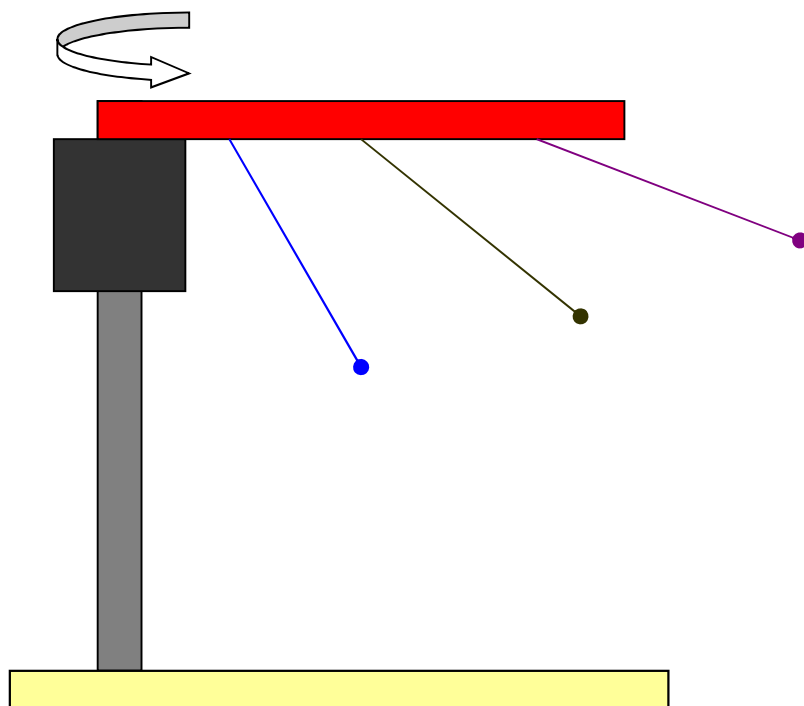


מכניקה

תנועה במעגל אופקי



◀ אפיון התנועה המעגלית:

- הזווית
- זמן המחזור
- התדירות
- המהירות הזוויתית

◀ הכוח הצנטריפטלי

◀ התאוצה הצנטריפטלית

◀ יישומים:

- מטוטלת פשוטה (מתמטית)
- הגבהת מעקמים

תנועת סרגל בקו ישר

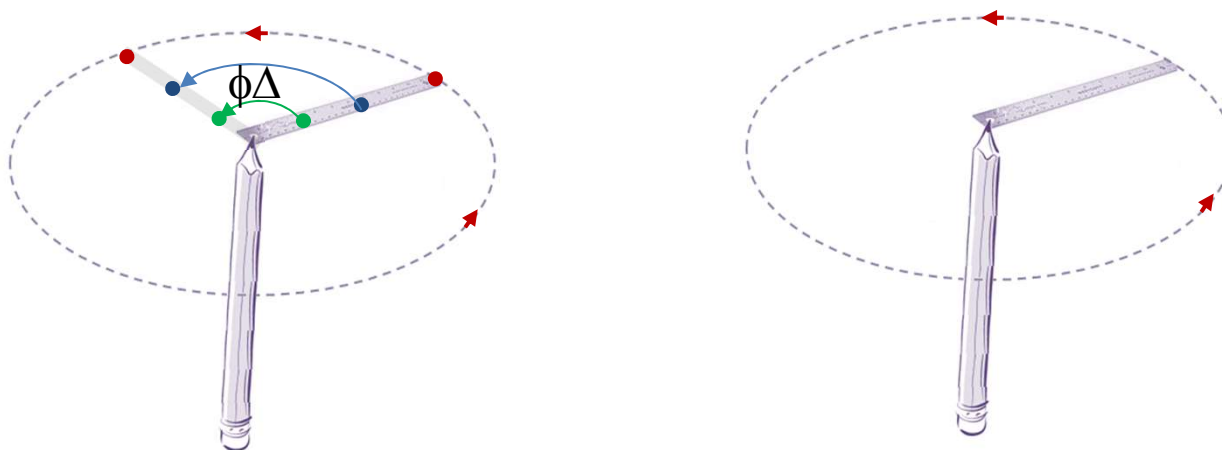
סרגל המונח על שולחן מקבל דחיפה ונע ימינה בקו ישר.



את תנועת כל נקודות הסרגל ניתן לאפיין על ידי : זמן התנועה, העתקו, מהירותו ותאוצתו של הסרגל.

במקרה זה ברור שזמן התנועה, ההעתק, המהירות והתאוצה זהים לכל הנקודות של הסרגל

עתה, ניקח את הסרגל ונסובב אותו במישור אופקי סביב חודו של עיפרון.
מהם הפעם הגדלים המאפיינים את התנועה של כל נקודות הסרגל?



בתנועה סיבובית: ההעתק, המהירות, והתאוצה **אינם** משותפים לכל נקודות הסרגל.
עם זאת, כל הנקודות שעל הסרגל יוצרות **אותה זווית**, כמתואר באיור.
בנוסף לזווית ישנם גדלים נוספים וחשובים המאפיינים תנועה סיבובית : זמן המחזור, התדירות והמהירות הזוויתית.
נדון תחילה בזמן המחזור ובתדירות.

זמן המחזור T: גודל פיזיקלי שמאפיין תופעות או תהליכים שחוזרים על עצמם בפרקי זמן קבועים (שווים).

במקרה שלנו, זהו הזמן הדרוש לגוף להשלים הקפה אחת במסלול מעגלי.

התדירות f –: מספר המחזורים אותו משלים התהליך (התופעה) ביחידת זמן.

במקרה שלנו- מספר הסיבובים. שמשלים הגוף בפרק זמן נתון.

אם זמן המחזור (משך הזמן של סיבוב אחד) הוא T, אזי מספר הסיבובים ביחידת זמן הוא:

$$f = \frac{1}{T}$$

מאחר וזמן המחזור נמדד בשניות, היחידות שבהן נמדדת התדירות הן:

$$[f] = \frac{1}{[T]} = \frac{1}{\text{sec}}$$

ליחידה 1/sec יש שם משלה והיא נקראת הרץ וסימנה Hz.

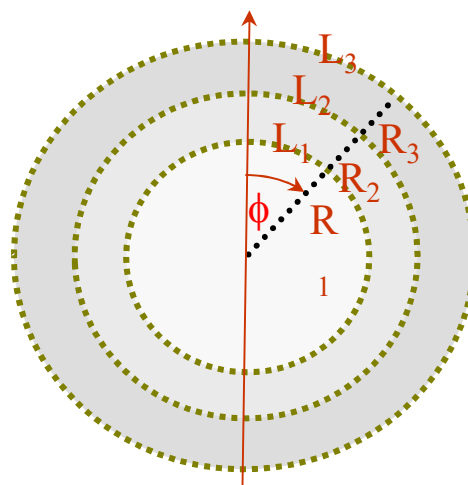
לדוגמא: אם הזמן של סיבוב אחד הוא T=0.5sec הרי בשנייה אחת הגוף מבצע שני סיבובים:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.5} = 2H_z$$

עד כה שימשה אותנו ה"מעלה" למדידה של זווית. בתנועות סיבוביות נוח יותר להשתמש ביחידה אחרת, **רדיאן**.
רדיאן אחד שווה לזווית המרכזית, הנשענת על קשת שאורכה שווה לרדיוס.
אנו יודעים כי היקף המעגל הוא $2\pi R$ ולכן במעגל ישנם 2π רדיאנים, השקולים ל-360 מעלות.

$$\frac{L}{2\pi R} = \frac{\phi^\circ}{360^\circ} = \frac{\phi_{Rad}}{2\pi}$$

$$\phi_{Rad} = \frac{L}{R}$$



מוצדק למדוד כך את גודל הזווית, משום שאם נשנה את הרדיוס R של המעגל, הקשת המתאימה לאותה הזווית תגדל באותו היחס (שטחים דומים), והזווית ברדיאנים תישאר קבועה.

$$\phi = \frac{L_1}{R_1} = \frac{L_2}{R_2} = \frac{L_3}{R_3}$$

http://www.youtube.com/watch?v=FUrs9JWn_N4

הקשר בין הרדיאן לבין הזווית במעלות

באותו אופן ניתן לקבוע את מידת הזוויות המוכרות האחרות, כגון:

$$180^\circ \Rightarrow \pi \text{ (rad)}$$

$$90^\circ \Rightarrow \pi/2 \text{ (rad)}$$

$$60^\circ \Rightarrow \pi/3 \text{ (rad)}$$

$$45^\circ \Rightarrow \pi/4 \text{ (rad)}$$

$$30^\circ \Rightarrow \pi/6 \text{ (rad)}$$

$$\frac{(\text{degree})}{180} \pi = \text{radians}$$

ובאופן כללי

היתרון במדידת זוויות ברדיאנים הוא בין היתר קלות החישובים.

$$L = R \cdot \phi$$

למשל אורך הקשת ניתן על ידי קשר ישר ופשוט:
(כאשר הזווית ברדיאנים).

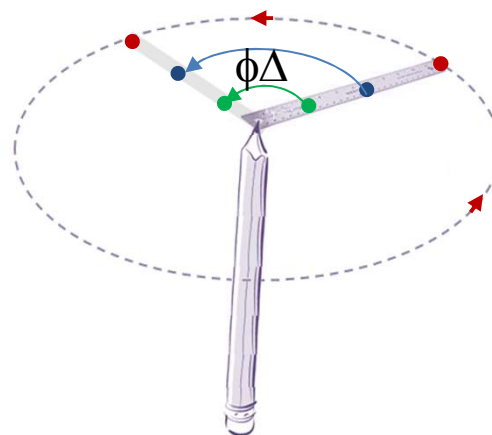
https://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=UTCIXRvws8o ◀

תנועה מעגלית קצובה: מהירות זוויתית

בשלב זה נדון בתנועה מעגלית קצובה, בה הסרגל משלים זוויות שוות בפרקי זמן שווים.
נגדיר את המהירות הזוויתית של הגוף (שסימנה ω) כשינוי הזווית $\Delta\phi$ בפרק זמן Δt :

$$\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

$$[\omega] = \frac{[\phi]}{[t]} = \frac{rad}{sec}$$



שינוי הזווית של כל נקודה על הגוף במהלך סיבוב אחד (זמן מחזור) הוא 2π (360°), מכאן:

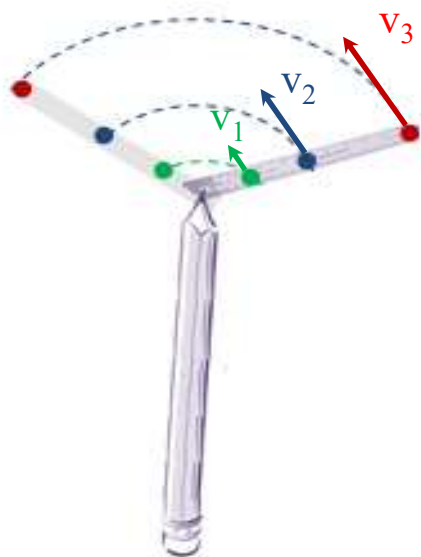
$$\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

המהירות הזוויתית משותפת לכל הנקודות על גבי הגוף!

תנועה מעגלית קצובה- מהירות קווית (1)

למרות המהירות הזוויתית השווה, אנו רואים כי כל נקודה על הסרגל נעה לאורך קשת באורך שונה. במילים אחרות, נקודות שונות עוברות דרכים שונות באותו פרק זמן.

לכן, גודל נוסף, המאפיין את תנועתה של כל נקודה הוא המהירות הקווית שלה. מהירות זו שונה עבור נקודות הנמצאות במרחקים שונים מציר הסיבוב של הגוף.



כאשר הסרגל מסתובב, הנקודה הרחוקה מציר הסיבוב עוברת דרך ארוכה יותר מאשר הנקודה הקרובה יותר לציר הסיבוב באותו פרק זמן. מכאן:

$$v_1 < v_2 < v_3$$

תנועה מעגלית קצובה- מהירות קווית (2)

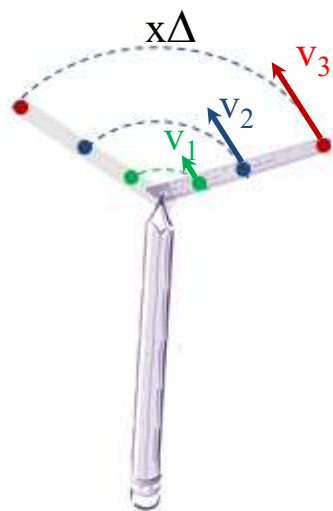
את גודל המהירות הקווית v של כל נקודה ניתן למצוא על ידי:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

כאשר:

Δx אורך הקשת של אורכה התקדמה הנקודה

Δt פרק הזמן שחלף



הדרך שעוברת הנקודה במהלך סיבוב אחד (בזמן מחזור) שווה להיקף המעגל, שרדיוסו שווה למרחק הנקודה

מהמרכז. מכאן:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rf$$

כפי שכבר אמרנו, נקודות הנמצאות במרחק גדול יותר מציר התנועה נעות מהר יותר.

כיוון המהירות של כל נקודה משיק, כמובן, למסלול התנועה.

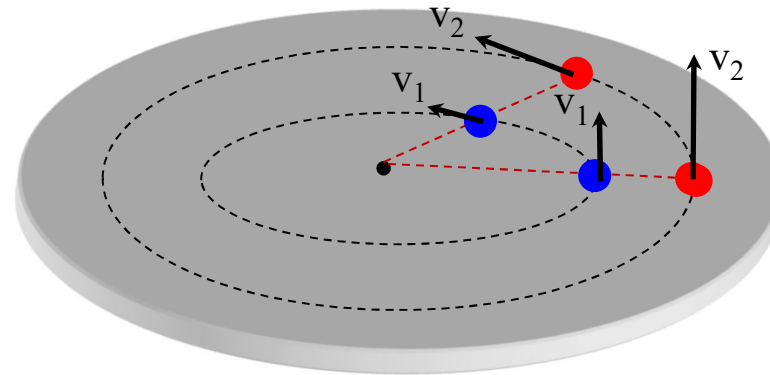
הקשר בין המהירות הקווית והמהירות הזוויתית

ממשוואות המהירות הקווית והמהירות הזוויתית, ניתן למצוא קשר פשוט בין שתי המהירויות:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rf$$

$$\omega = \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$v = \omega \cdot R$$



הכוח הצנטריפטלי בתנועה מעגלית

נדון כעת בגוף שנע בתנועה מעגלית ברדיוס קבוע ובמהירות שגודלה קבוע (תנועה מעגלית קצובה).

בעוד שגודל המהירות קבוע (במקרה זה), כיוון המהירות של גוף בתנועה מעגלית משתנה כל הזמן.

לכן (כפי שלמדנו), הגוף נמצא בתאוצה – ומכאן, בהכרח פועל עליו **כוח**!

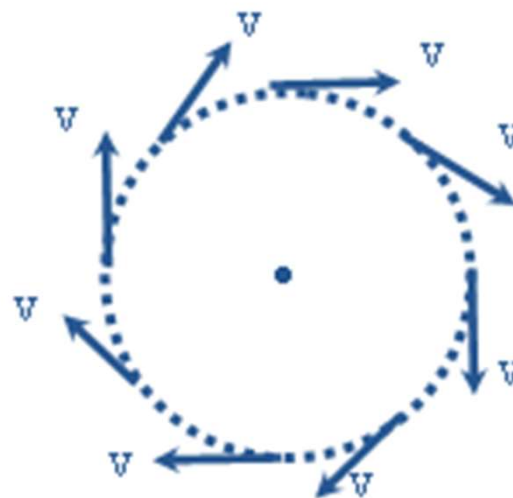
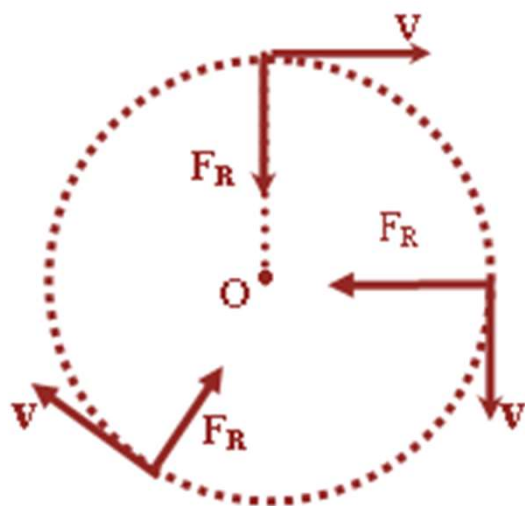
כוח זה, חייב להיות **בכיוון ניצב לתנועה** (אם היה לו רכיב בכיוון משיקי, היה משתנה גם גודל המהירות).

לכן גם התאוצה היא בכיוון מרכז המעגל.

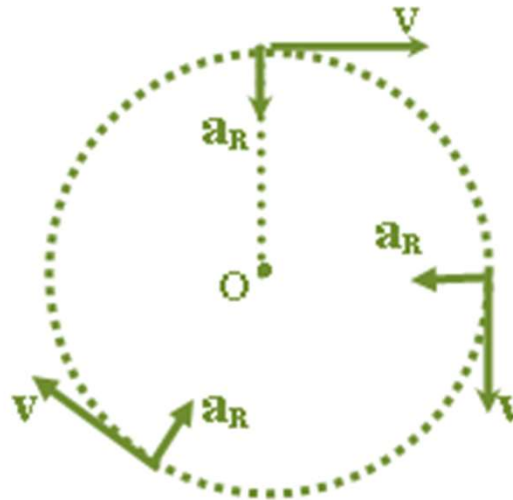
כוח זה, שלעיתים הינו **שקול של מספר כוחות**, הינו כוח מרכזי, כלומר כיוונו כלפי מרכז התנועה, נקרא **כוח**

צנטריפטלי וסימנו F_R .

(משמעות המילה: "שואף אל המרכז". בלטינית: centrum=מרכז, =petere שואף אל...)



הכוח הצנטריפטלי והתאוצה

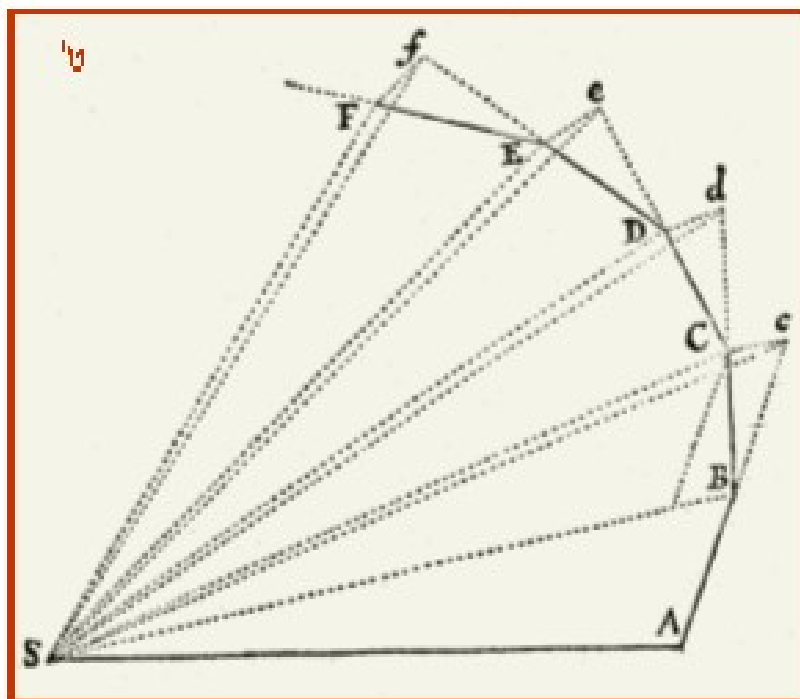


בהתאם לחוק השני של ניוטון ניתן לבטא את הקשר בין שקול הכוחות בכיוון הרדיאלי לבין התאוצה הרדיאלית:

$$\sum F_{(R)} = m \cdot a_{(R)}$$

נמצא את הגדלים בהם תלויה התאוצה הרדיאלית.

ניוטון והתנועה המעגלית



תרשים של ניוטון משנת 1687 בו הוא
מסביר את טיבה של התנועה במעגל

ניוטון דמיין את התנועה במעגל כשורה של התרחקויות והתקרבויות של הגוף ביחס למרכז המעגל. בעזרת מודל זה הסביר ניוטון את תנועתו של הירח סביב כדור הארץ ואת תנועתם של כוכבי הלכת סביב השמש. באופן דומה ניתן להסביר גם את תנועתם של לוויינים, הסובבים את כדור הארץ.

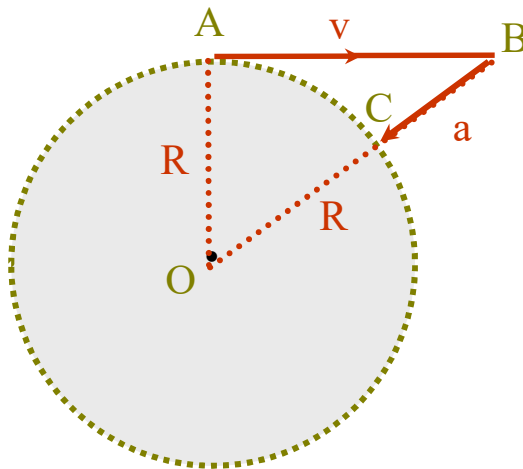
תנועה מעגלית קצובה: תאוצה רדיאלית (1)

מכאן, על פי המודל של ניוטון, ניתן לראות את התנועה המעגלית כחיבור של שתי תנועות קוויות בלתי תלויות:

1. תנועה בכיוון המשיק למעגל במהירות קבועה v .

בפרק זמן Δt הגוף עובר מרחק $AB = v \cdot \Delta t$ ומתרחק מן המעגל.

2. תנועה שוות תאוצה בכיוון המרכז O (BC), ש"מחזירה" אותו אל המסלול המעגלי.
(התאוצה נובעת מפעולת הכוח המרכזי).



תנועה מעגלית קצובה: תאוצה רדיאלית (2)

$$BC = \frac{1}{2} a \cdot (\Delta t)^2$$

את המרחק BC, בו יש לגוף תנועה שוות תאוצה ניתן לבטא כך:

$$AB = v \cdot \Delta t$$

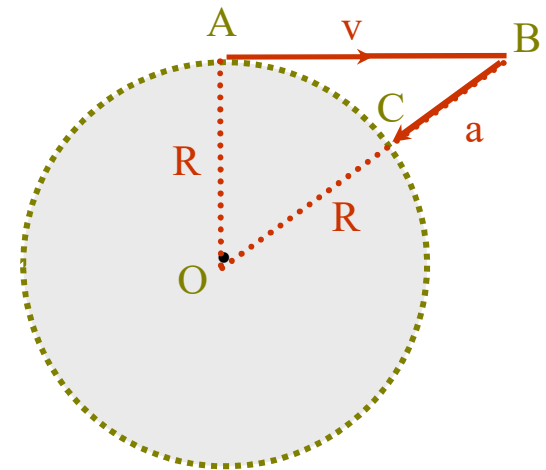
ואת המרחק AB, בו יש לגוף מהירות קבועה, ניתן לבטא כך:

משולש OAB הוא משולש ישר זווית ולכן נוכל לרשום על פי משפט פיתגורס:

$$(OA)^2 + (AB)^2 = (OB)^2$$

$$R^2 + (v \cdot \Delta t)^2 = \left[\frac{1}{2} a \cdot (\Delta t)^2 + R \right]^2$$

נציב את הביטויים של AB ו-OB ונקבל:



לאחר פתיחת סוגריים נקבל:

$$R^2 + (v \cdot \Delta t)^2 = \frac{1}{4} a^2 \cdot (\Delta t)^4 + a \cdot (\Delta t)^2 R + R^2$$

הואיל ומדובר בפרקי זמן קצרים מאוד נזניח את האיבר הכולל את $(\Delta t)^4$, ונקבל:

$$(v \cdot \Delta t)^2 = a \cdot (\Delta t)^2 R$$

תנועה מעגלית קצובה: תאוצה רדיאלית (3)

ובסופו של דבר נקבל ביטוי עבור התאוצה הרדיאלית a_R :

$$a_{(R)} = \frac{v^2}{R}$$

וכבר ראינו ש:

$$v = \omega \cdot R$$

$$a_{(R)} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R$$

מכאן נקבל:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

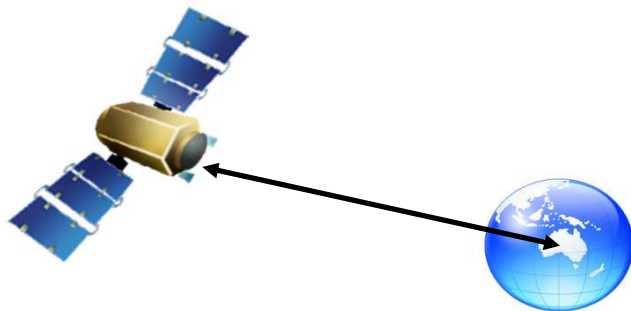
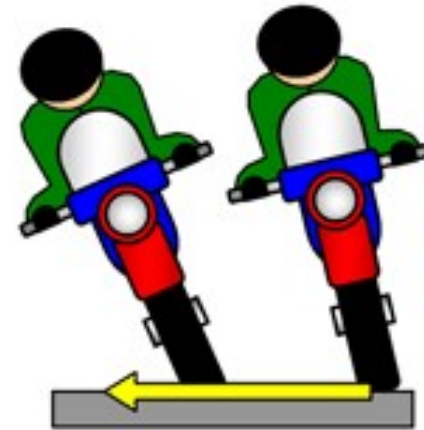
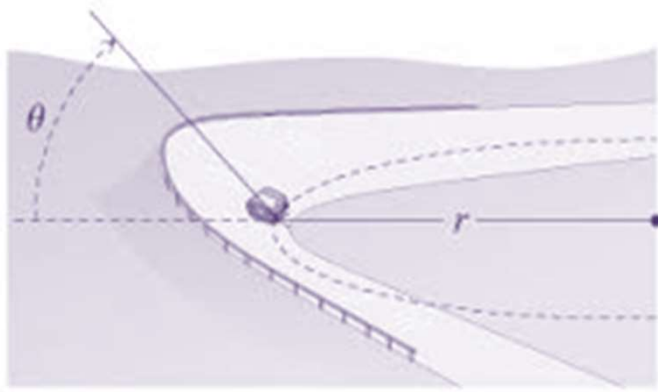
ונזכור שמתקיים גם:

בפתרון בעיות נשתמש בביטוי המתאים בהתאם לנתוני הבעיה, ולמה שנדרש לחשב.

דוגמאות לתנועה מעגלית אופקית

התנועה המעגלית נפוצה מאוד. היא יכולה להיות אופקית או אנכית.

תנועה במעגל אופקי מתקיימת למשל: בתנועת לוויינים סביב כדור הארץ, בתנועת תקליטור, בתנועה על גבי כבישים מעוקלים או מוגבהים, בתנועת מטוסים, במטוטלת קונית ועוד...



קישורים: קיר המוות, הגבהת מעקמים, מטוטלת קונית...

https://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=hZOekFFSoWI ◀

http://phys23p.sl.psu.edu/phys_anim/mech/car_Fc_new.avi ◀

http://phys23p.sl.psu.edu/phys_anim/mech/fc_bankedtrack.avi ◀

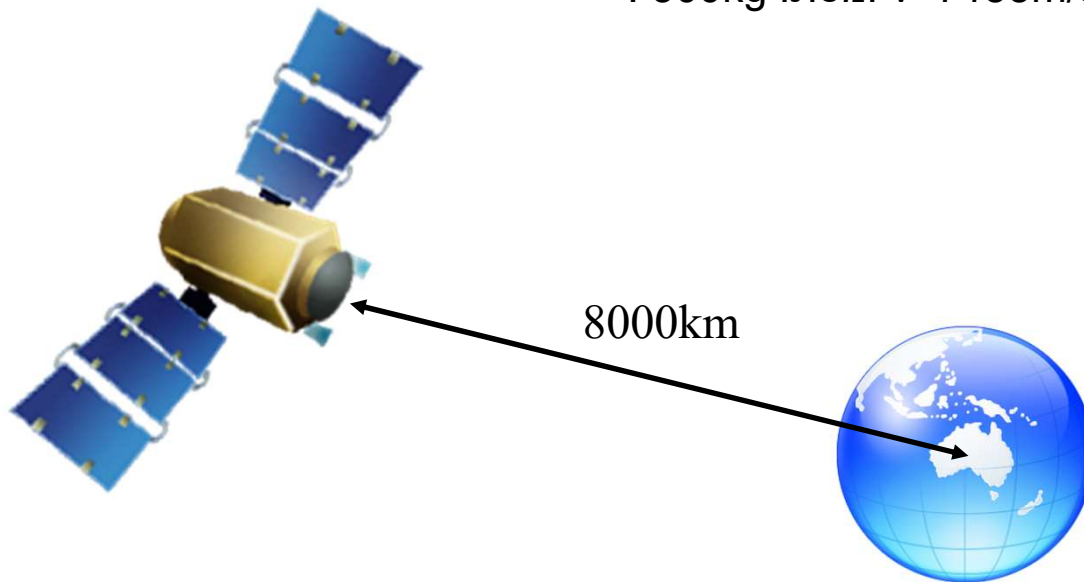
https://moodle.ecolint.ch/pluginfile.php/15528/mod_resource/content/0/videos/conical_pendulum_pretty.avi ◀

http://phys23p.sl.psu.edu/phys_anim/mech/circ.avi ◀

דוגמת חישוב: לוויין סביב כדור הארץ

רדיוס המסלול של לוויין סביב כדור הארץ הוא 8000 ק"מ.

גודל מהירות הלוויין היא $v=7155\text{m/sec}$ ומסתו 300kg .



יש לחשב את:

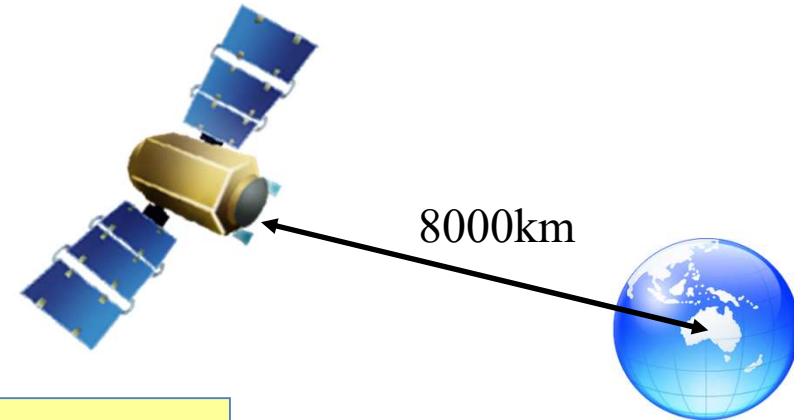
א. כוח המשיכה שמפעיל כדור הארץ על הלוויין.

ב. זמן המחזור של תנועת הלוויין סביב הארץ.

א.

$$\sum F_{(R)} = m \cdot a_{(R)}$$

$$a_{(R)} = \frac{v^2}{R} = \frac{7155^2}{8000 \cdot 1000} = 6.4 \frac{m}{sec^2}$$



$$\sum F_{(R)} = m \cdot a_{(R)} = 300 \cdot 6.4 = 1920 N$$

ב.

$$v = \omega \cdot R$$

$$7155 = \omega \cdot 8000000$$

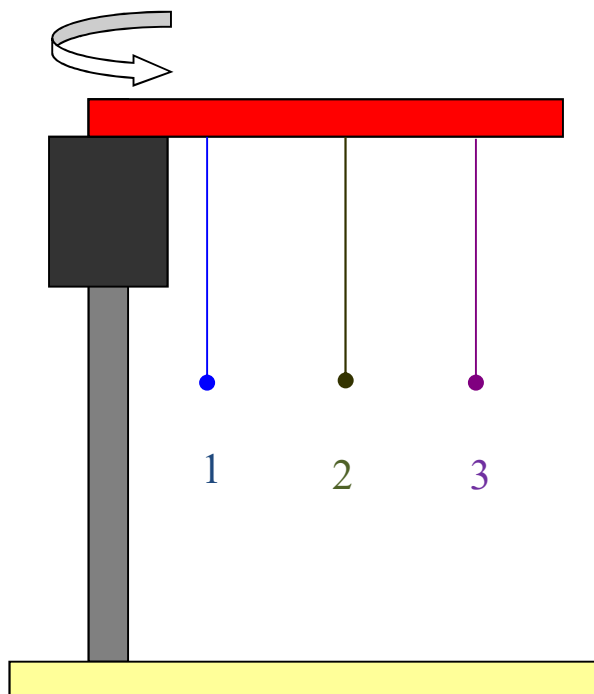
$$\omega = 0.000895 \frac{rad}{sec}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{6.28}{0.000895} = 7016 sec = 1.95h$$

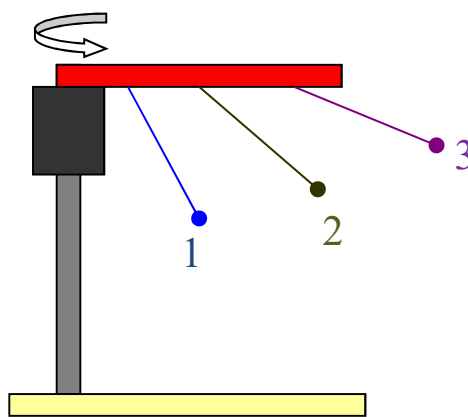
המערכת שלפנינו מכילה מוט אופקי המחובר לצירו של מנוע. על המוט תלויים שלושה חוטים באורכים זהים כשלקצתם של כל חוט קושרים משקולת שווה. מפעילים את המנוע ומגבירים בהדרגה את מהירות הסיבוב עד להתייצבות המערכת. במצב זה התנועה היא קצובה.

מה לדעתכם יתרחש?

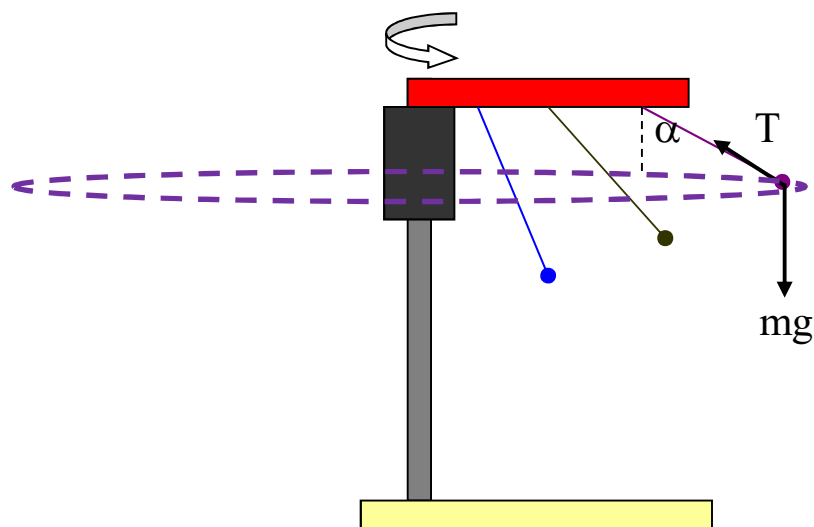


- ▶ נתונה טבלת השוואה בין שלושת הכדורים.
- ▶ ציינו עבור כל אחד מהגדלים האם הוא: "שווה", "הכי גדול", "הכי קטן", "בינוני" (לנוחיותכם סומנו מספר דוגמאות).

הכוח הרדיאלי	התאוצה הרדיאלית	המהירות הקווית	המהירות הזוויתית	זווית הסטייה מהאנך	רדיוס הסיבוב	זמן המחזור	
הכי קטן							כדור 1
		בינוני					כדור 2
	הכי גדולה				הכי גדול		כדור 3



נשים לב כי בדוגמא זו, תנועת כל אחד מהגופים היא אופקית, אך על הגופים פועלים גם כוחות בכיוונים שמחוץ למישור התנועה. במצב בו שלושה גופים מחוברים לגוף, המסתובב בתנועה קצובה, הגופים הנמצאים במרחק גדול יותר מציר התנועה יהיו בעלי מהירות גדולה יותר, מכיוון שבפרק זמן זהה הם עוברים דרך ארוכה יותר.



ניתוח כוחות:

כאשר מפעילים את המנוע, המוט מסתובב וכל משקולת סוטה בהתאם לגודל הכוח השקול הפועל עליה. ננתח את הכוחות הפועלים על אחד מהכדורים.

בכיוון האנכי

על פי החוק הראשון של ניוטון:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$T \cdot \cos \alpha - m \cdot g = 0$$

$$T \cdot \cos \alpha = m \cdot g$$

$$T = \frac{mg}{\cos \alpha}$$

בכיוון מרכז המעגל

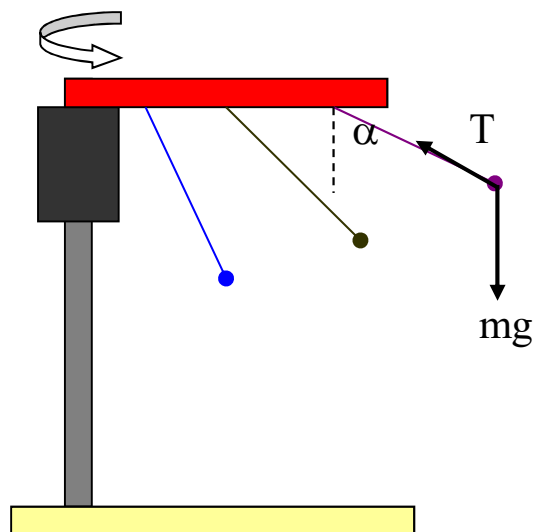
על פי החוק השני של ניוטון:

$$\Sigma F_R = m \cdot a_R$$

$$T \sin \alpha = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

ממערכת המשוואות מתקבל:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v^2}{R \cdot g} = \frac{\left(\frac{2\pi R}{T}\right)^2}{R \cdot g} = \frac{4\pi^2 R}{T^2 \cdot g}$$



זווית הסטייה α של הגופים המחוברים למוט המסתובב בתנועה קצובה, תלויה ברדיוס הסיבוב.

ככל שרדיוס הסיבוב גדול יותר, זווית הסטייה גדולה יותר.

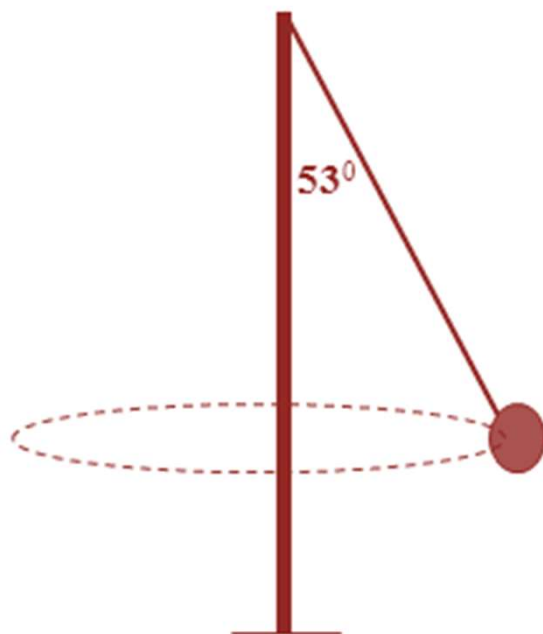
נשים לב שזווית הסטייה אינה תלויה במסה של הגוף, הנע בתנועה מעגלית.

(ניתן להיווכח בכך אם נחליף את אחת המסות במסה כבדה יותר).

תרגיל 1: מטוטלת קונית

כדור קטן שמסתו 1.2 kg קשור בחוט שאורכו 1.5 m ומסתובב במעגל אופקי כך, שהחוט יוצר זווית של 53° עם ציר הסיבוב.

הצורה שיוצרים הכדור והחוט, אליו הוא קשור, בעת סיבובם היא צורה של חרוט (קונוס), לכן מתקן כזה נקרא "מטוטלת קונית".



בהמשך נראה שניתן לנתח תנועות שונות, כגון סיבוב של בעלי כנף באוויר, מטוסים, מכוניות וכו' באופן דומה לניתוח התנועה של מטוטלת קונית.

- א. שרטט/י את כל הכוחות הפעולים על הכדור.
- ב. מהו רדיוס הסיבוב של הכדור?
- ג. מהי המתיחות בחוט?
- ד. מהי תדירות הסיבוב?

https://moodle.ecolint.ch/pluginfile.php/15528/mod_resource/content/0/videos/conical_pendulum_pretty.avi

פתרון תרגיל 1: מסוטלת קונית

ב.

$$\sin \alpha = \frac{R}{\lambda}$$

$$R = \lambda \cdot \sin \alpha$$

ג. בכיוון האנכי

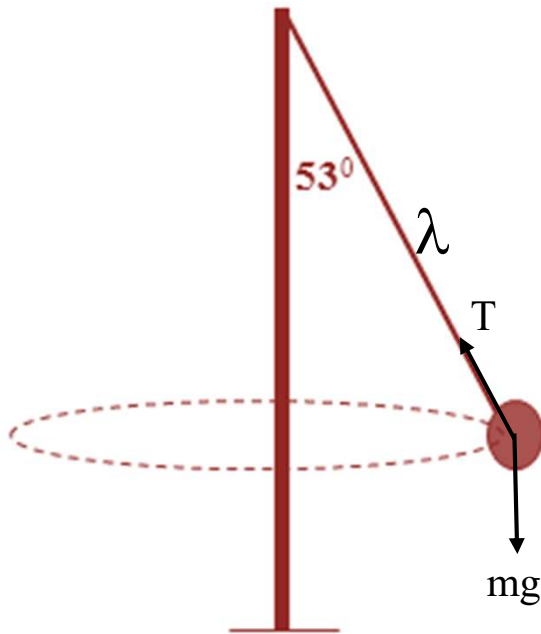
על פי החוק הראשון של ניוטון:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$T \cdot \cos \alpha - m \cdot g = 0$$

$$T \cdot \cos \alpha = m \cdot g$$

$$T = \frac{mg}{\cos \alpha}$$



ד. בכיוון מרכז המעגל

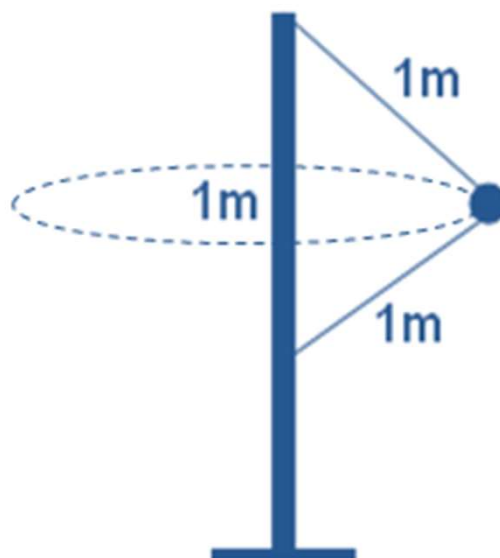
על פי החוק השני של ניוטון:

$$\Sigma F_R = m \cdot a_R$$

$$T \sin \alpha = m \cdot (2\pi f)^2 \cdot R$$

$$f = \sqrt{\frac{T \sin \alpha}{m \cdot 4\pi^2 R}}$$

2. כדור קטן שמסתו 200gr קשור לשני חוטים שאורך כל אחד מהם 1m .
המרחק בין נקודות החיבור של החוטים הוא 1m . הכדור מסתובב בתדירות של 8Hz .



- א. שרטטו את כל הכוחות הפועלים על הכדור.
- ב. מהו רדיוס הסיבוב?
- ג. מהי מהירות הסיבוב של הכדור?
- ד. מהי המתיחות בכל אחד מהחוטים?

פתרון תרגיל 2

ב.

$$\sin \alpha = \frac{R}{\lambda}$$

$$R = \lambda \cdot \sin \alpha$$

ג.

$$v = 2\pi \cdot R \cdot f$$

ד. בכיוון האנכי

על פי החוק הראשון של ניוטון:

$$\Sigma F_y = 0$$

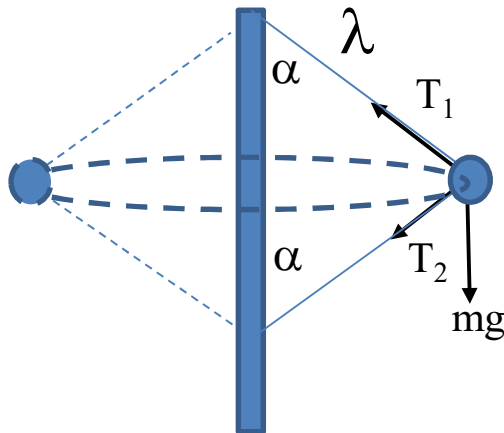
$$T_1 \cdot \cos \alpha - T_2 \cdot \cos \alpha - m \cdot g = 0$$

בכיוון מרכז המעגל

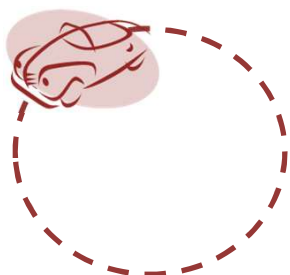
על פי החוק השני של ניוטון:

$$\Sigma F_R = m \cdot a_R$$

$$T_1 \sin \alpha + T_2 \sin \alpha = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

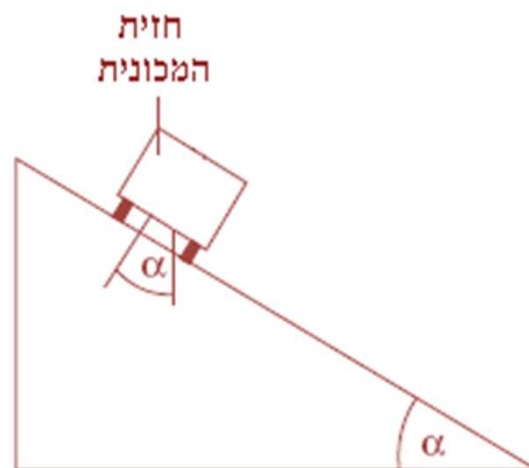
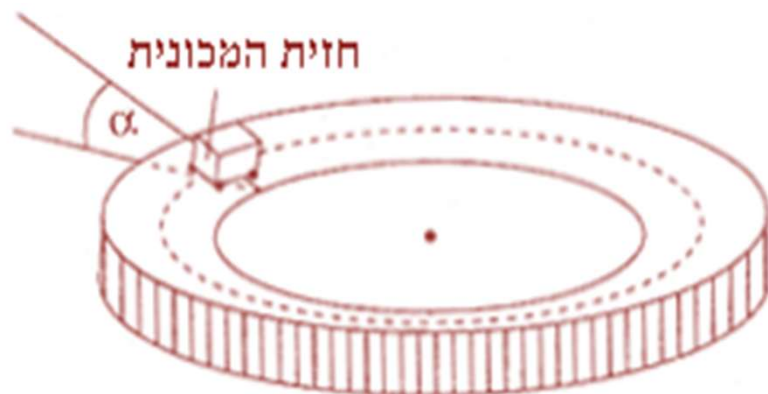


תרגיל 3 – הגבהת מעקמים



מכונית נוסעת על כביש (לא נטוי) במישור אופקי במסלול מעגלי שרדיוסו R גודל המהירות של המכונית קבועה. מקדם החיכוך הסטטי בין צמיגי המכונית לכביש הוא μ_s .
א. בטאו באמצעות נתוני השאלה את המהירות המרבית, בה יכולה המכונית לנסוע על כביש זה מבלי שתחליק.

ב. התרשים למטה מתאר כביש, שצדו האחד מוגבה והוא נטוי בזווית α .
מכונית נוסעת בכביש זה במסלול מעגלי אופקי שרדיוסו R .
הניחו כי החיכוך שהכביש מפעיל על המכונית ניתן להזנחה.
בטאו באמצעות R ו- α את מהירות המכונית הנוסעת בכביש הנטוי.



פתרון תרגיל 3 – הגבהת מעקמים

א. בכיוון האנכי

על פי החוק הראשון של ניוטון:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - m \cdot g = 0$$

בכיוון מרכז המעגל

על פי החוק השני של ניוטון:

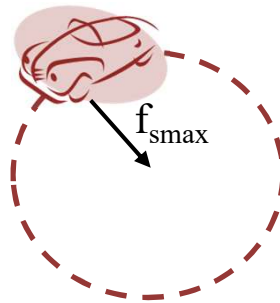
$$\Sigma F_R = m \cdot a_R$$

$$f_{s_{\max}} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$N \cdot \mu_s = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$mg\mu_s = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$v = \sqrt{gR\mu_s}$$



http://phys23p.sl.psu.edu/phys_anim/mech/car_Fc_new.avi

המשך פתרון תרגיל 3 – הגבהת מעקמים

ב. בכיוון האנכי

על פי החוק הראשון של ניוטון:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N \cdot \cos \alpha - m \cdot g = 0$$

בכיוון מרכז המעגל

על פי החוק השני של ניוטון:

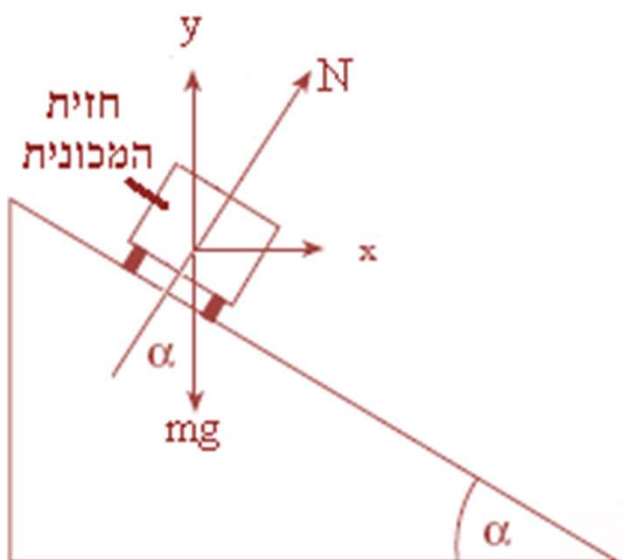
$$\Sigma F_R = m \cdot a_R$$

$$N \sin \alpha = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$N \sin \alpha = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$\frac{mg}{\cos \alpha} \cdot \sin \alpha = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

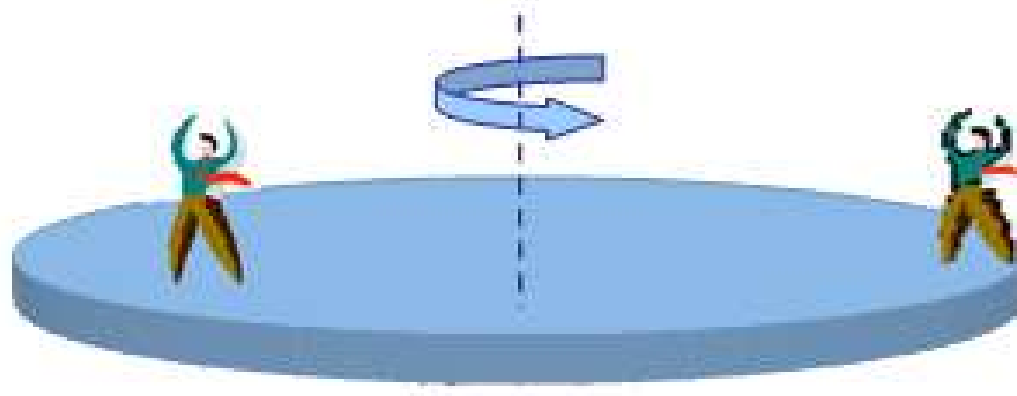
$$v = \sqrt{g \cdot R \cdot \tan \alpha}$$



https://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=hZOekFFSoWI

תרגיל 4 – סחרחרה

שני אנשים עומדים על סחרחרה שרדיוסה $R=5\text{m}$, המשלימה סיבוב אחד ב- 8 שניות. הראשון נמצא על שפת הסחרחרה והשני במרחק של 2.5m מציר הסיבוב.



- מהו ערכו המינימאלי של מקדם החיכוך הנדרש כדי שהאיש, הנמצא על שפתה, לא יינתק ממנה?
- תאוצתו של מי גדולה יותר? פי כמה?
- למי משניהם מהירות **קווית** גדולה יותר? פי כמה?
- למי משניהם מהירות **זוויתית** גדולה יותר? פי כמה?

פתרון תרגיל 4 – סחרחרה

א. בכיוון האנכי

על פי החוק הראשון של ניוטון:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - m \cdot g = 0$$

בכיוון מרכז המעגל

על פי החוק השני של ניוטון:

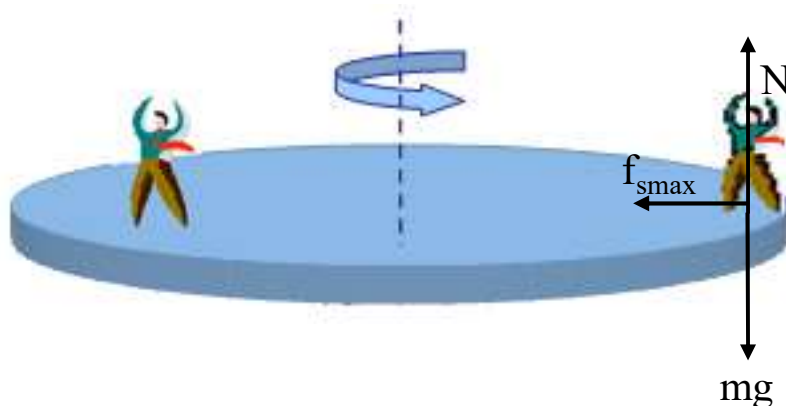
$$\Sigma F_R = m \cdot a_R$$

$$f_{s_{\max}} = m \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot R$$

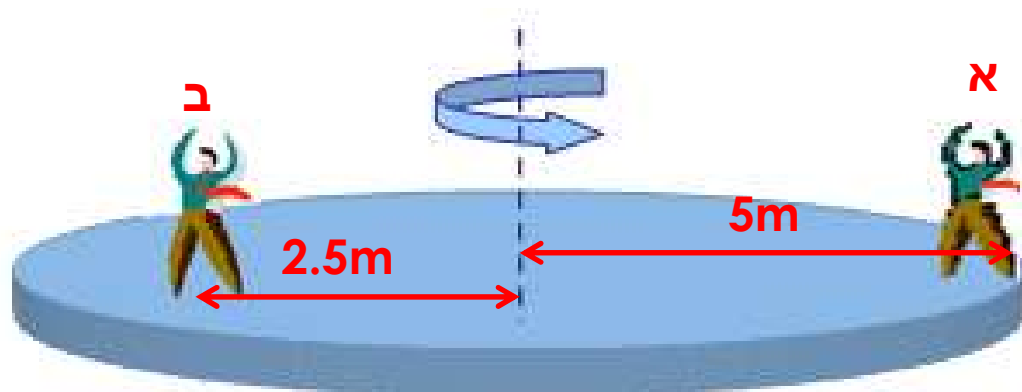
$$N \cdot \mu_s = m \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot R$$

$$mg\mu_s = m \cdot \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot R$$

$$\mu_s = \frac{\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot R}{g}$$



תרגיל 4 – סחרחורה המשך- פתרון כיתתי



פי כמה?	ב (?)	א (?)	
			למי תאוצה גדולה יותר?
			למי מהירות קווית גדולה יותר?
			למי מהירות זוויתית גדולה יותר?

המשך פתרון תרגיל 4 – סחרחרה

ב. כאשר זמן המחזור קבוע, התאוצה הרדיאלית נמצאת ביחס ישר לרדיוס הסיבוב, לכן תאוצת האדם שבשפת הסחרחרה גדולה פי 2.

$$a_{(R)} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \cdot R$$

ג. כאשר זמן המחזור קבוע המהירות הקווית נמצאת ביחס ישר לרדיוס הסיבוב, לכן המהירות הקווית של האדם שבשפת הסחרחרה גדולה פי 2.

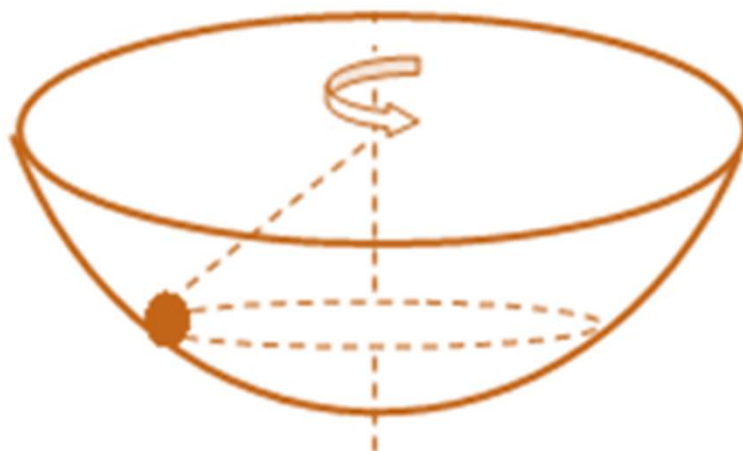
$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

ד. המהירות הזוויתית משותפת לכל הנקודות על גבי הגוף, מכאן שהמהירות הזוויתית של שניהם היא שווה, וגודלה הוא:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

תרגיל 5 – כדור בקערה

שמים כדור קטן שמסתו 30gr בתוך קערה שרדיוסה 40cm, המסתובבת בתדירות של 10Hz. הכדור "מטפס" במעלה הקערה, עד שהוא מגיע למצב שיווי משקל כשהוא בזווית כלשהי ביחס לציר הסיבוב. במצב זה מסתובב הכדור יחד עם הקערה.

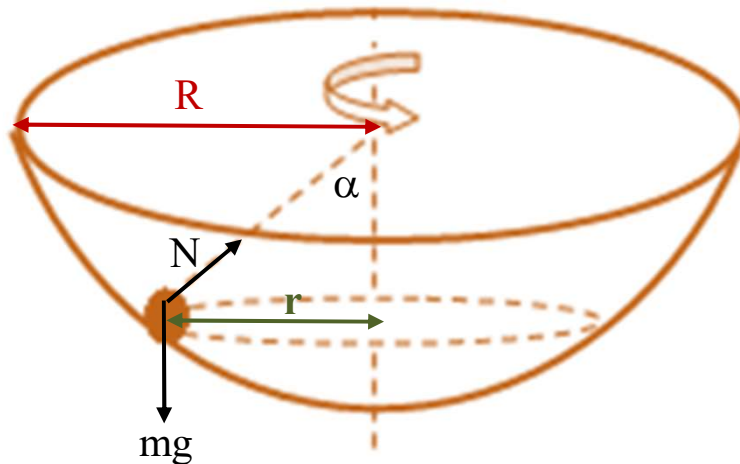


- א. שרטטו את הכוחות הפועלים על הכדור.
- ב. מהו הכוח בו לוחצת הקערה את הכדור?
- ג. מהי הזווית בה נמצא הכדור?
- ד. מהו רדיוס הסיבוב?
- ה. האם יתכן מצב שהכדור יעלה עד לזווית של 90° ?

פתרון תרגיל 5 – כדור בקערה

ב. בכיוון מרכז המעגל

על פי החוק השני של ניוטון:



$$\Sigma F_R = m \cdot a_R$$

$$N \cdot \sin \alpha = m \cdot (2\pi f)^2 \cdot R$$

$$N \cdot \sin \alpha = m \cdot (2\pi f)^2 \cdot r \cdot \sin \alpha$$

$$N = m \cdot (2\pi f)^2 \cdot r$$

ג. בכיוון האנכי

על פי החוק הראשון של ניוטון:

$$\Sigma F_y = 0$$

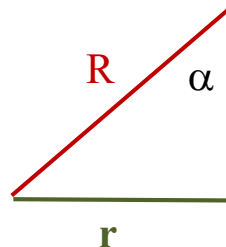
$$N \cdot \cos \alpha - m \cdot g = 0$$

$$\cos \alpha = \frac{m \cdot g}{N}$$

ד.

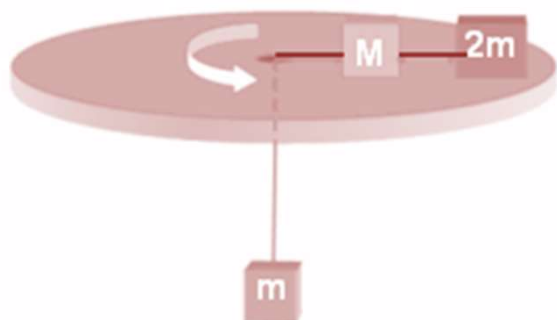
$$\sin \alpha = \frac{r}{R}$$

$$r = R \cdot \sin \alpha$$



ה. לא, כי אז לא יהיה רכיב כוח בכיוון האנכי, שיאזן את כוח הכובד.

שני גופים שמסותיהם M ו- $2m$ מונחים על גבי דסקה אופקית חלקה, הסובבת במהירות זוויתית ω . הגוף שמסתו M מקושר מצידו האחד בעזרת חוט חסר מסה לגוף שמסתו $2m$ ומצידו השני בעזרת חוט חסר מסה למשקולת תלויה שמסתה m . החוט עובר דרך חור במרכז הדסקית. הגופים שעל הדיסקית נמצאים במנוחה ביחס לדיסקית. נתונים: ω, g, m, M .



- א. באיזה מרחק R ממרכז הדיסקית נימצא הגוף שמסתו M , אם ידוע שהגוף שמסתו $2m$ נימצא במרחק $2R$ ממרכז הדיסקית?
- ב. מצא את המתיחות בכל אחד מהחוטים.
- ג. מוציאים את הגוף שמסתו $2m$.
1. היכן יש למקם את הגוף שמסתו M , בכדי שיימצא במנוחה ביחס לדיסקית?
2. אילו הדיסקית לא הייתה חלקה, ומקדם החיכוך בין הגוף שמסתו M לבין השולחן היה μ_s . מה היו ערכיו של מרחק הגוף מציר הסיבוב ($R_{\min}$ ו- $R_{\max}$), אשר לגביהם יישאר הגוף במנוחה יחסית למשטח המסתובב?

http://phys23p.sl.psu.edu/phys_anim/mech/circ.avi

◀ **רדיון** אחד שווה לזווית המרכזית הנשענת על קשת שאורכה שווה לרדיוס.

◀ **זמן המחזור** - T - הזמן הדרוש לגוף להשלים הקפה אחת במסלול מעגלי.

◀ **התדירות** - f - מספר הסיבובים שמבצע הגוף ביחידת זמן.

$$f = \frac{1}{T}$$

◀ **המהירות הזוויתית** - השינוי בזווית $\Delta\phi$ בפרק זמן Δt :

$$\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

◀ הקשר בין המהירות הקווית והמהירות הזוויתית:

$$v = \omega \cdot R$$

◀ בגוף שאינו נקודתי קשיח (גוף צפיד) הנע בתנועה מעגלית, כל הנקודות נעות במהירות זוויתית זהה והמהירות הקווית גדלה ככל שמתרחקים ממרכז הסיבוב של הגוף.

◀ הכוח צנטריפטלי (שסימנו F_R) הוא שקול הכוחות שפועלים על הגוף בכיוון מרכז הסיבוב.

◀ בהתאם לחוק השני של ניוטון ניתן לבטא את הקשר בין שקול הכוחות בכיוון הרדיאלי לבין התאוצה הרדיאלית:

$$\sum F_{(R)} = m \cdot a_{(R)}$$

◀ בתנועה מעגלית קצובה, התאוצה הרדיאלית (המכוונת אל מרכז המעגל) משנה את כיוון המהירות בלבד.

את גודלה ניתן למצוא בעזרת אחת מהנוסחאות הבאות:

$$a_{(R)} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$