

מכניקה קלאסית - חלק 13

מערכות יחס ומהות נקודות

(I) עיקרון היחסות

ר"ב חוקי ניוטון, אף ינוצ במהירות קבועה אדם סכום הכוחות
 היסודיים גלוי הוא אדם $\vec{V} = const \iff \sum \vec{F} = 0$

ניתן לנסח זאת כק: איצו השלכה בסיקאלית יש
 למהות המהירות קבועה?

התשובה היא שלא. אף במהירות קבועה יחש הקוק
 סדר אתם כוחות שיתוש אף במהותה משמעות הקבל היא שאין
 שום קנק לשוית אינה האקתנה האמורה בין שאלה נח לבין שאלה
 שער במהירות קבועה. זה גורם תלוי בתקופת החבל, או באופן
 מקדיק יותר בהחיה שלכוחות של מחכת צ'ריים.
 לקודמת, כאשר אנו נוסעים במכונית מהירות \vec{u} , והחיה
 הטבחה בייגר היא של מחכת צ'ריים שנתה יחזק עם המכונית.
 במחכת זו מהירותה היא אדם, לעומת זאת הכביש,
 הבתים והצ'ריים נעים במהירות $(-\vec{u})$. אזי הטכנסורמטריה
 ממחכת אחת (מחכת S) למחכת אחרת (מחכת S')
 הנתה במהירות \vec{u} ביחס אלה (יחס גלילאו):

$$\vec{V}' = \vec{V} - \vec{u}$$

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{u}t$$

ומכאן ר"ב אינטגרציה:

העובדה שחוקי ניוטון אינם מאפשרים "לקחת" איצו מחכת
 נעה ואיננו לכו, מתי קבלה על יקוי גזירה של \otimes שכן כל חוק
 \vec{a} קבוע, מקבלים:

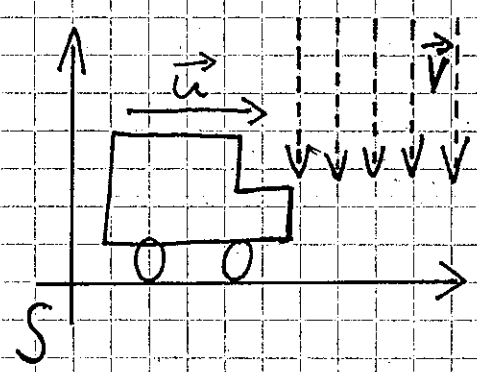
$$\vec{a}' = \vec{a}$$

ואזי הפיצ'יה (כוחות) תקבלה נק' לפי היתאוצה.

מגנטיות אלו, הנגזרת מהקבוצה קבוצה נקראות
מגנטיות אויטר צ'אל'יות, והזיקרון לפיו נפוצ'קה.
 היא צורה גלם המגנטיות האויטר צ'אל'יות נקראו
ז'יקרון היסודי. אין שום ניסוי למחצה, שיכול להבחין
 בין תנועה מהקבוצה קבוצה לבין תנועה ולכן מח'יות
 ומיקום הם פשוט מושגים יחסיים, הת'יונים בקבוצה
 שרירותית של מגנטיות הז'יקום.

קואורט I, עוצמת השדה:

עוצמת השדה תלויה בצפיפות הלייטר והמח'יות שליון:



$$I \propto |\vec{V}|$$

מנקודת המבט של הכביש (מח'יות)

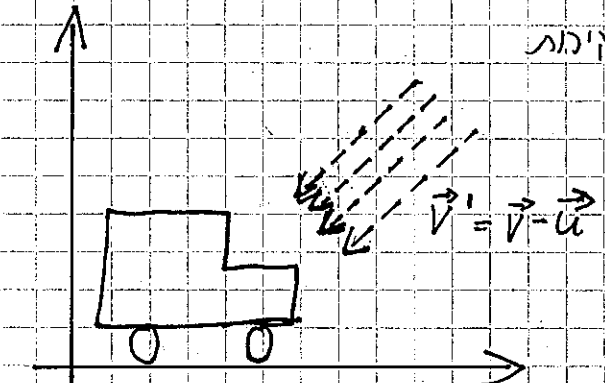
$$\vec{V} = (u, -V)$$

המח'יות היא:

אולם, במערכת הנוסעת יתק' עם

המח'יות (מגנטיות S') המח'יות

\vec{u} , מח'יות השדה הנ"ל:



$$\vec{V}' = \vec{V} - \vec{u} = (-u, -V)$$

לכן, היחס בין עוצמת השדה

במערכת המח'יות למערכת הלייטר הוא:

$$\frac{I'}{I} = \frac{\sqrt{u^2 + V^2}}{V} \geq 1$$

זה, כמובן, מכאן נקוד' השדה נראה חלש בהמצ'ות, אבל
 חזק יותר כשמוסי' באור'וס' כז'קה.

II מערכות עם אינרציאליות

כאשר מערכת S' נעה במהירות v ביחס ל- S קבועה, אלא עם תאוצה \vec{A} , נקבע טרנספורמציה שזורתה:

$$\vec{a}' = \vec{a} - \vec{A}$$

המקרה זה, נקראת המבט של הצופה המצדד S' יהיה $\vec{F}' = m\vec{a}' \Rightarrow \vec{F}' = \vec{F} - m\vec{A}$ שזורה:

המשמעות: טימן מהכיל על גוף המצדד לא אינרציאלית בשני אופנים:

(i) נקודת המבט של S : הגוף מאיץ וכן פועלים עליו כוחות הפיתאם לחוקי ניוטון.

(ii) נקודת המבט של S' : המצדד צו הגוף אינו מאיץ

(למעשה הוא נמצא במנוחה). הגוף מרגיש כוח נקמה

שנקרא $(-m\vec{A})$ שסוּפָּן את הכוחות האמיתיים הפועלים על הגוף.

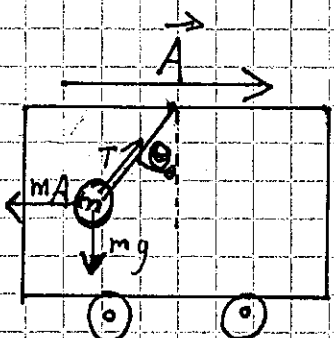
מכאן נקבע הדיקרה כוספי למערכות אינרציאליות:

מערכות שטקן של אם יתמ'ק במהירות קבועה אם ורק אם

סקול הכוחות הפועלים עליו קווא אופס. מתקורת מבט לא

אינרציאלית, יבדלו על הגוף כוחות נקומים עם מנת לקיים מצב שיווי משקל.

קבוצת II: נקודת תאוצה



כיצד נקל אם אנו במערכת אינרציאלית

או לא? ננסה למשק בארץ \vec{F}' נקודת מנוחה

נקומים. המסה התלויה נמצאת כשיווי

משקל במערכת שטקן וכן $\sum \vec{F}' = 0$. אולם, במצדד

שטקן כוחות כוח נקומה, ומכאן המשוואה

$$\begin{cases} -mA + T \sin \theta_0 = 0 \\ -mg + T \cos \theta_0 = 0 \end{cases} \iff \begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases}$$

מנקודת המבט של המערכת האינרציאלית, המסה תלויה אינה נעה, ולכן $\vec{A} = A\hat{x}$ ופניק:

$$\begin{cases} T \sin \theta_0 = mA \\ -mg + T \cos \theta_0 = 0 \end{cases} \iff \begin{cases} \sum F_x = mA \\ \sum F_y = 0 \end{cases}$$

קל לראות שנקודת המבט שקולות. כלומר, ניתן באמת לתאר את המערכת האינרציאלית כזו שבה כוחות נקראים:

פיתרון המשוואה מתן:

$$\boxed{\tan \theta_0 = \frac{A}{g}}$$

קונדנציה II א': ערביטציה אפקטיבית:

ניקח את אורגה המסה מהקונדנציה ונקראת בקרון האינרצי. קיבלנו שנקודת המבט היא אינרציאלית, המסה תלויה בשינוי משקל בזווית θ_0 כך ש: $\tan \theta_0 = \frac{A}{g}$. אם נסת את המסה בזווית $\theta_0 \ll 1$, ביחס לשינוי משקל,

מה יהיה תנודתה?

פיתרון: ~~הסתנו~~ האטלר פשוט בזווית קטנה ביחס למצב שינוי משקל שלה, ועם זאת מצבים לתנודה הרמונית פשוטה סביב שינוי משקל. אבל מהי תקינות הטענה?

כאילו כי עבור האטלר באורך L שנתמכת בשקו זכיקה \vec{g} , תקינות התמונה היא:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

בתוך הקרון יש כוח נקרא $-m\vec{A}$ ועם כוונה יש האטלר קבוצה של $\vec{g}' = \vec{g} - \vec{A}$. האטלר L , מצב היותה קבוצה באורך L מתקרת כמעט "ערביטציה אפקטיבית" במערכת הקרון.

~~התאוצה~~ עפי"כ, תקינות התנועה של המטאלי תהיה:

$$\omega = \sqrt{\frac{|g'|}{L}}$$

במקרה הנ"ל: $|g'| = \sqrt{g^2 + A^2} \iff \vec{g}' = \vec{g} - \vec{A} = (-A, -g)$

$$\omega = \sqrt{\frac{\sqrt{g^2 + A^2}}{L}}$$

III מערכת מסובבת

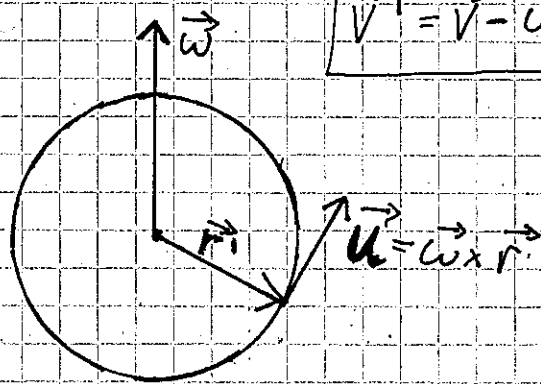
סיבוב מסובב "ע" 2 במחלקים: תקינות צוו"תיות, ω , וז'ר סיבוב, שבו ווקטור \vec{u} נהיה עם כן קטור אחר 2 הפדמטים האלו ע"י ווקטור אחר

$$\vec{\omega} = \omega \hat{z}$$

כיוון הסיבוב נקבע על פי כלל ימני. תחת הסיבוב אלו כל וקטור \vec{r} במערכת המסתובבת יכאף ווקטור מסובב

$$\dot{\vec{r}} = \vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{\omega} \times \vec{r}$$



$$\vec{a}' = \vec{a} - \underbrace{2\vec{\omega} \times \vec{v}}_{\vec{a}_{cor}} - \underbrace{\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})}_{\vec{a}_{cen}}$$

בכיתה הנכונים של:

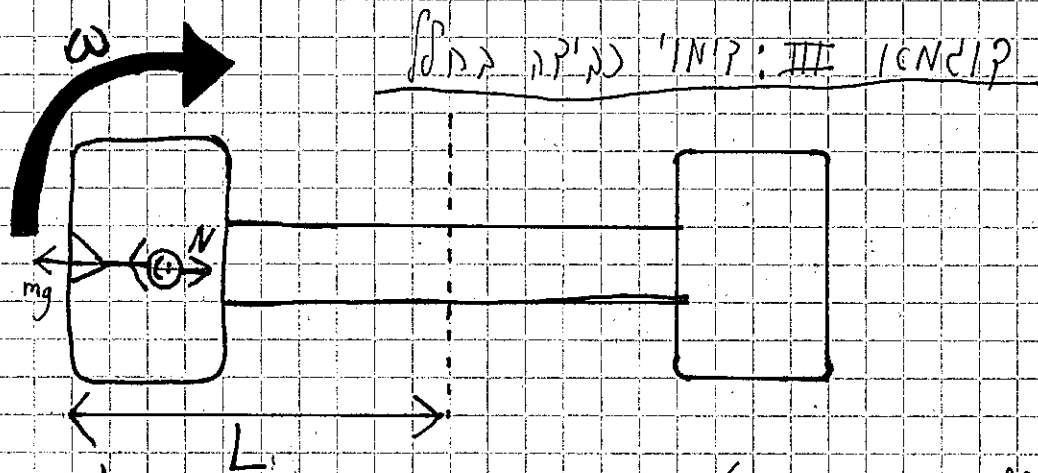
שני איברי התיקון למערכת מורמים של כוחות נקומים:

1) כוח קוריוליס: תוצר בקו ישר החיבור קבוצה \vec{v} על גבי

מערכת מסובבת, הוא למעשה תוצר החיבור השתנה מקור

המנט של המערכת האינרציאלית. גרעין, קולר הנז המהירות
 "קבוצה" במערכת המסתובבת יחוס כוח.

② כוח צנטריפוגלי: עמיקה במקום \vec{r} במערכת מסתובבת היא
 למעשה סיבוב המערכת האינרציאלית. מתקנה המנט האינרציאלית
 כוח כוח צנטריפוגלי. המכון כלפי מרכז הסיבוב והמק"ם
 את התוצאה המזלית. במערכת המסתובבת, צדו קצום שיווי
 משקל, המאפשר על ידי הכוח המקומה הצנטריפוגלי.



תלליית כוח"ה כחוט ארוך, באורך L , עם שני אולמור במיקה
 בקצוות. באיזו תר"ק' לוח יש לסובב אותה על מנת לקמות כביקה?
 הבה כחול: התלליית המסתובבת היא ω - סינרציאלית. אולם
 מתקנה המנט של האסטרונוטים, הם גישווי משקל ולכן
 סכום הכוחות הפועלים עליהם הוא אפס.

הכוח המקומה שפועל עליהם הוא $(\vec{v} = 0)$
 $\vec{F} = \vec{F}_{cen} = -m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}) = m\omega^2 L \hat{r}$ האסטרונוטים ביום לתלליית.
 כוח זה מצמיק את האסטרונוט לקופן ואז בתאבה יש כוח (אמרי)
 נוכחתי שטאן.

הל מנת לקמות תקומת כביקה: $m\omega^2 L = mg$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

הל מנת להבין אינטואיטיבית את הכוח הקוריולי, נקמה כגם
 אדם הולך לאורך הנשך שבין אולמור הכביקה. מתקנה המנט,

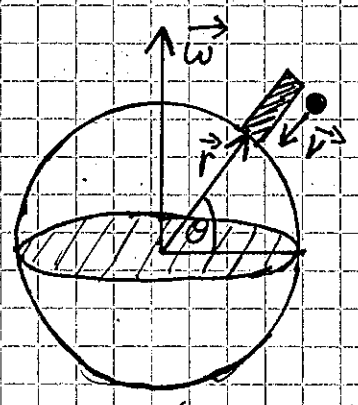
קואורדינטות בקואורדינטות, ולכן הוא גישור משיק. אולם מתחילת האירועים, אקס צה נהר הסיבוב של קוויסו משיגה, ולכן פוזיטים גליו 2 כוחות. כוח צנטריפטי כלפי מרכז הסיבוב.

כוח משיק מקובל השם (האקס משיגה אור קוויסו הסיבוב מקלי' לטות אור תקינות הסיבוב. אי' לכך הגד הצולות' שלו משיגה)

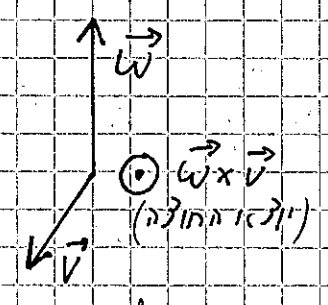
המשיגה של האוסטרוט, שהוא גישור משיק משיגה ג' כק שמערכת שלו הוא 'הגש' כוחות מקומים:

כוח צנטריפטי החושק אותו כלפי חוץ.

כוח קוריוליס הקותף אותו אור עקר קופן (כיוון: $\vec{\omega} \times \vec{v}$)



קוריוליס IV: כוח קוריוליס



מפילים מסה ממקל' גז כיוסטי (אמה ה) מה גיהה הסטייה הקורולית גרפולתיה?

כאטית נארין את הכיוונים:

כקור האור משיגה ממשיגה למשיגה ולכן כיוון $\vec{\omega}$ הוא צפונה. המהירות היא כלפי מרכז כקור האור, ולכן בקור חמה θ , הצולות הן \vec{v} היא $(\pi - \theta)$. המאוצה הקורולית

היא לכך: $\vec{a}_{cor} = -2\vec{\omega} \times \vec{v} = -2\omega \cdot v \cdot \sin(\pi - \theta) \hat{W} = 2\omega v \sin \theta \hat{e}$

כאשר \hat{e} וקטור יחידה לכיוון מזרח, \hat{W} וקטור יחידה בכיוון מערב.

הגש בפסלות, עטיה בקירוב כ' הנפילה האנכית התאוצה g כחיל ואורה מושגה הסיבוב של כקור האור ונקבל:

$T = \sqrt{\frac{2h}{g}} \iff \frac{1}{2}gT^2 = h$

$$V_{(t)} = gt$$

$$\vec{a}_{cor} = 2\omega \sin\theta \cdot gt \hat{e}^{\wedge}$$

אם הסטייה מזרחה נקבעת על ידי כוח המרכזי והתאוצה הקורולטיבית:

$$V_{cor} = \int 2\omega \sin\theta \cdot gt dt = \omega \sin\theta \cdot gt^2$$

$$\Delta x = \int_0^T \omega \sin\theta \cdot gt^2 dt = \frac{1}{3} \omega \sin\theta g T^3 = \frac{1}{3} \omega \sin\theta \cdot g \left(\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)^3$$

נציב את הערכים של מנת לכאורה כמה התקוות נשמעות:

$$h \approx 187 \text{ m}$$

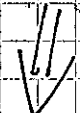
$$\theta \approx 32^\circ$$

אורך המסלול הגאולוגי:

קו הרוחב:

$$\omega = \frac{2\pi}{24 \text{ hours}} = \frac{2\pi}{86400 \text{ sec}} \approx 7.3 \times 10^{-5} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

תקופת סיבוב כדור הארץ:



$$\Delta x \approx 3 \text{ cm}$$

קואסיאלי: אסטרונומים

כיום האסטרונומים הקרבת כקוד הארץ שהם באופן מלא או פחות נקראים "rubble pile", כלומר הם גשומים מתחיל חצי, המוצר יתק בעקבות כוח המשיכה העצמי של עצמו. אם נניח כי הצפיפות קבועה, מהי רעיונות ההסתברות המקסימלית של האסטרונום סביב עקמונית?

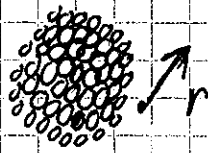
הכוח הכבידה והחזיק את ~~האוב~~ האוב הקטן

$$\vec{F}_r = -\frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} \hat{r}$$

(החץ) החיצונית הוא:

כאשר M הוא מסת האסטרונום, r הוא רדיוס האוב או מסת m מסת האוב או מסת קטנה ממסתו האסטרונומי.

מסתכלים על $m = 0$



מסתכלים על ה-0-ים ביוק - $M \ll m$

בקו המשווה, מכוח ה"ת" כדורה ל"היא מאובן" ה"ה" המכוח הצנטריפוגלי:

$$F_c = m\omega^2 r$$

כדי שיהיה שיוilibrium הצנטריפוגלי יקווה מכוח השדה הכבידתי, האוסטרוואיק
כהרע לאן יוכלו להתחזיק את עצמם. מכאן נקבל:

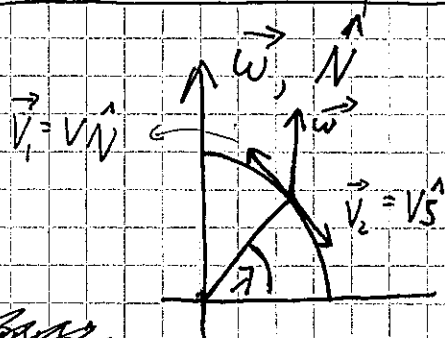
$$\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r \Rightarrow \omega^2 = \frac{GM}{r^3} = \frac{4\pi G\rho}{3}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{4\pi G\rho}{3}}$$

הקריכה, $\rho \approx 2 \frac{g}{cm^3}$, ולכן $\omega_{crit} \approx 7.47 \times 10^{-4} \frac{1}{sec}$, מה שנותן

סיבוב סביבה עצמו כל 2.33 שעות.

קוריאוליס VI: סטייה קוריאוליס בגלים לאורך קווי אקוואטור/רוחב



~~אם מסתכלים על הגלים...~~

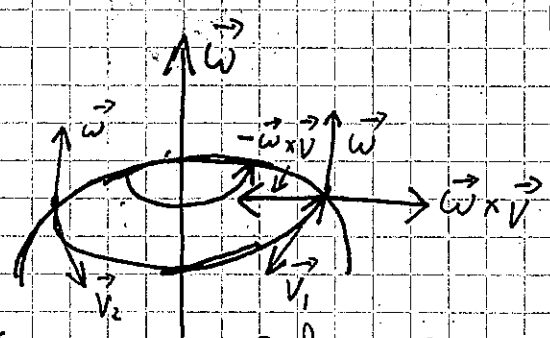
אם מסתכלים על גל צפונה, ובאמצעות כוח קוריאוליס $\vec{a}_{cor} = -2\vec{\omega} \times \vec{v}$ והוא יסטה לעבר הקדש \leftarrow מזרחה \leftarrow ימינה.

אם מסתכלים על גל קרומה, ובאמצעות כוח קוריאוליס $\vec{a}_{cor} = -2\vec{\omega} \times \vec{v}$ והוא יסטה מחוץ לקדש \leftarrow מזרחה \leftarrow ימינה.

בחזי כקור הקרומה, האפקט יהיה בקווק הפוך, ולפיכך יסל
שמאלה (אם הגל צפונה יסטה מזרחה ולפיכך הגל קרומה

וסטה מצרחה (

קווי כוחות:



אזל אצק נגז מתיקה (מתוך עקב) ויקבל סלייה $\vec{\omega} - 2\vec{\omega}$ כפי
 מסומן בקוטר. רבבק אור הקאכ הנל לכיב דקואל (שיגורם
 ω_{eff} . גימק עם הכוח הצטל פואל) וככיב משיק, הפועה
צפונה. כחומכ קואל סטה מתיקה לעפון \leftarrow ימינה

○ עבור אזל 2, הנג מצרחה, אולתו אודמאט ייתן סלייה
 קכומה \leftarrow ימינה

בתצ' הכקוד הקכומ' נקבל אפלק הפוק:

מתיקה סטה קכומה \leftarrow שמאלה
 מצרחה סטה צפונה \leftarrow שמאלה

מסקנה: בתצ' הכקוד הצפוני, כל הזופים סוליס ימינה

○ בתצ' הכקוד הקכומ', כל הזופים סוליס שמאלה