<u>הרצאה V- מכניקה</u>

<u>תזכורת</u>: $\hat{r} = cos\theta\hat{x} + sin\theta\hat{y}, \hat{\theta} = -sin\theta\hat{x} + cos\theta\hat{y}$.

ע"פ כללי נגזרות נקבל כי $\vec{a} = \ddot{\vec{r}}(t) = \ddot{r}\hat{r} + \dot{r}\dot{\theta}\hat{\theta} + r\ddot{\theta}\hat{\theta} + r\dot{\theta}\dot{\hat{\theta}}$, ודברים נוספים שרכשנו בהרצאה הקודמת.

<u>הרצאה</u>: אנו מניחים כי הזווית מתנהגת בצורה פרופורציונית לזמן, ז"א $\theta(t) = \theta_0 + \omega(t - t_0)$. אם נציב בביטוי כי $\dot{r} = 0, \dot{\theta} = \omega$ נקבל שהגודל $\dot{\vec{r}} = r_0\omega\hat{\theta}$ ולאחר נגזרת נוספת נקבל $\ddot{\vec{r}} = -r_0\omega^2\hat{r}$. וע"פ הנוסחה נקבל $\omega T + \theta_0 = \theta_0 + 2\pi$ ומכאן ש$T = \frac{2\pi}{\omega}$.

ידוע מהו היקף המעגל P, נציב עבור הגודל של המהירות V ונקבל $|\vec{V}| = \frac{P}{T} = \frac{2\pi r_0}{T} = r_0\omega$. מדוע יש פה תאוצה? כי המהירות משנה כיוון, לכן נגזרתה שונה מאפס (היא וקטור) ולכן התנועה מואצת.

נראה כי: $\frac{d}{dt}(\vec{v}\vec{v}) = \frac{d}{dt}(\vec{v}^2) = 0 = \vec{v}\dot{\vec{v}} + \dot{\vec{v}}\vec{v} = 0$ לכן בהכרח שהם מאונכים זה לזה.

דוגמה: נניח שגוף נע במהירות התחלתית קבועה V_0 עם זווית θ עם ציר x. ע"פ ההגדרות הקודמות נקבל כי $\overrightarrow{r(t)} = r(t)\hat{r}$ וגם כי המהירות היא $\dot{\overrightarrow{r(t)}} = V_0\hat{r}$ והתאוצה, כצפוי, היא אפס. ניתן לראות כי השיטה הפולרית קונסיסטנטית עם תנועה בכיוון אחד.

נעבור לדוגמה טיפה יותר מורכבת, בה הזווית משתנה לפי הזמן, לא בצורה קבועה. לכן נקבל כי $\dot{\theta} = \omega(t), \dot{r} = 0, \ddot{\theta} = \dot{\omega}(t)$. נגזור את המיקום ונקבל $\ddot{\vec{r}} = -r_0\omega^2(t)\hat{r} + r_0\dot{\omega}\hat{\theta}$, $\dot{\vec{r}} = r\dot{\theta}\hat{\theta} = r_0\omega(t)\hat{\theta}$.

אנו רוצים לבדוק מתי המקדם של $\hat{r}$ מתאפס. ננחש כי $r(t) = r_0e^{\beta t}$. ונניח כי $\dot{r} = \omega = constant$. נגזור פעמיים את r נקבל ונציב ונקבל שוב כי: $\ddot{\vec{r}}(t) = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + (2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta})\hat{\theta}$. נציב את מה שפיתחנו: $\ddot{\vec{r}}(t) = (e^{\beta t}r_0\omega^2 - r_0e^{t\beta}\beta^2)\hat{r} + (\dots)\hat{\theta}$. ונקבל כי $\beta = \pm\omega$, כדרוש ■. חשוב לשים לב כי $v_r \neq \int a_r dt$. ז"א , **בהצגה הפולרית אין אפשרות לפרק את הוקטורים לצירים**.

עד כאן קינמטיקה. הבוחן הראשון יהיה על הנושא הזה.

<u>חוקי ניוטון</u>:

כל חפץ שנראה לנו במנוחה אין הוא באמת נייח מאחר והוא סובב סביב הציר של כדור הארץ. זמן המחזור של כד"הא סביב עצמו $T = 8.6 \times 10^4$. בשניות.. ניתן להציב ולקבל כי $\omega = \frac{2\pi}{T} = 7 \times 10^{-5}\frac{rad}{s}$ כי רדיוס כדור הארץ הוא $R = 6.4 \times 10^6 m$. נחשב את המהירות הקווית שלו ונקבל $v = \omega R = 420\, {}^{m}/{}_{s}$. ונחשב את התאוצה של כל גוף שנראה לנו נייח: $a = \omega^2 r = 3 \times 10^{-2}\frac{m}{s^2}$.

תנועה סביב השמש: $V = 3 \times 10^4\, {}^{m}/{}_{s}, R = 1.5 \times 10^{11}m, \omega = 2 \times 10^{-7}s^{-1}, T = 3 \times 10^7\, s$. נחשב את התאוצה (בגלל שכיוון המהירות משתנה) שהיא: $a = 6 \times 10^{-3}\, {}^{m}/{}_{s^2}$.

כל מערכת השמש נעה סביב מרכז כלשהו של שביל החלב, שנותן זמן כולל של 250 מיליון שנה. זמן המחזור $T = 6 \times 10^{15}s$ רדיוס הסיבוב הוא $R = 3 \times 10^{20}m$ תאוצה $\omega \sim 3 \times 10^{-10}\, {}^{m}/{}_{s^2}$. ונקבל מהירות אדירה של $V = 3 \times 10^5\frac{m}{s}$.

מיד מתבקשת השאלה לגבי סיבוב של שביל החלב סביב משהו, וכך שאינסוף לדבר. התשובה היא שאין זה משנה מאחר ובמערכת אינרציאלית חוקי הפיזיקה עובדים בכל מקרה.

הגדרה של מערכת אינרציאלית: מערכת שבה גוף ששקול הכוחות עליו 0 מתמיד במצבו (או להיות נייח או מהירות קבועה) תקרא מערכת אינרציאלית. צריך להגיע למצב שאין במערכת כוחות חיצוניים , ואם נראה שגוף מתמיד מאחר ולא פועלים עליו כוחות אזי המערכת אינרציאלית. ממבט בכוכבים מרוחקים ניתן לראות שקיימת מערכת כזו. (קפיצת דרך ענקית)

החוק הראשון של ניוטון: קיימת מערכת אינרציאלית. אם שקול הכוחות על גוף מסויים הוא אפס, הגוף יתמיד במצבו.

החוק השני של ניוטון: $\sum_i \vec{F_i} = m\vec{a}$. קיים יחס ישר בין התאוצה ושקול הכוחות. לא פרופורציוני למהירות .

בהצראה הבאה נדבר על החוק השלישי של ניוטון, ונתחיל ליישם זאת. (לפתור תרגילים במכניקה).

*ליטר אחד של מים בארבע מעלות צלזיוס נקבע להיות קילוגרם.