

פיזיקה 1 מכניתה 2015

פרק 6 - תנועה מעגלית

תוכן העניינים

1	. נוסחאות בסיסיות בתנועה מעגלית.
7	. הכוח המרכזיוגלי
9	. וקטורים בתנועה מעגלית.....
12	. תרגילים מסכמים.....
16	. תרגילים מסכימים למתקדמים

נוסחאות בסיסיות בתנועה מעגלית

פרק

- תנועה מעגלית היא תנועה על מעגל עם רדיוס קבוע.

יש להציב את הزاوية ברדיאנים	$S = \Delta\theta \cdot R$	הדרך בתנועה מעגלית
כיוון מהירות תמיד משיק למעגל	$v(t) = \frac{dS}{dt}$	גודל מהירות הקווית (speed)
f - הדרירות T - זמן המחזור הדרירות וזמן המחזור מוגדרים רק בתנועה מעגלית קצובה	$\omega = \frac{d\theta}{dt} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$	מהירות זוויתית
קשר רק בין הגודלים	$v = \omega R$	קשר בין מהירות הקווית לזויתית
	$a_r = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$	תאוצה רדיאלית לכיוון מרכז המעגל
$\sum F_x = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R$ למרכז המעגל		הכוח
	$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$	תאוצה זוויתית
	$a_\theta = \frac{d \vec{v} }{dt} = \alpha R$	תאוצה משיקית
כאשר h ו- θ נמדדים מתחתיות המעגל	$h = R(1 - \cos \theta)$	הגובה במעגל אנכי

שאלות**1) דוגמה- נהג מרוצים**

נהג מרוצים נוסע במסלול מעגלי שרדיוסו 50 מטר.

$$\text{מהירותו של הנהג כתלות בזמן היא: } v = \omega t .$$

א. מצא את המהירות הזוויתית של הנהג כתלות בזמן ומצא את הזווית של הנהג לאחר 5 שניות? (בנחתה כי התחילה מזווית אפס).

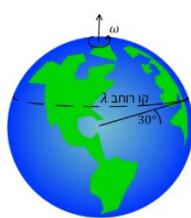
ב. متى ישלים הנהג את הסיבוב הראשון?

**2) דוגמה- חישוב מהירות זוויתית של מוחוי שעון**

חשב את המהירות הזוויתית של מוחוי השניות, מוחוי הדקות ומוחוי השעות בשעון מוחויים.

3) חישוב מהירות זוויתית של כדור הארץ

א. חשב את המהירות הזוויתית של סיבוב כדור הארץ סביב עצמו.



ב. מהי המהירות הקווית של אדם הנמצא בקו המשווה אם רדיוס כדור הארץ הוא בערך 6400 ק"מ?

ג. מהי המהירות הקווית של אדם הנמצא בקו רוחב 30° ?

4) דוגמה- יובל מסובבת אבן

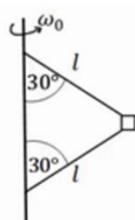
יובל קשורת אבן שمسתה 200 גרם לחוט באורך 0.7 מטר.

יובל מסובבת את האבן באמצעות החוט במעגל אופקי מעלה ראשונה

(כמו שמסובבים קלע). המהירות הזוויתית של האבן היא: $\omega = 12 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$

מהי התאוצה הרדיאלית של האבן ומהי המתיichות בחוט?

הנח שכוח הכביד זניח.

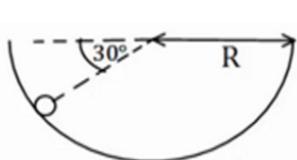
**5) מסה קשורה לעמוד מסתובב**

במערכת הבאה מסה m קשורה דרך שני חוטים למוט המסובב ב מהירות זוויתית ω_0 . אורך החוטים זהה ושווה ל-1.

הזווית של החוטים עם המוט היא 30 מעלות.

מהי המתיichות בכל חוט? בשאלת זו כוח הכביד אינו זניח.

נתונים: m , l , ω_0 .



- 6) כדור בקערה כדורית.**
 כדור קטן מונח בתחום קערה כדורית בעל רדיוס R .
 מניחים את הכדור בזווית של 30 מעלות ביחס לאופק.
 ונותנים לו מהירות תחילה לתוכה הדף.
 מהו גודל המהירות התחילה הדרוש כך שהכדור
 יישאר בתנועה מעגלית בגובה קבוע?

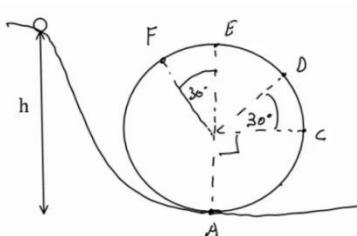
- 7) דוגמה-תאוצה זוויתית נהג המרוצים**
 מצא את התאוצה הזוויתית בדוגמה-נהג מרוצים (שאלה 1).

- 8) זווית משתנה בזמן**
 המיקום הזוויתי של נקודה על גבי שפת גלגל מסטובב נתונה
 ע"י: $\phi = 5t + 3t^2 - 2t^3$.
 א. מהי מהירות הזוויתית ב- $t = 2\text{ sec}$ ו- $t = 4\text{ sec}$?
 ב. מהי התאוצה הזוויתית המומוצעת בין זמנים אלו?
 ג. מהי התאוצה הזוויתית הרגעית בזמנים אלו?

- 9) תאוצה משיקית קבועה**
 גוף נע במעגל בעל רדיוס R בתאוצה משיקית קבועה a_t
 ולא מהירות תחילה. מצאו את גודל התאוצה הרדיאלית:
 א. כפונקציה של הזמן.
 ב. כפונקציה של זווית הסיבוב.

- 10) תאוצה משיקית רדיאלית וכוללת**
 גוף נע במעגל שרדיוסו 3 מטר.
 הדרך שעובר הגוף נתונה ע"י: $s = 6t^2 + 3t$.
 חשב את התאוצה המשיקית, הרדיאלית והכוללת (כתלות בזמן).

- 11) דוגמה-כוח על נהג המרוצים**
 בדוגמה של נהג המרוצים (שאלה 1), מצא מה הכוח הפועל על המכונית
 אם מסת המכונית (כולל הנהג) היא טון אחד.
 מי מפעיל כוח זה?

12) דוגמה-כדור בלוֹפֶּה

כדור קטן מאד מתחילה להתגלגל ממנוחה מגובה $h = 6\text{m}$ ונכנס לתוכו מעגל אנכי.

נתון שהכדור ממשים סיבוב ואין חיכוך בין הריצפה.
רדיוס המעלג הוא : $R = 2\text{m}$.

א. מצא את מהירות הכדור בכל הנקודות באוויר.
(רמז : שימור אנרגיה).

ב. מצא את התאוצה הרדיאלית של הכדור באותה נקודות.

ג. מצא את התאוצה בכיוון המשיק באותה נקודות.

ד. מצא את גודל התאוצה הכוללת באותה נקודות.

13) כוחות במטוטלת

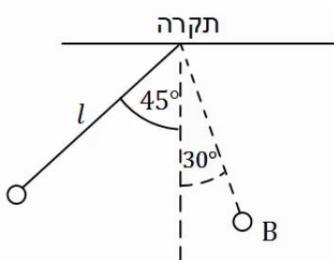
מטוטלת משוחררת ממנוחה מזויה של 45 מעלות.
אורך החוט הוא 1 והמסה היא m .

א. מהירות המשך בתחלת המסלול?

ב. מהי המתייחות בחוט ברגע זה?

ג. מהי מהירות המשך בנקודה B הנמצאת
בזווית 30 מעלות? ומהי המתייחות בחוט באותה נקודה?

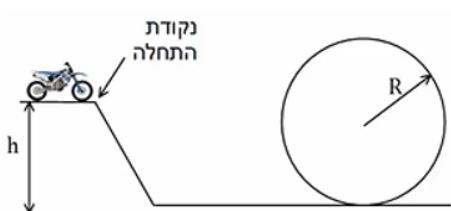
ד. מהי המתייחות בחוט בשיא הגובה וברגע השחרור?

**14) רוכב אופנו במעגל אנכי**

רוכב אופנו מתחילה תנועתו מנקודת התחלה שבציוור.
מהי המהירות התחלתית המינימלית הנדרשת עברו

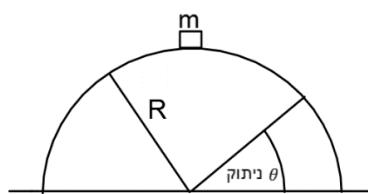
הרוכב כך שיוכל להשלים את הסיבוב האנכי.
הנח שהרוכב אינו משתמש במנוע לאחר
נקודת התחלה.

נתון : h , R .

**15) קופסה מחיליקה על גבעה מעגלית**

קופסה במשקל m מונחת על ראש גבעה בצורת
חצי מעגל ברדיוס R .

ה קופסה מתחילה להחליק לאחד הצדדים
מןוחה כאשר אין חיכוך בין להגבעה.
מצא באיזה זווית הקופסה מתנתק מהגבעה.



תשובות סופיות

$$12.5 \text{ sec} \quad \text{ב.} \quad \omega = \frac{2t}{25}, \theta \approx 57.3^\circ \text{ נ.} \quad (1)$$

$$1.75 \cdot 10^{-3} \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad \text{מחוג דקotas:} \quad 0.105 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} : \text{ מחוג שניות:} \quad (2)$$

$$1.45 \cdot 10^{-4} \frac{\text{rad}}{\text{sec}} : \text{ מחוג שעות:} \quad (3)$$

$$400 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ ג.} \quad 465 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ ב.} \quad 7.27 \cdot 10^{-5} \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \text{ א.} \quad (4)$$

$$T_1 = \frac{mg}{\sqrt{3}} + \frac{m\omega_0^2 l}{2}, T_2 = \frac{-mg}{\sqrt{3}} + \frac{m\omega_0^2 l}{2} \quad (5)$$

$$v = \sqrt{\frac{3gR}{2}} \quad (6)$$

$$\alpha = \frac{2}{25} \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2} \quad (7)$$

$$\bar{\alpha} = -30 \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2} \text{ ב.} \quad \omega(t=2) = -7 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}, \omega(t=4) = -67 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \text{ נ.} \quad (8)$$

$$\alpha(t=2) = 18 \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2}, \alpha(t=4) = -42 \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2} \text{ ג.}$$

$$a_r = 2a_t\theta \text{ ב.} \quad a_r = \frac{(a_t \cdot t)^2}{R} \text{ נ.} \quad (9)$$

$$a_\theta = 12 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, a_r = (4t+1)^2 \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, a = \sqrt{12^2 + 9(4t+1)^4} \quad (10)$$

$$\text{הכbesch מפעיל כוח זה.} \quad |F| = \sqrt{(80t)^2 + 4000^2} \quad (11)$$

$$|F| = \sqrt{(80t)^2 + 4000^2} : \text{ החיכוך מהכbesch} \quad (12)$$

$$v_A \approx 10.95 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, v_C \approx 8.94 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, v_D \approx 7.975 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, v_E \approx 6.32 \frac{\text{m}}{\text{sec}}, v_F \approx 6.73 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ א.} \quad (13)$$

$$\cdot a_r = \frac{v^2}{R} \text{ וכיו', לפי הנוסחה} \quad a_{r_A} = 60 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, a_{r_B} = 40 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \text{ ב.}$$

$$a_{\theta_A} = 0, a_{\theta_C} = -g, a_{\theta_D} = -10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}, a_{\theta_E} = 0, a_{\theta_F} = 5 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2} \text{ ג.}$$

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{a_r^2 + a_\theta^2} \text{ ז.}$$

$$T = 1.58mg \quad \text{ב.} \quad v = \sqrt{0.58gl} \quad \text{א.} \quad (14)$$

ג. מהירות : $T = mg(1.19)$, $v_B = \sqrt{0.32gl}$

ד. בשנייהם : $T = mg \frac{1}{\sqrt{2}}$

$$\theta = 41.8^\circ \quad (15)$$

הכוח המרכזי-

רקע

$$F_r = m\omega^2 R$$

בכיוון החוצה מהמעגל

שימוש לב שהכוח המרכזי-

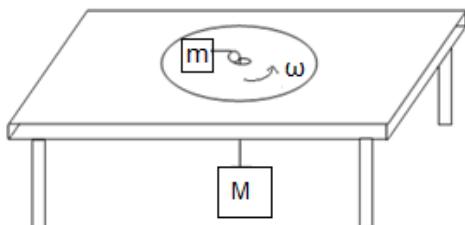
י הוא כוח מודומה והוא מגיע מדרך הסתכלות שונה על תנועה מעגלית של צופה המסתובב עם המערכת. בצורת ההסתכלות זו אין לגוף תאוצה רדיאלית.

שאלות

1) מסה על שולחן מסתובב

מסה m מונחת על דיסק המסתובב על שולחן במהירות זוויתית קבועה ω .
 המסה מחוברת לחוט העובר דרך מרכז השולחן ומחובר למסה m_s .
 בין המסה m לדיסק יש חיכוך ומקדם החיכוך הסטטי הוא μ_s .
 נתון: μ_s , m , μ , ω .

מהו הרדיוס המינימלי והרדיוס המקסימלי שבו ניתן להניח את המסה כך
 שלא תזוז בכיוון הרדיאלי?



תשובות סופיות

$$r_{\max} = \frac{Mg \pm \mu_s mg}{m\omega^2} \quad (1)$$

וקטורים בתנועה מעגלית

רקע

וקטור המיקום: $\vec{r} = R \cos \theta \hat{x} + R \sin \theta \hat{y}$

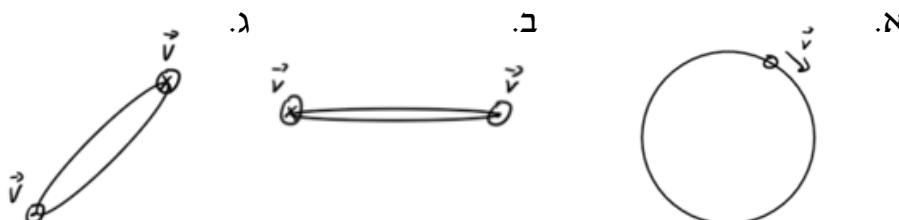
הקשר הכללי בין מהירות הקווית לזוויותית: $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$

הקשר הכללי בין התאוצה המשיקית לתאוצה הזוויותית: $\vec{a}_\theta = \vec{\alpha} \times \vec{r}$

שאלות

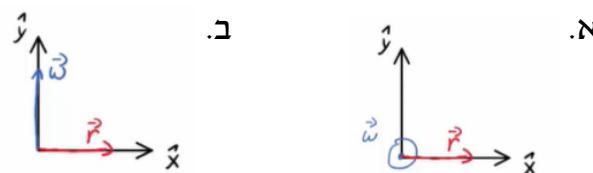
1) מציאת הכוון של אומגה

במקרים הבאים נתנו כיוונה של מהירות הקווית של גוף הנע במעגל. מצא את הכוון של מהירות הזוויותית בכל מקרה:



2) תרגיל לנוסחה $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$

מצא את כיוון מהירות הקווית של הגוף במקרים הבאים בהנחה כי הגוף נע בתנועה מעגלית.



3) תאוצה זוויתית קבועה כוקטור

גוף נע במעגל בעל רדיוס קבוע שאינו ידוע.

התאוצה הזוויתית של הגוף קבועה ונوتנה לפי: $\vec{\alpha} = 2\hat{x} + 3\hat{y} + 1\hat{z}$ ביחידות של רדיאן לשניה בריבוע.

המיקום ההתחלתי ומהירות הזוויתית ההתחלתי הם: $\vec{r}_0 = 5\hat{x} + 3\hat{y} - 2\hat{z}$ ו- $\vec{\omega}_0 = -2\hat{x} + 3\hat{y} - 4\hat{z}$ בradian לשניה. מצא את גודל המהירות הקווית של הגוף ב- $t = 2\text{ sec}$.

4) דוגמה-וקטור המיקום של נаг המרוצים

מצא את וקטור המיקום כתלות בזמן בדוגמה עם נаг המרוצים :
 נаг מרוצים נוסע במסלול מעגלי שרדיוס 50 מטר. מהירותו של הנаг כתלות בזמן היא $v(t) = 4t$.

א. מצאו את מהירות הזוויתית של הנаг כתלות בזמן, ומצאו את הזווית של הנаг לאחר 5 שניות (בהנחה כי התחילה מזווית אפס).

ב. متى يصلים הנаг את הסיבוב הראשון?

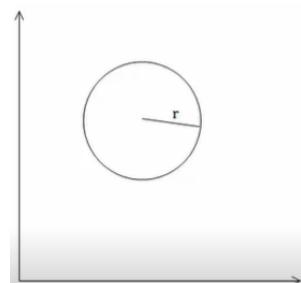
5) תנועה מעגלית שאינה סביב הראשית

גוף נע על מעגל ברדיוס 3m.

הגוף חולף דרך הנקודה (5,4) ביחס לראשית הצירים O.

נתון כימרכז המעגל נמצא ב- (5,7) ומהירות הזוויתית היא : $\omega = \frac{2\pi}{20} \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$.

- א. מצא את וקטור המיקום של הגוף כפונקציה של הזמן.
- ב. מצא את וקטור מהירותו של הגוף כפונקציה של הזמן.
- ג. מצא את וקטור התואוצה של הגוף כפונקציה של הזמן.
- ד. מצא את מהירות הממוצעת בין $t = 5 \text{ sec}$ ל- $t = 10 \text{ sec}$.
- ה. מצא את תחום הזווית ביחס לראשית בו נע וקטור המיקום.
- ו. מצא את תחומי הגודלים של וקטור המיקום.



תשובות סופיות

ג.

ב.

⊗ א. (1)

 $-\hat{z}$ ב. \hat{y} א. (2)

$$63.63 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \quad (3)$$

$$\vec{r} = 50 \cos\left(\frac{t^2}{25}\right) \hat{x} + 50 \sin\left(\frac{t^2}{25}\right) \hat{y} \quad (4)$$

$$\vec{r} = \left(5 + 3 \cos\left(\frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{10}t\right), 7 + 3 \sin\left(\frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{10}t\right) \right) . \text{א.} \quad (5)$$

$$\vec{v} = \dot{\vec{r}} = \left(-3 \sin\left(\frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{10}t\right) \frac{\pi}{10}, 3 \cos\left(\frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{10}t\right) \frac{\pi}{10} \right) . \text{ב.}$$

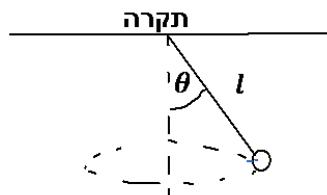
$$\vec{v} = \left(\frac{-3}{5}, \frac{3}{5} \right) . \text{ט} \quad \vec{a} = \dot{\vec{v}} = -\omega^2 \vec{r} . \text{ג.}$$

$$r_{\max} = 8.6 + 3, r_{\min} = 8.6 - 3 . \text{ו.}$$

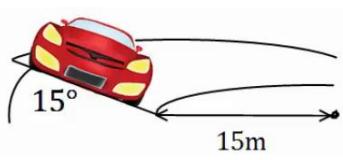
$$\theta_{\min} = 34.5^\circ, \theta_{\max} = 74.9^\circ . \text{ו.}$$

תרגילים מסכימים:

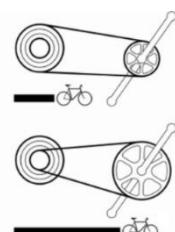
שאלות:



- (1) **מטוטלת מסתובבת אופקית**
מטוטלת בעלת אורך l מסתובבת סביב ציר האנכ לתקרה בזווית מפתח קבועה θ . נתון: l , θ .
מצא את התדרות וזמן המחזור של הסיבוב.



- (2) **מכונית במחלף**
מכונית נוסעת על מחלף משופע.
זווית השיפוע של המחלף היא 15 מעלות.
רדיווס הסיבוב של המחלף הוא 15 מטרים.
אם נניח שלמכונית אין חיכוך עם הכביש,
מה מהירותה בה צריכה לנסוע המכונית על מנת לא להחליק?



- (3) **הילוכי אופניים**
הילוכים של אופניים מורכבים משני גלגלי שניינים ברדיוסים
שוניים ושרשרת המקיפה את שני הגלגלים. כאשר השרשרת
מתוחה האורך שלה קבוע. מצאו את הקשר בין מהירות הסיבוב
של גלגלי השוניים אם הרדיוסים שביהם מקיפה השרשרת כל
אחד מהגלגלים ידועים.

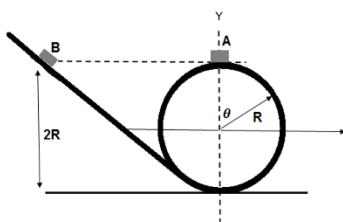
- (4) **שני גופים על מסילה מעגלית אנכית (כולל עבודה ואנרגיה)**
מסילה מעגלית חלקה, דקה ובעלת רדיוס R מוצבת במישור אנכי.
מישור משופע וחולק משיק למסילה ומשתלב בה כמתואר בתרשימים.
מציבים את בול A בגובה $2R$ ואת בול B על המישור המשופע בגובה זהה מהרצפה.
נותנים ל-A דחיפה קלה ועווזבים את B מ מצב מנוחה.
שני הגוף מחליקים, גוף A בצד החיצוני של המסילה ואילו גוף B משתלב ונכנס
לתוכה המסילה. בשלב מסוים כל אחד מהגוף מתנתק מהמסילה.
התיחסו לגופים כאלו גופים נקודתיים.

א. באיזו זווית θ עם ציר ה- y , יתנתק גוף A מהמסילה?

ב. באיזו זווית θ יתנתק גוף B מהמסילה?

ג. אם שני הגוף מتنתקים מהמסילה בו זמן?
מה גודל המהירות היחסית ביניהם?

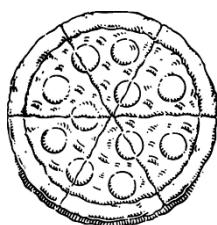
ד. מה יהיה המרחק בין הגוף לאחר הניתוק,
אחרי פרק זמן Δt (הניחו שהגוף עדין באוויר).



5) מציאת מיקום כפונקציה של הזמן

חלקיק מוגבל לנוע על מעגל ברדיוס R .

נתון שגודל המהירות של החלקיק: $V(t) = Ct^2$ כאשר C קבוע.
מצאו ופתרו את משוואת המיקום של החלקיק.

**6) מסובבים פיצה בתנועה מעגלית**

מסובבים פיצה בתנועה מעגלית כך שמתקיים: $\theta = 4t^2 + 5t$ אשר θ נמדד בראדיאנים ו- t בשניות.

- מצאו את המהירות הזוויותית של הבצק.
- מצאו את התאוצה הזוויותית של הבצק.

ג. לאחר שהוסיפו את הזויות מסובבים עוד פעם את הפיצה באותו אופן.

מצאו את הרדיוס בו נמצא זית הנע בתאוצה משיקית של $0.2 \frac{m}{sec^2}$.

ד. חזר על סעיף ג' אם ידוע שהתאוצה הקווית הכוללת ב- $t = 1sec$ היא: $0.2 \frac{m}{sec^2}$

7) תאוצה משיקית קבועה

נקודה נעה במסלול מעגלי שרדיוסו 30 ס"מ .

הנקודה נעה בתאוצה משיקית קבועה של 4 מטר לשנייה ברכיבו.

לאחר כמה זמן מתחילה התנועה הרדיאלית של הנקודה תהיה:

- גדולה פי 2 מהתאוצה המשיקית?
- שווה לתאוצה המשיקית?

8) זווית בין משיקית לכוללת

גוף נקודתי מתחילה לנוע ממנוחה במסלול מעגלי בעל רדיוס 2 מטר בתאוצה משיקית קבועה. ידוע כי לאחר שני סיבובים שלמים הגיע הגוף למהירות קבועה של 2 מטר לשנייה .

א. תוך כמה זמן הגיע הגוף את שני הסיבובים הראשונים?

ב. מה הייתה התאוצה המשיקית של הגוף?

ג. מה הייתה הזווית בין וקטור התאוצה המשיקית לווקטור התאוצה השקולה לאחר שני הסיבובים הראשונים?

ד. מתי, החל מעת תחילת התנועה, תהיה התאוצה המשיקית שווה בגודלה לתאוצה המרכזית של הגוף?

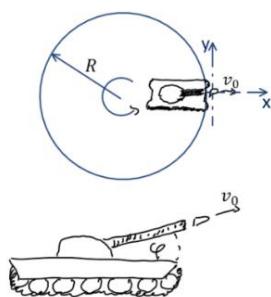
ה. איזה מרחק יעבור הגוף עד אז? (ראה סעיף ד').

9) חמישה סיבובים

נקודה שנמצאת במרחק 15 ס"מ ממרכז הגלגל, מתחילה להסתובב בתאוצה
משיקית קבועה. הנקודה מגיעה ל מהירות זוויתית של $\frac{\text{rad}}{\text{sec}} 20$ לאחר 5 סיבובים.

מצא את :

- התאוצה המרכזית של הנקודה מעבר 5 שניות.
- התאוצה המשיקית של הנקודה מעבר 5 שניות.
- התאוצה השקולת של הנקודה מעבר 5 שניות.

10) טנק יורה פגז מדיסקה מסתובבת

טנק נמצא בקצה של דיסקה ברדיוס R היכולת
להסתובב במקביל לקרקע. הדיסקה מתחילה
להסתובב ב- $t=0$ בתאוצה זוויתית $\ddot{\theta} = kt^2$.

עבור זמן t_0 הטנק נמצא במקום שבאיור ויראה פגז.
מהירות הלוע של הפג ז' v_0 .

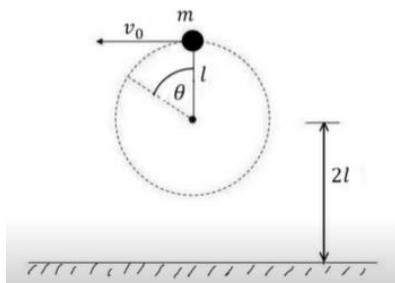
התווחה מכיוון הרדיאלי לפני חוץ, ובזווית φ
על הקרקע (במאונך למשור שבו מסתובבת הדיסקה).

- באיזה מהירות ביחס לצופה נិיח יוצא הcador מלוע הטנק?
- באיזה מרחק מוקודת הירוי יפגע הפג ז'?

11) חוט נקרע במעגל אנכי גבוה

cador קטן שמסתו m קשור לקצהו של חוט שאורכו 1.
הcador מסתובב במעגל אנכי שמרכזו בגובה 2l
על הרצפה.

כאשר החוט מתוח והcador נמצא אנכית מעל
ציר סיבוב מעניקים לו מהירות אופקית v_0 .



א. מה מהירות המינימלית v_0 הנדרשת
 כדי שהcador יבצע תנועה מעגלית שלמה?

ב. מעניקים לכדור מהירות ההתחלתית : $v_0 = 1.5\sqrt{gl}$,
 אם החוט נקרע ברגע שמתיחותו עולה על $5.25mg$
 מצאו את הזווית θ שבה יקרע החוט.

- מה מהירות הcador ברגע שהחוט נקרע, אם נתון ש : $l = 2m$?
- תוק כמה זמן מרגע קריית החוט יפגע הcador ברצפה?

תשובות סופיות:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} , T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1)$$

$$V \approx 6.34 \frac{m}{sec} \quad (2)$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (3)$$

$$d = \sqrt{\frac{8}{3} g R \Delta t} \quad . \quad |\vec{v}_{AB}| = \sqrt{\frac{8}{3} g R} \quad . \quad \theta_2 = \theta_1 = 48.2^\circ \quad . \quad \theta_1 = 48.2^\circ \quad . \quad (4)$$

$$x = R \cos \frac{C \cdot t^3}{3R} , y = R \sin \left(\frac{C \cdot t^3}{3R} \right) \quad (5)$$

$$R = 2.5 \text{ cm} \quad . \quad \alpha = \dot{\omega} = 8 \frac{\text{rad}}{\text{sec}^2} \quad . \quad \omega = \dot{\theta} = 8t + 5 \quad . \quad (6)$$

$$1.18 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad . \quad t \approx 0.27 \text{ sec} \quad . \quad t \approx 0.39 \text{ sec} \quad . \quad (7)$$

$$t_2 = 5 \text{ sec} \quad . \quad \alpha = 87.73^\circ \quad . \quad a_\theta \approx 0.08 \frac{m}{\text{sec}^2} \quad . \quad t_1 \approx 25.1 \text{ sec} \quad . \quad (8)$$

$$S = 1 \text{ m} \quad .$$

$$|a| \approx 150 \frac{m}{\text{sec}^2} \quad . \quad a_\theta \approx 0.95 \frac{m}{\text{sec}^2} \quad . \quad a_r \approx 150 \frac{m}{\text{sec}^2} \quad . \quad (9)$$

$$v_x = v_0 \cos \varphi , \quad v_y = \frac{k t_0^3 R}{3} , \quad v_z = v_0 \sin \varphi \quad . \quad (10)$$

$$d = \left((v_0 \cos \varphi)^2 + \left(\frac{k t_0^3 R}{3} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \left(t_0 + \frac{2v_0 \sin \varphi}{g} \right) \quad .$$

$$t \approx 0.3 \text{ sec} \quad . \quad v \approx 10 \frac{m}{\text{sec}} \quad . \quad \theta \approx 110^\circ \quad . \quad v_{min} = \sqrt{gl^5} \quad . \quad (11)$$

תרגילים מסכימים למתקדמים:

שאלות:

1) מטוטלת כפולה מסתובבת אופקית*

גוף בעל מסה m_1 מחובר באמצעות חוט באורך l_1 לתקרה.

גוף בעל מסה m_2 מחובר באמצעות חוט באורך l_2 לגוף הראשון.

שני הגוף במסתובבים יחדיו בתדריות זוויתית קבועה ω סביב ציר האנך לתקרה.
הزاوية בין החוטים לאנכים הוא: β , α (ראה איור).

א. רשום את משווה התנועה לכל גוף.

ב. מצא מהי הזווית α עבור המקרה בו $m_2 = 0$ ו- $m_1 \neq 0$.

מהי תדריות הסיבוב המינימלית האפשרית?

ג. דני ויוסי ניסו למצוא את ω במקרה הכללי.

דני הציב את גודל המתיחויות של החוטים
במשווה התנועה של גוף 2

$$\text{וקיבל: } \omega^2 = \frac{g \tan \beta}{l_1 \sin \alpha + l_2 \sin \beta}.$$

יוסי הציב את המתיחויות במשווה התנועה

$$\text{של גוף 1 וקיים: } \omega^2 = \frac{\frac{m_1 + m_2}{m_1} \tan \alpha - \frac{m_2}{m_1} \tan \beta}{\frac{m_1}{\sin \alpha}}.$$

ישב את הסתירה.

2) חבל עם מסה מסתובב*

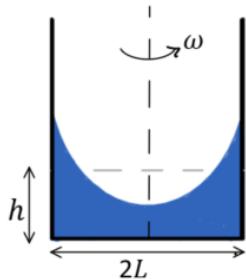
נתון חבל אחד בעל מסה m ואורך l .

החבל הקשור בקצת אחד ומסתובב במישור אופקי ב מהירות זוויתית ω .

מצא את גודל המתיחות לאורץ החבל (כתלות במרחק מהקצת הקשור).

רמז: יש לחלק את החבל לחתיכות קטנות ולעשות משווה תנועה על כל חתיכה.

(3) מים בכלי מסתובב**



תיבת באורך $2L$ ורוחב w כך ש- $L < w$ מכילה מים.
גובה המים בתיבה הוא h .

מסובבים את התיבה במהירות זוויתית ω סבב ציר העובר במרכזו.
הנח כי המים לא נשפכים מהתיבה.

א. מצאו את הunkerציה המתארת את פני המים במרחב (רמז: חשבו את השיפוע של המשיק לפני המים בנקודה כלשהיא, שיפוע זה הוא הנגזרת של הunkerציה).

ב. מהו הפרש הגבהים בין המים במרכז התיבה למים למרחק אופקי d מהמרכז?

ג. מה יהיה הפרש הגבהים אם נגדיל את מהירות הסיבוב פי 2?

ד. מהו התנאי שתחתית התיבה תתייבש בנקודה כלשהיא?

תשובות סופיות:

$$(1) \text{ גורם } \sum F_x = m_1 \omega^2 l_1 \sin \alpha, \sum F_y = 0 : 1$$

$$\sum F_x = m_2 \omega^2 (l_1 \sin \alpha + l_2 \sin \beta), \sum F_y = m_2 g : 2$$

$$(2) T(x) = \frac{m\omega^2}{2l} (l^2 - x^2)$$

$$(3) \Delta y = \frac{2\omega^2 d^2}{g} . \text{ ג.} \quad \Delta y = \frac{\omega^2 d^2}{2g} . \text{ ב.} \quad y = \frac{\omega^2 x^2}{2g} + h - \frac{\omega^2 L^2}{6g} . \text{ ג.} \quad h = \frac{\omega^2 L^2}{6g} . \text{ ד.}$$