

מבוא לפיזיקה מודרנית

פרופסור צבי מזא"ה

עקרון היחסות של חוקי המכניקה

חוקי המכניקה הם אותם החוקים
בכל המערכות הנעות במהירות קבועה זו ביחס לזו.

**אין אפשרות למדוד מהירות
מוחלטת.**

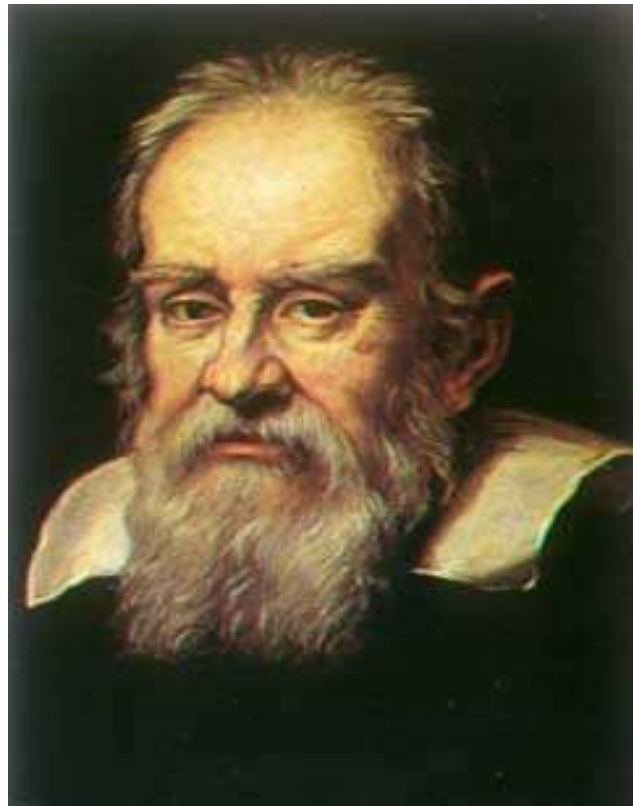
ויליאם שייקספיר (1546-1616)



רנה דקרט (1596-1650)



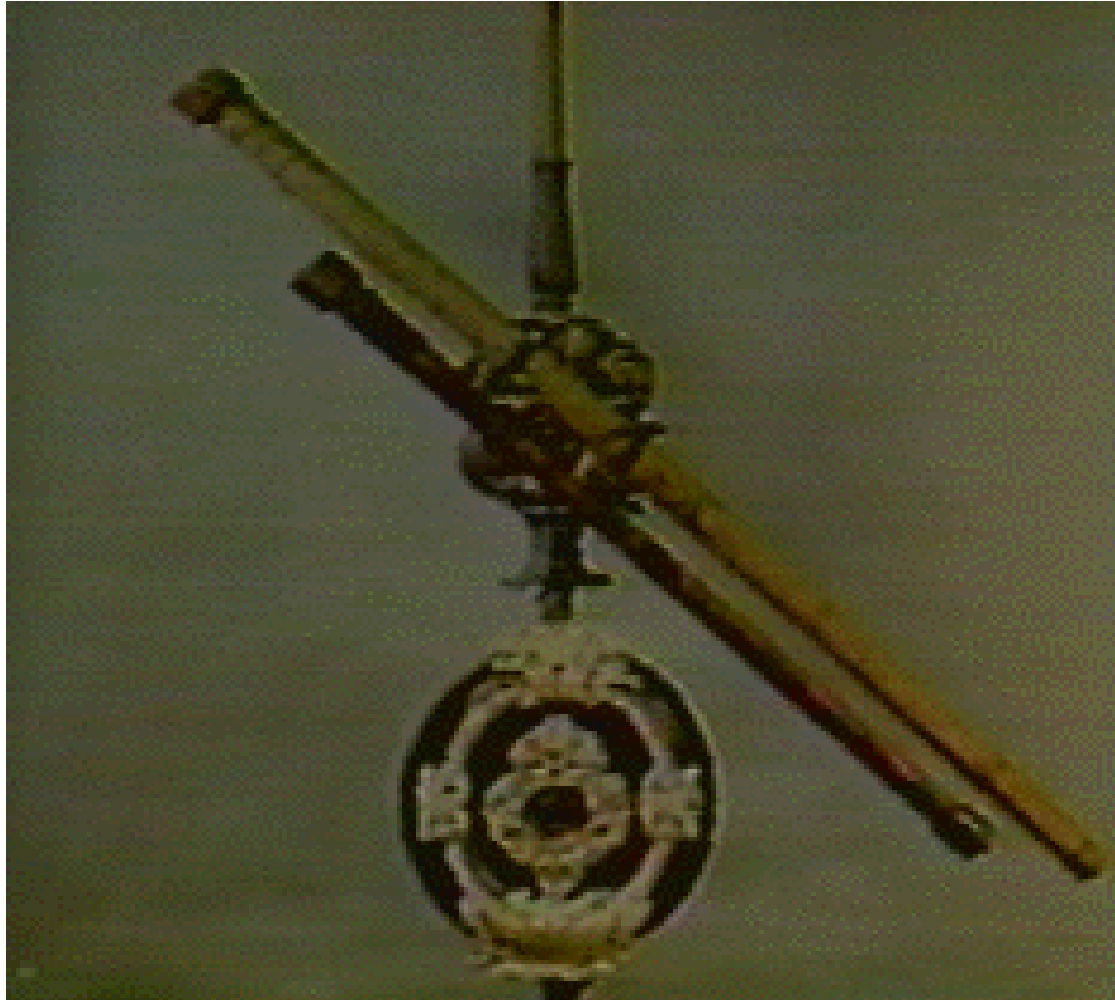
גלילאו גליליי (1564 - 1642)



מיכאל סרונטס (1547-1616)



המצאת הטלסקופ (1609)



המצאת הטלסקופ (1609)



שליח הכוכבים (1610)

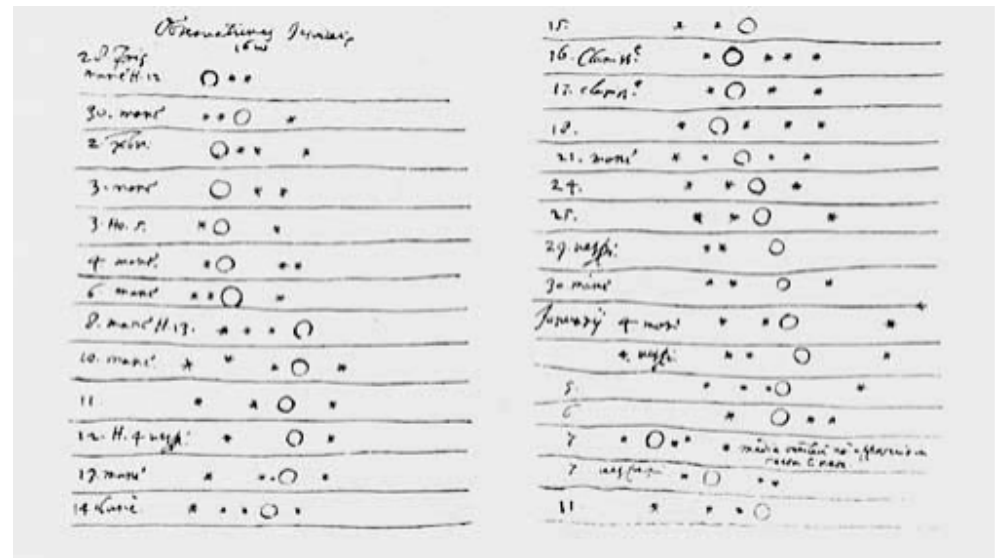
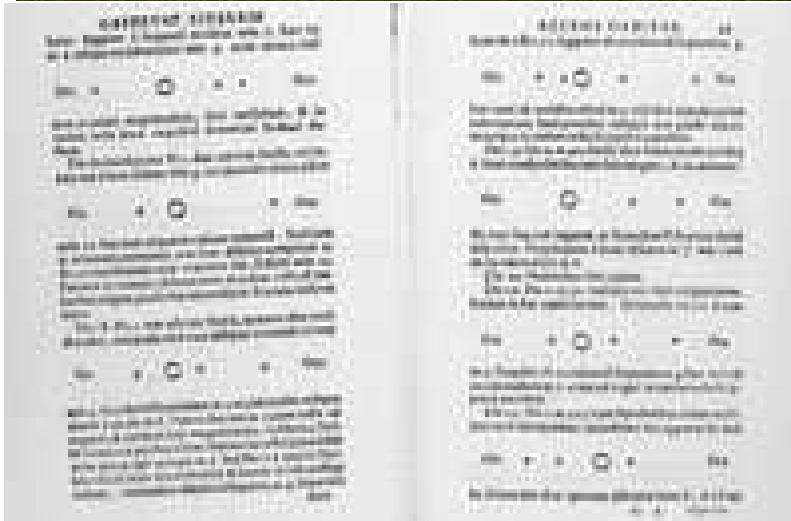


1564	נולד בפיזה
1581	לימודים באוניברסיטת פיזה
1589	מורה למתמטיקה בפיזה
1592	פרופסור למתמטיקה בפדואה
1609	המצאת הטלסקופ
1610	שליח הכוכבים

שליח הכוכבים - 12 במרץ, 1610 550 עותקים

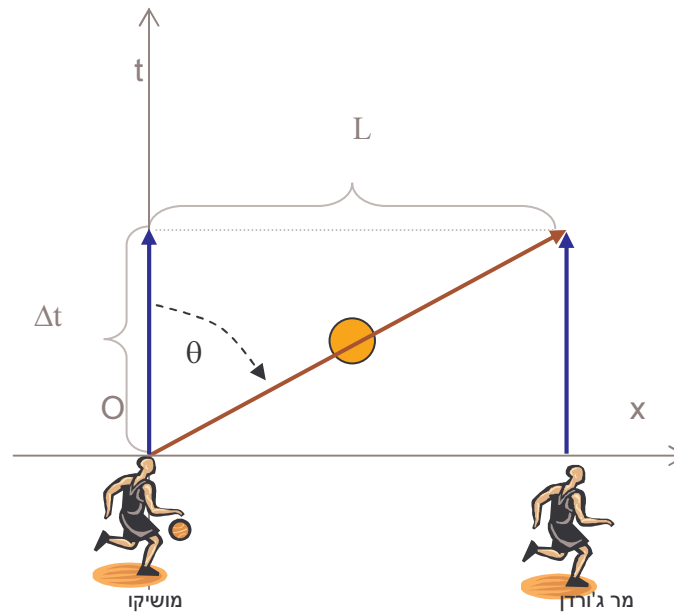


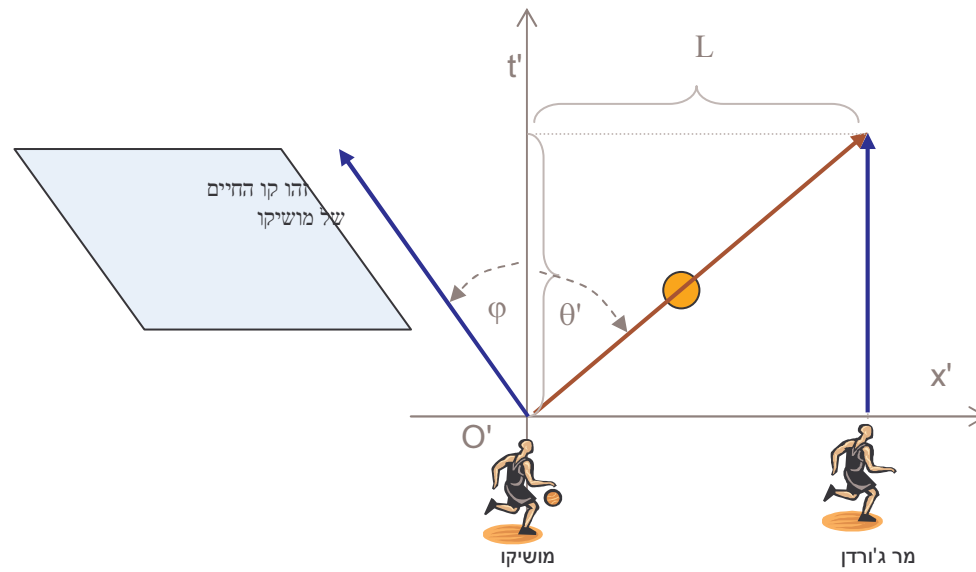
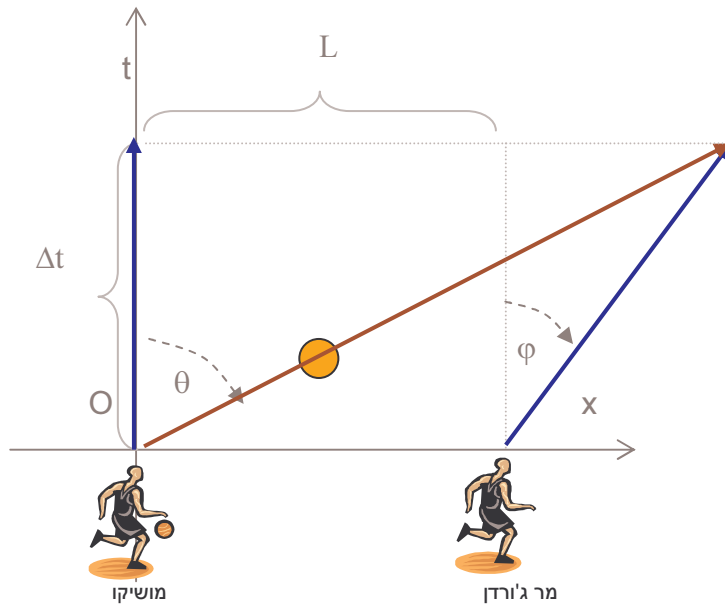
"נותר העניין אשר לדעתי הוא החשוב ביותר,
 גילויים של ארבעה כוכבי לכת
 שלא נראו מיום בריאת העולם ועד זמננו.
 חקרתי את סדרם, תנועתם ושינוייהם במשך החודשים
 והנני מזמין את כל האסטרונומים
 להקדיש עצמם לחקירת כוכבי הלכת הללו ולקביעת זמ
 דבר שלא הצלחתי להשלימו מחוסר זמן."

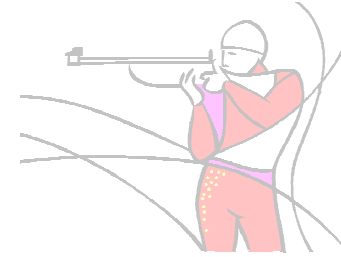
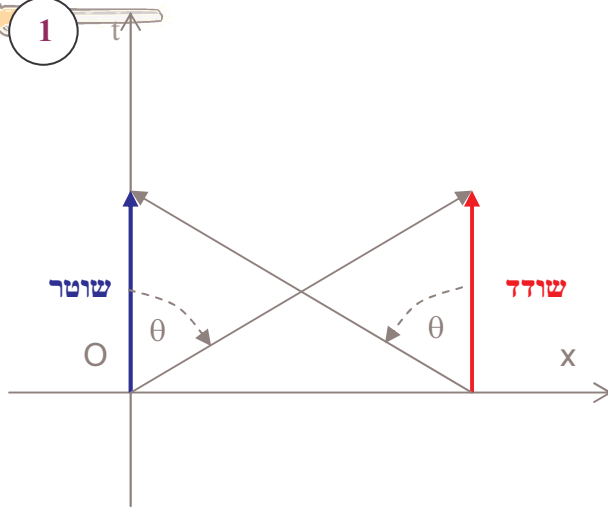
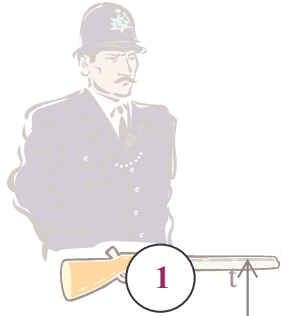


הגדרה:

דיאגרמת מרחב-זמן – מערכת צירים בה כל נקודה מייצגת מיקום של מאורע, ואת זמן ההתרחשות.
קו החיים של חלקיק – הקו המתאר את תנועתו של אובייקט על גבי דיאגרמת מרחב-זמן.

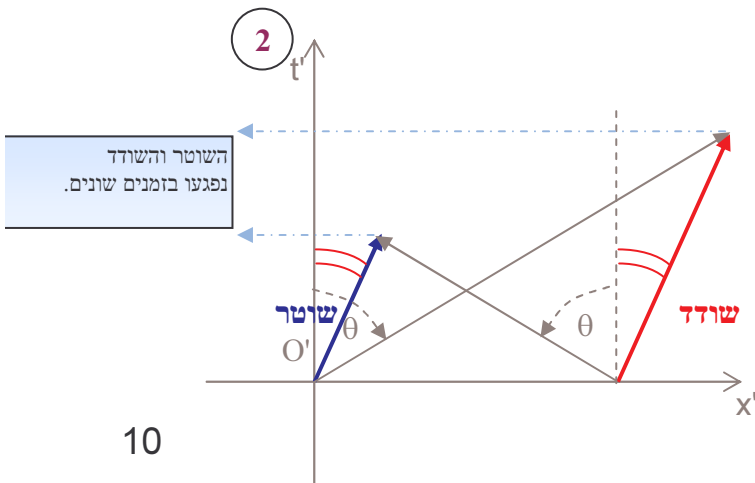






צופה הנמצא במערכת הקרון

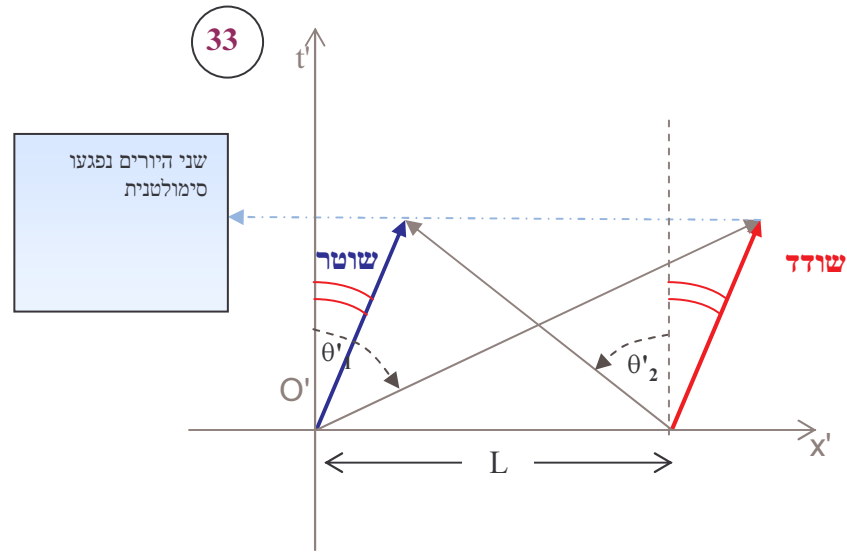
"רב פקד אזולאי והשוודד גבריאל עמדו במנוחה בקרון כשהם מביטים זה בעיניו של זה. פתאום שלפו שניהם את האקדחים וירו ממש באותה השניה. גם לשודד וגם לשוטר היו את אותם האקדחים, ולכן מהירותם של שני הכדורים היתה שווה. המרחק שעברו שני הכדורים מרגע היריה עד הפגיעה היה שווה, ולכן רב פקד אזולאי וגבריאל נפגעו ממש באותו הרגע. מסכן השוטר, כפרה עליו."

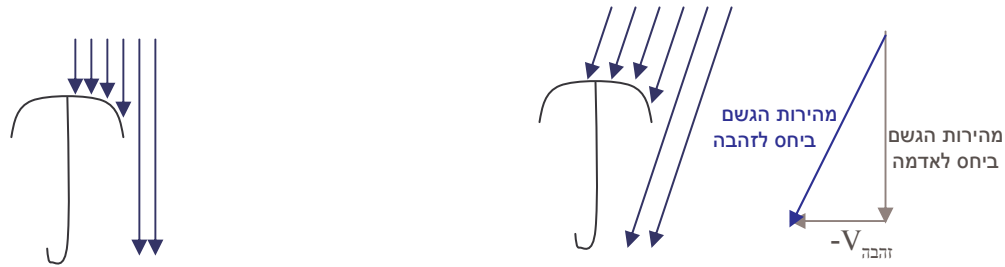


צופה הנמצא במערכת הרציף

"רב פקד אזולאי ירה כדור לכיוונו של הפושע, אבל הפושע ברח מן הכדור, כי הפושע עמד על הרכבת שנסעה לכיוון תל אביב. למזלו, הכדור היה מהיר מן הפושע ולכן פגע בו. הפושע גם הוא ירה כדור לעברו של הרב פקד. אבל רב פקד אזולאי שהיה על הרכבת נע במהירות לכיוון הכדור ולכן נפגע ראשון. הדרך של הכדור שפגע בפושע הייתה ארוכה מזו של הכדור שפגע ברב פקד. לשניהם היא אקדח ברטה 22 מ"מ ולכן מהירות הכדורים היתה זהה. הרב פקד המסכן נפגע לפני הפושע המנוול."

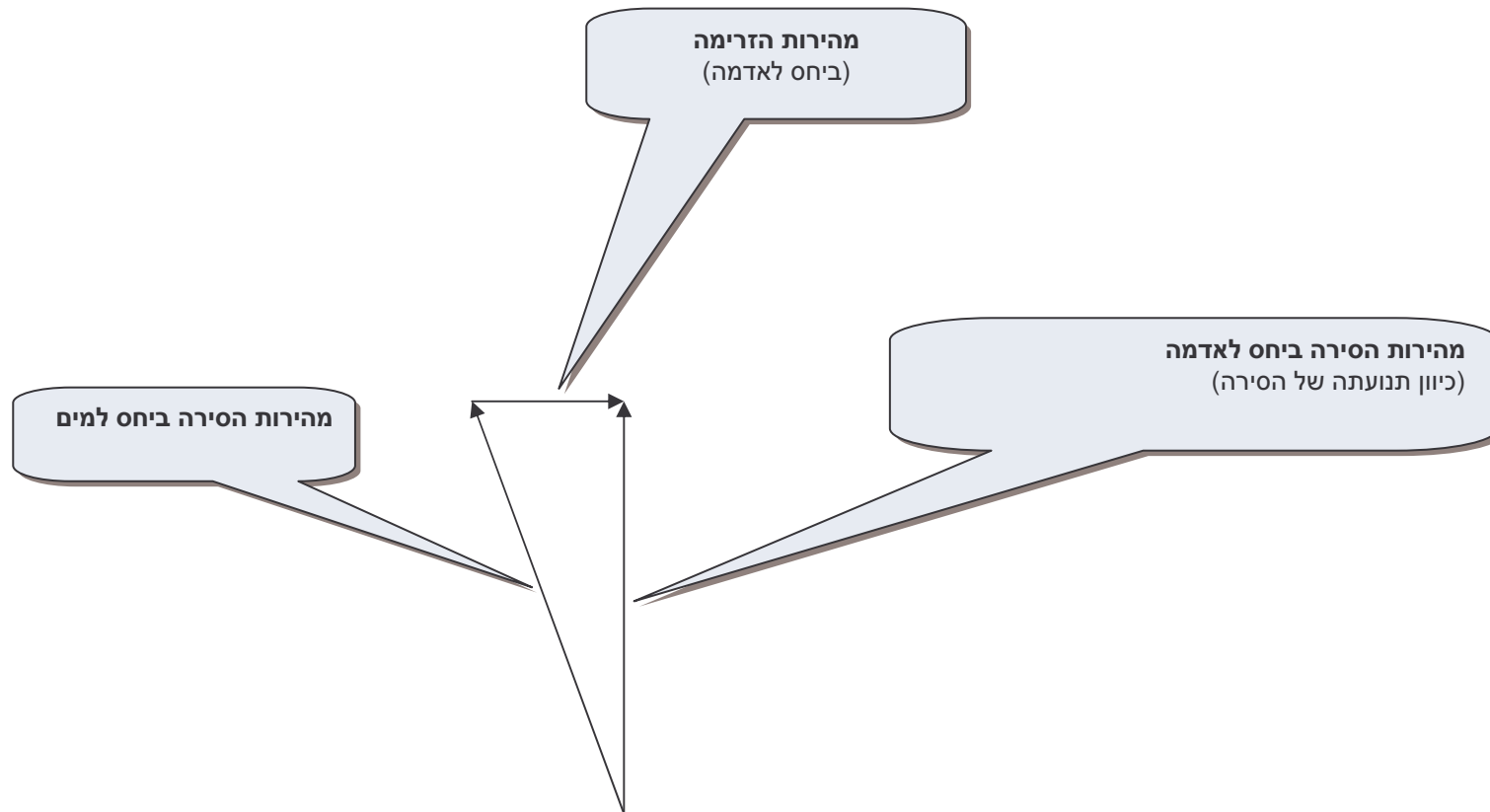
הפתרון של הבלש תושיהו:

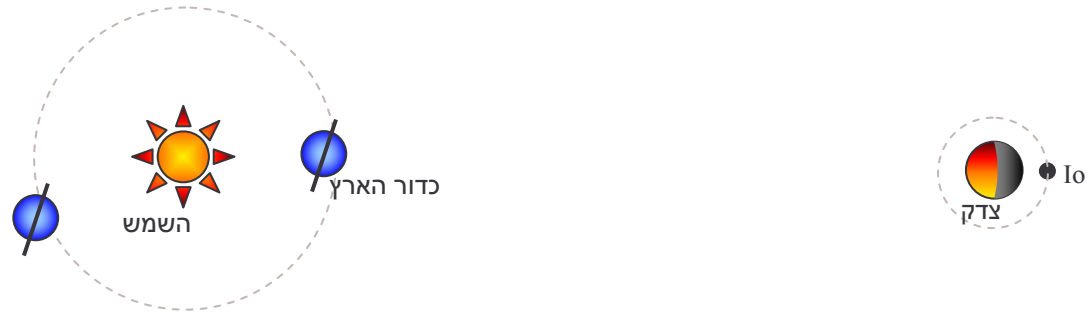




שאלת מחשבה: הסבר מנקודת הראות של צופה במערכת כדור הארץ, מדוע התרטבו המכנסיים. 💡

הפתרון של הבלש תושיהו:





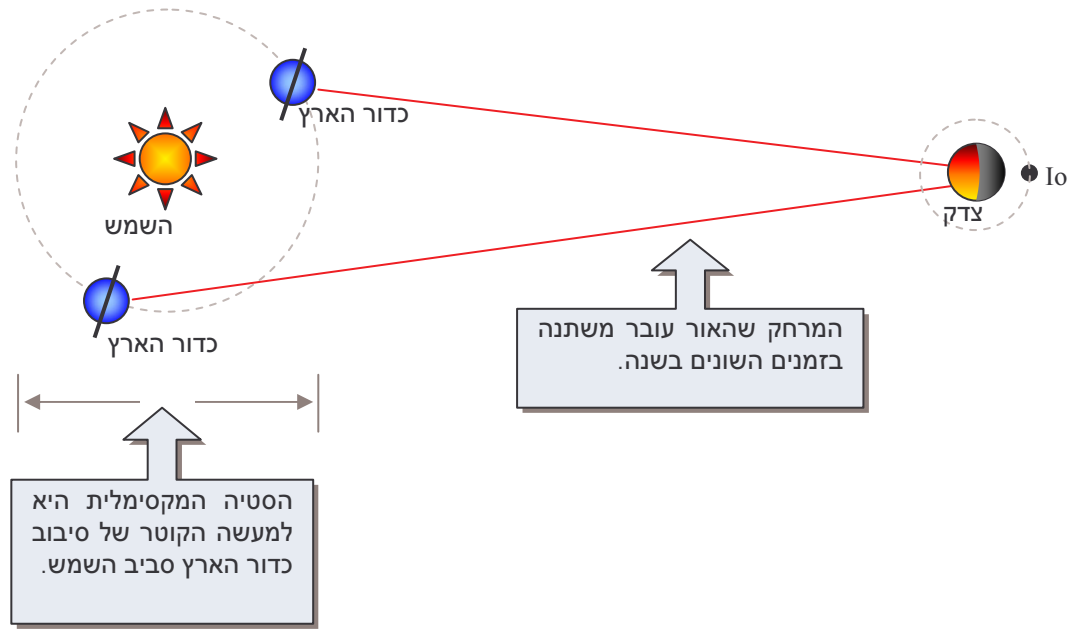
ליקויים במחזוריות של 1.769 יום

התצפיות הראשונות כאשר כוכב הלכת צדק בניגוד (opposition)

תצפיות נוספות כאשר כוכב הלכת צדק ב-conjunction

Roemer

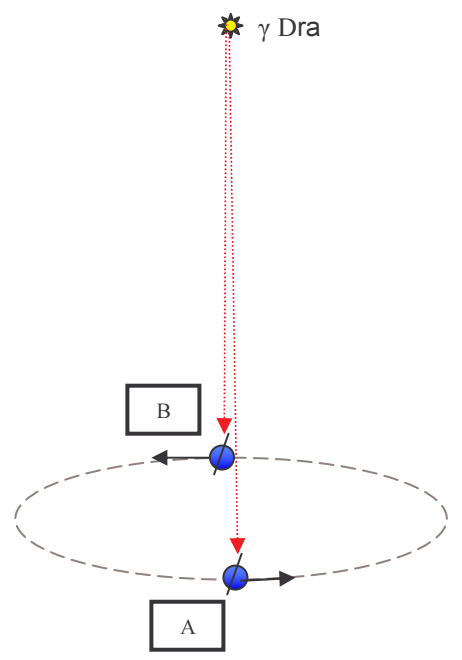
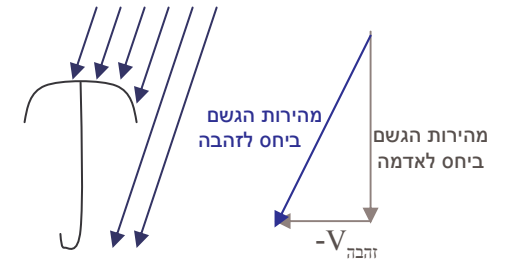
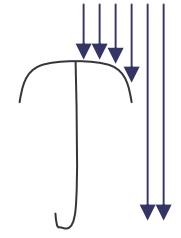
ראומר:



Roemer

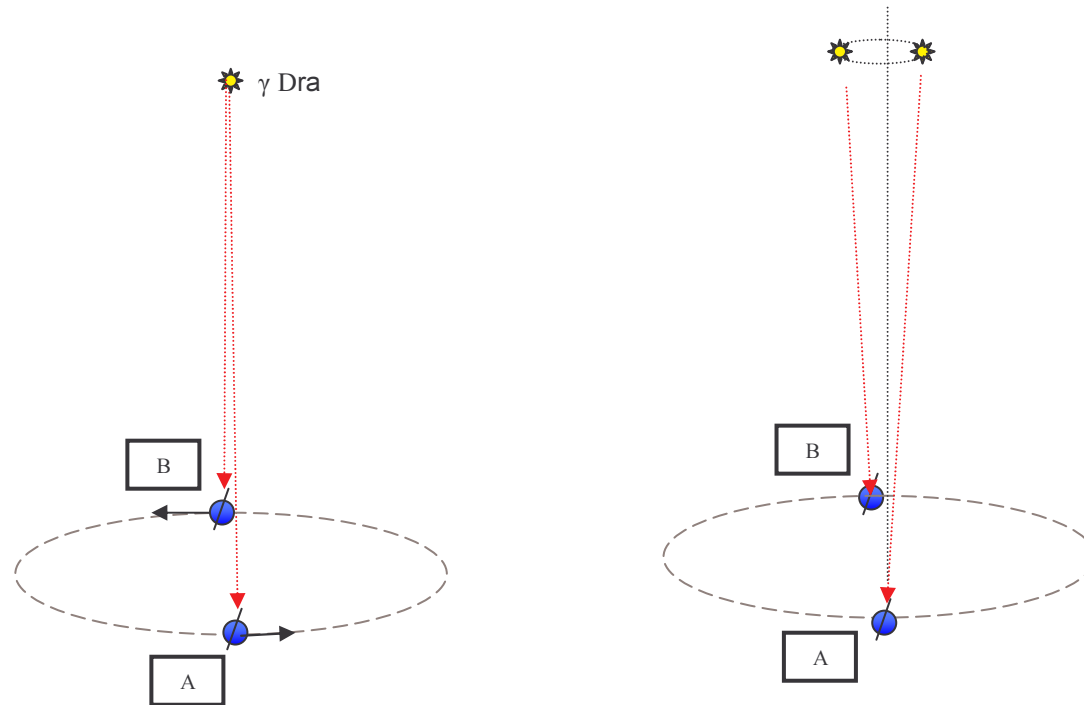
ראומר:

22 בנובמבר 1675



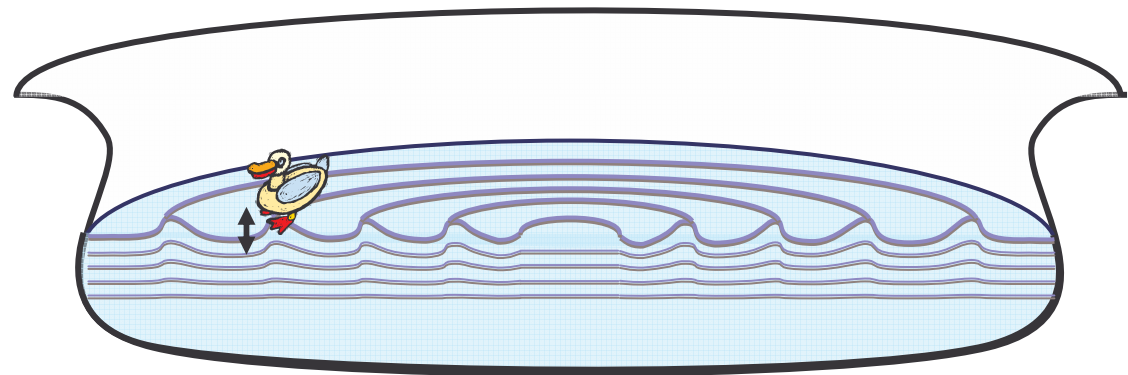
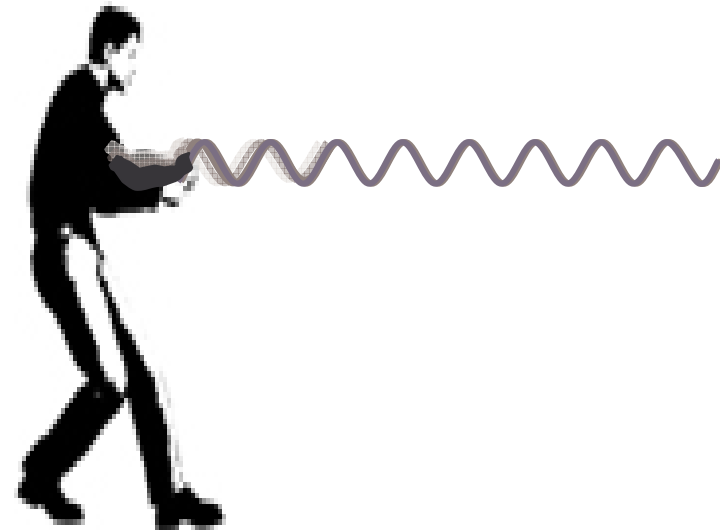
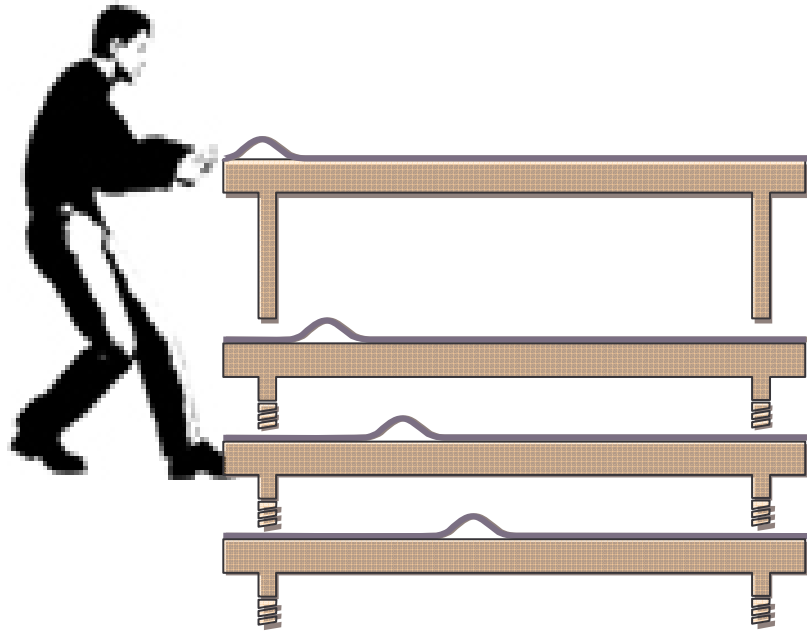
האברציה של האור (ברדלי 1729)

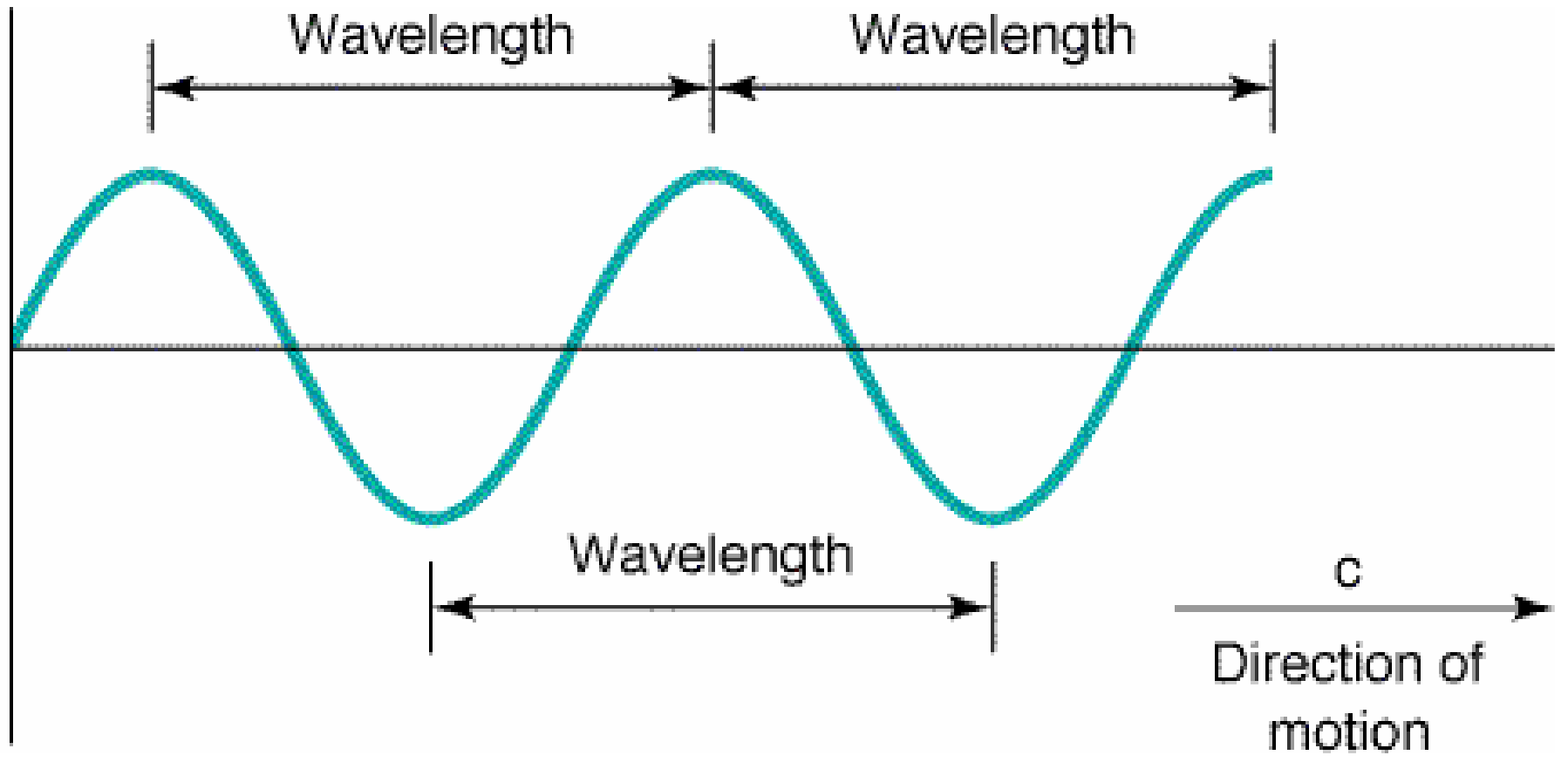
$$\alpha = \frac{v}{c} \cong \frac{30 \text{ km/s}}{300,000 \text{ km/s}} \cong 10^{-4} \cong 20''$$



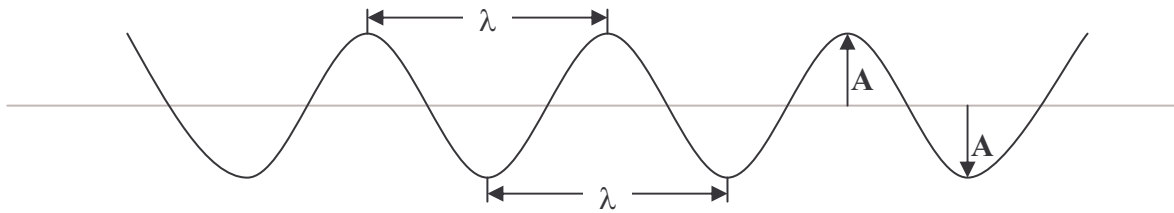
$C=299,792.458 \text{ km/sec}$

גלים על קצה המזלג

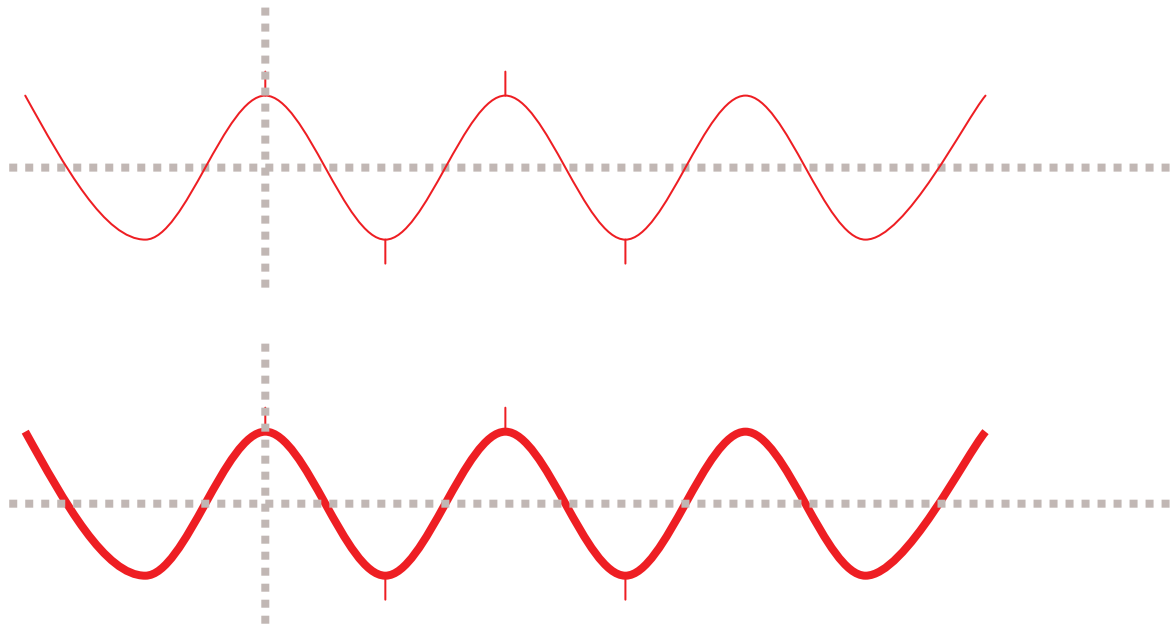




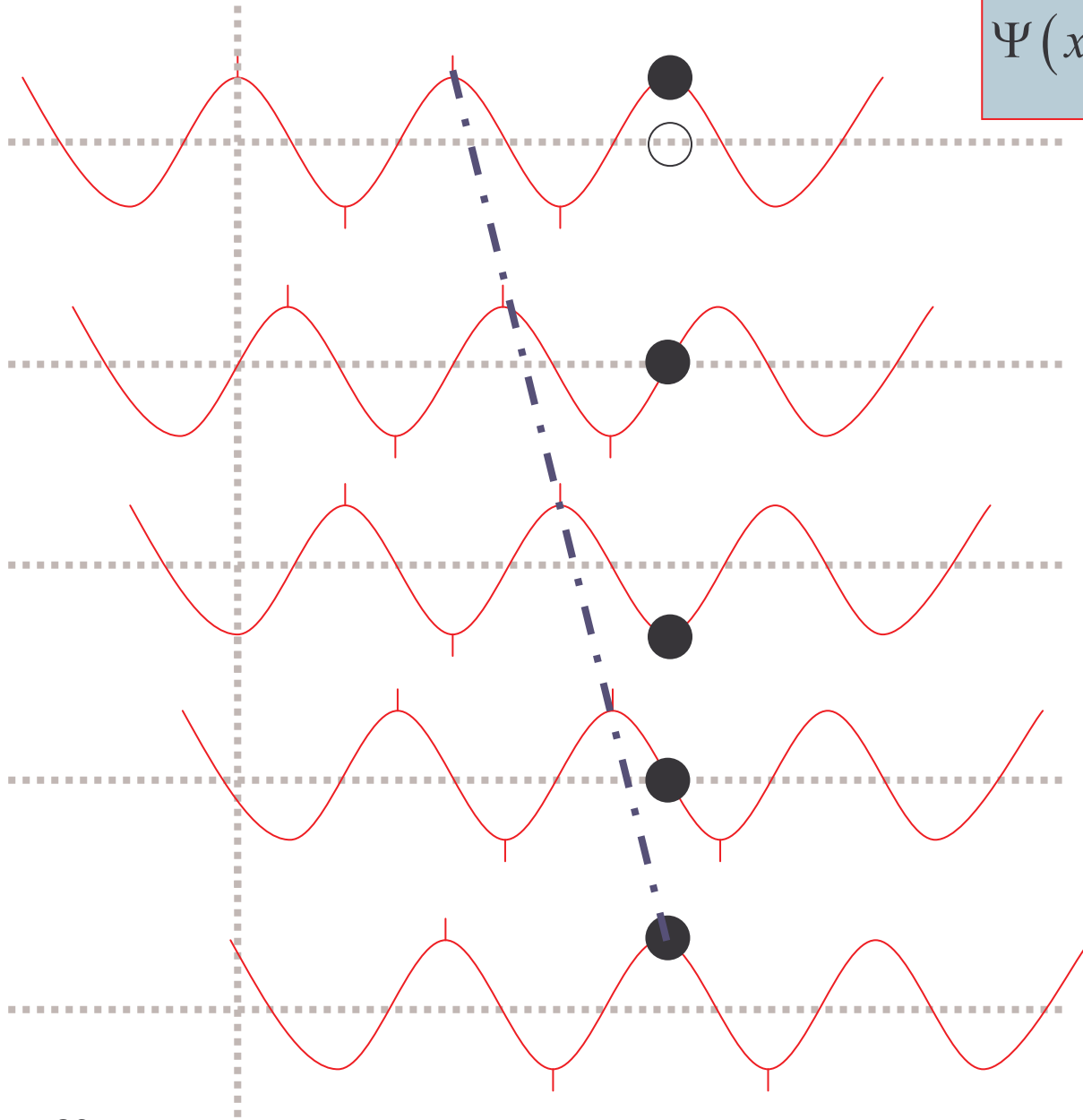
$$\Psi(x, t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{T} t\right)$$



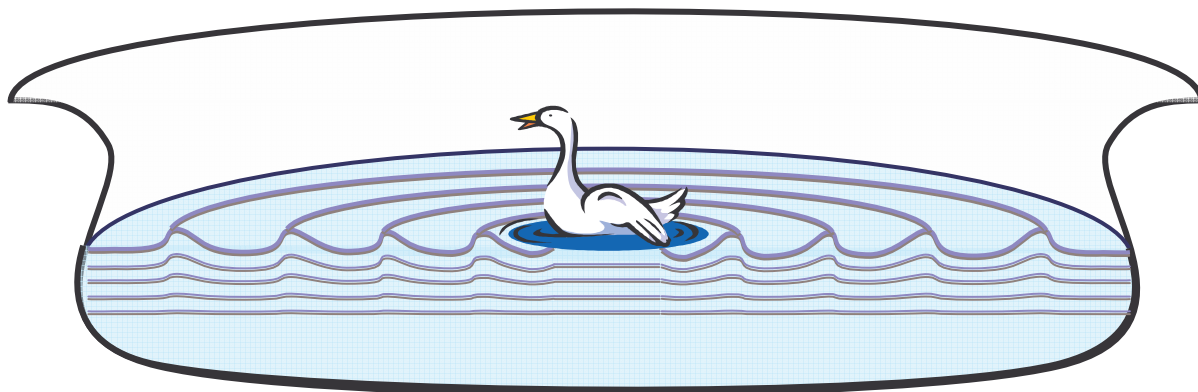
$$\Psi(x, t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t\right)$$



$$\Psi(x, t) = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t\right)$$



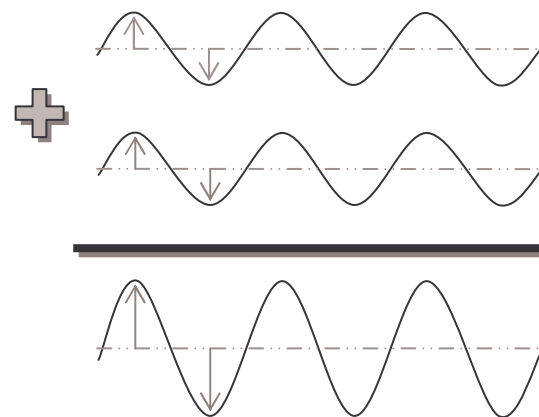
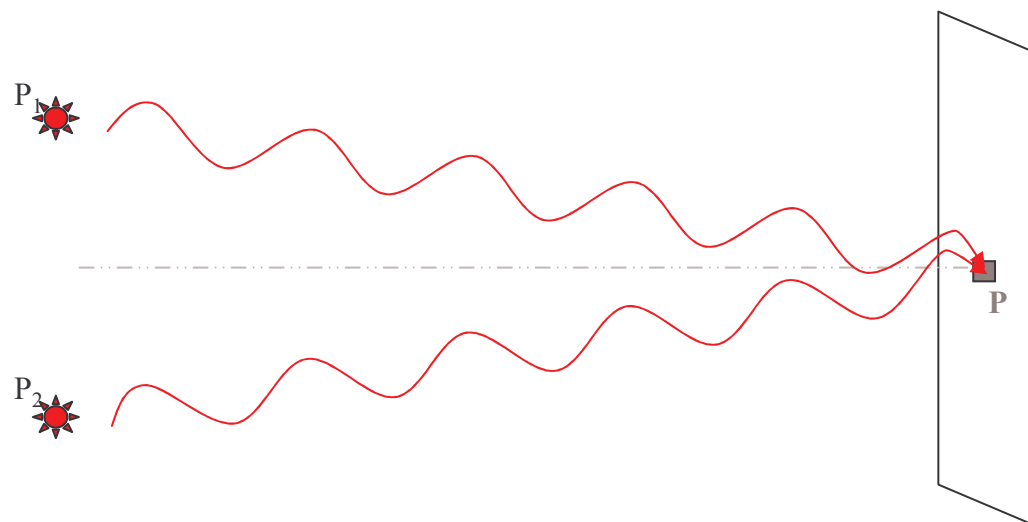
$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$



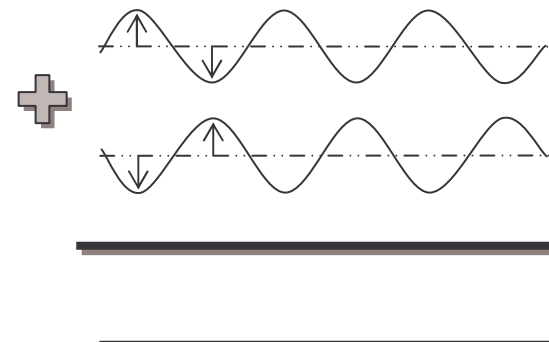
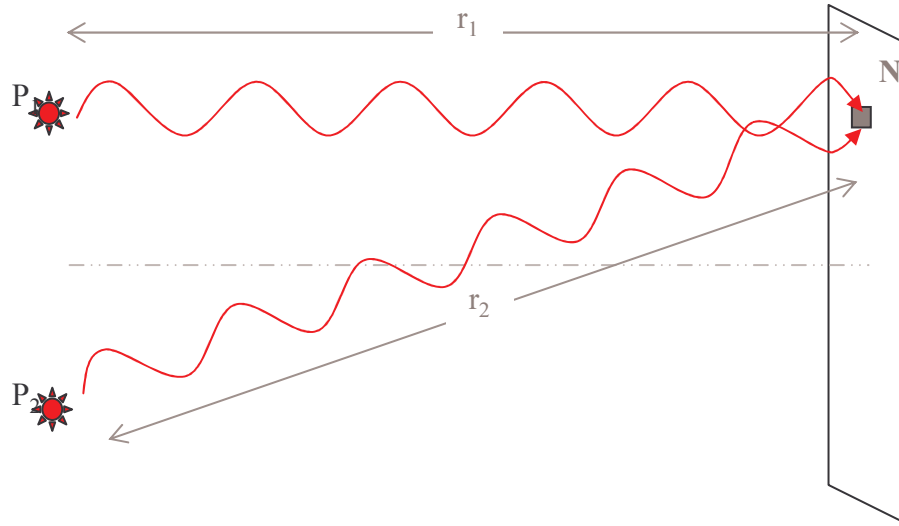
איור - שינוי בתדירות ההפרעה (הברווז) יגרום לשינוי בתדירות הגל

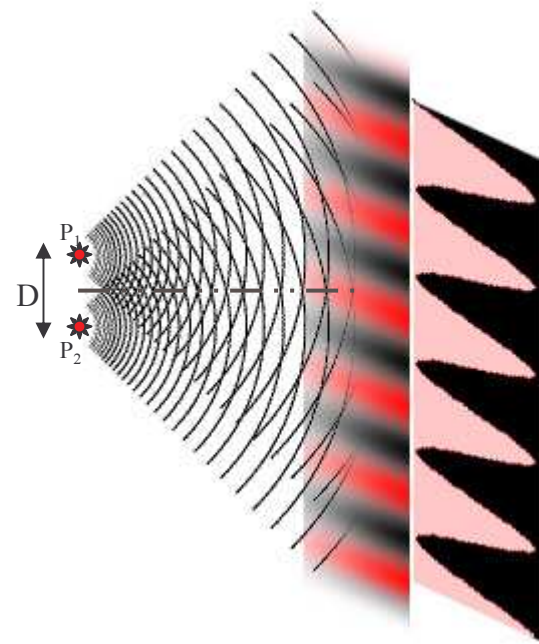
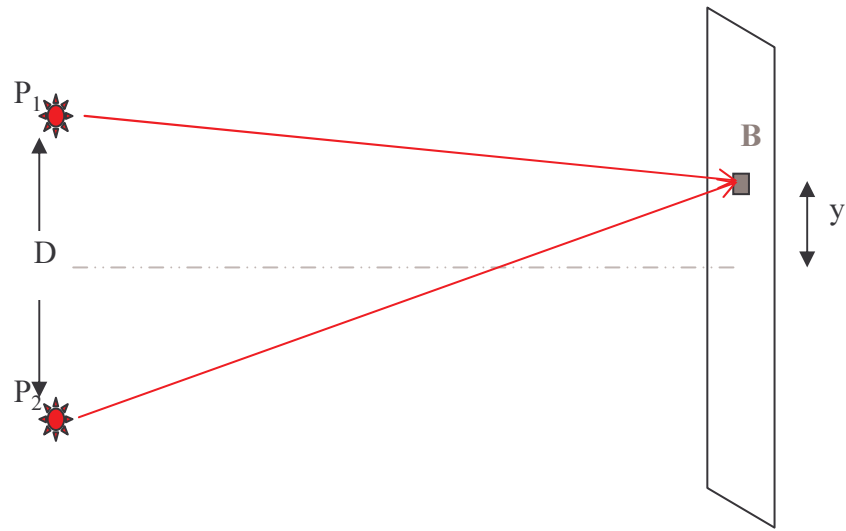
מהירות המקור **אינה** משנה את מהירות הגלים
מהירות המקור משנה את מהירות הכדורים הנזרקים

התאבכות

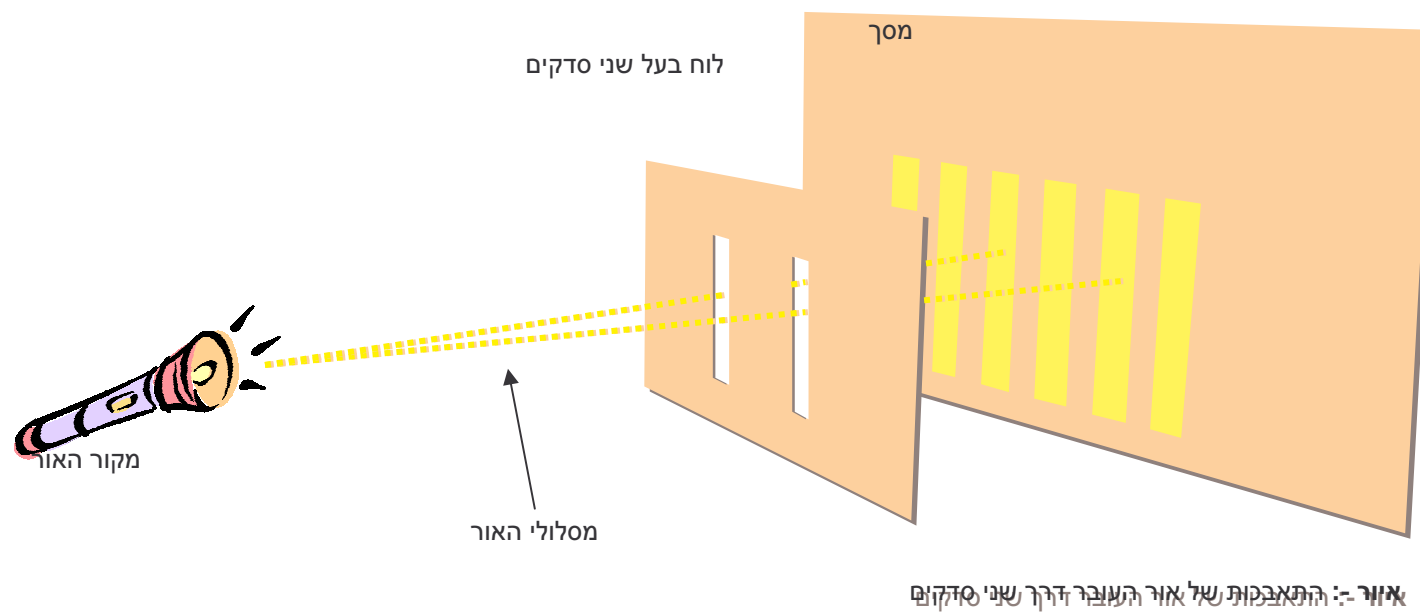


התאבכות

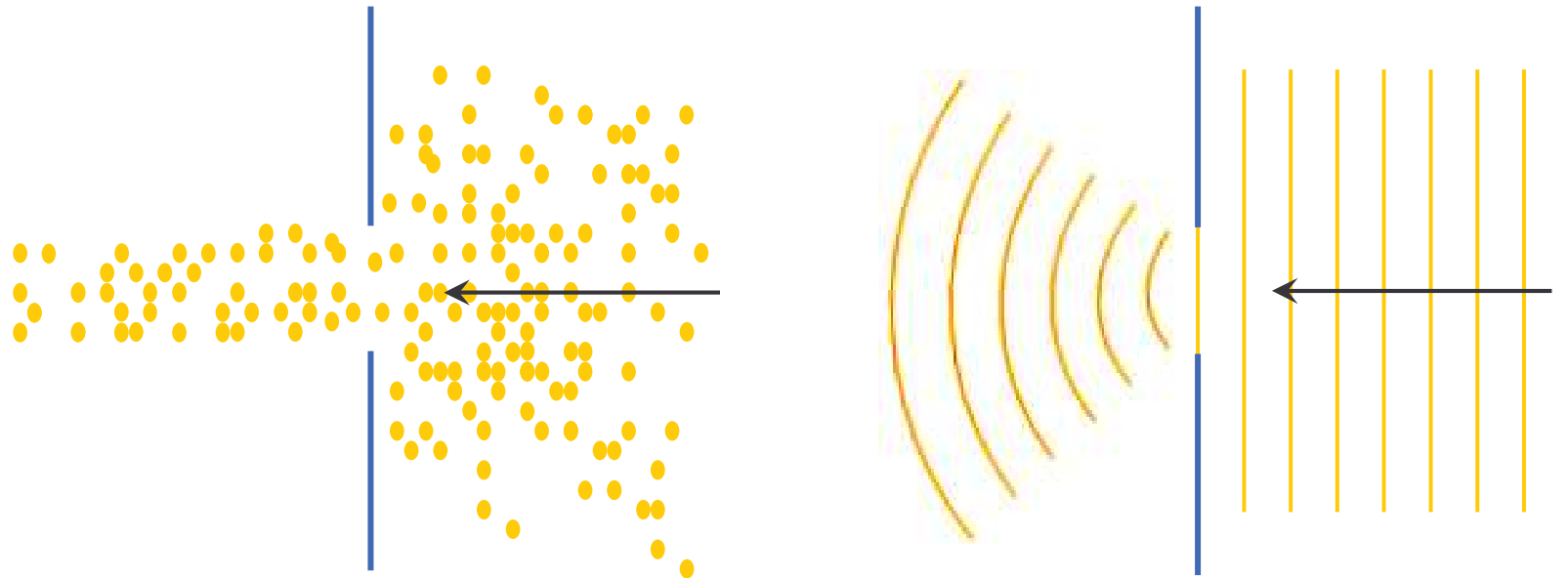




התאבכות הורסת דרך שני סדקים

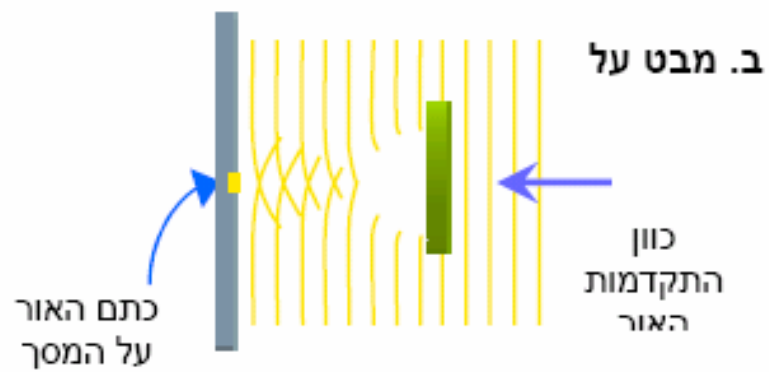
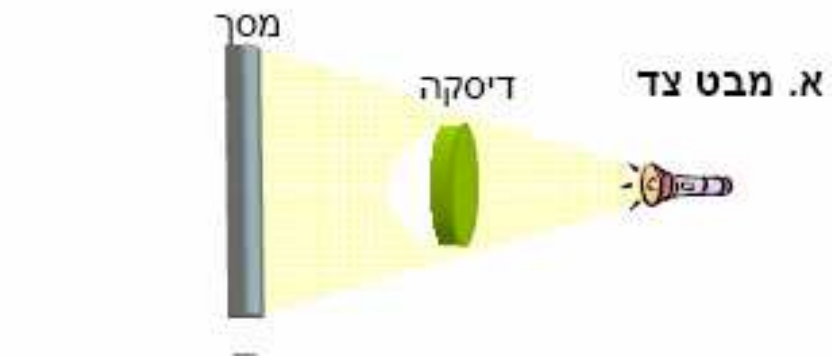


עקיפה



איור - : התיאוריה הגלית (מימין) מסבירה את תופעת העקיפה, בניגוד לתיאוריה החלקיקית (משמאל)

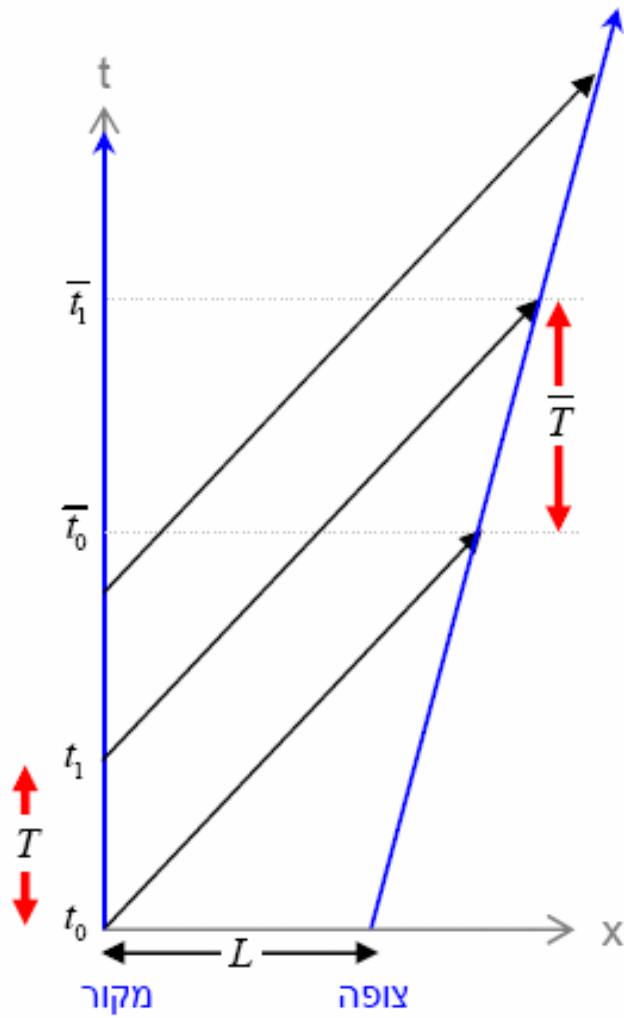
הנקודה הבהירה של פואסון



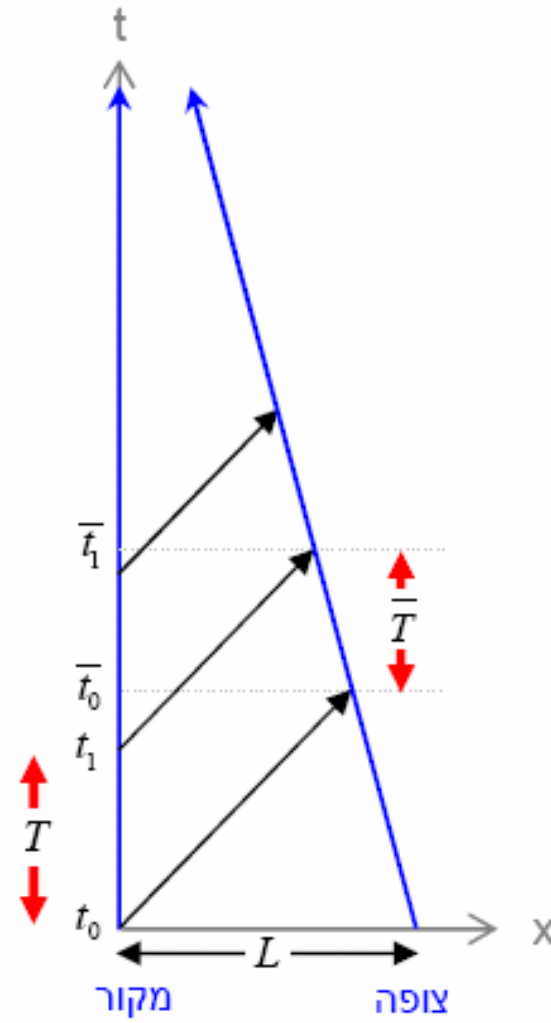
ג. התמונה המתקבלת על המסך

איור ב-7: הניסוי של אראגו –
ההוכחה לתיאוריה הגלית של האור

צופה נע

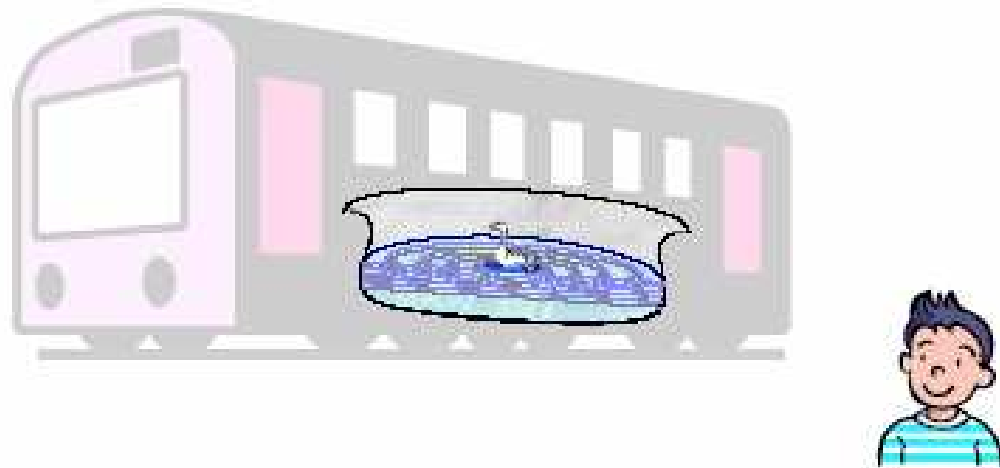


איור ב-14: צופה מתרחק



איור ב-15: צופה מתקרב

מהירות הגלים עבור צופים שונים



איור ב-16: אמבט גלים נע ביחס לצופה

$$V_{\text{צופה ביחס לתווד}} = V_{\text{גל ביחס לצופה}} + V_{\text{גל ביחס לתווד}}$$

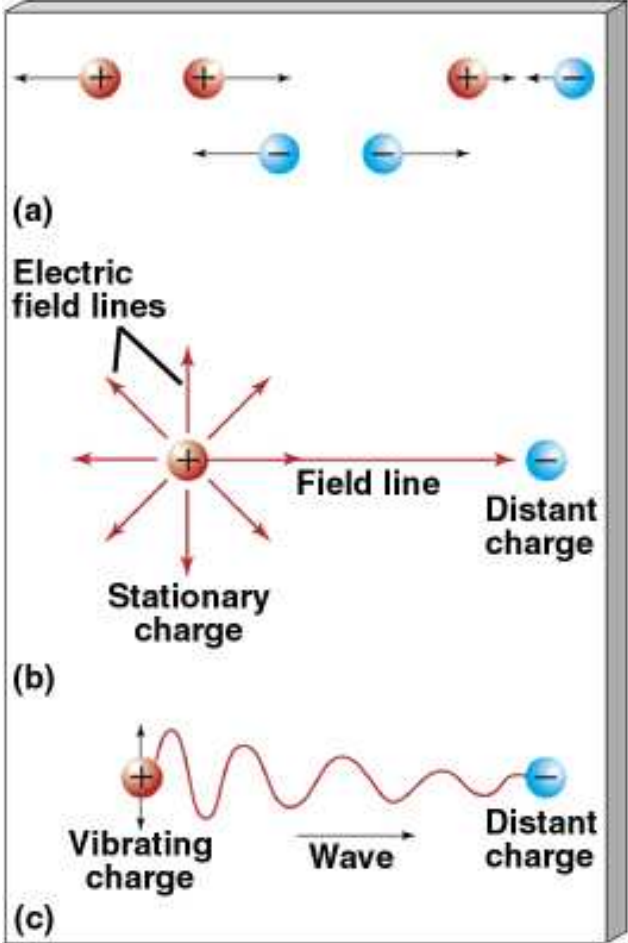
משוואות מקסוול

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

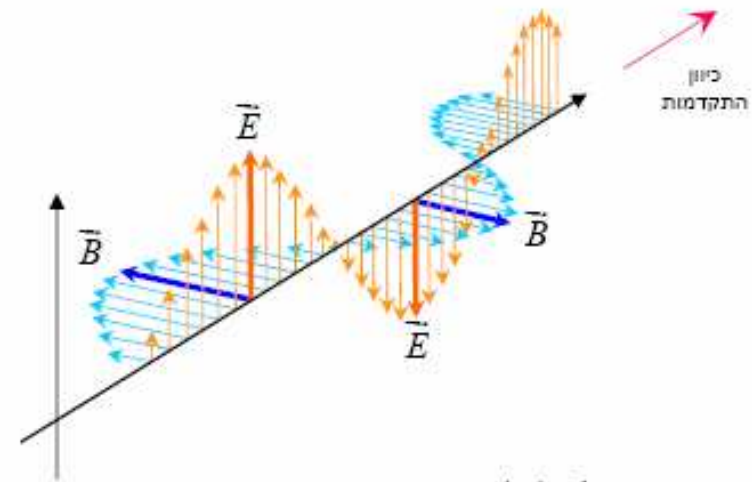
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$



$$c = \lambda \cdot f$$



איור ג-1: גל אלקטרומגנטי מתקדם במרחב



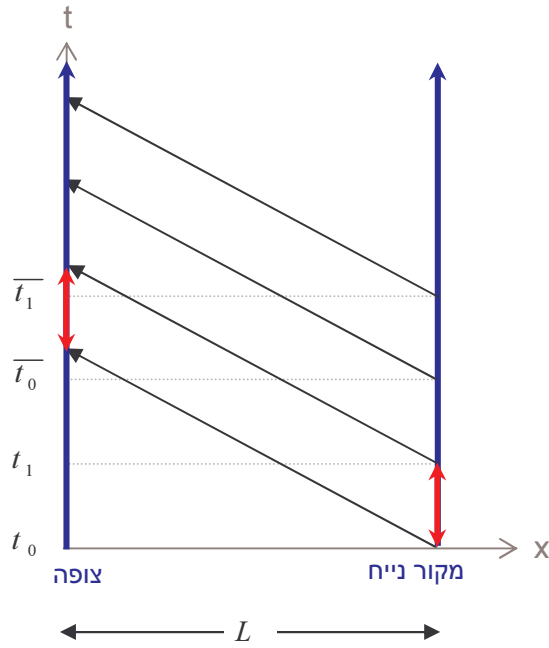
$$\bar{T} = T \left(1 + \frac{v_r}{c} \right)$$

$$\bar{\lambda} = \lambda \left(1 + \frac{v_r}{c} \right)$$

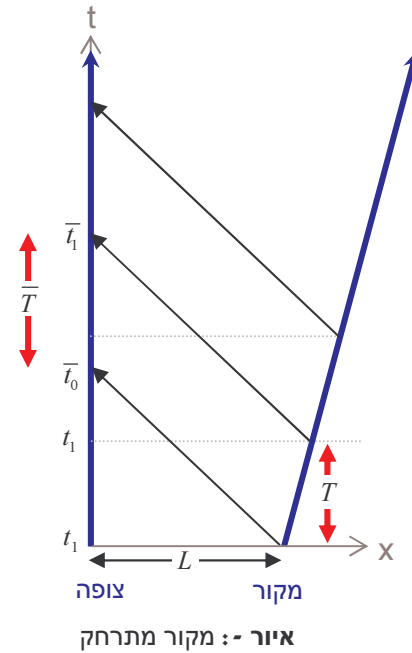
אפקט דופלר

מקור נע

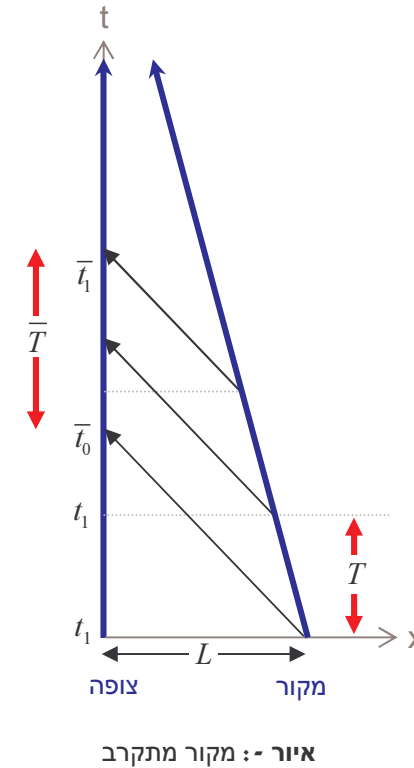
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c}$$



איור - מקור השולח אותות במרווחי זמן



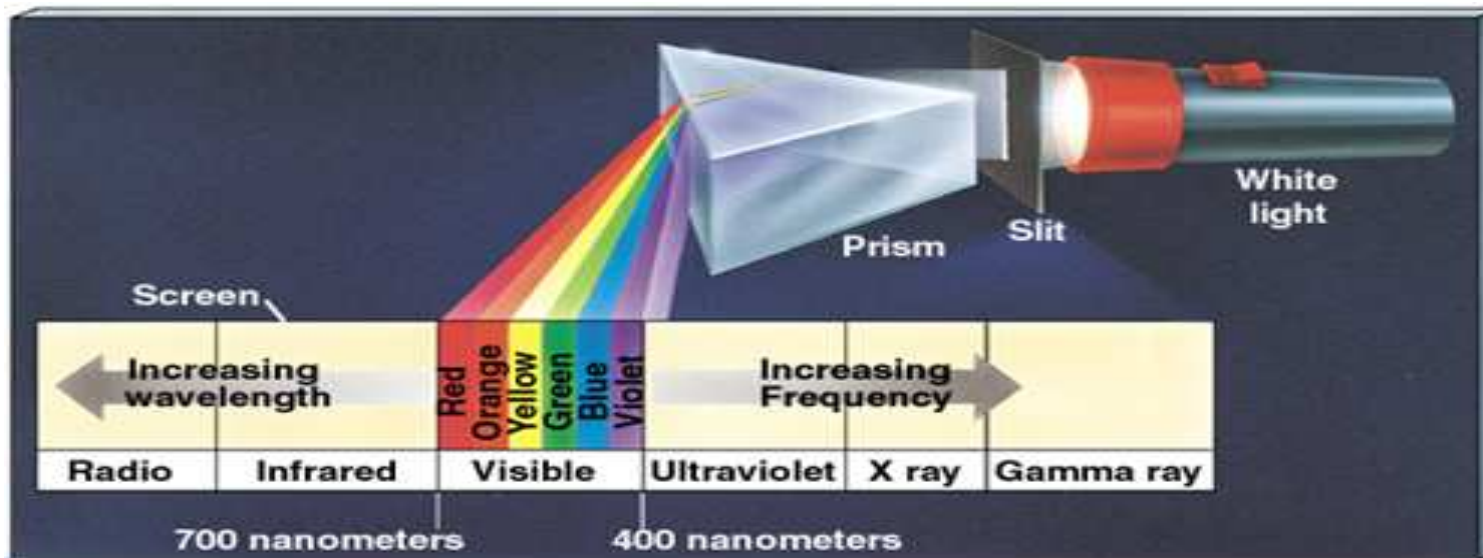
איור - מקור מתרחק

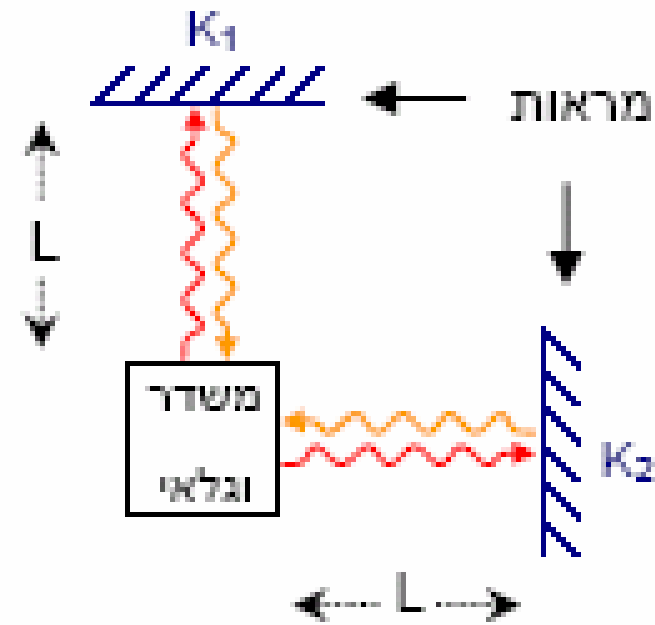


איור - מקור מתקרב

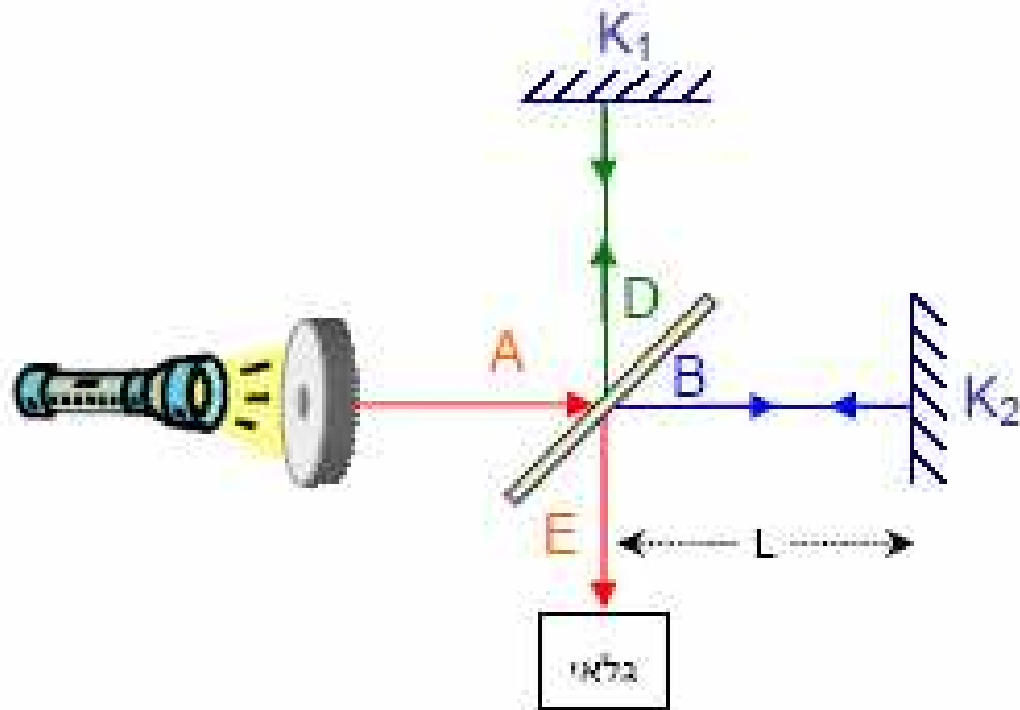
סקירה היסטורית

- 1821 פאראדי - האינטראקציה החשמלית והמגנטית כשדה אלקטרומגנטי
- 1861 מקסוול – השדות הנוצרים על ידי מטענים נעים מתקדמים בחלל
- 1888 הרץ - אשור ניסיוני של הרעיונות של מקסוול





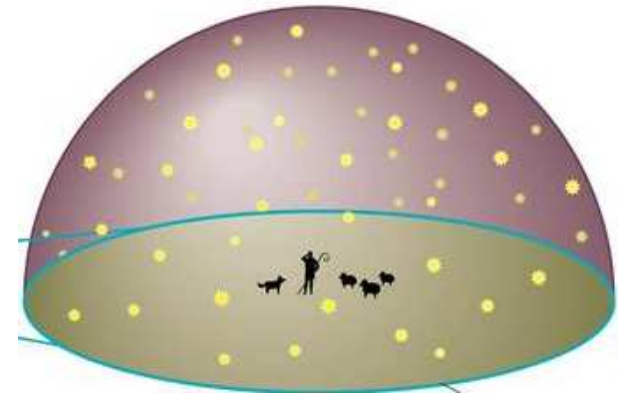
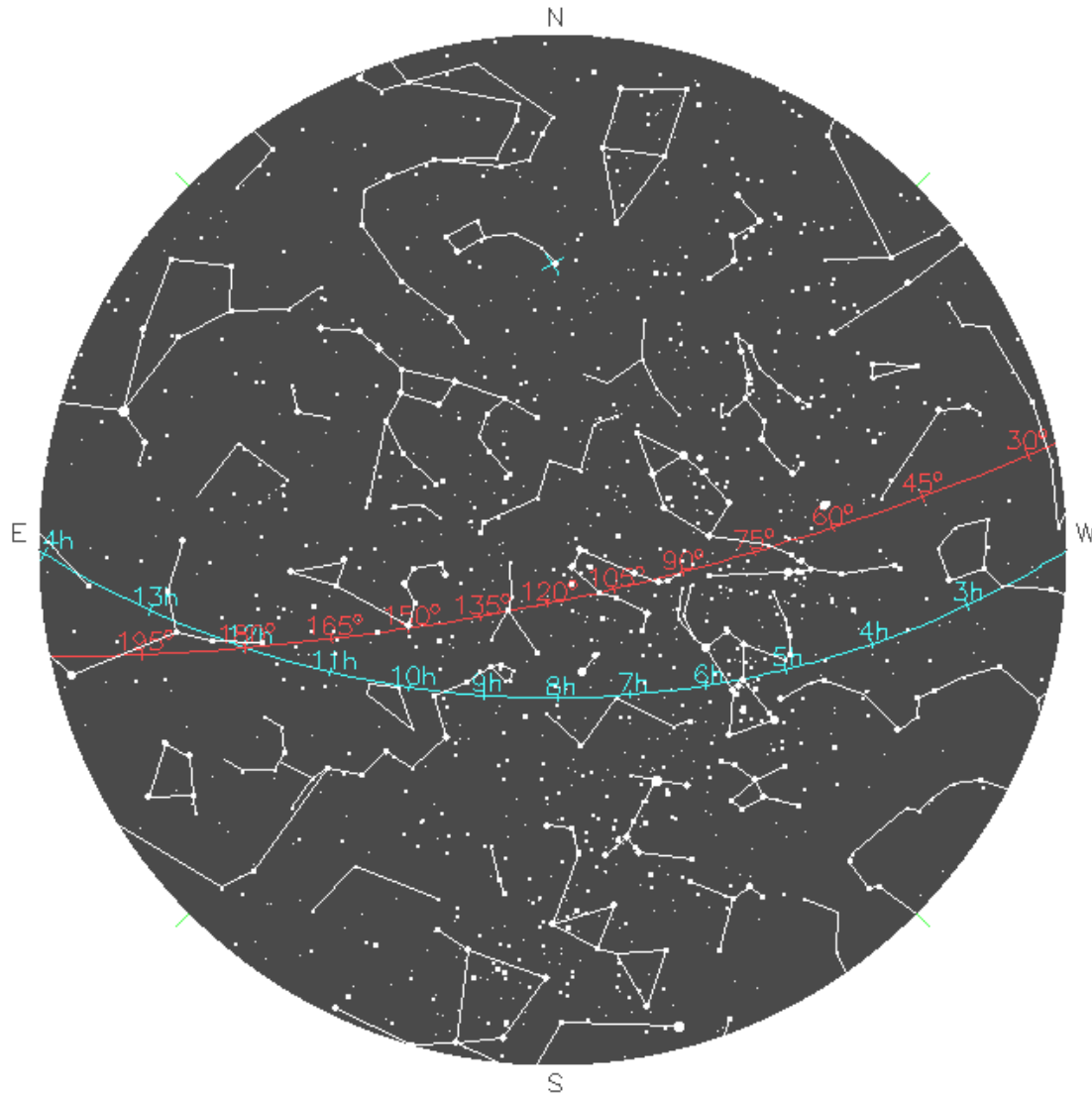
איור ג-3: הרעיון מאחורי הניסוי של מייכלסון ומורלי. שידור קרני אור במקביל ובניצב ל"אתר"



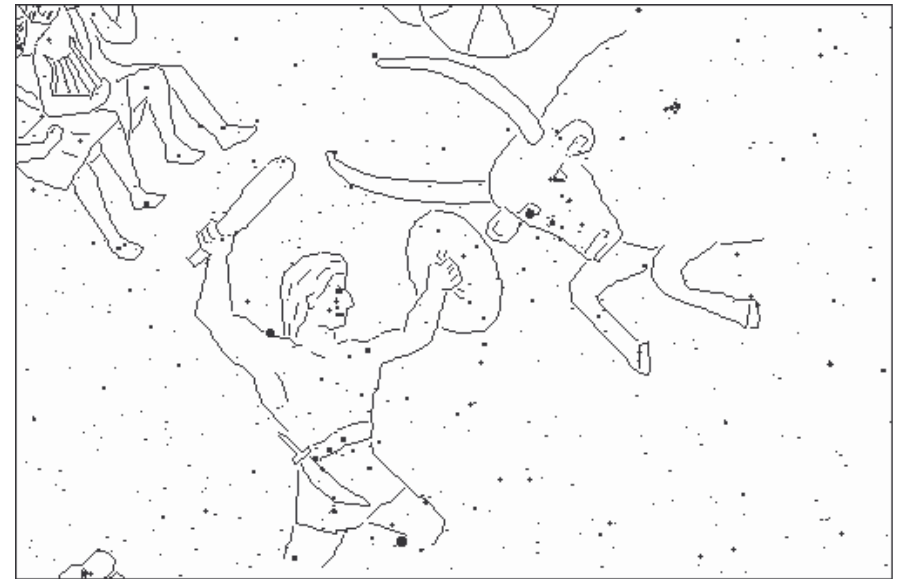
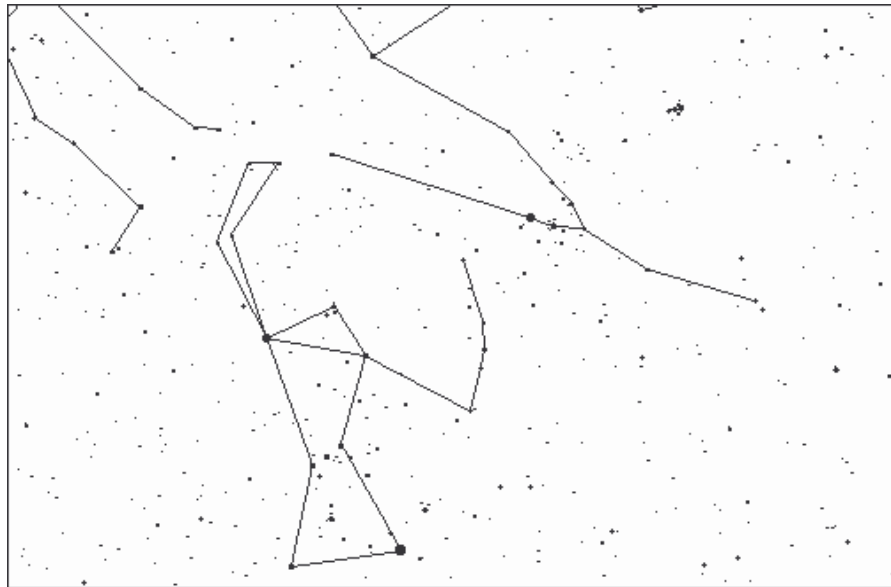
איור ג-4: המסוי של מייכלסון ומורלי

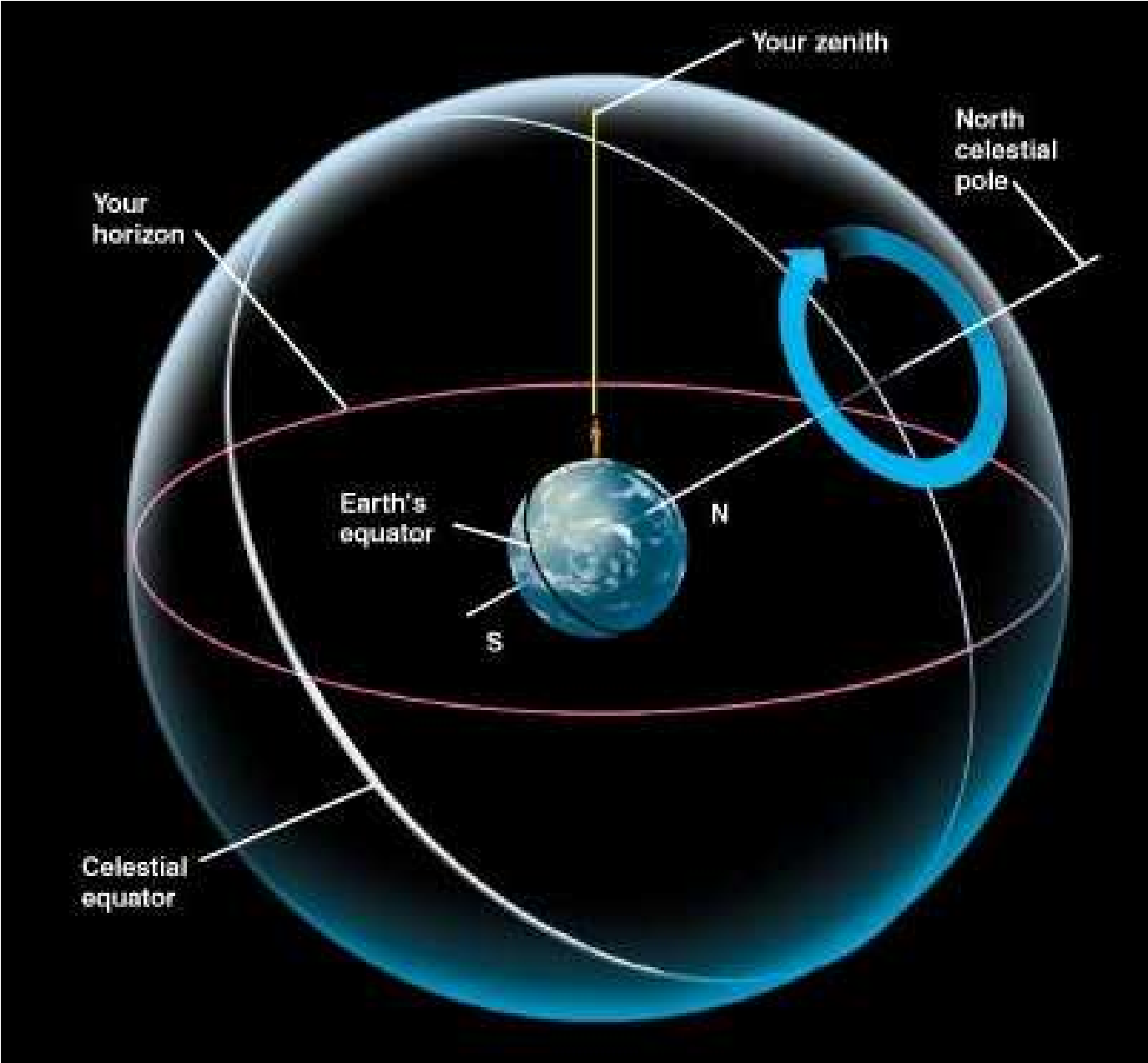
לא נמצאה שום תנועה ביחס לאתר

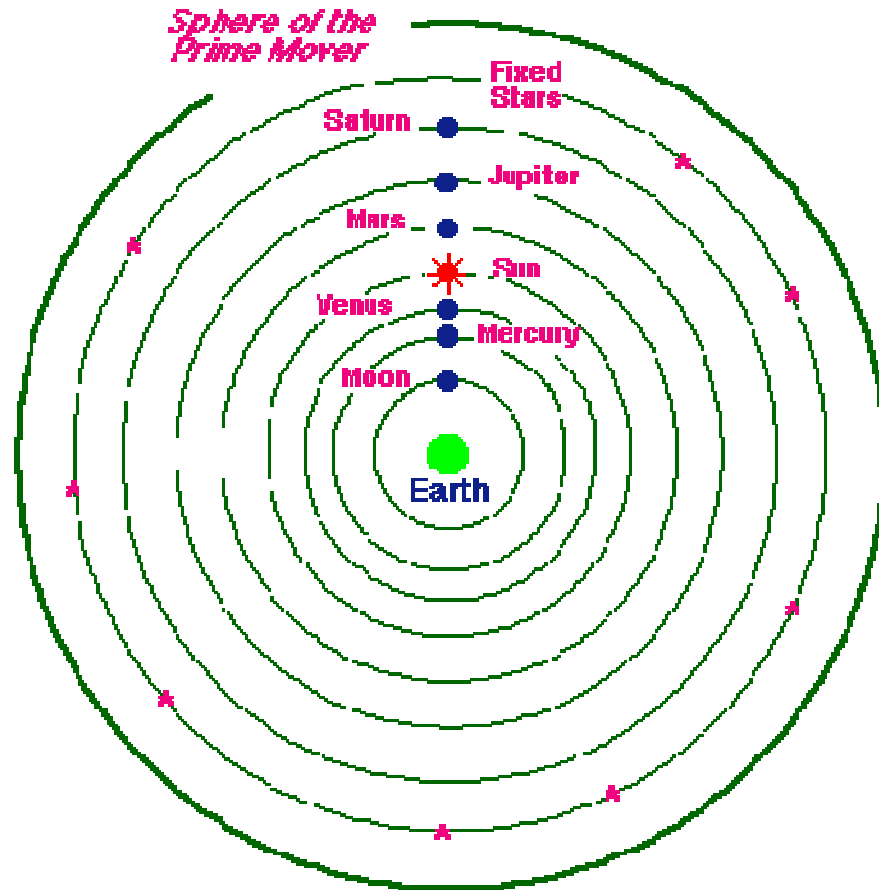
מצב השמיים, 3 במרץ, 21:00



אוריון והשור



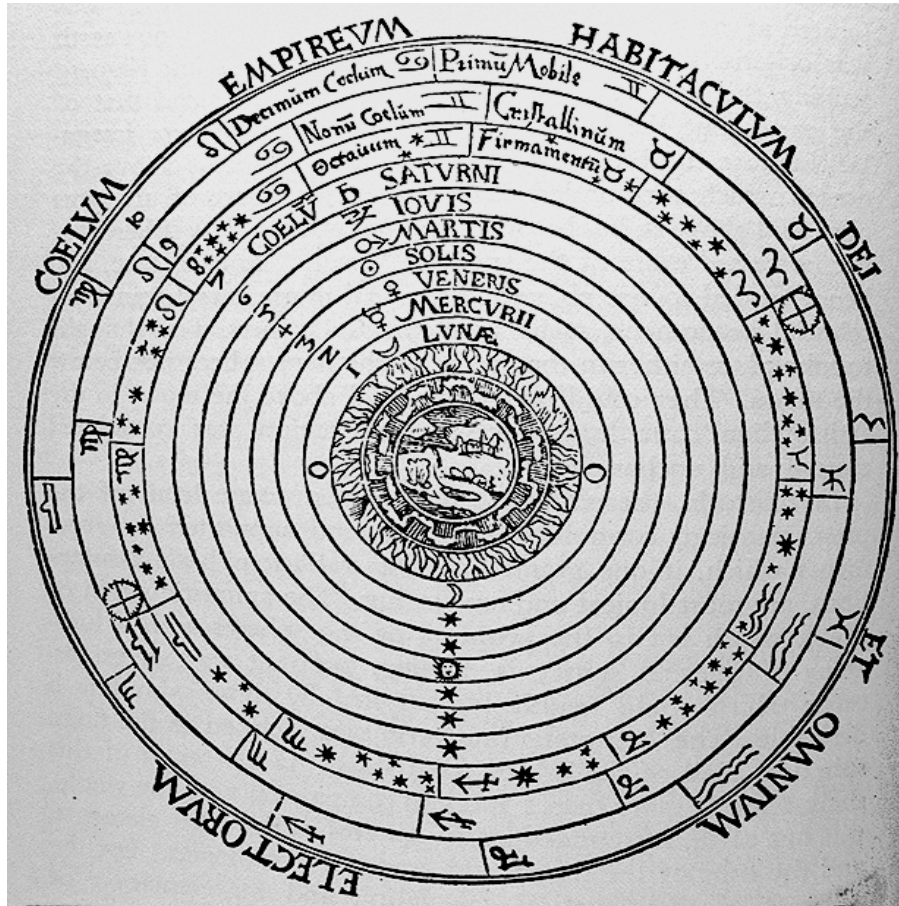




אריסטו: 322-384 לפנה"ס

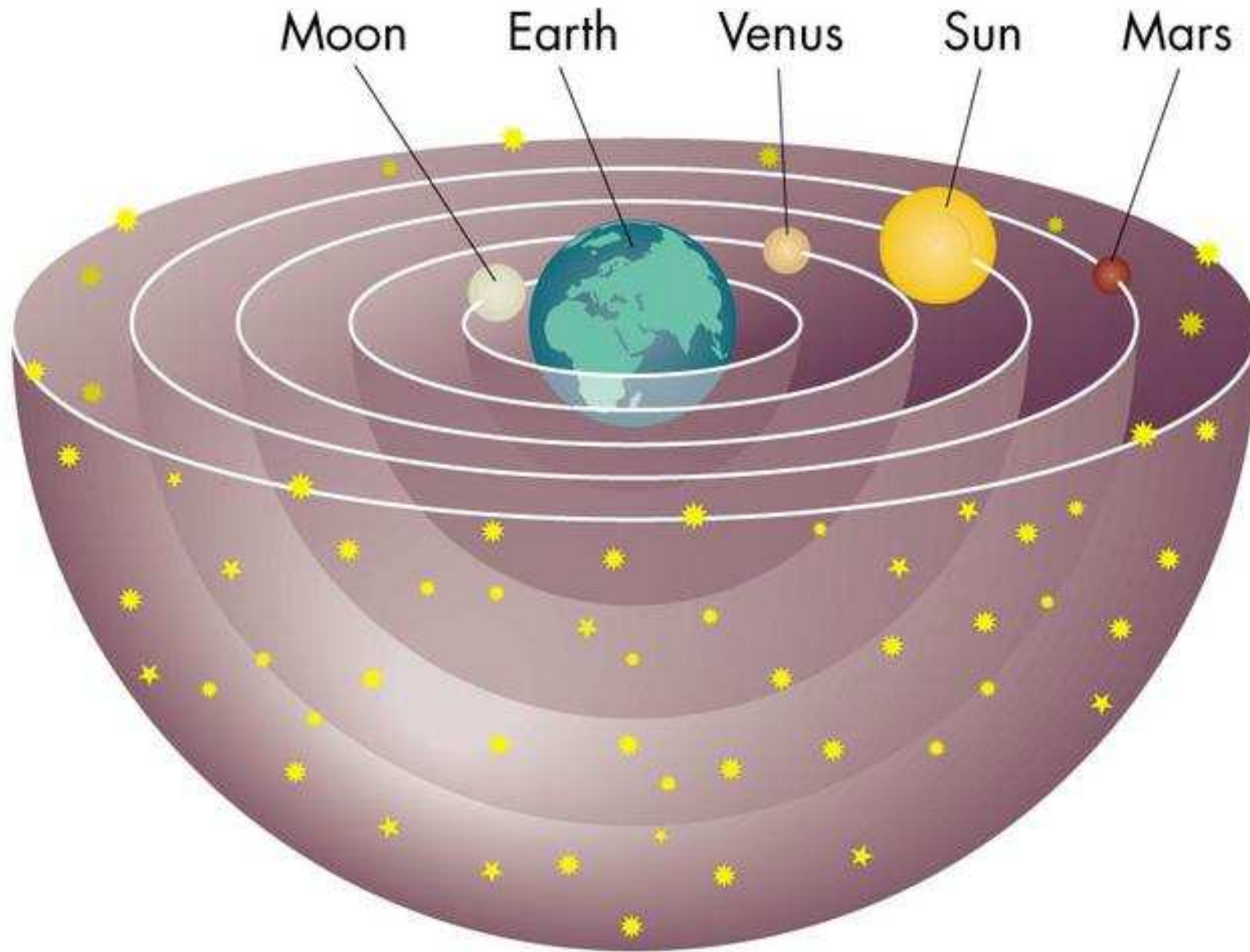
כדור הארץ הוא עגול
הירח מקבל את אורו מן השמש
הירח קרוב יותר מן השמש

חמשת היסודות: אדמה, מים, אוויר, אש, אתר

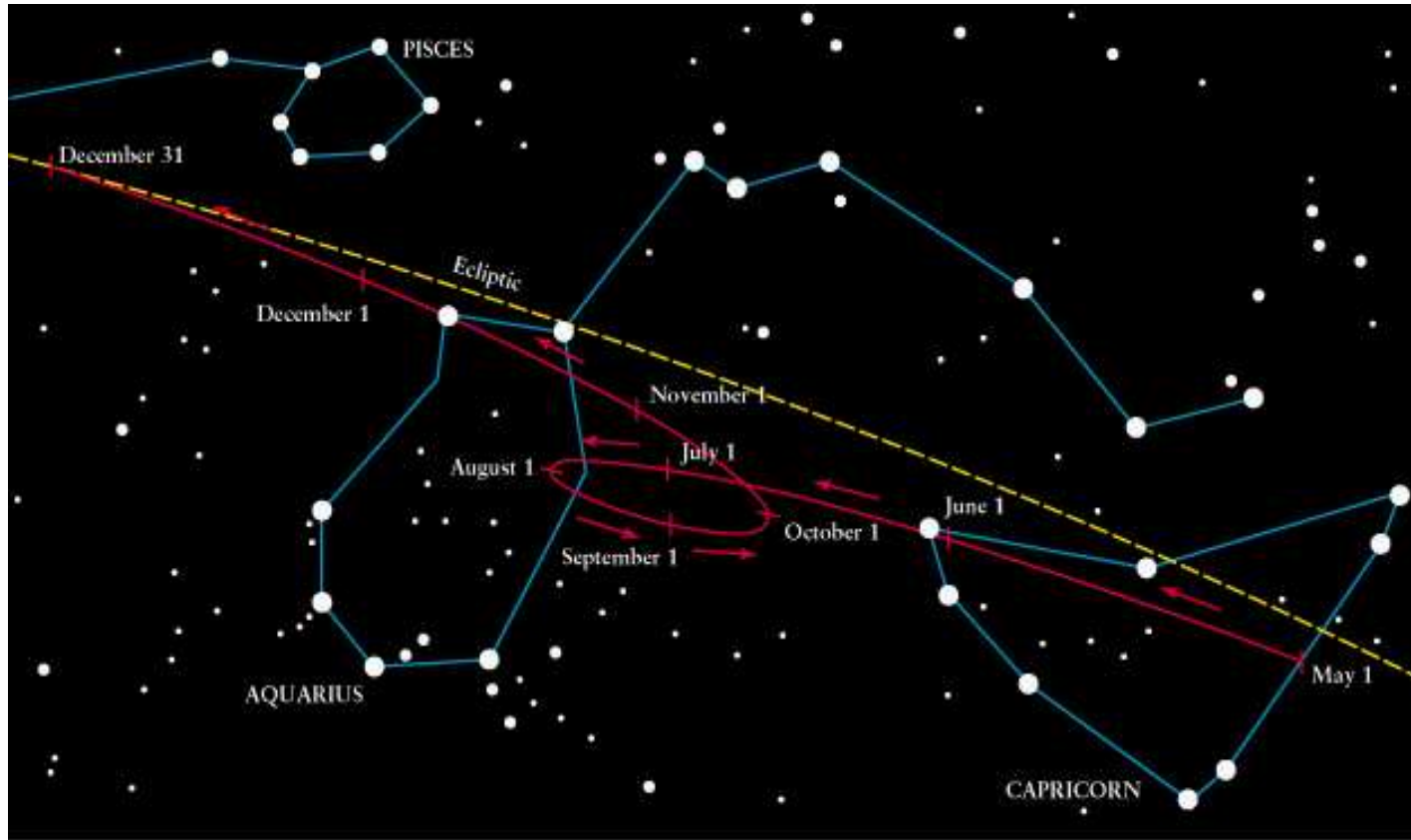


Aristotelian Cosmos

from Peter Apian's *Cosmographia* (1524)



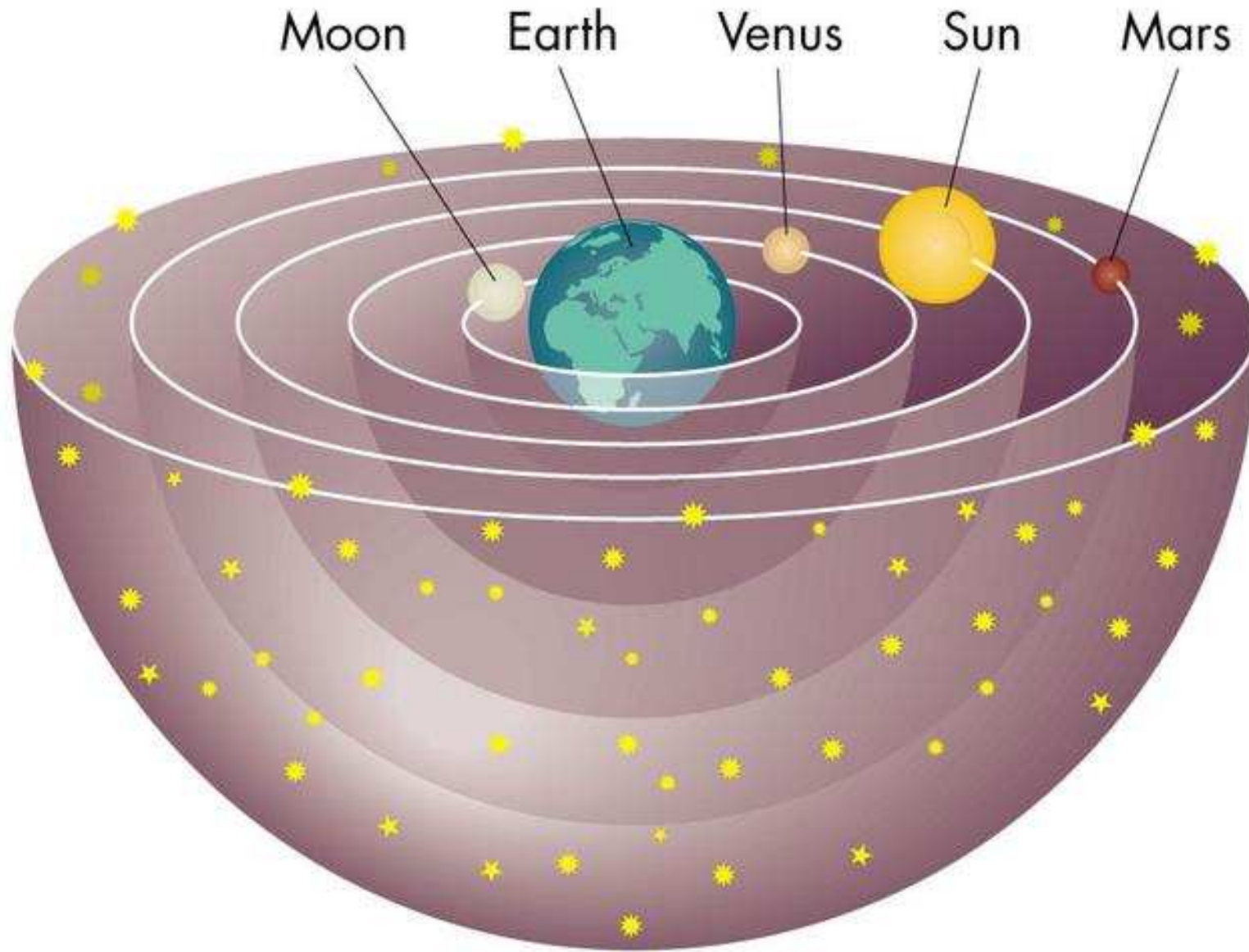
התנועה האחרית



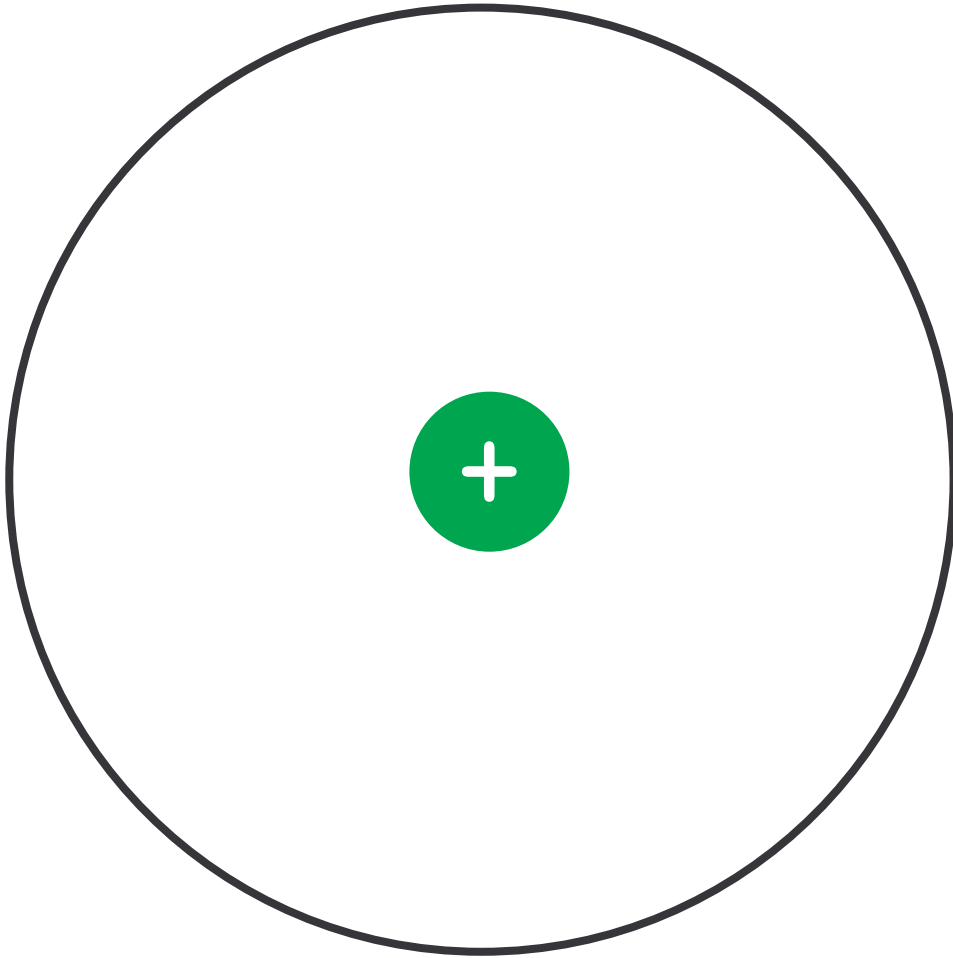


התנועה האחורית של מאדים

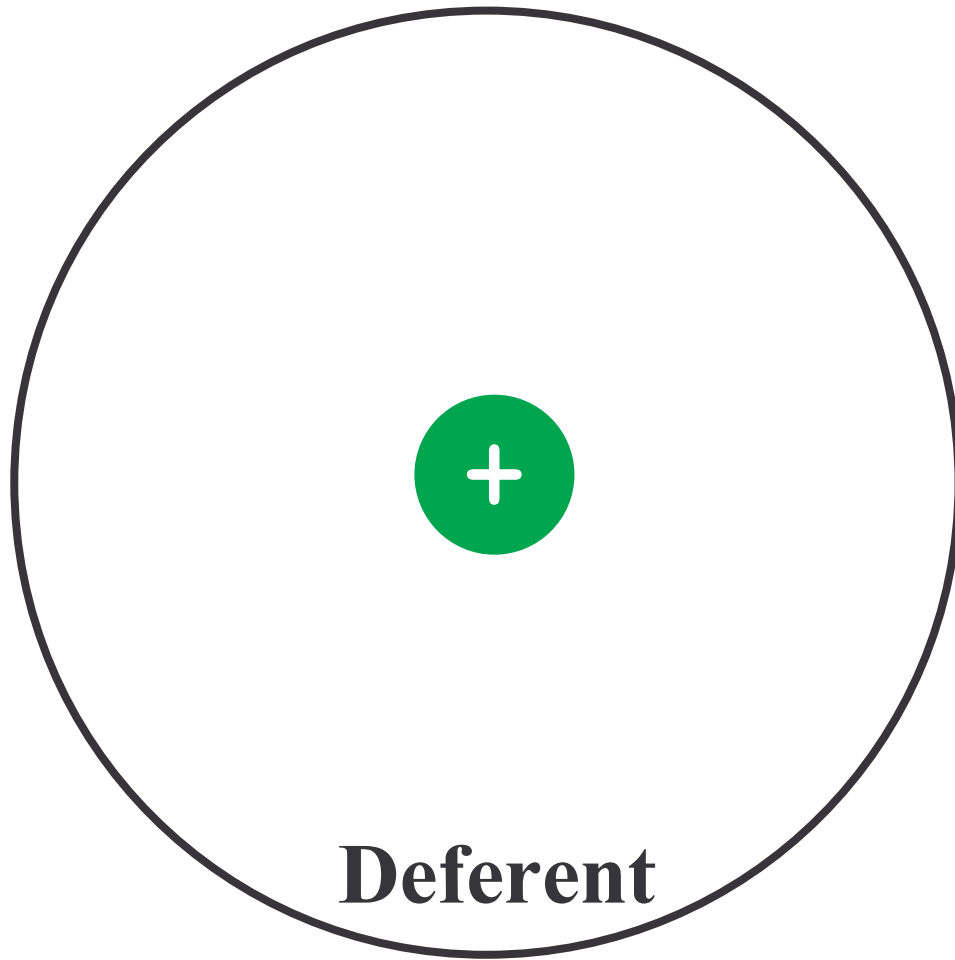
1 בספטמבר	2003
7 בנובמבר	2005
24 בדצמבר	2007
29 בינואר	2010



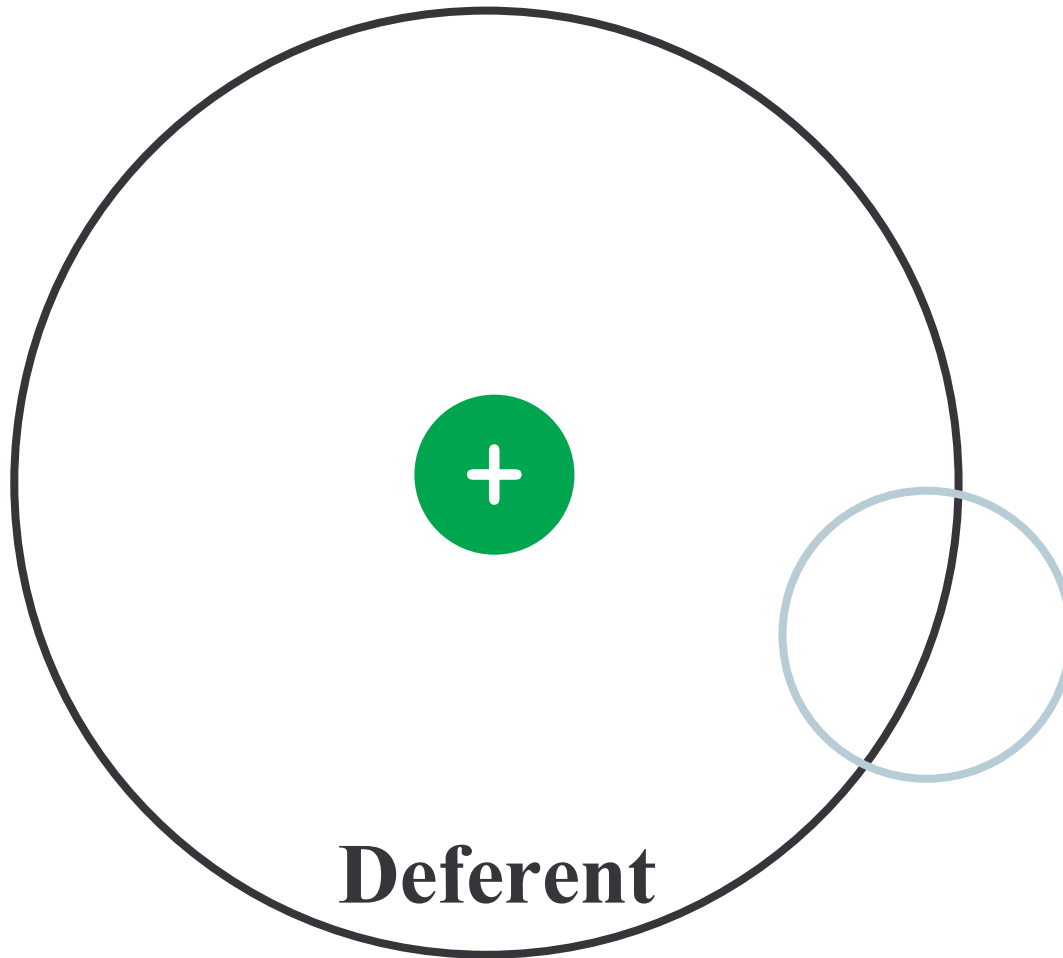
Hipparchus



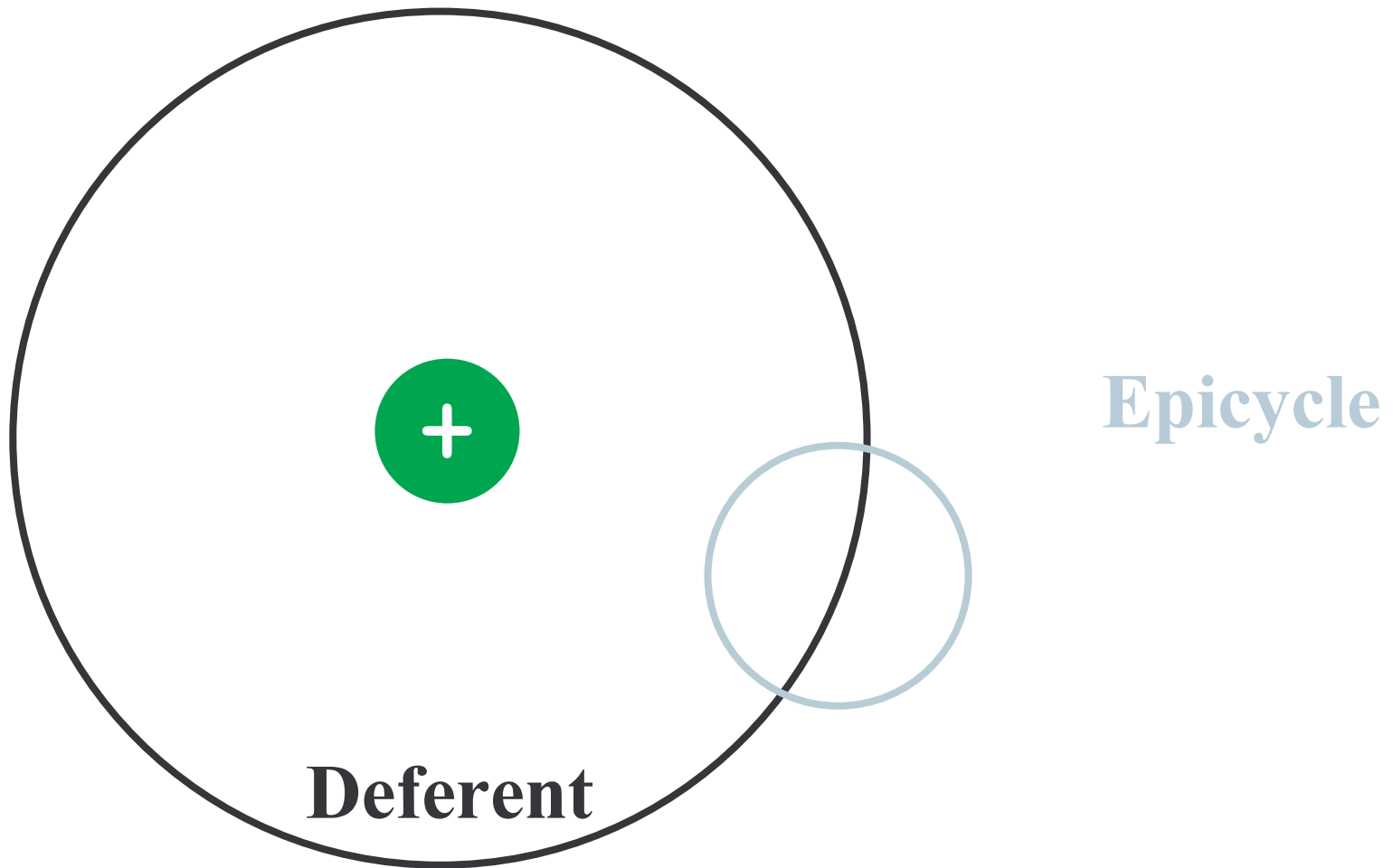
Hipparchus



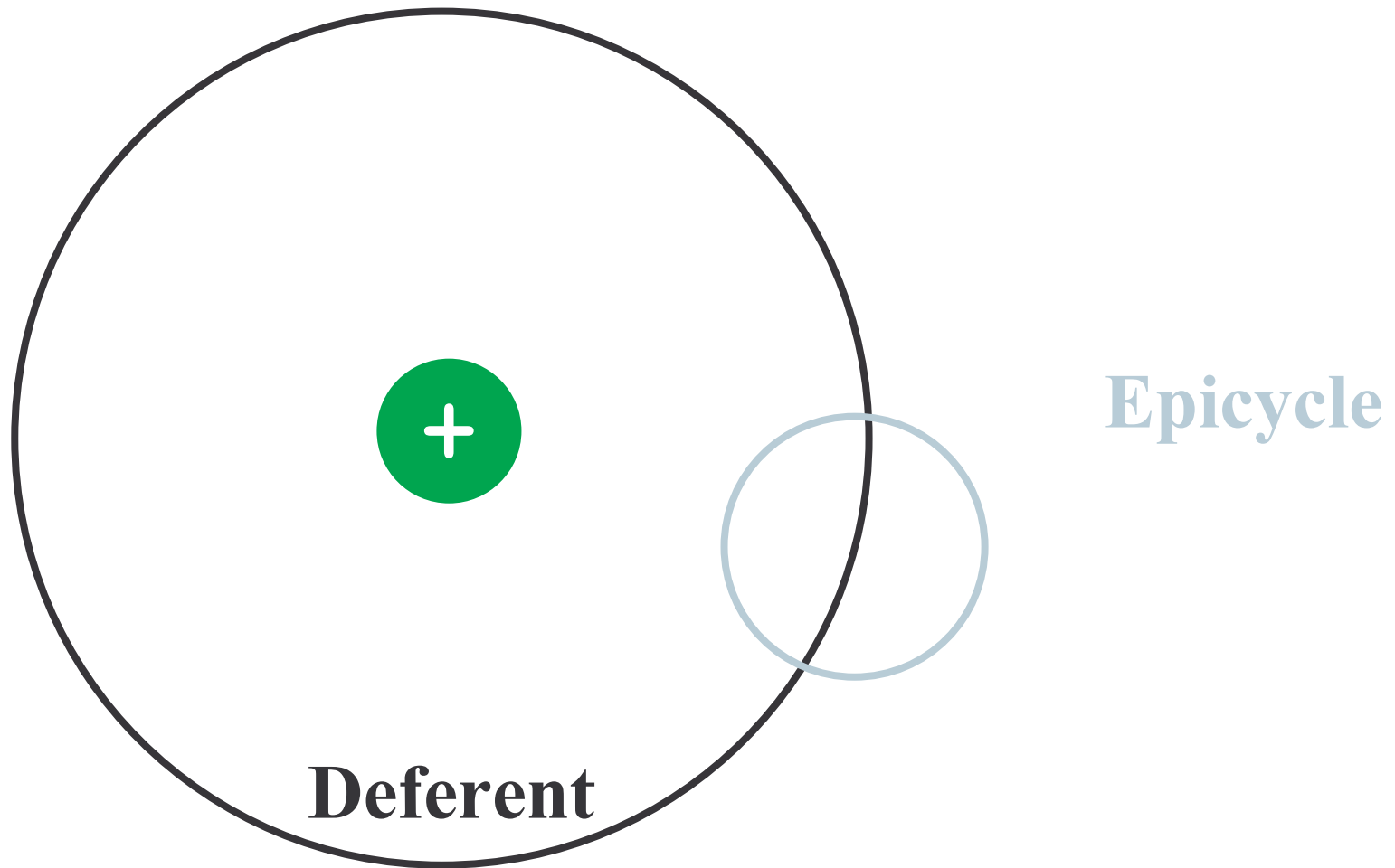
Hipparchus



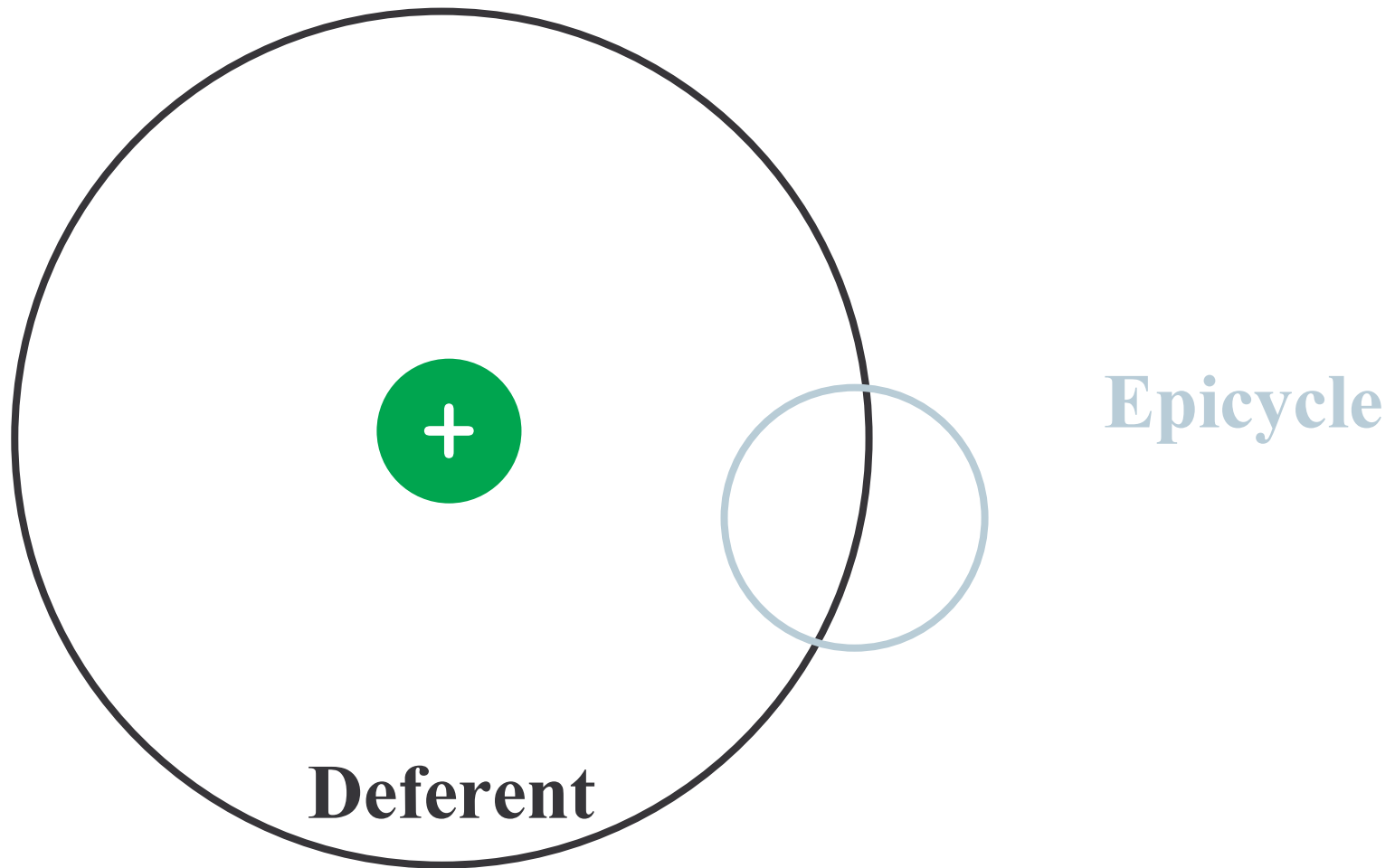
Hipparchus



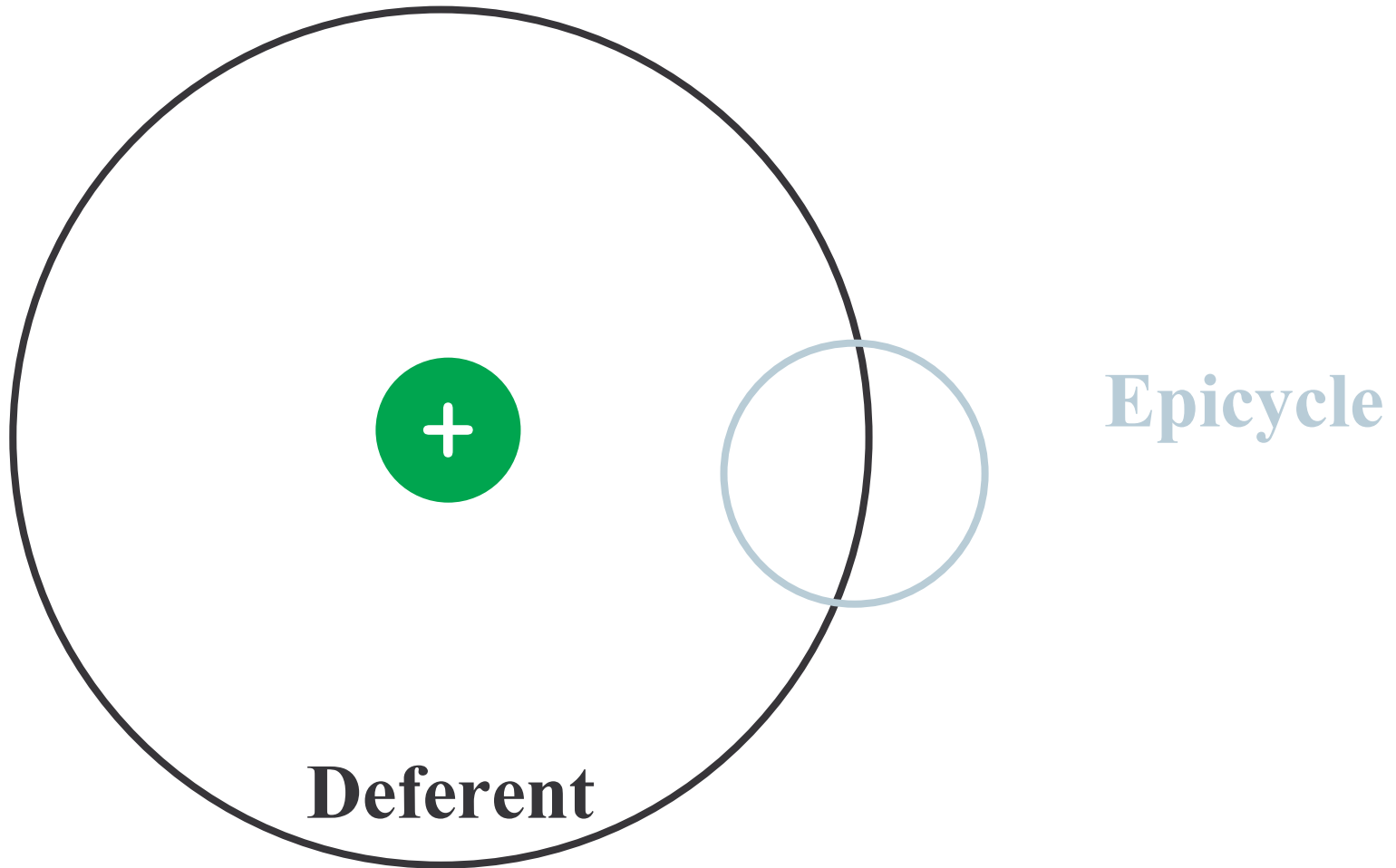
Hipparchus



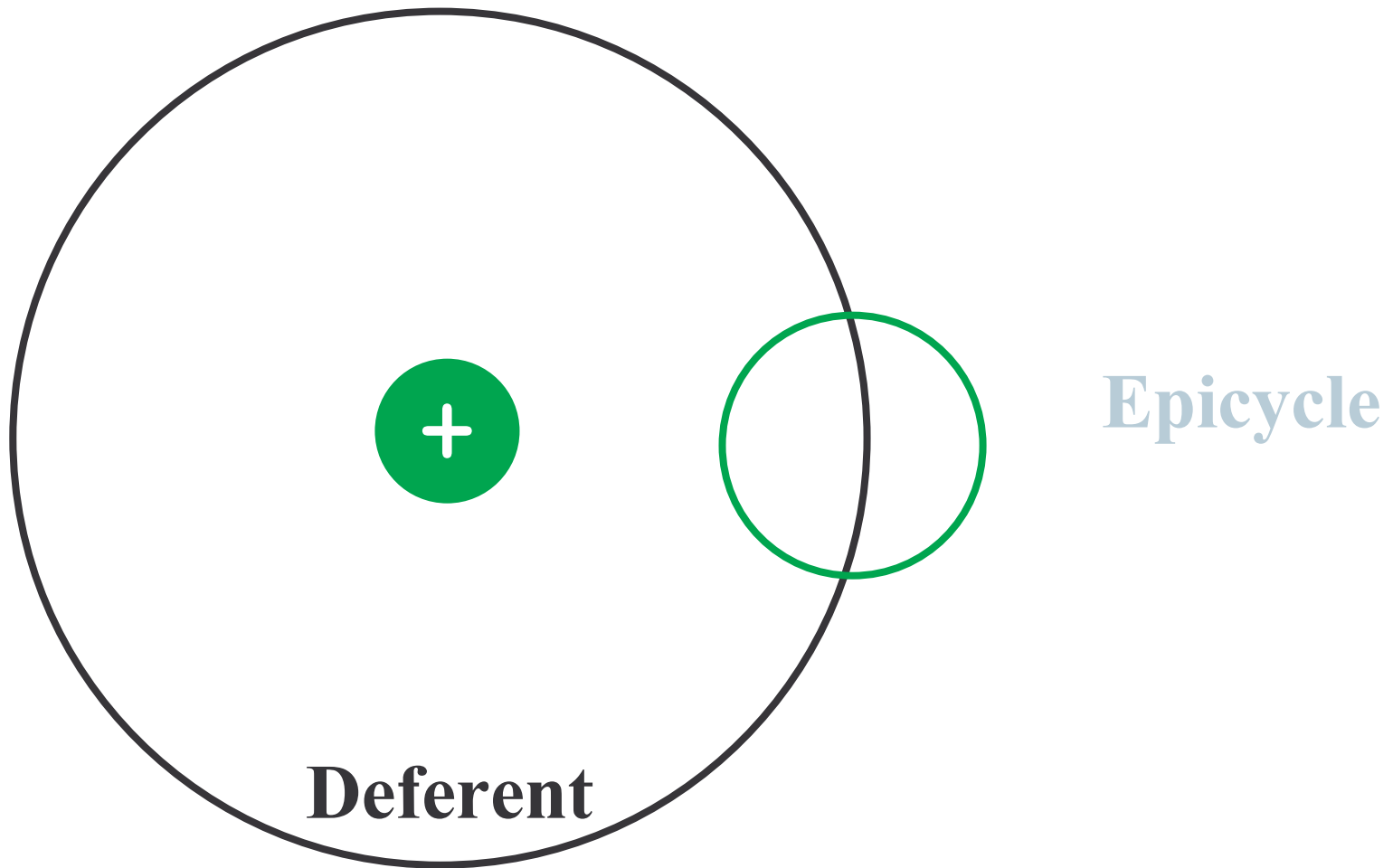
Hipparchus



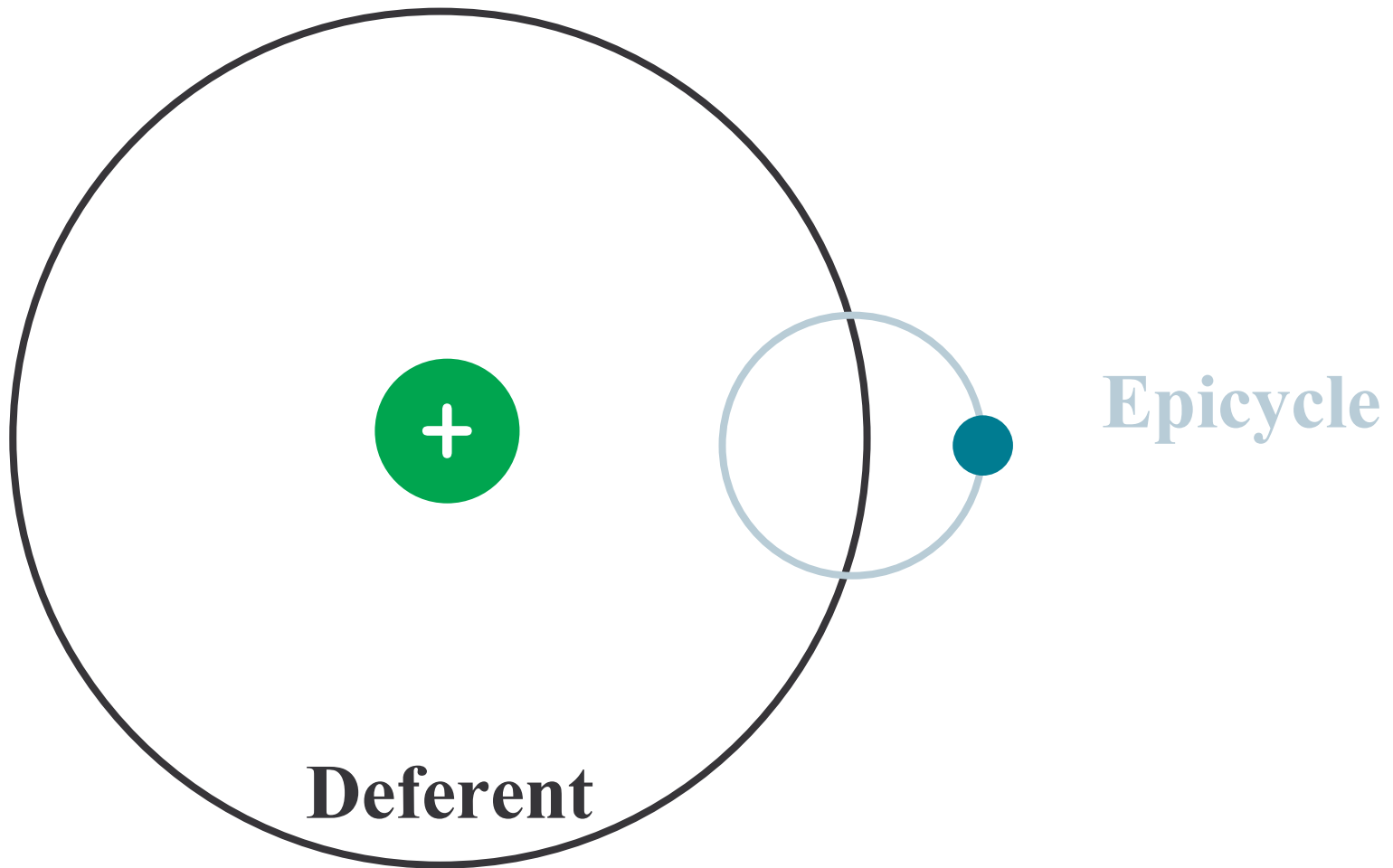
Hipparchus



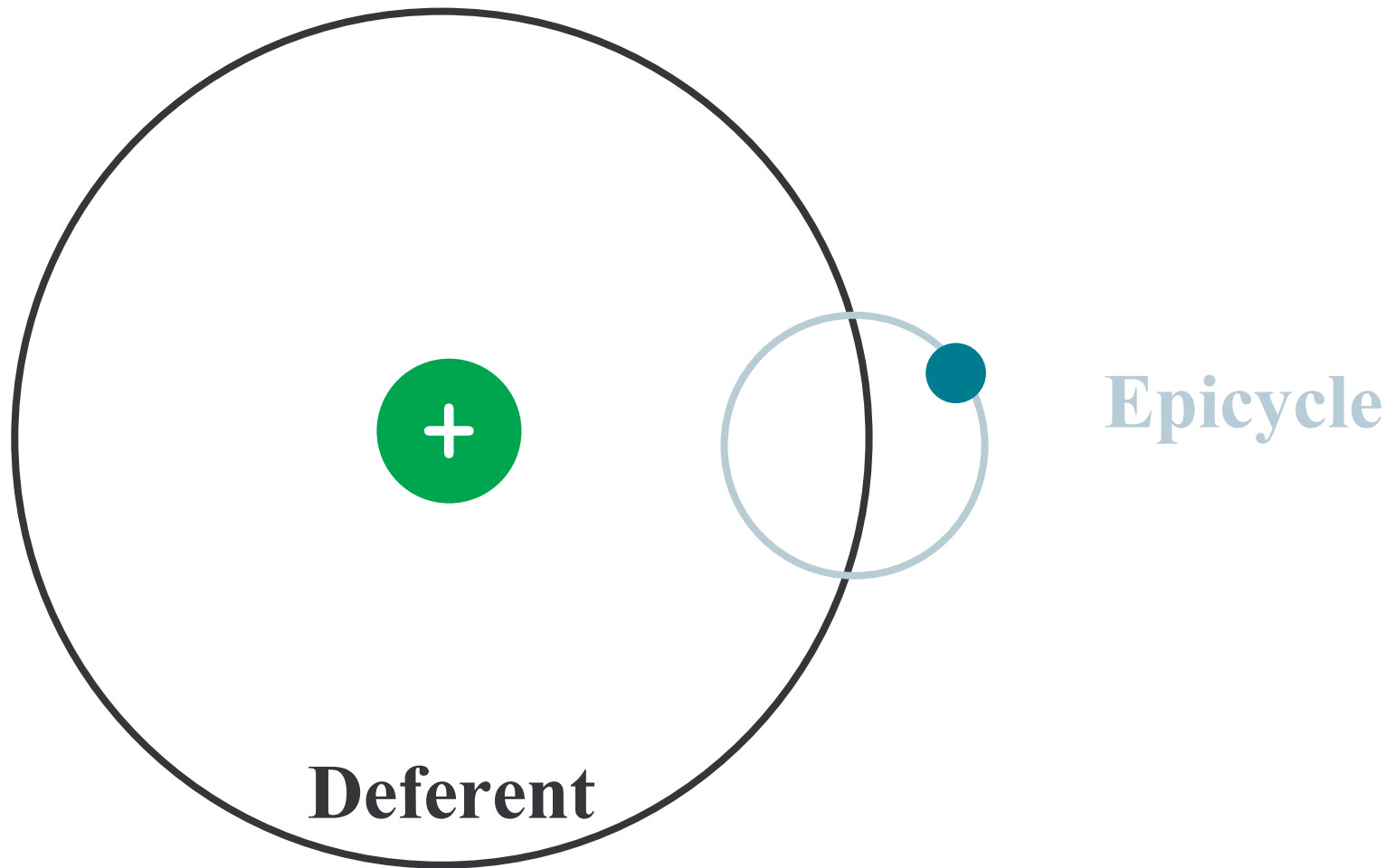
Hipparchus



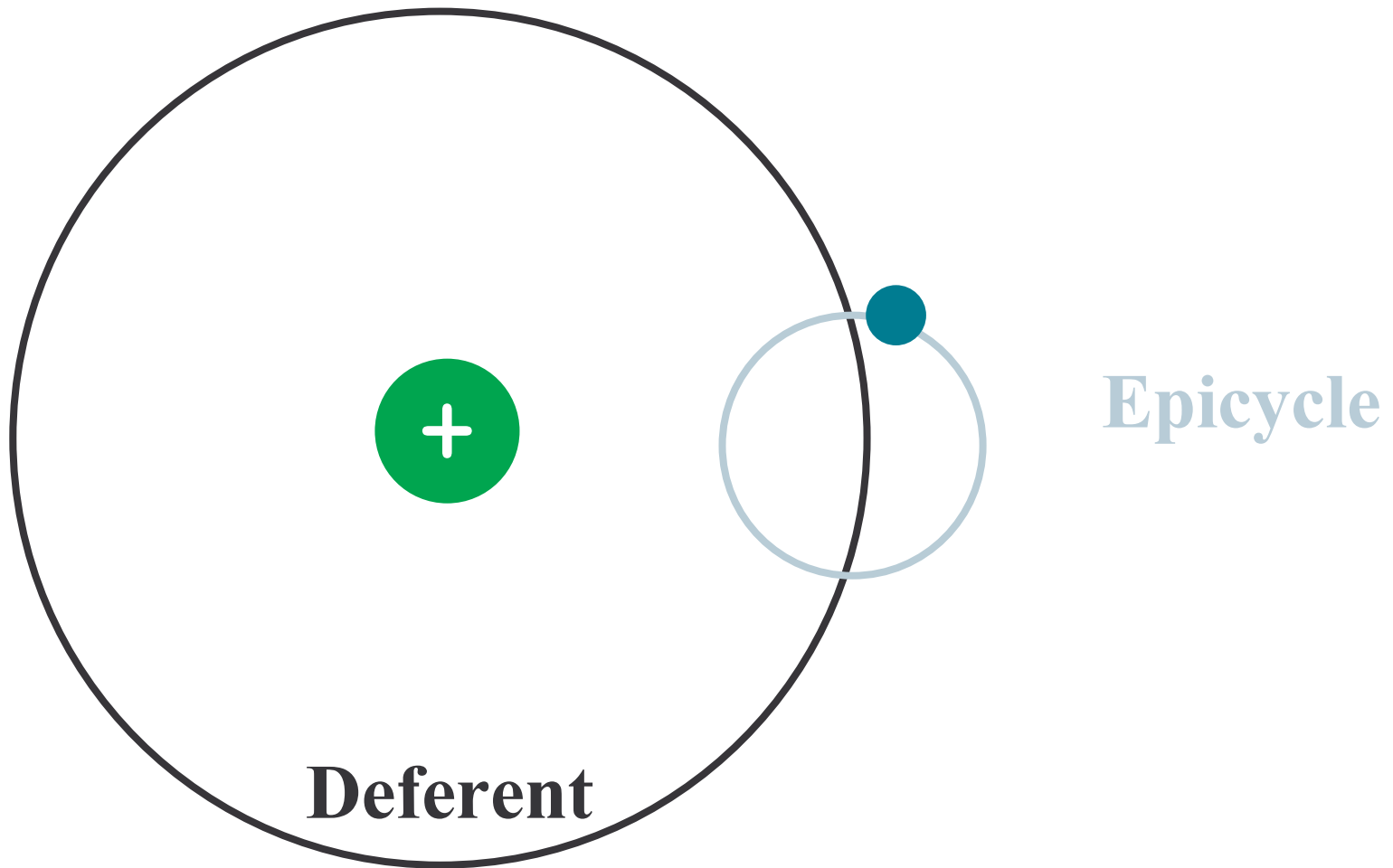
Hipparchus



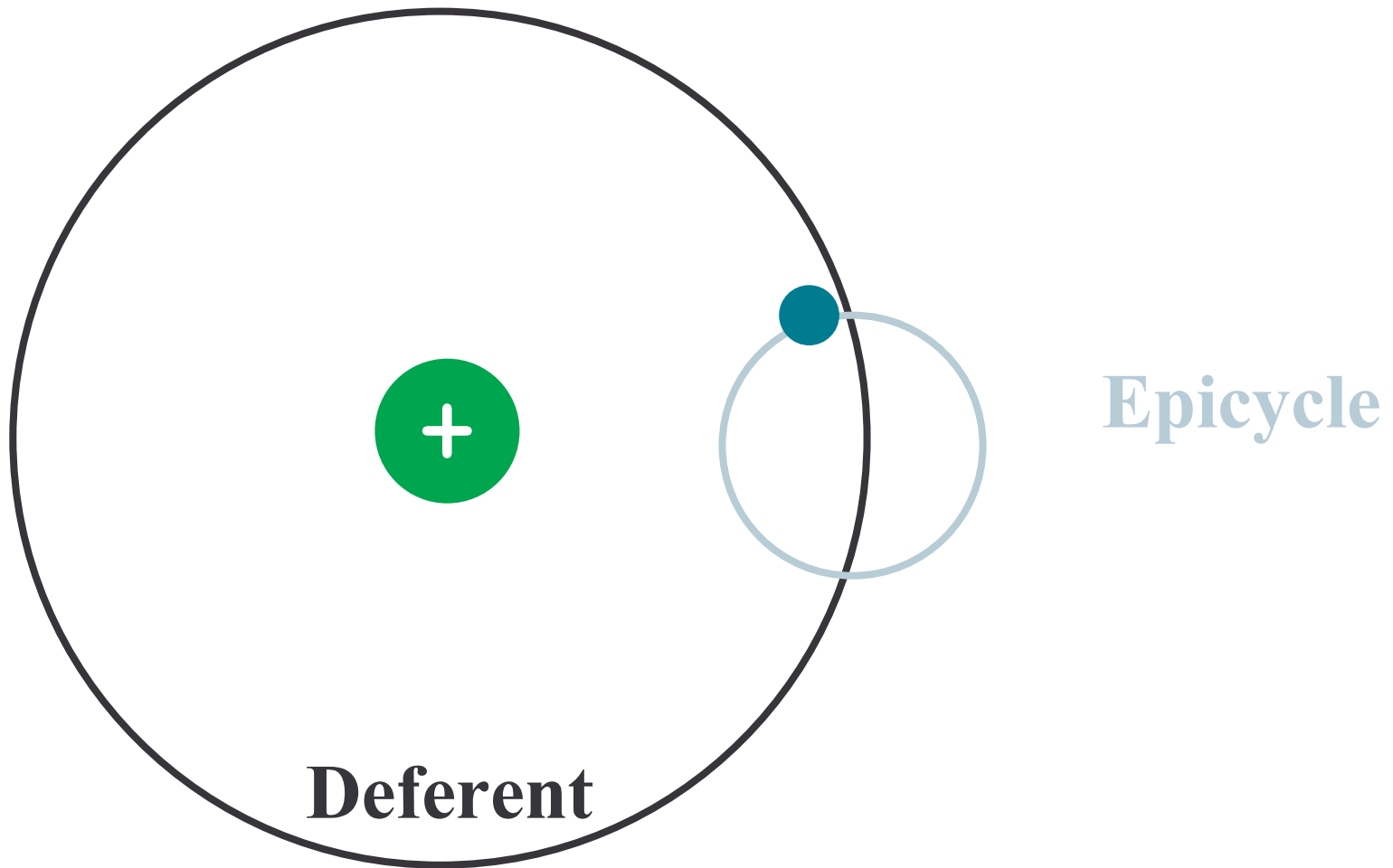
Hipparchus



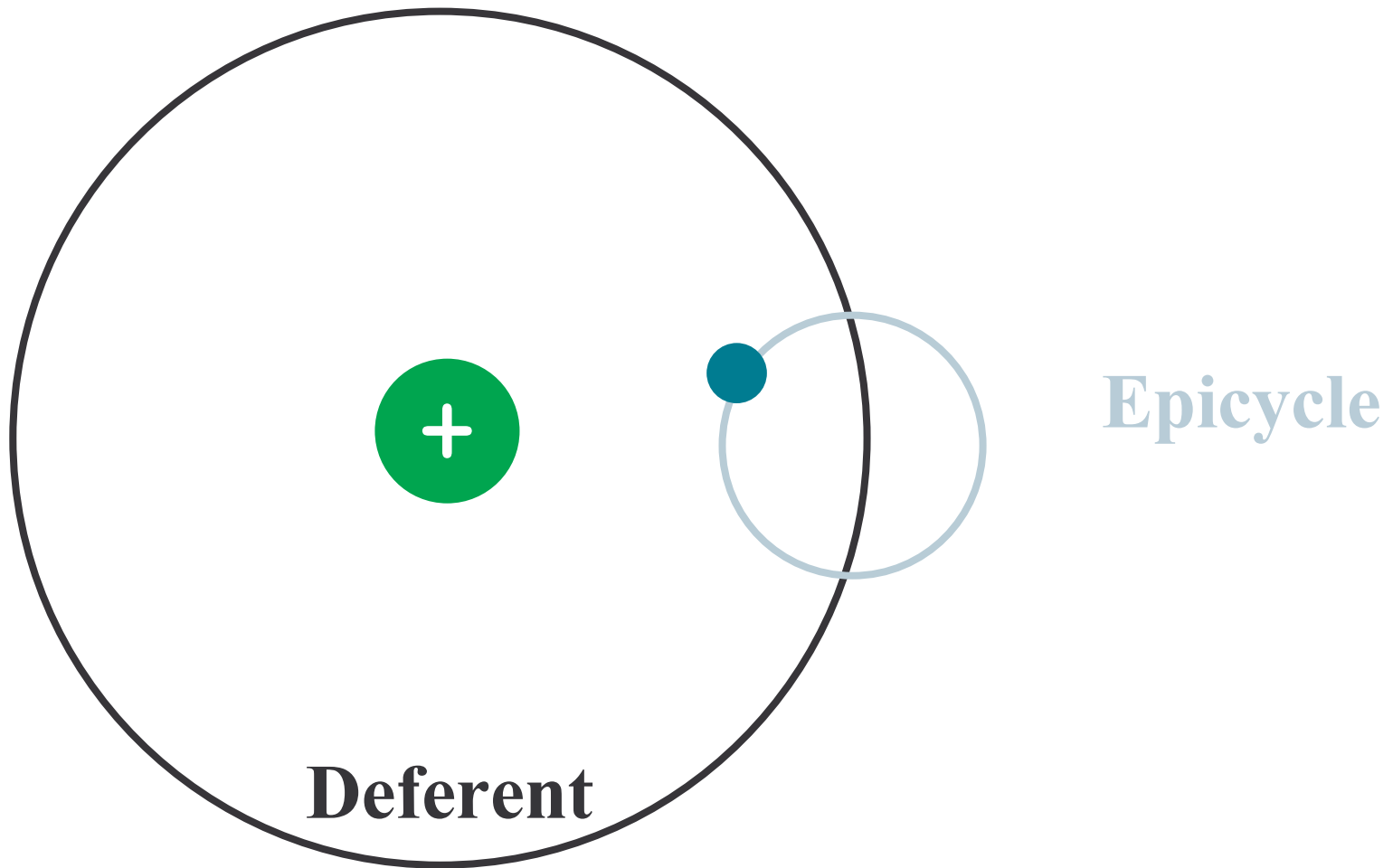
Hipparchus



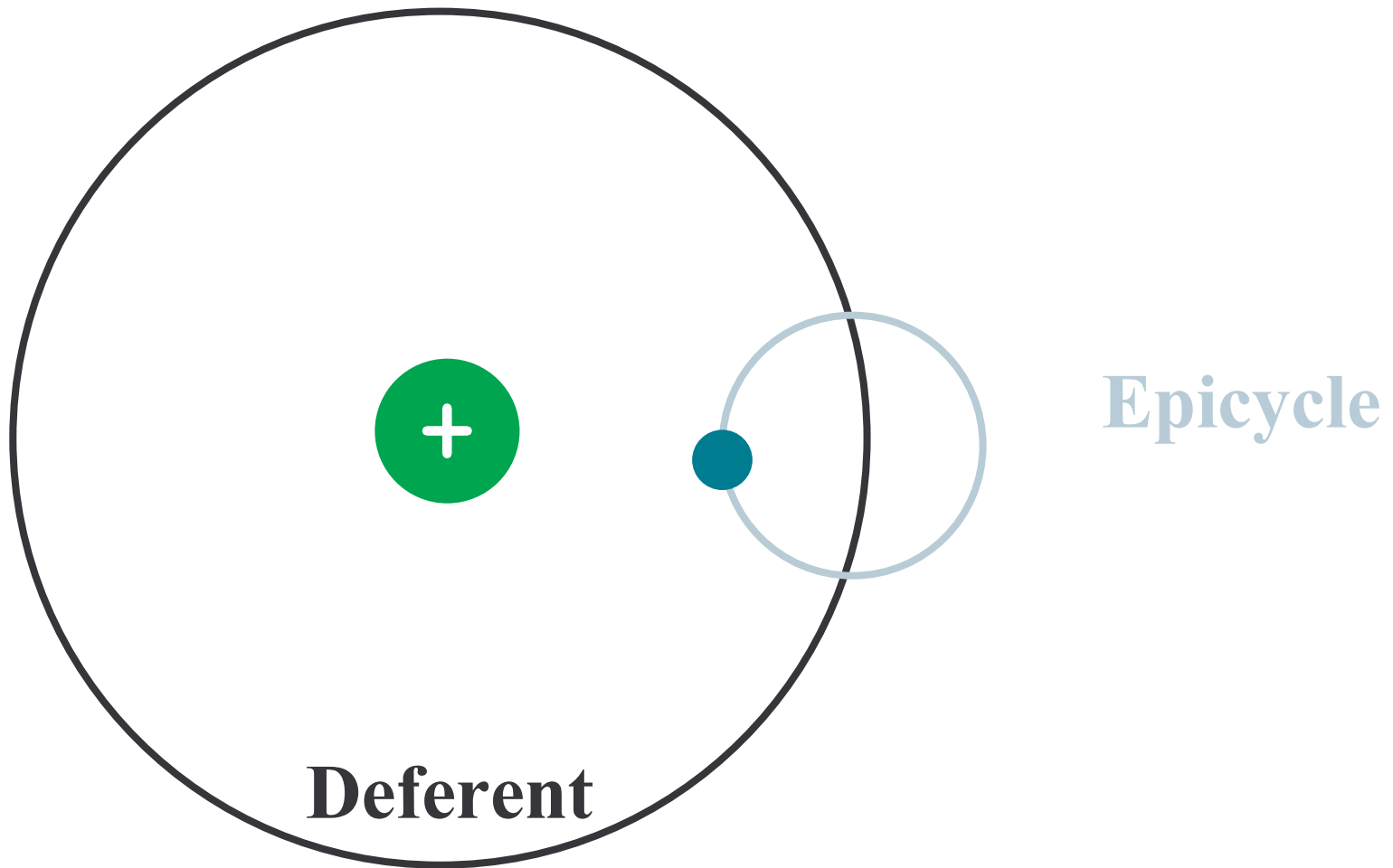
Hipparchus



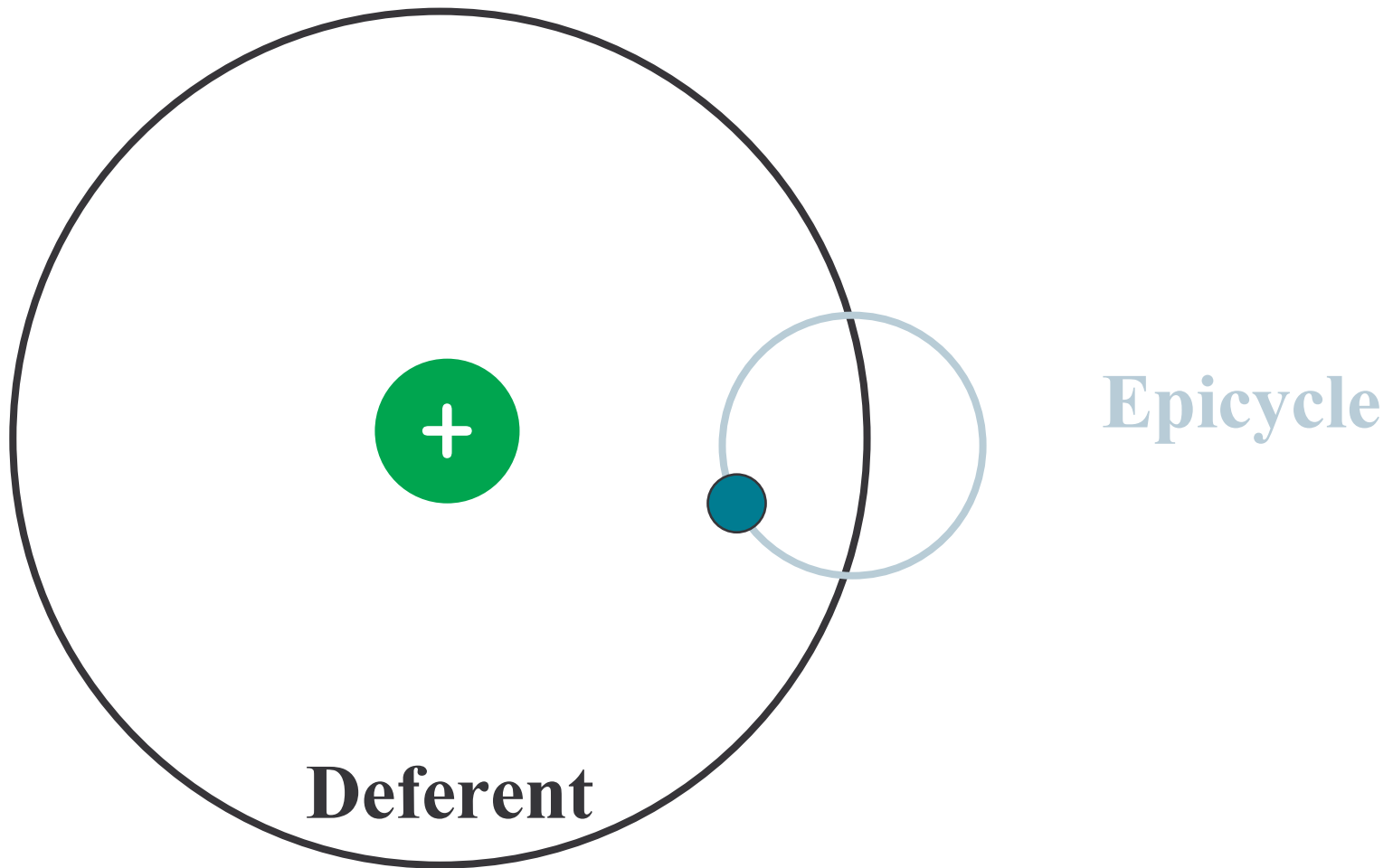
Hipparchus



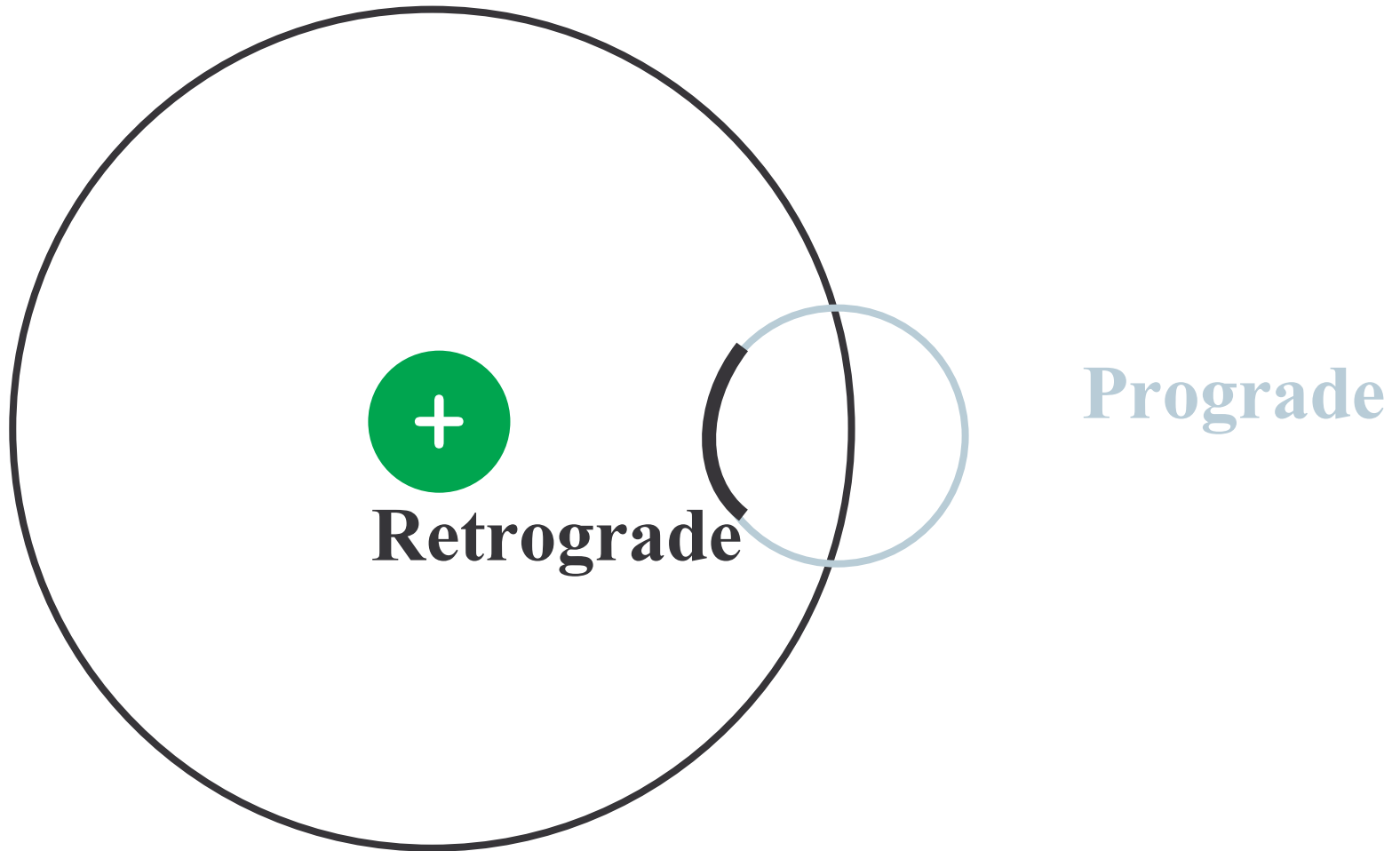
Hipparchus

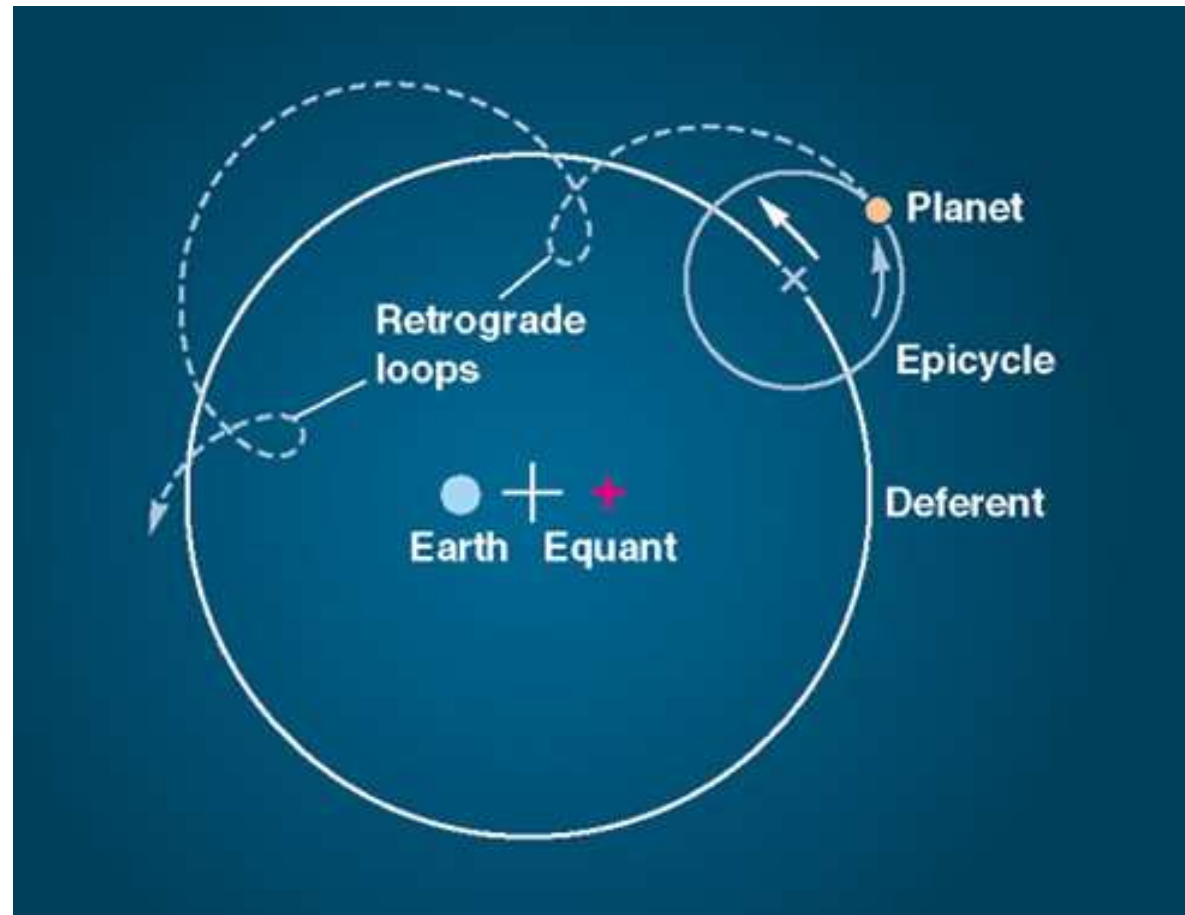


Hipparchus



Hipparchus

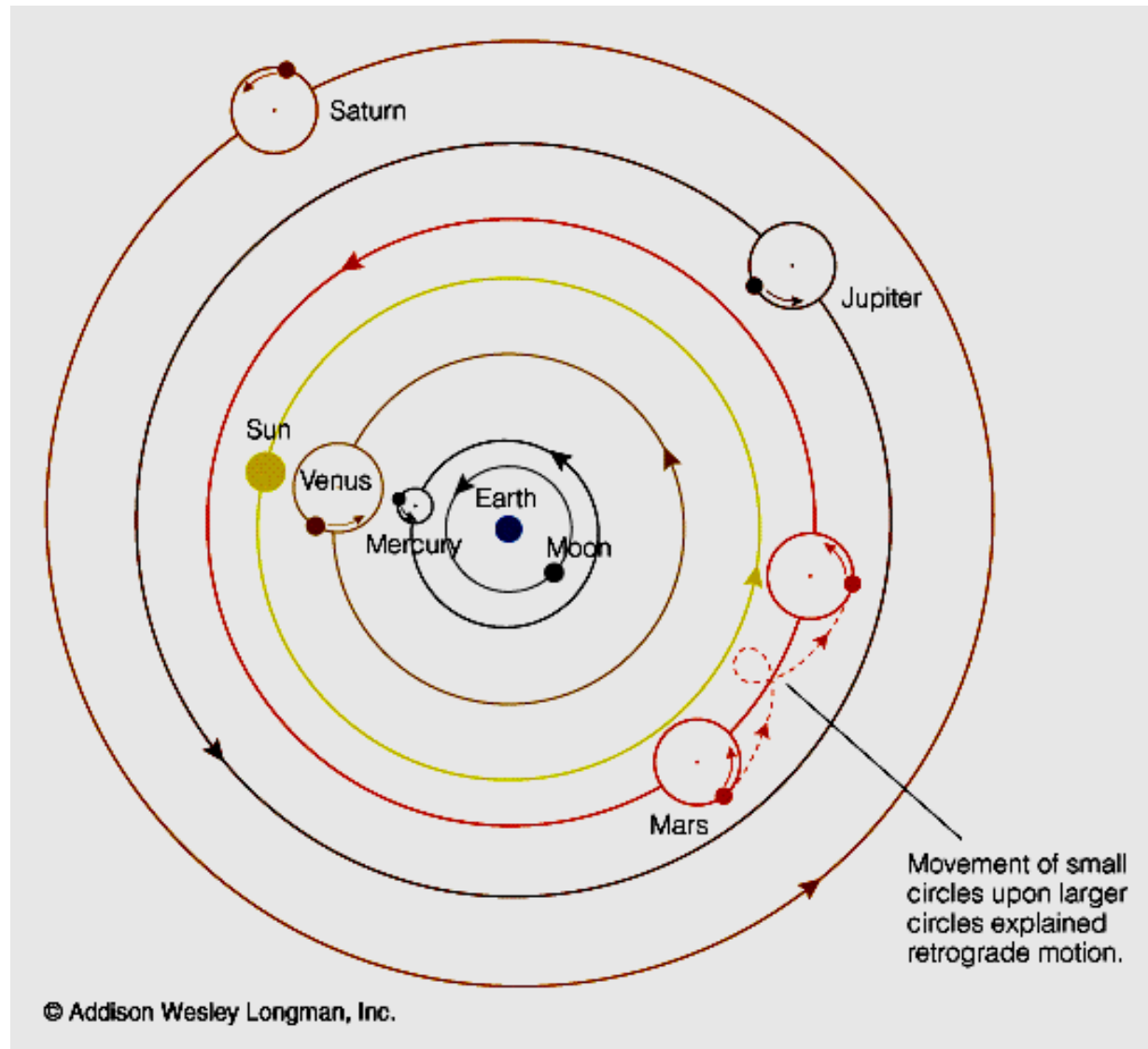


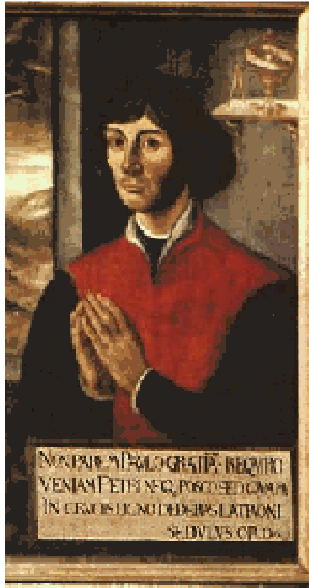


The Ptolemaic Universe



Ptolemy's *geocentric* (earth-centered) model of the universe.





1. אין מרכז אחד לעולם
2. הארץ אינה עומדת במרכז העולם
3. **מרכז העולם נמצא קרוב לשמש**
4. המרחק לשמש הוא קטן מאוד ביחס למרחק אל הכוכבים
5. הסיבוב היומי של השמש והכוכבים נובע מן הסיבוב היומי של כדור הארץ
6. **התנועה השנתית של השמש נובעת ממסלולה של הארץ מסביב לשמש**
7. התנועה האחורית של כוכבי הלכת נובעת מתנועתה של הארץ.