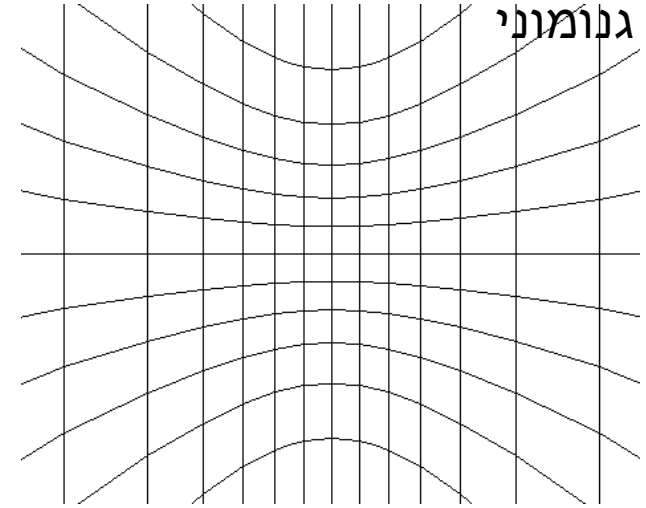
אורטוגרפי



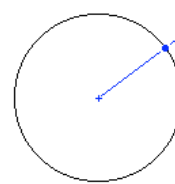
סטריאוגרפי



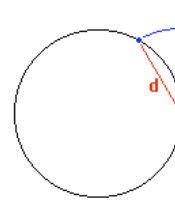
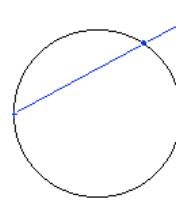
גנומוני



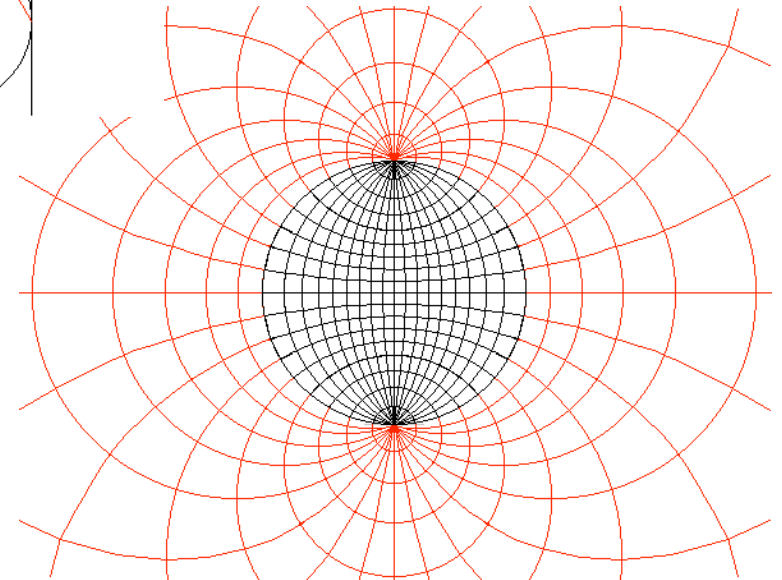
Gnomonic



Equal-Area

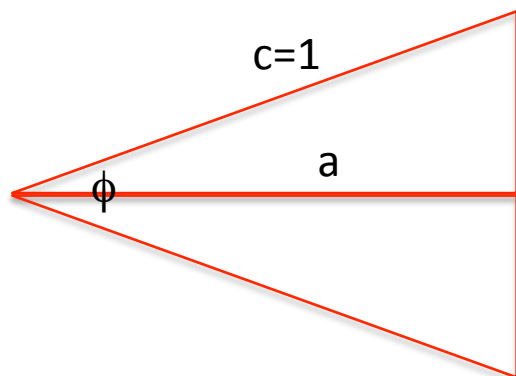


שומר-שטח



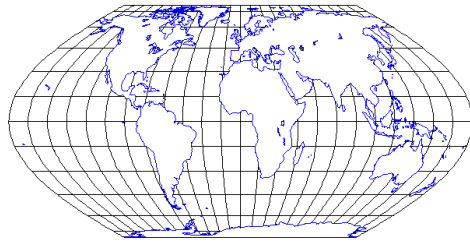
היפרכוס: טבלאות טריגונומטריות (chord tables) - חישוב צלעות משולשים ישרי זווית לפי פיתגורס, איפשרו חישוב מיקומם של כוכבים

היפרכוס הראה שהטלו של מעגל שאינו עובר דרך מרכז ההטל הוא מעגל: זה הבסיס לאסטרוולב שהיה נפוץ בעולם הערבי לניווט ומיפוי גיאוגרפי לפי הכוכבים, ותואר ע"י הפרסי אל-בירוני-Al_Biruni



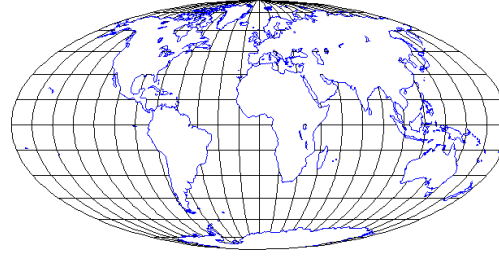
$$b = \sqrt{c^2 - a^2} = 2 \sin(\phi/2)$$

Unbezipfelter SANSON-Entwurf



Normale Entwurfsachse (0, 90, 0)

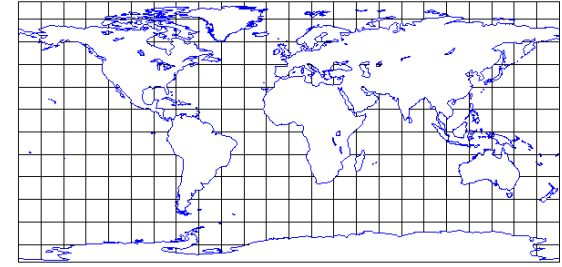
Entwurf von MOLLWEIDE



Karto 4.5

Normale Entwurfsachse (0, 90, 0)

Abstandstreuer Zylinderentwurf

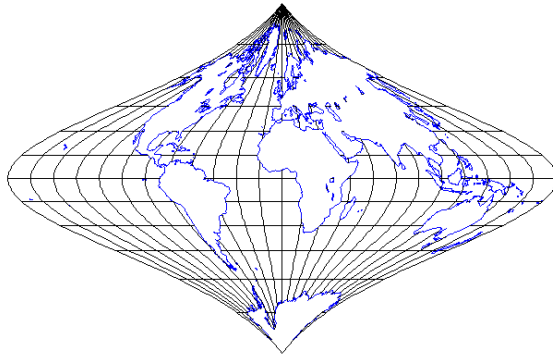


Karto 4.5

Normale Entwurfsachse (0, 90, 0)

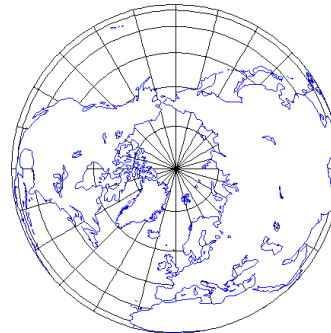
Karto 4.5

Entwurf von PREPETII-FOUCAULT



Normale Entwurfsachse (0, 90, 0)

Orthographische Projektion

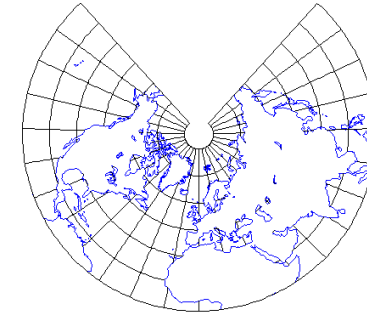


Karto 4.5

Normale Entwurfsachse (0, 90, 0)

Karto 4.5

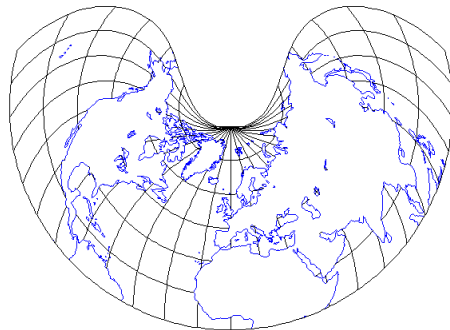
Abstandstreuer Kegellentwurf



Normale Entwurfsachse (0, 90, 0)

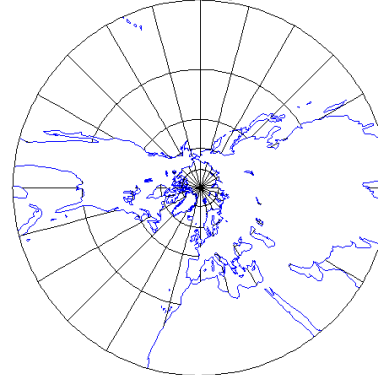
Karto 4.5

Entwurf von BONNE



Normale Entwurfsachse (0, 90, 0)

Gnomonische Projektion

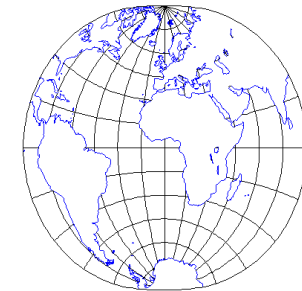


Karto 4.5

Normale Entwurfsachse (0, 90, 0)

Karto 4.5

Polygonischer Entwurf



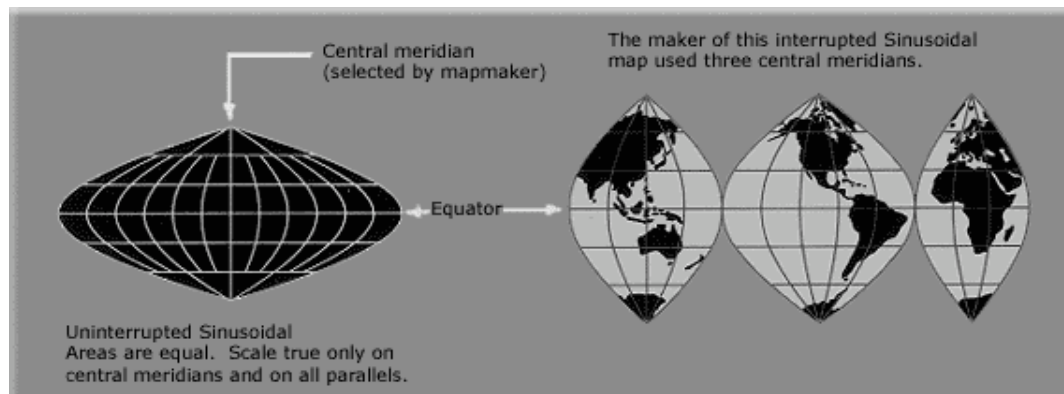
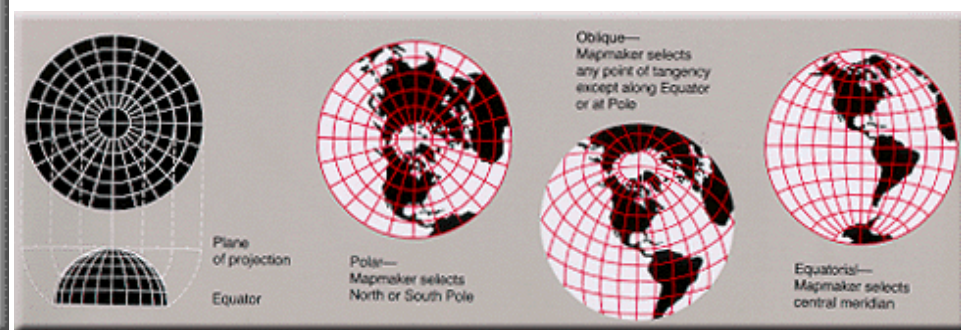
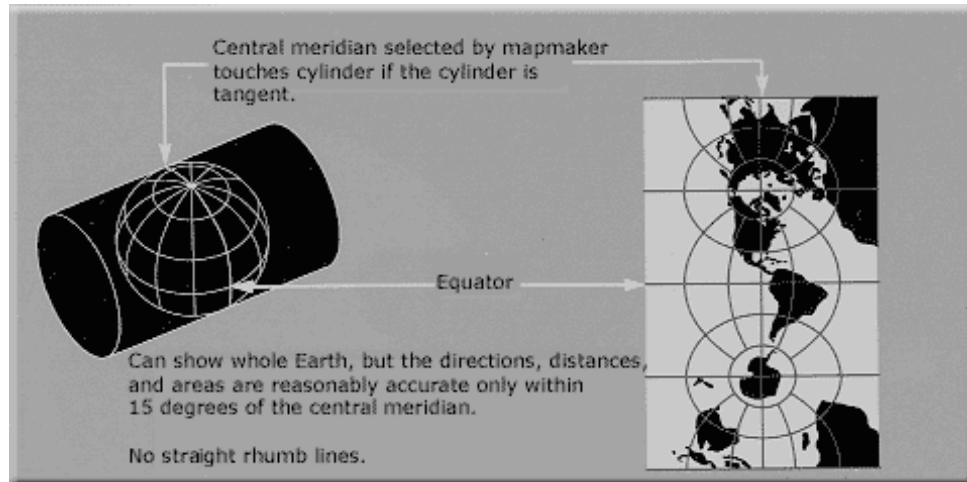
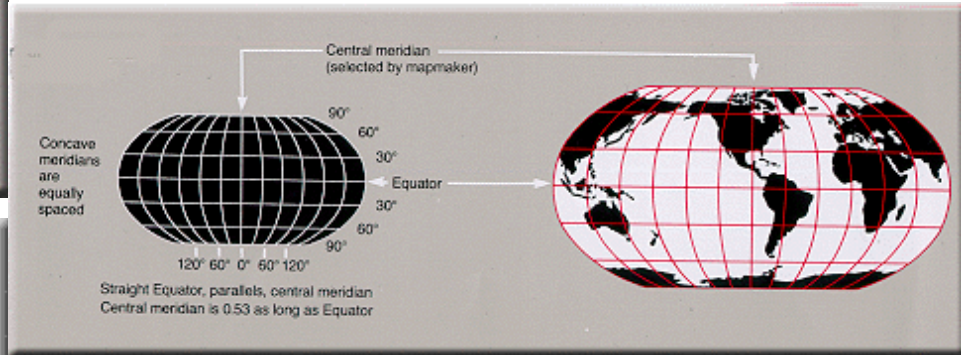
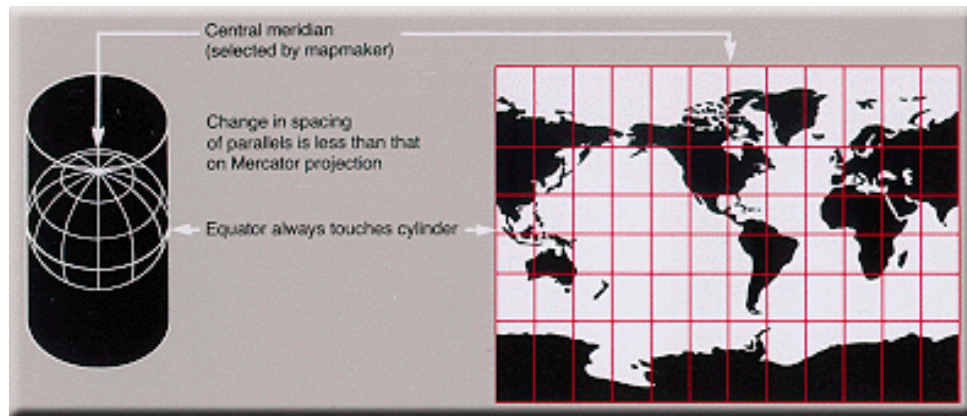
Normale Entwurfsachse (0, 90, 0)

Karto 4.5

שיטות לפרישת כדור

הטל

שמירת מרחק, שטח, כוון?
קוי אורך ו/או רוחב ישרים
איפה העוותים הגדולים?



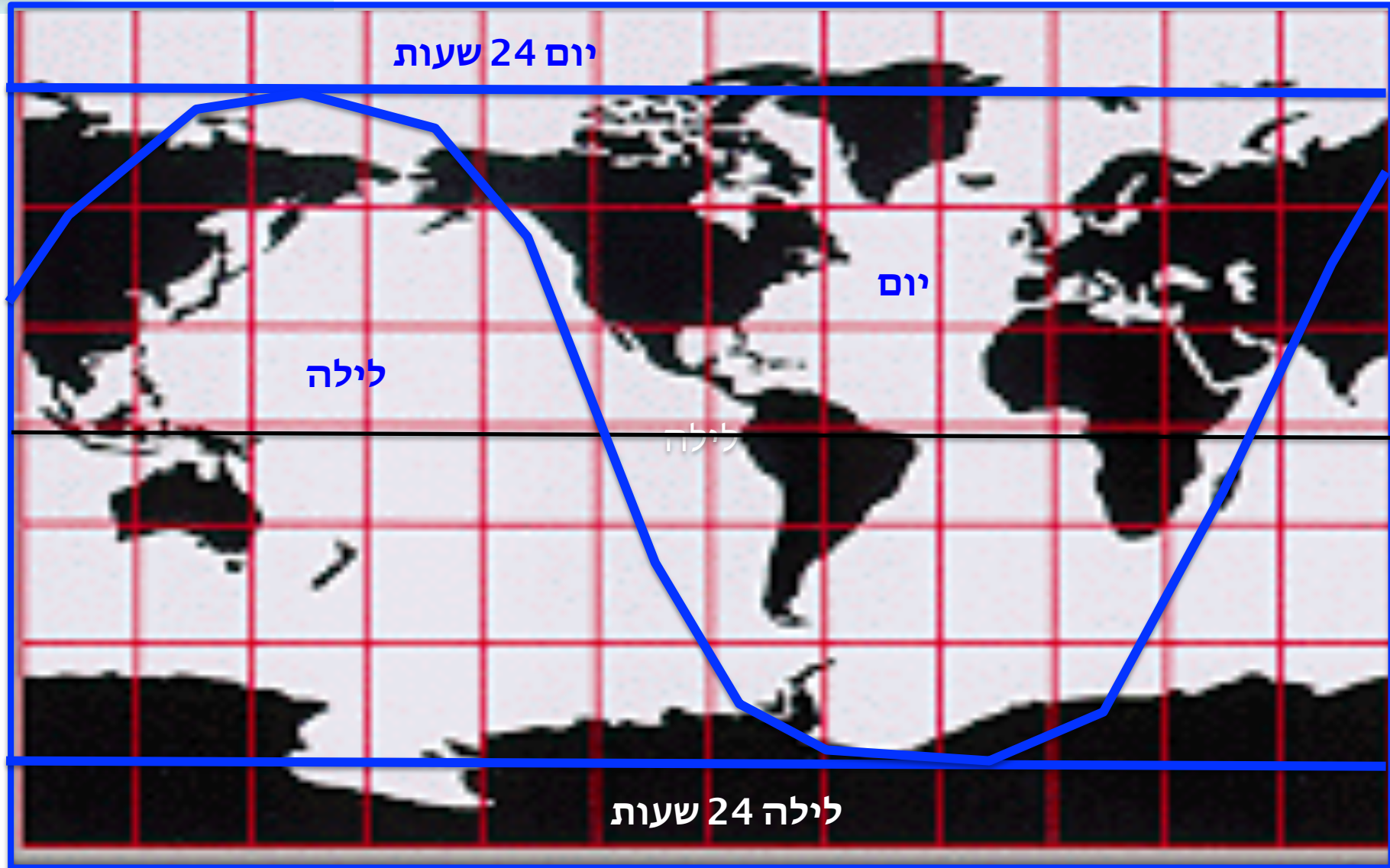




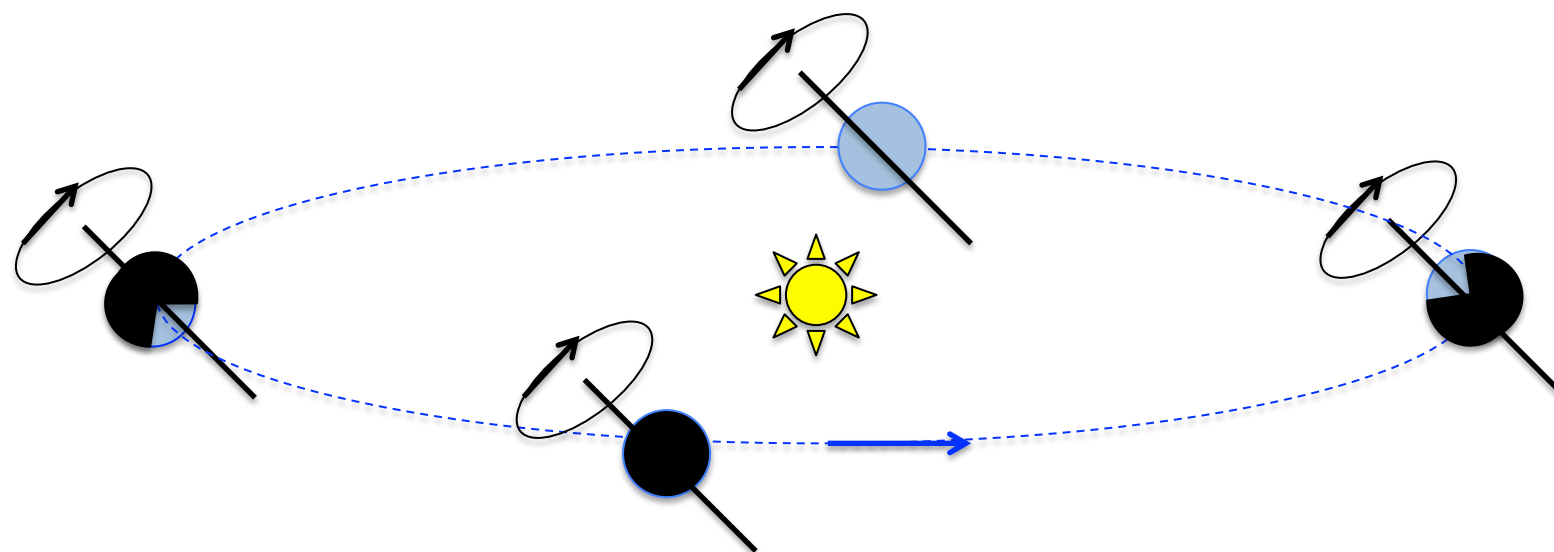
איך נראה האזור של יום במפות השונות של היטלי כדור הארץ?

- א. בהנחה שכדור הארץ אינו נוטה כלפי מישור הסיבוב סביב השמש
- ב. בהתחשב בזווית ציר הסיבוב

היטל מרקטור על גליל



חוג הקטב יום ולילה של חצי שנה



נספח : מערכת השמש

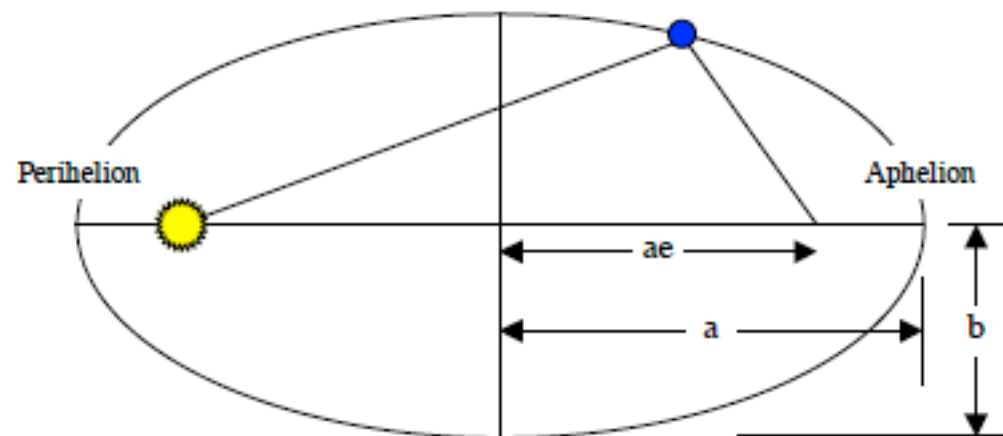
Planet	Distance From Sun (km)	No of Years of Travel from the Sun (yrs)	Distance From Earth (km)	No of Years of Travel From Earth(yrs)
Mercury	58,000,000	13	92,000,000	21
Venus	108,000,000	25	42,000,000	10
Earth	150,000,000	34	-	-
Mars	228,000,000	52	78,000,000	18
Jupiter	778,000,000	178	628,000,000	143
Saturn	1,427,000,000	326	1,277,000,000	292
Uranus	2,870,000,000	655	2,720,000,000	621
Neptune	4,497,000,000	1,027	4,347,000,000	992
Pluto*	5,870,000,000	1,340	5,720,000,000	1,306

אקסנטריות של אליפסות מסלולי כוכבי הלכת
 $e = \sqrt{1 - b^2/a^2}$

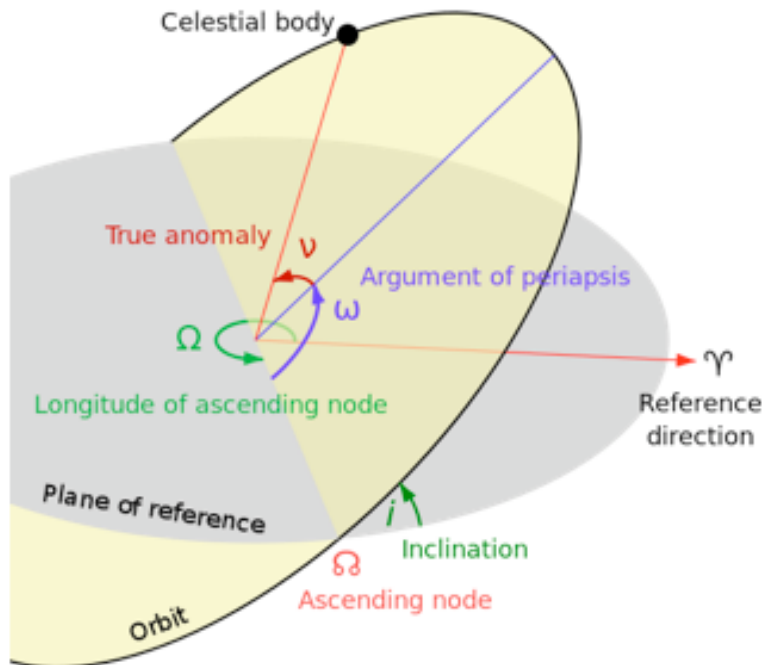
Planet	Semi-major axis(AU)	Sidereal period of revolution (d,y)	Period of rotation (d,h)	Eccentricity	Inclination of orbit to the ecliptic (°)	Average orbital speed (km/s)
Mercury	0.3871	87.969 d	58.646 d	0.206	7.00	47.9
Venus	0.7233	224.70 d	243.01 ^R d	0.0068	3.39	35.0
Earth	1.0000	365.256 d	1.000 d	0.017	0.00	29.77
Mars	1.5236	686.98 d	1.026 d	0.093	1.85	24.1
Jupiter	5.2026	11.856 y	9.936 h	0.048	1.30	13.1
Saturn	9.5719	29.369 y	10.656 h	0.053	2.48	9.64
Uranus	19.194	84.099 y	17.232 ^R h	0.043	0.77	6.83
Neptune	30.066	164.86 y	16.104 h	0.010	1.77	5.5
Pluto*	39.537	248.60 y	6.387 ^R d	0.250	17.12	4.7

R = retrograde

* Pluto has been reclassified as a dwarf planet (Section 3.1).

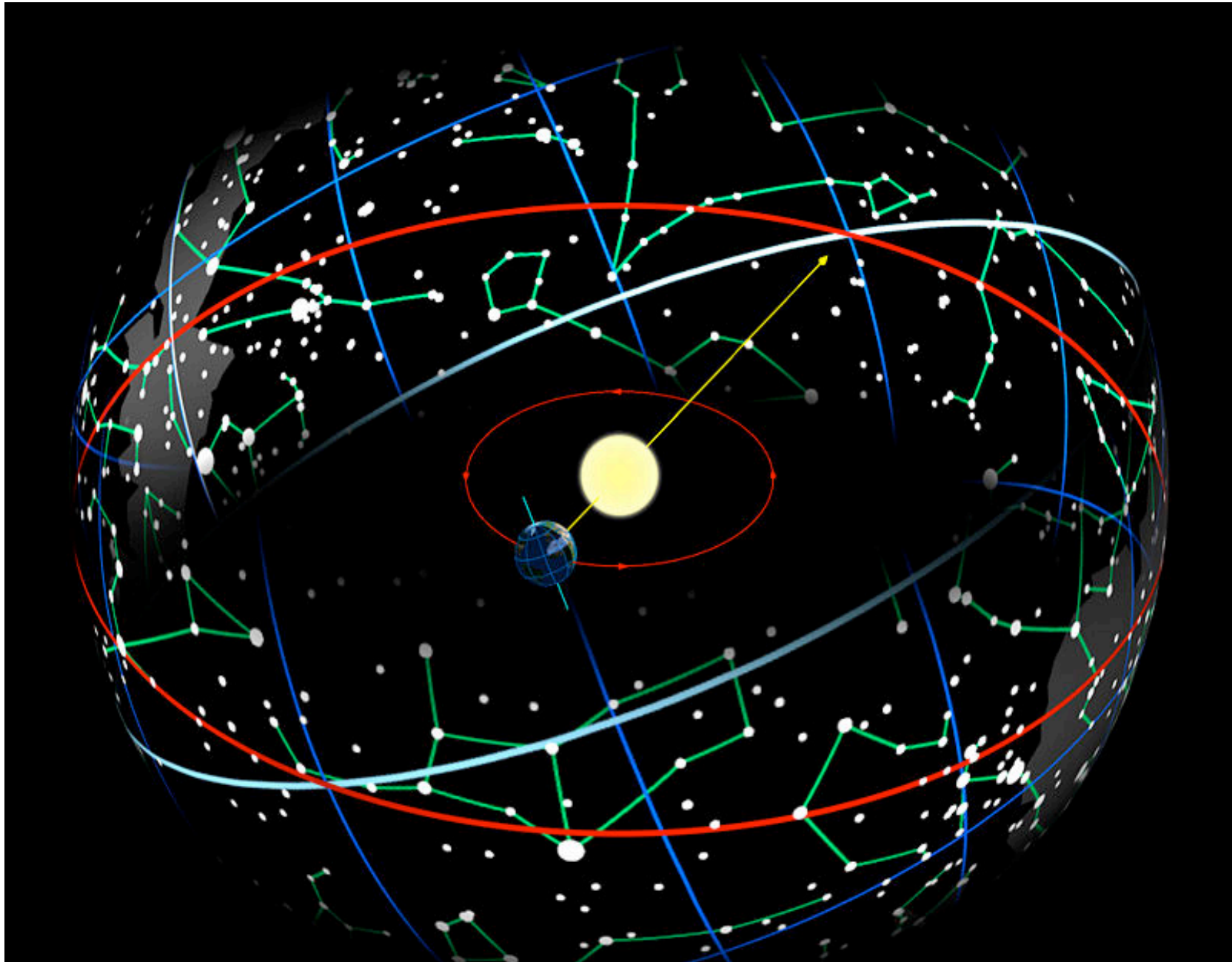


	חמה	נגה	ארץ	מאדים	צדק	שבתאי	אורנוס	נפטון	פלוטו
	Mercury	Venus	Earth	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptune	Pluto
Mass (kg)	3.3×10^{23}	4.9×10^{24}	6.0×10^{24}	6.4×10^{23}	1.9×10^{27}	5.7×10^{26}	8.7×10^{25}	1.0×10^{26}	1.3×10^{22}
Radius (km)	2,439	6,051	6,378	3,393	71,492	60,268	25,559	24,764	1,150
Inclination	2°	177°.	23°.	25°.	3°.	26°.	97°.	29°.	122°.
Period (yr)	0.24	0.62	1.00	1.88	11.86	29.46	84.01	164.97	248.40
Radius (AU)	0.39	0.72	1.00	1.52	5.20	9.54	19.19	30.06	39.53
Eccentricity	0.206	0.007	0.017	0.093	0.048	0.055	0.047	0.009	0.249
Sun/planet mass	6023600	408523.5	332946.038	3098710	1047.350	3498.0	22960	19314	130000000



יחס המסה למסת שמש
לכוכבים בקצה מערכת השמש
 5.9×10^{-10} (קורס, כוכב לכת ננסי)
 1.0814×10^{-10} (פאלאס, אסטרואיד)
 1.3787×10^{-10} (וסטה, אסטרואיד)

השמש נראית כמסתובבת במישור האקליפס (אדום) הנוטה כלפי ציר סיבוב הארץ (כחול)



NOTE: 1 AU = 14.96×10^7 km

