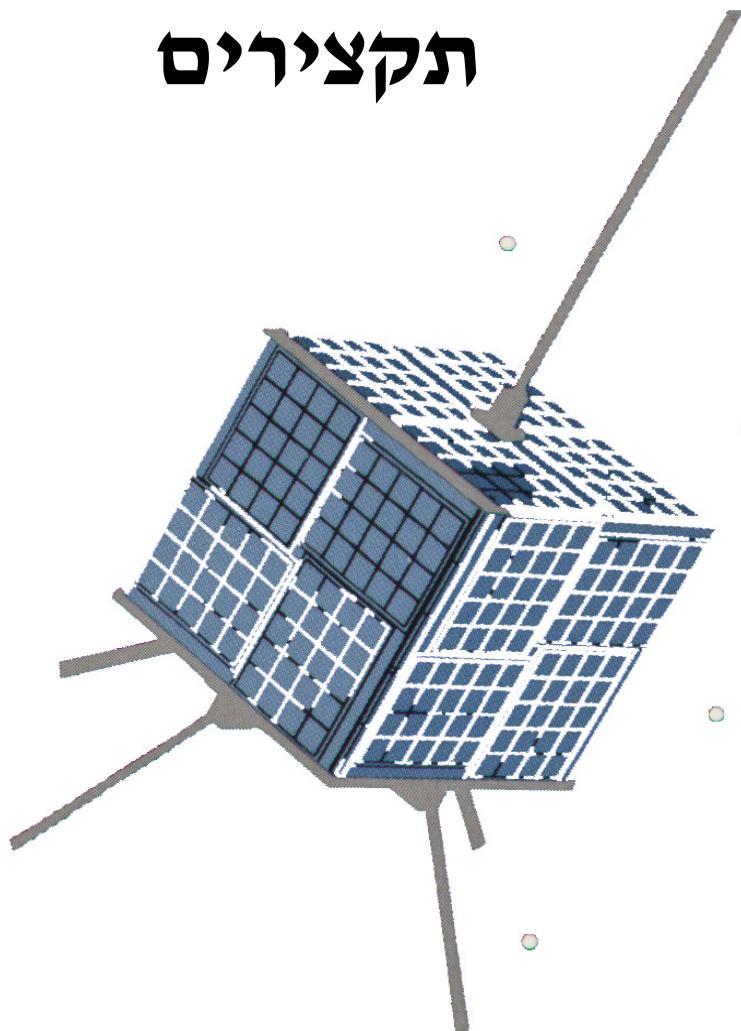




לוייני תקשורת

תקצירים



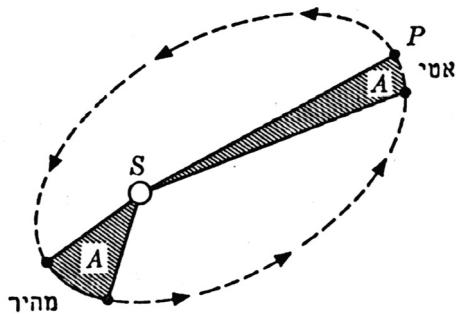
אינגר משה
4Z1PF
ינואר 2001

תוכן עניינים

3	חוקי קפלר
3	חוק המשיכה הכבידית של ניוטון
4	האליפסה
5	אקסנטריות
7	זמן מחזור (זמן הקפה)
9	מחיירות הלוין
11	מקום הלוין
13	תיקונים למודל המופשט
15	תנועת הלוין – הגדרות
	Great circle
	Inclination
	Argument of perigee
	Longitude increment
17	זמן שימושי וזמן כוכבי
18	מסלול לוויינים מסלול מעגלי מסלול מסונכרן עם השמש מסלול גיאוסטציוני מסלול מוניה
22	עקיבה – הגדרות Subsatellite point Acquisition distance Acquisition of signal Loss of signal Nodes Ascending node Equator crossing
24	עקיבה
26	אלמנטי מסלול – אלמנטים קפלרייניים
28	אלמנטים קפלרייניים של NASA
29	המרת תאריכים זמינים ומיקום
31	אפקט דופלר
32	טרנספונדר – מшиб
34	מערכות הלוין
36	נספח א' – תחומי תדרים

חוקי קפלר

1. מסלולו של כוכב לכט הוא אליפסה שבאחד ממרכזיה נמצאת השמש.
2. כל כוכב - לכט נע בדרך כזאת שהקו המקשר אותו אל השמש (קו זה קרוי רדיוס - וקטור) עובר על פני שטחים שווים ברווחי זמן שווים, ללא הבדל מה אורכם.



איור 1: חוק קפלר שני

3. היחס בין ריבוע זמן המחזור (T) אל החזקה השלישי של מרחקם הממוצע מן الشمس (a) הוא קבוע עבור כל כוכבי הלכת במערכת השמש.

$$\frac{T^2}{a^3} = CONST.$$

חוק המשיכה הכבידית של ניוטון

כל פרודת חומר בתבל מושכת כל פרודת חומר אחרת בכח הנמצא ביחס ישיר למכפלת מסות הפרודות וביחס הפוך לריבוע המרחק שביניהן.

$$F = G \frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

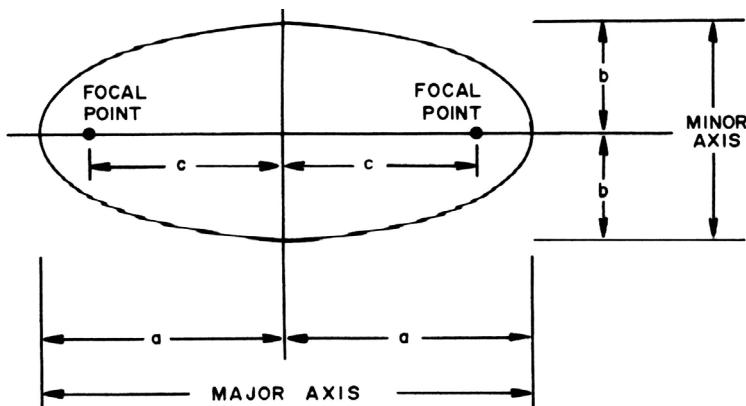
$$G = 6.67 * 10^{-8} \text{ dyn} \cdot \text{cm}^2 / \text{gr}^2$$

$$G = 6.67 * 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{Kg}^2$$

האליפסה

$$c^2 = a^2 - b^2$$

$$c = \sqrt{a^2 - b^2}$$



Major axis: The largest axis of an ellipse is always called the Major axis, no matter what orientation it's drawn in. The length Of the major axis is represented by $2a$.

Minor axis: The smaller axis of an ellipse is always called the minor axis. The length of the minor axis is represented by $2b$.

Focal points: Two special points, known as focal points, are located on the major axis equidistant from the origin. The distance between the origin and each focal point is represented by c .

איור 2: היגיומטריה של האליפסה

אקסצנטריות Eccentricity

מקדם האקסצנטריות e מראה עד כמה האליפסה קרובה למעגל. כאשר המספר הולך וגדל האליפסה הופכת ליותר ו יותר שטוחה.

$$e = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}$$

$$e^2 = 1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2$$

$$0 < e < 1$$

$$e=1 \text{ פרבולה}$$

$$e > 1 \text{ היפרבולה}$$

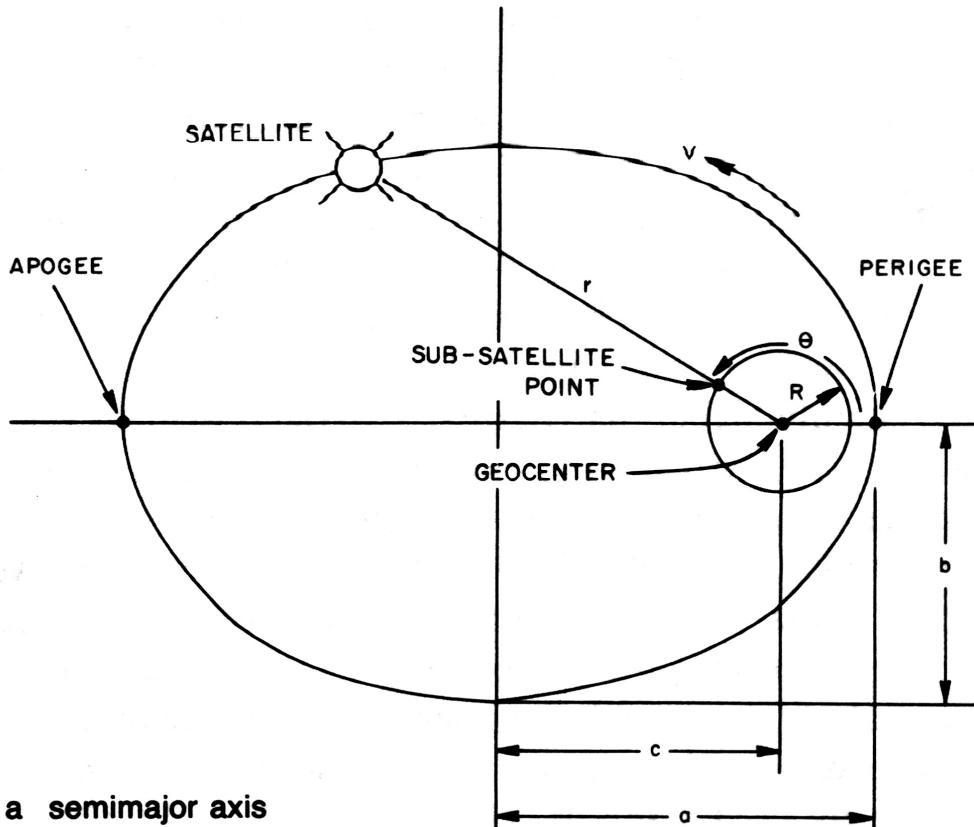
כדי להגדיר אליפסה דרושים שני מקדמים מתוך הארבעה :

$$a, b, c, e$$

איור 2-11 מגדר שני מושגים נוספים, המרחק המרבי והמרחק המזערני של הלוין מכדור הארץ.

$$\text{Apogee distance } r_a = a(1 + e)$$

$$\text{Perigee distance } r_p = a(1 - e)$$



a semimajor axis

b semiminor axis

e eccentricity = $[1 - (b/a)^2]^{0.5}$; $0 \leq e < 1$; (circle: $e = 0$)

c distance between center of ellipse and focal point = ae

R mean radius of earth

r,θ polar coordinates of satellite; θ (the true anomaly) is measured from perigee

geocenter: position of center of mass of earth

sub-satellite point: point where r intersects surface of earth

altitude (height): $h = r - R$

apogee: point on orbital ellipse where r is a maximum

perigee: point on orbital ellipse where r is a minimum

r_a apogee distance = $a(1 + e)$

h_a apogee altitude = $r_a - R$

r_p perigee distance = $a(1 - e)$

h_p perigee altitude = $r_p - R$

איור 3: גיאומטריה של מסלול אליפטי סביב לכדור הארץ

זמן מחזור (זמן הקפה)

זמן מחזור (T min) של לוין נתון כפונקציה של חצי רדיוס גדול (a Km).

$$T = \frac{4\pi^2}{G * M} a^3$$

M-مسע הארץ.
G-קבוע הגרביטציה.

$$T = 165.87 * 10^{-6} * a^{\frac{3}{2}}$$

$$a = 331.25 * T^{\frac{2}{3}}$$

דוגמה

לוין 10/11 - RS נעה במסלול מעגלי בגובה 1003 ק"מ. חשב זמן הקפה.

גובה הלוין ממרכז "כדור הארץ" יהיה

$$r = 6371 + 1003 = 7374 \text{ Km}$$

לכן :

$$T = 165.87 * 10^{-6} * a^{\frac{3}{2}} = 165.87 * 10^{-6} * (7374)^{\frac{3}{2}} = 105 \text{ min}$$

דוגמה

מסלול אוסקר 13 מאופיין על ידי אפוגי (hp) של 36,265 ק"מ ופריגי (ha) של 2545 ק"מ. מהו זמן הקפה?

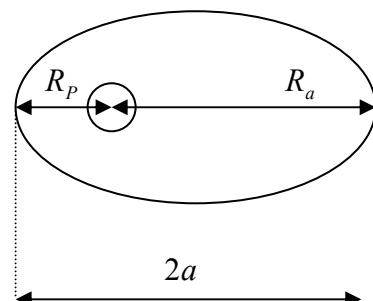
$$\text{רדיוס כדור הארץ} = 6371 \text{ Km}$$

$$r_a = 36265 + 6371 = 42636 \text{ km}$$

$$r_p = 2545 + 6371 = 8916 \text{ km}$$

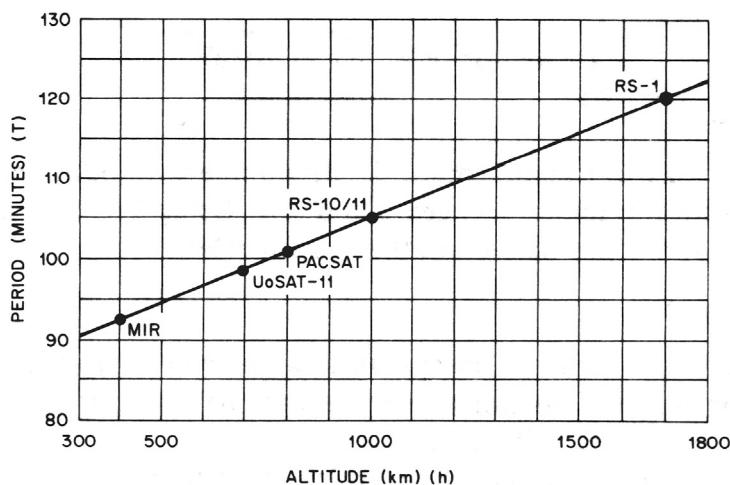
$$2a = r_a + r_p$$

$$2a = 51552 \text{ km}; a = 25776 \text{ km}$$



$$T = 165.87 * 10^{-6} * a^{\frac{3}{2}} = 165.87 * 10^{-6} * (25776)^{\frac{3}{2}} = 686.4 \text{ min} = 11h26.4 \text{ min}$$

איור 4 מראה את הקשר שבין זמן הקפה של לוויין וגובהו עבור לוויינים במסלול מעגלי נמוך.



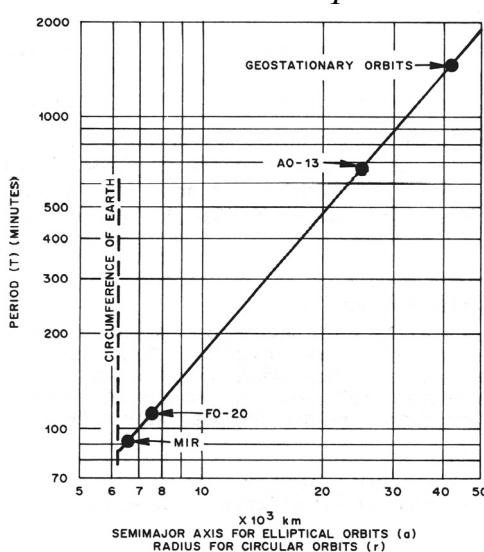
איור 4: זמן מחזור כפונקציה של גובה הלוויין במסלול מעגלי נמוך

איור 5 מראה תוצאה נוספת שמת皈טת ממשוואת זמן הקפה. במקרה זה זמן המחזור הוא כפונקציה של מחצית הקוטר הגדול של האליפסה (a)semimajor

MM (Mean Motion)

מוגדר כמספר המחזורים (מפריגגי לפגיגי) שמשלים לוויין ביום סולרי (1440 דקות).

$$MM = \frac{1440}{T}$$



איור 5: זמן מחזור כפונקציה של חצי קוטר גדול של האליפסה

מהירות הלוין V

מהירות הלוין משתנה בהתאם למיקומו במסלול.

$$v^2 = G * M * \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right) = 3.986 * 10^{14} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)$$

r - מרחק הלוין [m]
a - מהירות הלוין [m/sec]

עבור מסלול כלשהו המקדמים G , M , a הם קבועים.
לכן מהירות הלוין תלויות א' וرك ב' .

מהירות הלוין מוגבלת בין שני ערכיהם, ערך מרבי בפריגי, וערך מזערי באפוגי.
כיוון וקטור המהירות משיק תמיד למסלול הלוין.

עבור מסלול מעגלי קיבל הנוסחה הנ"ל את צורתה :

$$v^2 = \frac{GM}{r} = (3.986 * 10^{14}) \frac{1}{r}$$

מסקנה : במסלול מעגלי מהירות הלוין קבועה!

דוגמה

אוסקר 7 (איינו פעיל כיום) נשר במסלול בגובה
1460Km , במסלול מעגלי . מהי מהירותו ?

$$V^2 = \frac{GM}{r} = (3.986 * 10^{14}) * \left(\frac{1}{r}\right)$$

$$r = 1460 + 6371 = 7.831 * 10^6 m$$

$$V^2 = \frac{3.986 * 10^{14}}{7.831 * 10^6} = 0.509 * 10^8 (m/s)^2$$

$$V = 0.7134 * 10^4 = 7134 m/sec$$

דוגמה

אחרי החמראה היה לאוסקר 13 גובה אפוגי
 ופריגי $h_p = 2545 \text{ Km}$. מהי מהירותו באפוגי? בפריגי?
 השווה בין מהירות אוסקר 13 בפריגי לבין של אוסקר 7
 $(h = 1460 \text{ Km})$

$$a = 25776 \text{ Km}$$

$$r_a = 42636 \text{ Km}$$

$$r_p = 8916 \text{ Km}$$

$$V^2 = 3.986 * 10^{14} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

$$V^2 = 3.986 * 10^{14} \left(\frac{2}{42636000} - \frac{1}{25776000} \right) = 3.2338 * 10^6 (\text{m/sec})^2$$

$$V = 1798 \text{ m/sec}$$

באפוגי

בפריגי

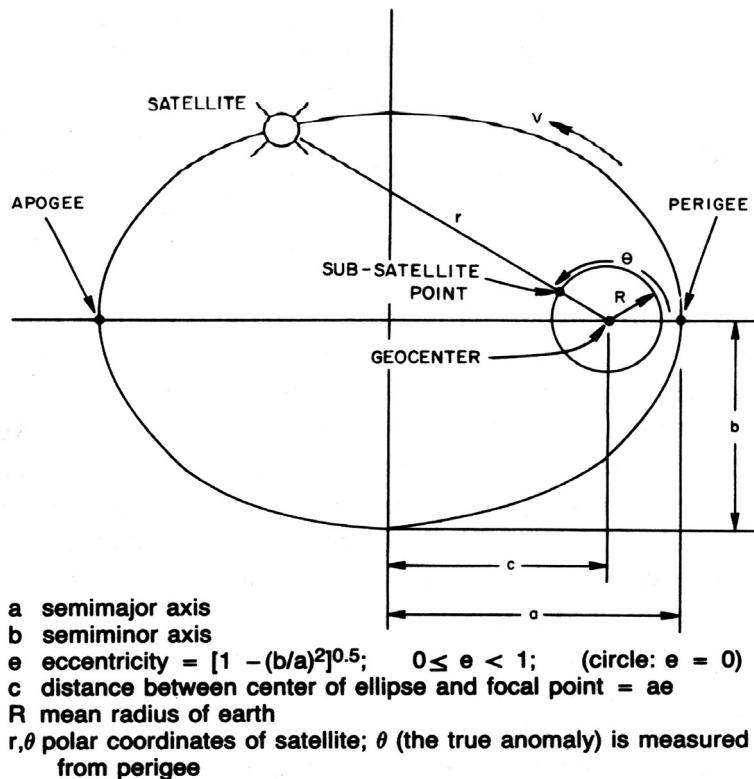
$$V^2 = 3.986 * 10^{14} \left(\frac{2}{8916000} - \frac{1}{2577600} \right) = 73.948 * 10^6 (\text{m/sec})^2$$

$$V = 8599 \text{ m/sec}$$

בפריגי אוסקר 13 נע ב 20% מהר יותר מאשר אוסקר 7.

מיקום לוין

איור 6 מראה מיקום לוין בקואורדינטות פולריות r, θ . θ נמדד מהפריגי.



geocenter: position of center of mass of earth
 sub-satellite point: point where r intersects surface of earth
 altitude (height): $h = r - R$
 apogee: point on orbital ellipse where r is a maximum
 perigee: point on orbital ellipse where r is a minimum

$$\begin{aligned} r_a & \text{ apogee distance} = a(1 + e) \\ h_a & \text{ apogee altitude} = r_a - R \\ r_p & \text{ perigee distance} = a(1 - e) \\ h_p & \text{ perigee altitude} = r_p - R \end{aligned}$$

איור 6: גיאומטריה של מסלול אליפטי עבור לוין סביב כדור הארץ

עבור לוין במסלול מעגלי הנע ב מהירות קבועה

$$\theta = \frac{t}{T} * 360^{\circ} [{}^{\circ}] \quad \theta = 2\pi \frac{t}{T} [rad]$$

במסלול אליפטי מהירות הלוין משתנית, ניתן לחשב את הקשר בין t ו- θ מחוקיק קפלר.

במסלול אליפטי הזמן מהפריגי נתוון ע"י

$$t = \frac{T}{2\pi} \cdot (E - e \sin E)$$

E-Eccentric anomaly

הזווית E מוגדרת ע"י המשוואة

$$E = 2 \cdot \text{arc} \cdot \text{tg} \left[\left(\frac{1-e}{1+e} \right)^{0.5} + \text{tg} \frac{\theta}{2} \right] + 360^0 \cdot n$$

משוואה זו יכולה להופיע במספר צורות נוספות כדוגמת:

$$n = \begin{cases} 0 & @ \quad -180^0 \leq \theta \leq 180^0 \\ 1 & @ \quad 180 < \theta \leq 540^0 \end{cases}$$

$$E = \text{arc} \cdot \sin \left[\frac{(1-e^2)^{0.5} \sin \theta}{1+e \cdot \cos \theta} \right]$$

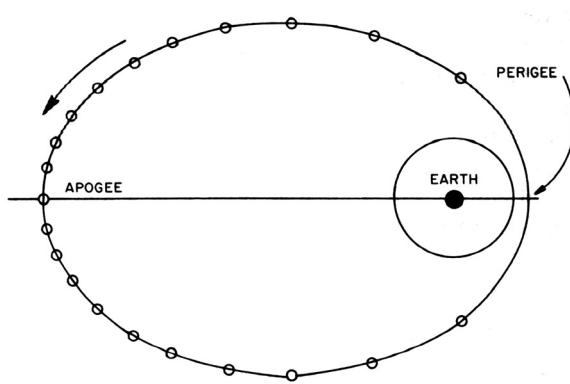
$$E = \text{arc} \cdot \cos \left[\frac{e + \cos \theta}{1+e \cdot \cos \theta} \right]$$

שים לב שהמושג "anomaly" מתיחס למיליה זוויות

הקשר בין מרחק הלוין r מכדור הארץ
כפונקציה של הזווית θ

$$r = \frac{(1-e^2)}{1+e \cos \theta}$$

תוצאות אלה מוצגות באירור 7



איור 7: דיאגרמת מסלול אליפטי של 12 שעות הקפה. על המסלול מצוינות מיקום הלוין במרוחקים של חצי שעה. קרובה לאפוגוי הלוין נע יחסית לאט.

תיקונים למודל המופשט

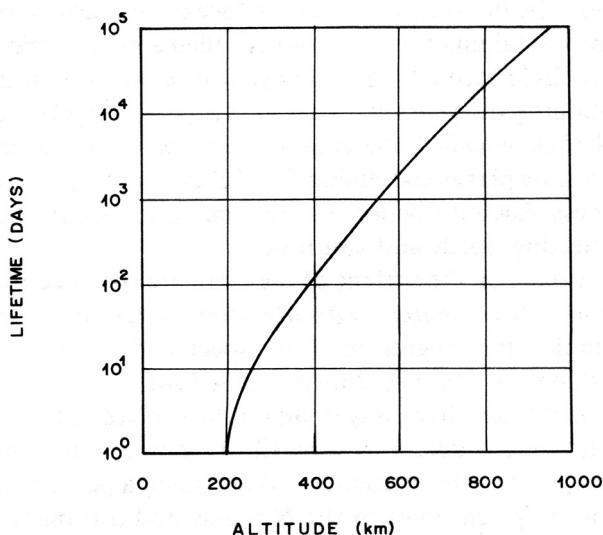
המודל הפשט שهواتג עד עתה מושפע ממספר גורמים נוספים.

1. בעיות של שני גופים, הנקודה הקבועה היא מרכז הכביד של המערכת ולא המרכז הפיזי. מסת האדמה גדולה בהרבה ממסת הלוין, כך שתיקון זה זניח.

2. אם נטפל באדמה כנקודת מסה כמשמעותה נניח שאופן חלוקת המסה באדמה היא כדורית סימטרית. למעשה אם ניקח בחשבון את האסימטריות של האדמה נראה שיש כוח נוסף מרכזי הפועל על הלוין. כוחות אלה פועלים בסדר גובה יותר מאשר $\frac{1}{r}$ (לדוגמה $\frac{1}{r^3}, \frac{1}{r^4}$ וכו'). הם גורמים לקוטר הגדל (ה-major axis) של מסלול האליפסה לנوع באיטיות במישור הלוין ומיישור של הלוין ישתובב סביב לציר N - S של כדור הארץ.

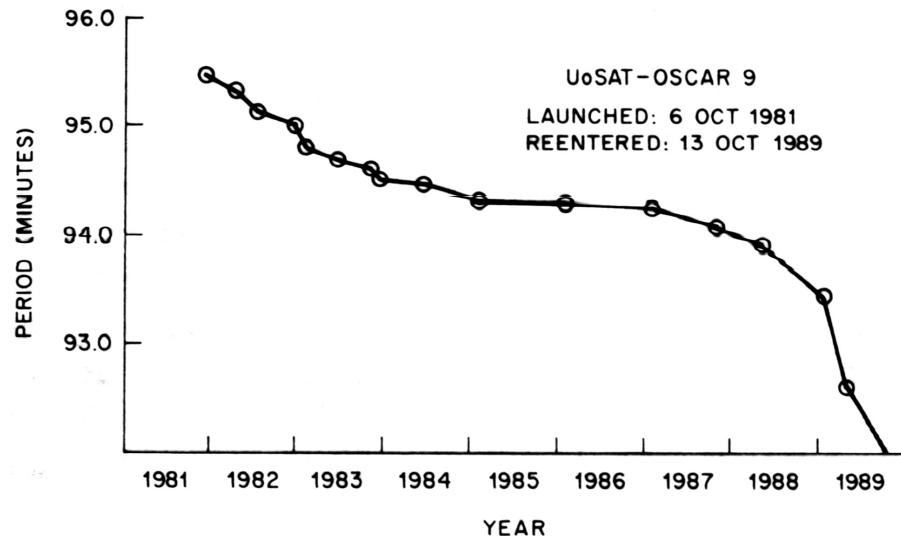
3. הלוין מושפע ממספר כוחות נוספים כתוצאה של כדור הארץ. לדוגמה: לכוח הגרביטציה של השמש, הירח, כוכבים אחרים וחיכוך עם האטמוספרה.

איור 8 מציג אורך חיים של לווין במסלול מעגלי כפונקציה של גובהו בהתייחס להערות הניל.



איור 8: זמן חיים של לוויין במסלול מעגלי

4. לפעילות המשמש יש השפעה רבה על לוויינים בגובה 300 עד 600 ק"מ. פעילות המשמש הגבוהה גורמת להגדלת צפיפות האטמוספירה ולגרר גדול יותר של הלוויין. הדבר נראה בברור ב "オスקר 9" (איור 9). הצפי היה חיים של 5-3 שנים, אך בגלל פעילות שמש נמוכה בין שנים 87-84, המשיך הלוויין לחוג עד 1989.



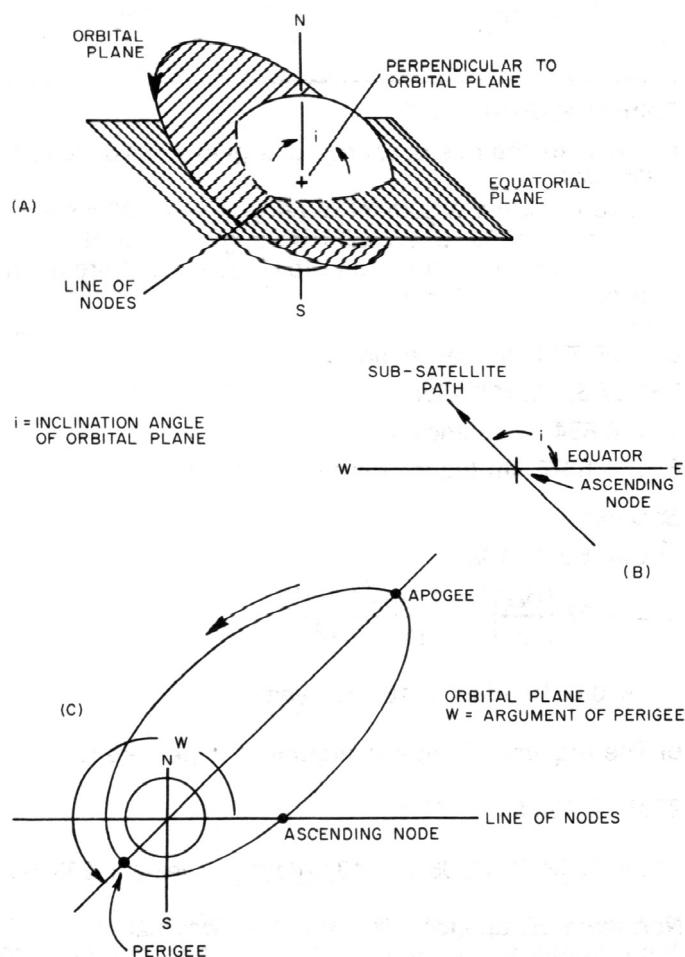
איור 9: תקופת החיים של הלוויין OSCAR 9

תנועת הלוון - הגדרות

great circle: החיתוך של משטח כדור הארץ וכל מישור המכיל את הcyllinder את הcyllinder נקרא great circle.

זווית הנטייה (inclination): זווית האינקלינציה i היא הזווית בין הcyllinder המקשר את מרכז כדור הארץ והקווטר הצפוני והקו בין מרכז כדור הארץ הניצב למישור ההקפה.

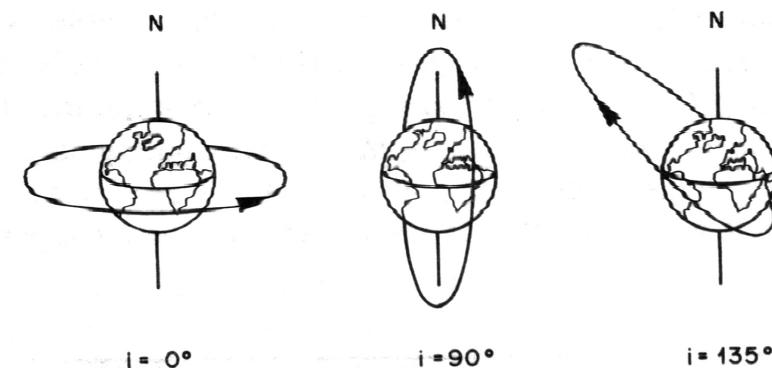
הנדלה אקוויילנטית: הזווית שבין קו המשווה למסלול הלוון כאשר הלוון עולה מחצי הcyllinder הדרומי לצפוני.



איור 10: מבט של מישור המסלול יחסית למישור קו המשווה נתון על ידי זווית האינקלינציה i . מיקום הפריגני במשור ההקפה נתון על ידי W (argument of perigee)

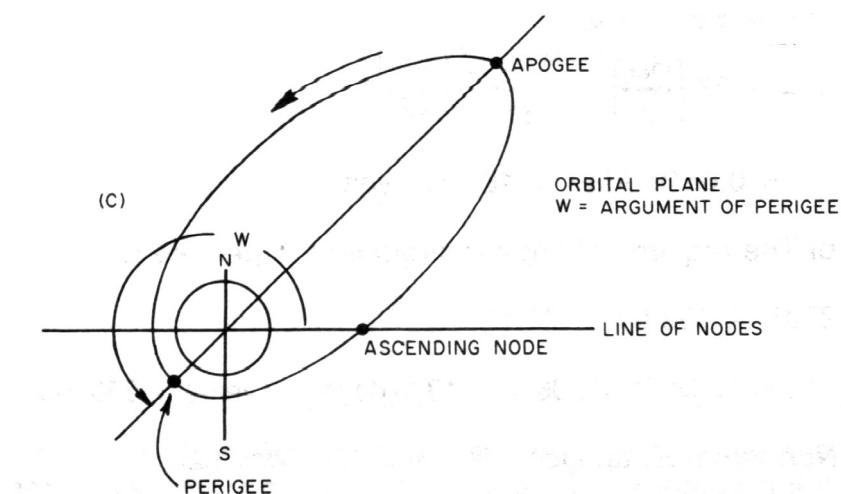
איור 11 מראה שלוש אפשרויות לזווית אינקלינציה:

$$\begin{aligned} \text{מסלול פולרי (קוטבי)} & i = 90^\circ \\ \text{מסלול משווני} & i = 0^\circ; 180^\circ \end{aligned}$$



איור 11: מסלולי לווין עם זווית אינקלינציה של 0° , 90° ו- 135° מעלות.

איור 12: הגדלת הזווית ω : Argument of perigee



איור 12: הגדלת הזווית ω

המונח longitude increment (תוספת בקו אורך), או increment, מוגדר כשיעור בקו האורך בין שני פעמים שהלוין עולה מדרום לצפון (ascending mode).

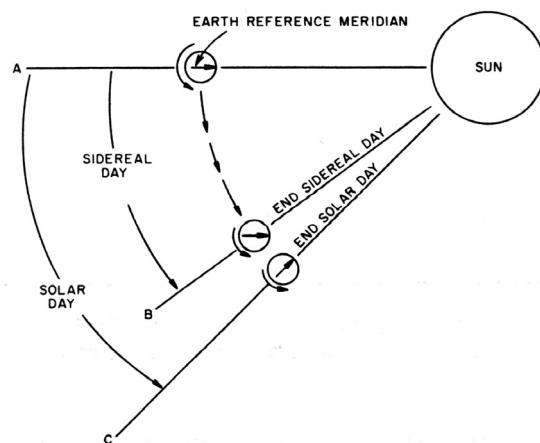
$$\text{באופן מתמטי} \quad I = \lambda_{n+1} - \lambda_n$$

כאשר: λ_{n+1} - קו אורך לכוון מזרח לגריניץ

λ_n - קו אורך קודם
[0°/ rav] i - נתון ביחידות

Solar and Sidereal Time

הו יומ של 24 שעות (1440 דקות). איוור 13 מראה כיצד ניתן למדוד יוםשמי. יוםשמי מתחילה מנקודה A כאשר השמש חוצה קו אורך מסוים ומסתיימים בנקודה C. כאשר השמש חוצה פעם נוספת את קו האורך. בגלל תנועת הארץ יחסית לשמש. הארץ מסתובבת קצת יתר מ- 360 מעלות במשך יוםשמי. הזמן עבורו כדור הארץ מסתובב בדיק 360 מעלות נקרא בשם: Sidereal day. כאשר משתמשים במושג יום "day" מתכוונים ליום הסולרי.

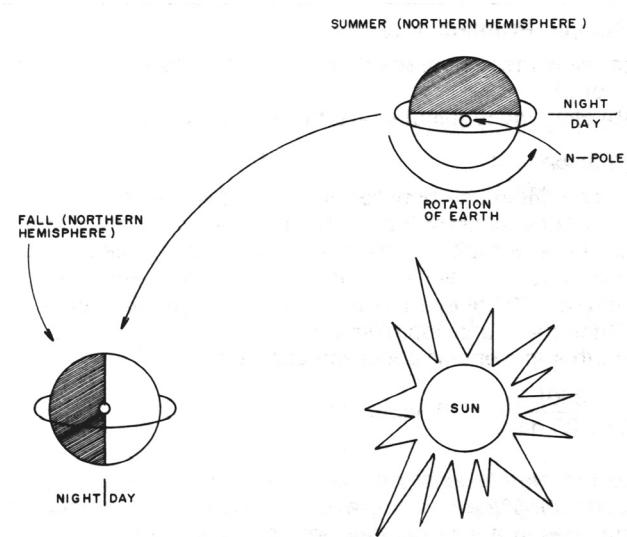


איור 13: האיוור מראה את הקשר בין יוםשמי ליום כוכבי מנקודת מבט של כוכב הצפון. היום הנמדד מתחילה מנקודה A המכונה אל השמש. היום הכוכבי מסתיים ב- C כאשר כדור הארץ עשה סיבוב של 360 מעלות. היום הסולרי מסתיים בנקודה B כאשר כדור הארץ פונה בדיק אל השמש.

מסלול לווני

מסלול מעגלי (Circular orbits)

איור 14 מראה מסלול מעגלי שמיישר התנועה שלו קבוע בחלל כאשר כדורי הארץ נע סביב לשמש.



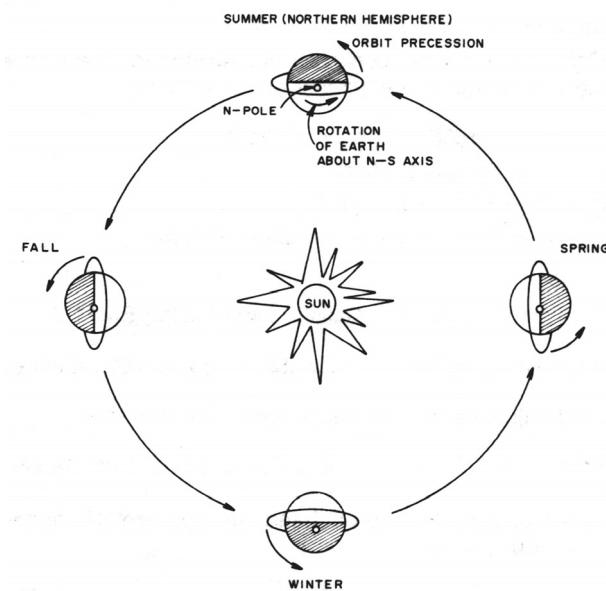
איור 14: האייר מראה לווני שמיישר מסלולו קבוע בחלל. המבט הוא מעניין צופה הנמצא על כוכב הצפון.

מסלול מסונכרן עם השמש (Sun synchronous orbits)

(איור 15) מיישר מסלול הלויין עושה סיבוב של 360° מעלות בשנה. מסלול כזה (הקרוב ל – 360° מעלות) נקרא בשם מסלול מסונכרן עם השמש. במסלול כזה הלויין עובר באותו מקום באותו שעת כל יום.

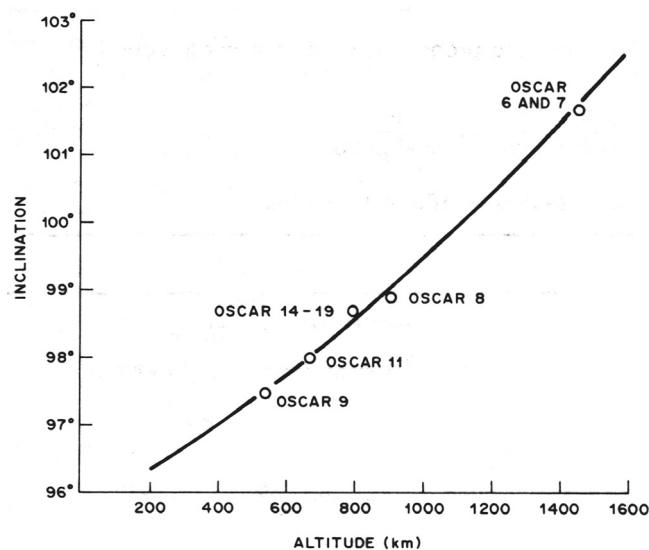
מסלול כזה מאפשר העברת מידע ונתונים באופן נח ביותר. כדי להשיג סיבוב של 360° מעלות בשנה, של מיישר המסלול. אלו זוקקים להתקדמות המיישר של $0,986^{\circ} / day$

$$(360^{\circ} / 365.25 days)$$



איור 15 : מסלול מסונכרן עם השמש

זווית האינקלינציה במסלולים נמוכים יהיה קרוב מאוד למסלול מעגלי (איור 16)



איור 16: איור המראה ערכי זווית האינקלינציה עבור לוויינים במסלול מעגלי במסונכרנים עם השמש

מסלול גיאוסטטיוני (Geostationary orbit)

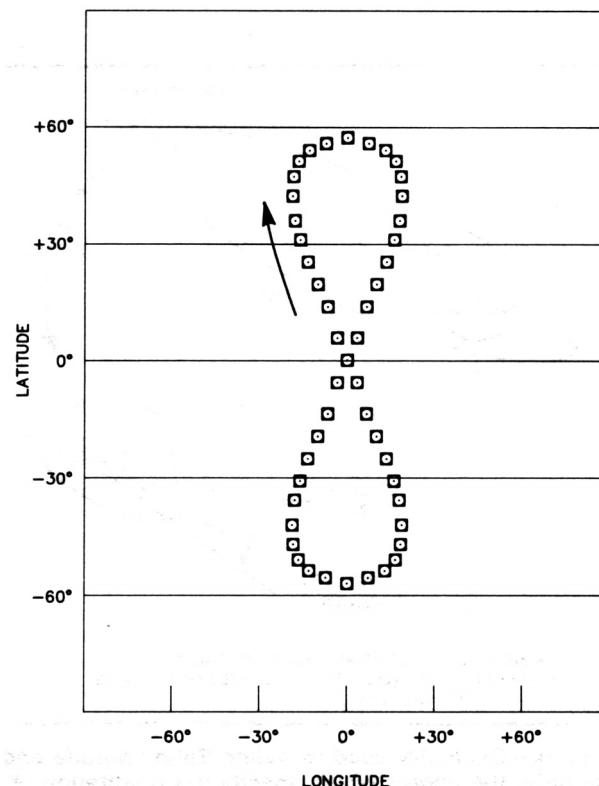
לווין שהוכנס למסלול עם זווית אינקלינציה 0° יישאר תמיד מעל קו המשווה.

אם לוין כזה הוא במסלול מעגלי (מהירות קבועה), ונע ממערב למזרח בגובה 35800km, נקבל שהמהירות הזרותית שלו תהיה שווה לזה של כדור הארץ (זמן מחזור של 24 שעות).

לווין כזה נראה עומד מעל הראש ללא תזוזה, מסלול כזה נקרא מסלול גיאוסטטיוני.

מספר יתרונות לוין תקשורת במסלול כזה. אין אפקט דופלר ואין צורך בעקביה אחריו.

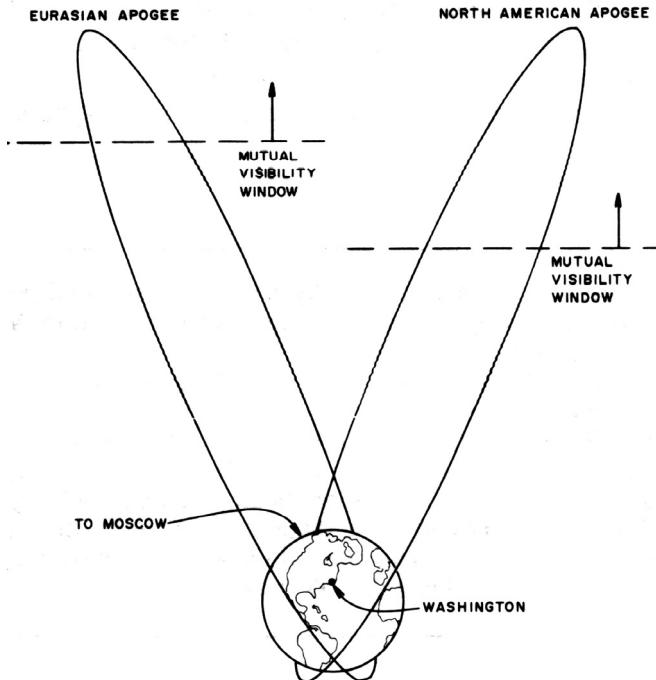
מסלול כזה מאפשר תקשורת קבועה עם פחות מחצי כדור הארץ. אם זווית האינקלינציה אינה במדויק 0° מעלה, לוין לא יישאר קבוע בחלל אלא ייצור תנועה המזכירה את הספרה 8.



איור 17: מסלול עקיבת הקrukע של לוין במסלול מעגלי עם מחזור של 24 שעות וזווית אינקלינציה של 0° מעלות. הנקודות מצינורות מרוחקי זמן של חצי שעה.

מסלול מונייה (molniya)

כאשר $i = 63.4^{\circ}$ יישאר קבוע ה- $\arg\text{of perigee}$ אם וזמן המחזור 12-8 שעות נקבל מסלול עם כמה תכונות מיוחדות.



איור 18: מיקום ייחסי של שני מסלולי מונייה במצב האפוגאי. למשה מישור המסלול נשאר קבוע בחלל כאשר כדור הארץ משתמש. באיוור שני מסלולים אחד מעל וושינגטון והשני מעל מוסקבה.

עבור לוין שזמנן מחזוריו 12 שעות יהיה אותו קשר כ-9 שעות. עבור לוין כזה הקשר בין מוסקבה לוין הוא 18 שעות ביממה בין וושינגטון לוין 16 שעות ביממה. והקשר בין וושינגטון למוסקבה 12 שעות ביממה, שימוש בשלושה לוויינים כאלה מאפשר קשר רציף כל שעות היום.

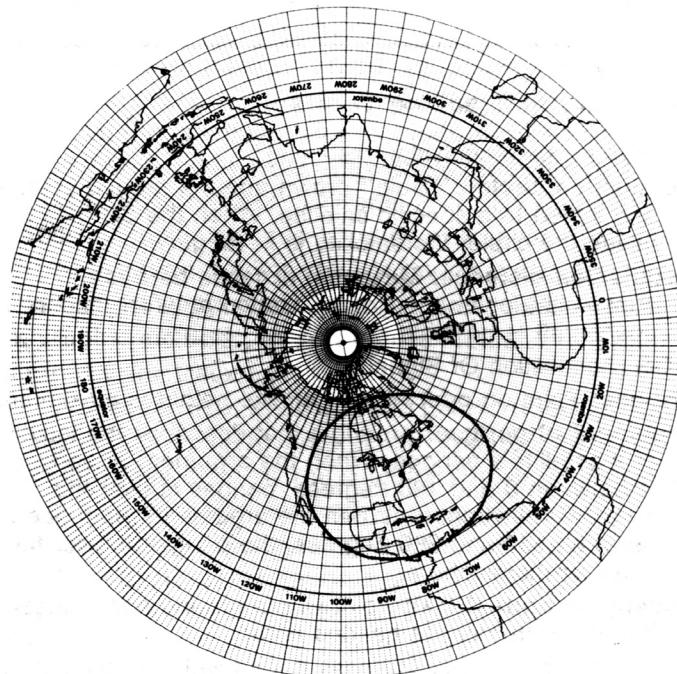
עקיבת-הגדרות

Subsatellite point (SSP)

נקודות היטל הלוין על פני כדור הארץ, נקודת זו נעה בהתאם לתנועת הלוין בחלל (מלבד לוין גיאוסטציוני), תנועה זו יוצרת עקום על הקרקע שנקרא בשם . Ground track או Subsatellite path

Acquisition distance

כאשר SSP נמצא בתחום ההשגה אפשר יהיה לקלוט אותו. איור 19 מראה את מרחק ההשגה של לוין אוסקר 8 סביב וושינגטון.



איור 19: מעגל השגה אופייני, במקרה זה מעל וושינגטון

AOS

התרחש כאשר SSP נכנס לתוך מעגל הקליטה.

LOS

התרחש כאשר SSP יצא ממעגל הקליטה.

Nodes

עבור רוב המסלולים ה - ground track חוצה את קו המשווה פעמיים בהקפה. שתי הנקודות נקראות בשם Nodes.

Ascending Node

התרחש כאשר SSP חותך את קו המשווה בעלייה מחצי הצדור הדרומי לצפוני.

Descending Node

נקודה בה SSP חוצה את קו המשווה במעברו מחצי הצדור הצפוני לדרומי.

EQX

Ascending node סימן נוסף ל- (Equator Crossing)

Mean motion

מספר מחזוריים ביממה.

עקביה

הטבלה מראה דוגמה של פلت מחשב עבור עקביה של אוסקר 13

AMSAT-OSCAR 13

Ground Station: Lat = 39°N, Long = 77°W, Ht = 0 km
Minimum Elevation = 0 degrees

Day # 358 - - - Friday, December 23 - - - 1988

UTC HHMM	AZ deg	EL deg	DOPPLER Hz	RANGE km	HEIGHT km	LAT deg	LONG deg	PHASE <256>
1145	167	5	—	23325	18353	-29.8	62.7	34
1200	166	11	-1867	25068	20664	-25.2	62.5	40
1215	165	16	-1733	26686	22773	-21.1	63.1	45
1230	166	21	-1596	28176	24694	-17.5	64.2	51
1245	166	26	-1462	29541	26438	-14.3	65.7	57
1300	168	30	-1332	30784	28017	-11.4	67.5	62
1315	170	33	-1206	31910	29438	-8.7	69.5	68
1330	173	37	-1083	32922	30711	-6.2	71.6	73
1345	175	40	-966	33823	31843	-3.9	73.9	79
1400	179	42	-851	34617	32838	-1.6	76.2	85
1415	183	45	-739	35308	33701	0.5	78.7	90
1430	187	47	-630	35896	34437	2.5	81.1	96
1445	192	49	-523	36384	35049	4.5	83.6	101
1500	197	51	-416	36773	35540	6.4	86.2	107
1515	202	52	-311	37063	35911	8.3	88.7	113
1530	208	53	-206	37255	36164	10.1	91.3	118
1545	213	54	-100	37348	36300	11.9	93.8	124
1600	219	55	7	37341	36320	13.7	96.4	129
1615	225	55	116	37233	36224	15.5	98.9	135
1630	231	55	226	37022	36011	17.3	101.4	141
1645	237	54	840	36705	35680	19.2	103.8	146
1700	243	54	456	36279	35231	21.0	106.2	152
1715	248	53	577	35741	34661	22.9	108.5	157
1730	254	53	703	35084	33967	24.8	110.8	163
1745	259	52	835	34305	33148	26.8	112.9	168
1800	264	51	973	33396	32198	28.9	114.9	174
1815	269	51	1119	32351	31114	31.0	116.7	180
1830	273	50	1276	31160	29890	33.3	118.3	185
1845	278	49	1442	29813	28520	35.6	119.6	191
1900	283	49	1621	28300	26996	38.1	120.5	196
1915	287	49	1815	26606	25310	40.8	120.9	202
1930	293	49	2027	24714	23451	43.7	120.6	208
1945	298	50	2258	22606	21407	46.8	119.2	213
2000	305	51	2511	20262	19166	50.0	116.2	219
2015	313	54	2784	17663	16715	53.3	110.6	224
2030	326	57	3066	14801	14045	56.3	100.8	230
2045	348	60	3300	11720	11160	57.5	84.5	236
2100	30	58	3243	8692	8115	53.9	61.2	241
2115	75	30	1933	6887	5126	39.9	36.4	247

בשורה הראשונה מופיעים נתונים של התחנה הקולטת. קו אורך, קו רוחב וגובה התחנה מעל פני הים.

הנתונים שהתקבלו הם עבור תחום של 24 שעות מ- 00:00UTC ב- 1988 dec 23 (Time step 15 דקות). המידע הוא במרווחי זמן של 15 דקות. כאשר נדרש 0° Elevation.

הנתונים שהתקבלו מלמדים שבאים זה הלוויןאפשר קשר של כ 9.5 שעות, מתוכן בין 20:15 - 14:15 (6 שעות) הוא נשאר בזווית הגבהה (Elevation) כמעט קבועה בין 45 ל- 55 מעלות. בשעות אלה ניתן למקם את האנטנה לזוויות הגבהה קבועה של 50 מעלות.

עמדות LAT ו-LONG מציניות את ה-ג.צ. עברו Subsatellite point - סטייה התדר בהרצים שנובעת מהמהירות היחסית בין הלווין לכדור הארץ.

- Range - המרחק בין התחנה ללווין.

- Height - גובה הלווין מהקרקע (גובה פני הים)

- Phase - פרמטר מעניין במיוחד עבור עבודה עם לויני PHASE3 כמו אוסקר 13 יש מספר טרנספונדרים שאין יכולם לעבוד בו זמן, תוכנת הפעלה שלהם משתנית כל מספר חודשים כדי לאפשר ללווין לצבר אנרגיה מן השמש, ערכיהם אופייניים יכולים להיות כמו :

OFF : From MA 0 Until MA 49

Mode B : ON From MA 50 Until MA 159

Mode JL : ON From MA 160 Until MA 199

Mode B : ON From MA 200 Until MA 255

יחידות MA מתייחסות לעמדת ה- (Mean Anomaly) PHASE המונח Anomaly מתייחס פשוט לזוויות (Angle), האסטרונומיים מחלקים את המסלול ל-360 MA. בכלל מבנה המחשב נוח יותר לחלק את המסלול ל-256 יחידות של זמן שווה. מתייחסים להז' כ-MA- Phase unit 2.63 MIN לדוגמה יחידת MA של אוסקר 13 היא

ב- 0 MA מתחילה המסלול וב- 256 MA מסתיים המסלול (הלווין בפריגי). ב- MA128 הלווין באפוגי.

אלמנטי המסלול - אלמנטים כפלריינים

המקדים השימושיים לתיאור תנועה ומיקום לוין נקראים ORBITAL ELEMENTS , אם נתמקד בלוויניים שאין להם מערכת הנעה ואינם מושפעים מגירית האטמוספרה נראה שנו סט של ששה פרמטרים המתאימים לזמן מסויים (הנקרא Epoch), הפרמטרים מכילים 3 פרמטרים של מיקום ושלשה של מהירות, כולם במערכת קרטזית.

דוגמה לאלמנטים המיעדים לעקביה בעזרת מחשב:

Parameter name	value	units
Satellite:(1)	Oscar 13	
Catalog number	19216	
Epoch Year:	1988	
Epoch Time:	258.28144	days
Element set:	RUH9-88	
Inclination:	57.57	deg
RAAN:(2)	239.56	deg
Eccentricity:	0.6563	
Arg of Perigee:(3)	190.53	deg
Mean Anomaly:	0.0	deg
Mean Motion:	2.09699369	rev/day
Decay Rate(4)	0.	Rev/day/day
Epoch Rev:(5)	193	
Semi-Major axis:	25783	km
Bahn Latitude:(6)	0	deg
Bahn Longitude:(7)	180	deg

Alternate parameter names

- (1) Object
- (2) Right Ascension of Ascending Node; RA of Node
- (3)Argument of Perigee
- (4)Drag factor; Rate of change of mean motion, first Derivative of mean motion
- (5)Revolution number, orbit number
- (6) ALAT, BLAT
- (7)ALON, BLON

- שני הנתונים הראשונים מגדרים את שם הלוין ומספרו הקטלוגי (ID) . שניתן ע"י NASA .
- שני הנתונים Epoch Year , Time מתיחסים בזמן שהנתונים חושבו בחלק מהתוכנות יש להקליד את הנתונים יחד לדוגמה : 28144.88258 .
- Element Set מצין את מקור המידע לדוגמה RUH9-88-88 מצין שהמידע התקבל מ-Jim Miller בספטמבר 88 .

* ששת הנתונים הבאים הם נתוני המסלול

- inclination - זווית בין מישור המסלול למישור קו המשווה
- RAAN - Right Ascension of ascending node (Right Ascension of ascension node) מצין מצב מסלול הלווןיחסית לכוכבי שבת.
- Eccentricity - מצין את צורת המסלול.
- Argument of perigee - מצין היקן הפריגי של הלוון ממוקם במישור המסלול. כאשר ערך זה בין 180° - 360° הפריגי מעלה חצי הצדור הדרוםוי והאפוגאי יהיה מעלה הצדור הצפוני.
- Mean Anomaly MA0 -Mean Anomaly הלוון בפריגי, MA180-1 MA באפוגאי. ערכיהם בין 0° - 180° מציננים שהלוון נע לעבר האפוגאי. ערכיהם בין 180° - 360° הלוון נע לעבר הפריגי.
- Mean motion - מספר המחזורים שעושה הלוון כל יום.
- Decay rate - מספר המראה את השינוי ב-Mean Motion. מלמד כיצד האטמוספירה משפיעה על הגורר.
- Epoch revolution - Epoch revolution מספר מסלול למטרות ייחוס נקרא גם בשם Orbit Revolution number או- Revolution no.
- Semi major axis - מראה את הקוטר הגדול של מסלול הלוון.
- קווי אורך ורוחב של Bahn - נתונים שבuzzורתם ניתן לחשב נתונים נוספים כגון את פזילת האנטנה (Squint Angle) של הלוון יחסית לתחנת הקרקע, זווית 0° מראה שהאנטנה בדיקות מול תחנת הקרקע, נתונים אלה מסומנים לעיתים גם באופן A=Altitude או- ALON ,ALAT BLON ,BLAT

אלמנטים קפלריינים של NASA

נתוני המסלול ניתנים ע"י NASA כאוסף מספרים המופיעים בשתי שורות

Typical NASA TWO-Line Orbital Element set

ISSUE DATE: 6,1989

BLTN 36 ELEM 36 OBJ

1	2	3	4	5	6
123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789					
1 19216u	89147.06007421	0.00000137		10000-3 0	364
2 19216 57.2077 206.1830 6723768 204.7577 96.6993 2.09696457 7298					

Explanation

Heading

BLTN 36=Bulletin number 36

OBJ 19216 =NASA CATALOG number (19216 is OSCAR13)

Column numbers (1-69) are not provided .they have been added here to clarify NASA format

Line 1

Line number = 1

19216 = NASA catalog number

U = Unclassified

89147.06007421=Epoch(1989,day 147=may 27 at 01:26:30.41 UTC)

0.00000137 = First derivative (rate of change) of mean motion

364=Element set number 36:checksum 4

Line 2

Line number = 2

19216=NASA catalog number

*57.2077= Inclination(degrees)

*206.1830=RAAN(degrees)

*6723768=eccentricity(note: leading decimal point is missing)

*204.7577=Argument of perigee (degrees)

*96.6993=Mean anomaly (degrees): multiply by 256/360 for phase units

*2.09696457=Mean motion(rev/day)

7298=Revolution 729 at epoch: checksum 8

* Fundamental orbital elements at epoch required by all tracking programs

המרת תאריכים זמינים ומיקום

טבלת המרת בין יום/חודש ליום שנתי

day of year = day of month + number listed

month	normal year	leap year
january	0	0
february	31	31
march	59	60
april	90	91
may	120	121
june	151	152
july	181	182
august	212	213
september	243	244
october	273	274
november	304	305
december	334	335

דוגמה 1

Convert day 91089.37166448 to standard date/time notation.

Standard date/time notation

YY:MM:DD=Year:Month:Day
HH:MM:SS=Hour:Minute:Second

Epoch time: 91089.37166448

91089.37166448=1991;day of year 089;+0.37166448 day

day of year 089=59+30=march 30

(see table)

0.37166448 day=(0.37166448)(24) hours=8.919948 hours

0.9199475 hours=(0.9199475)(60) minutes =55.1969 minutes

0.1968512 minutes=(0.1968512)(60) seconds=11.81 seconds

Day 91089.37166448=1991, march 30 at 08:55:11.81 utc

דוגמה 2

Convert from (yy:mm:dd/hh:mm:ss) date/time notation to epoch time.

Date/time = 1991, march 30 at 8 hours, 55 minutes, 11.81 seconds =

= 91:03:30/08:55:11.81 (YY:MM:DD/HH:MM:SS)

month 3 + day 30 = 59+30 = 89 day of year (see table)

55 minutes = (55)(60) seconds = 3300 seconds

08 hours = (08)(60)(60) seconds = 28,800 seconds

08:55:11.81 = (28,800+3300+11.81) seconds =32,111.81 seconds

1 day = 86,400 seconds

32,111.81 seconds = (32,111.81/86,400)days = 0.37166447 days

epoch date/time: 91:03:30/08:55:11.81 = 91089.37166447

דוגמה 3

Angle conversions

To convert from degree West of Greenwich to degrees

East of Greenwich subtract from 360.

$$\begin{aligned} \text{Example (Washington , DC): } 77^\circ\text{W} &= (360 - 77)^\circ\text{E} \\ &= 283^\circ\text{E} \end{aligned}$$

To convert from degrees East Greenwich to degrees

West of Greenwich subtract 360.

$$\text{Example (Moscow): } 36^\circ\text{E} = (360 - 37)^\circ\text{W} = 324^\circ\text{W}$$

To convert from degree-minute to decimal degree notation

Example: 38 deg 41 min 16 sec

$$38 + 41/60 + 16/3600 = 38 + 0.6833 + 0.0044$$

$$= 38.6877 \text{ deg}$$

$$38 \text{ deg } 41 \text{ min } 16 \text{ sec} = 38.6877 \text{ deg}$$

To convert from decimal degree to degree-minute notation

Example: 38.6877 degrees

$$0.6877 \text{ deg} = (0.6877)(60) = 41.262 \text{ minutes}$$

$$0.262 \text{ minutes} = (0.262)(60) = 16 \text{ seconds}$$

$$38.6877 \text{ deg} = 38 \text{ deg } 41 \text{ min } 16 \text{ seconds}$$

דוגמה 4

Find the AMSAT day number corresponding to 10 September 1988

Let the date of interest be specified by:

Year = YY

Day of year = DOY (see Table)

The AMSAT day number (ADN) is given by

$$\text{ADN} = (\text{YY} - 1978) * 365 + (\text{DOY} - 1) + \text{INT}[(\text{YY} - 1977)/4]$$

Where the last term adjusts for leap years by taking the

Integer part of the quotient.

From the Table we note that 10 sep is the 254th day of 1988 (which is a leap year).

$$\begin{aligned} \text{ADN} &= (1988 - 1978) * 365 = (254-1) + \text{INT}[(1988-1977)/4] \\ &= 3650 + 253 + 2 = 3905 \end{aligned}$$

אפקט דופלר

כאשר קיימת תנוצה יחסית בין המשדר לבין המקלט, יהיה התדר הנקלט שונה מהתדר המשדר, לפי הנוסחה.

$$F_d = F_0 \pm \frac{V_r}{C} \cdot F_0$$

כאשר : F_0 -תדר המשדר

F_d -תדר נקלט

V_r -המהירות היחסית בין המשדר למקלט

C -מהירות האור.

היסט דופלר "Doppler shift" יוגדר כ-

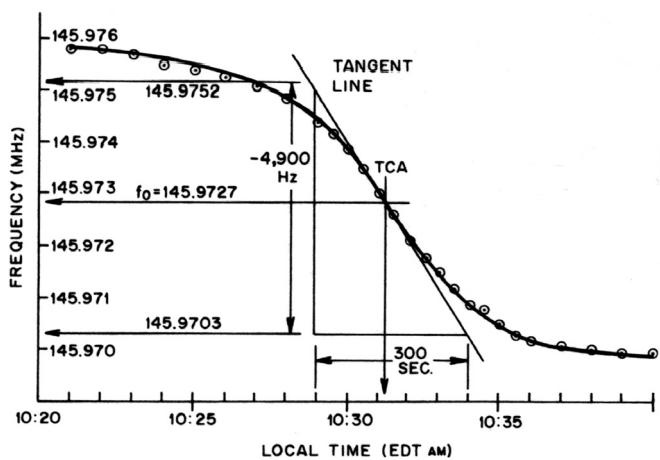
$$\Delta F = F_d - F_0 = \pm \frac{V_r}{c} \cdot F_0$$

או :

$$\Delta F = \pm \frac{V_r}{\lambda}$$

היסט דופלר יהיה חיובי אם המשדר והמקלט מתקרבים זה לזה.
היסט דופלר יהיה שלילי אם המשדר והמקלט מתרחקים זה מזה.

איור 20 מראה גרפית את התוצאות של היסט דופלר עבור אוסקר 7.



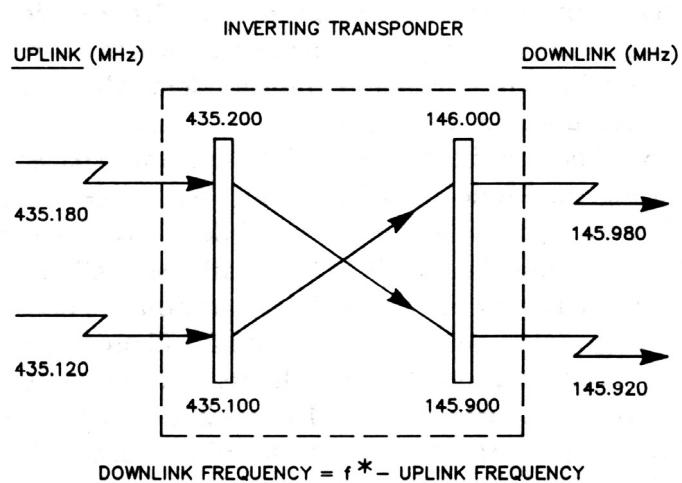
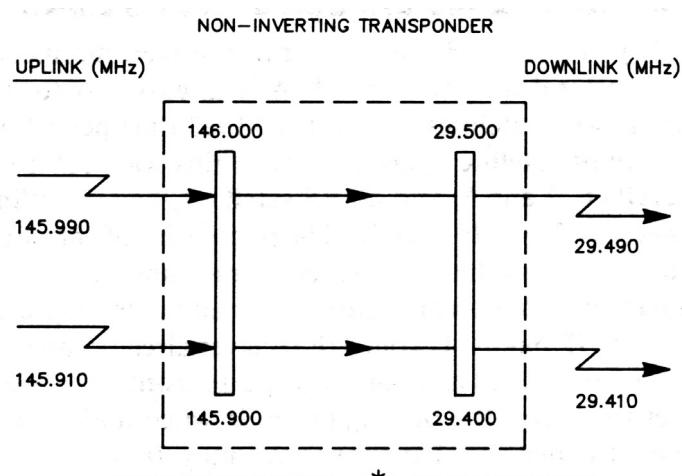
איור 20: עקום אפקט דופלר עבור מסלול 7603 של אוסкар 7 (14/7/1976) כפי שניצפה מהעיר בולטימור. שימוש בשלוש המסודRET ניתן להעריך את השיפוע

ב- TCA

$$m^* = (-4900 \text{ Hz}) / (300 \text{ sec}) = -16.3 \text{ Hz/s}$$

טראנספונדר - "משיב"

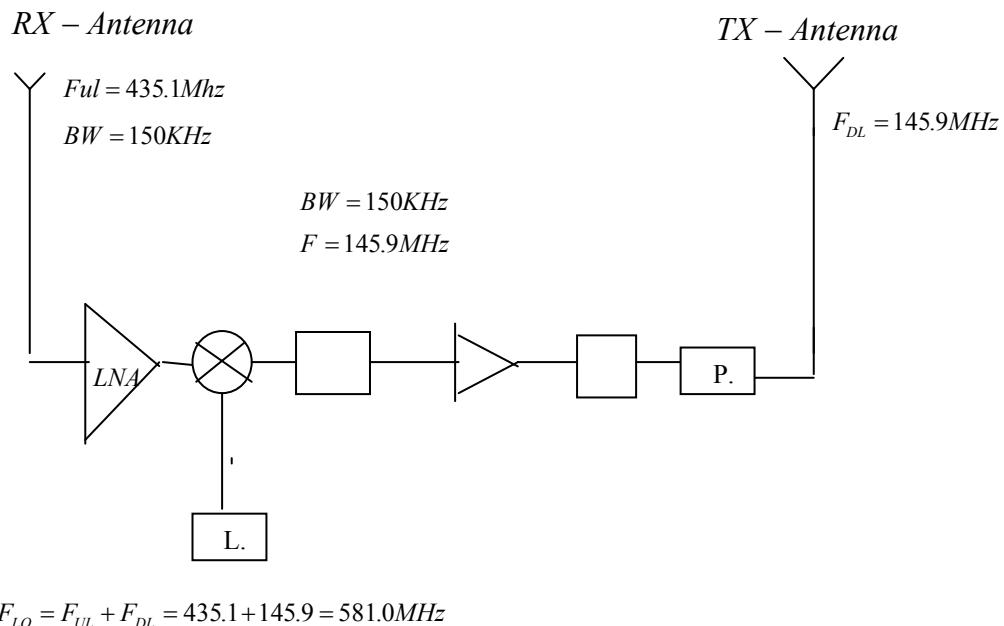
הטראנספונדר של הלוין פועל כתחנת ממסר של הקרן. הוא קולט בפס תדרים אחד, מגביר את האותות ומשדר אותן בפס תדרים אחר. איור 21 מראה שתי אפשרויות לבנות הטראנספונדר.



איור 21: משיב ללא המורה מוצג ב - A ואילו ב - B עם המורה

טראנספונדר ליניארי הוא כזה שנitin להעביר דרכו אותות של משתמשים רבים בו זמנית. טרנספורט לא ליניארי לעומתו מותאים למשתמש בודד בו זמנית.

מבנה טרנספונדר MODE B כפי שמצוין באוסקר 10 ו- 13 מוצג באյור הבא.



איור 22: מבנה הטרנספונדר

בחירת תדר מתנדז מקומי F_{LO} הגבוה מתדר נקלט גורם להפיכת ספקטרום התדרים בין תדר השידור לתדר הקלייטה. עקב זאת מוחסר היסט דופלר של U.L מהיסט הדופלר של D.L, שכן מצטמצם היסט הדופלר הדורש לתיקון בתחנת הקראקע.

מערכות הלוין

בנוסף לאנטנות והטרנספונדרים מכיל הלוין מערכות נוספות כדוגמת:

מערכת הכוח: המערכת מכילה תאי שמש, מצלבים, מייצבי מתח ועוז. תפקידה לספק אנרגיה חשמלית למערכות השונות של הלוין.

מערכת בקרת המיקום: מכילה אמצעים להנעת הלוין בשלושה צירים לצורך הפנית הצדדים המתאימים אל כדור הארץ לצורך שיידור וקליטה, ולאל השימוש לצורך טעינת המצלבים ע"י אנרגיית השמש ותאי-השמש.

מערכת הטלמטריה: משמשת למידידה ושידור נתונים שונים על מצלב הלוין וממערכותיו כדוגמת: טמפרטורה, מצב הספקים (מתח וזרם), זוויות הלוין ביחס לכדור הארץ ועוד.

מערכת פיקוד: המערכת כוללת פקודות מתחנת פיקוד הנמצאת על פני כדור הארץ, הפקדות הן לצורך ביצוע שינויים במערכות השונות של הלוין.

מערכת הבקרה הטרמינית: תפקידה לבקר ולהבטיח שטמפרטורת הרכיבים והמערכות השונות תהינה בתחום הרצוי כשהלוין נמצא במסלולו.

נספח א'

תחומי תדרים

חלוקת הספקטרום

שם עברי	תחום תדרים	שם לועזי
תדר נמוך (ת"ז)	30KHz-300KHz	Low Frequency (LF)
תדר בינוני (ת"ב)	300KHz-3MHz	Medium Frequency (MF)
תדר גבוהה (ת"ג)	3MHz-30MHz	High Frequency (HF)
תדר גובה (תג"ם)	30MHz-300MHz	Very High Frequency (VHF)
תדר אולטרא גבוהה (תא"ג)	300MHz-3GHz	Ultra High Frequency (UHF)
תדר סופר גבוהה (תש"ג)	3GHz-30GHz	Super High Frequency (SHF)
תדר קיצוני גבוהה (תק"ג)	30GHz-300GHz	Extremely High Frequency (EHF)

שמות הנדסיים לתחומי תדרים

שם התחום	תחום תדר
L Band	400MHz-1.5GHz
S Band	1.5GHz-3.9GHz
C Band	3.9GHz-6.2GHz
X Band	6.2GHz-10.9GHz
K Band	10.9GHz-36GHz
Q Band	36GHz-46GHz
V Band	46GHz-56GHz

בדרך כלל:

תחום 4GHz (4GHz עבר ערוץ מטה ו- 6GHz עבר ערוץ מעלה)

תחום Ku – פס 11/14GHz

תחום Ka – פס 20/30GHz

הקצתה מסלולים

תדר (GHz)	זווית הפרדה	מספר לוויינים אפשרי במסלול	זווית הגבההominimית של האנטנה הקתקעית
4/6	4 מעלות	90	10 מעלות
11/14	2 מעלות	180	30 מעלות
20/30	1 מעלה	360	30 מעלות

