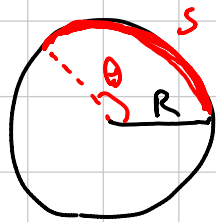
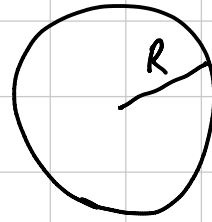


תנועה מעגלית קבועה



$$s = \theta \cdot R$$

אורך הקשת



$$C = 2\pi \cdot R$$

$$s = \theta \cdot R$$

$$\downarrow \frac{d}{dt} \sim \frac{\Delta}{\Delta t}$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{d\theta}{dt} \cdot R$$

$$v = \omega R$$

אורך מהירות v

מהירות זוויתית ω

קצב השינוי של הזווית

$$\frac{ds}{dt} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \omega R \quad \text{כאלו אורך המהירות קבוע:}$$

נקרא T "שמן מסור", הזמן שלוקח לחלקיק לעלות סיבוב שלם.

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi R}{T} = \omega R$$

סיבוב שלם:

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

לכן מצאנו ω :

$$\omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = \frac{2\pi \text{ (rad)}}{T \text{ (s)}}$$

חלקיק משלים סיבוב אחד ב-0.2 שנייה. כמה סיבובים הוא משלים בשנייה אחת?

תבנית

$$\frac{1 \text{ turn}}{0.2 \text{ s}} = \frac{x \text{ turn}}{1 \text{ s}} \rightarrow x = \frac{1 \text{ turn}}{0.2} = 5 \text{ turn}$$

$$f = \frac{1 \text{ turn}}{T(\text{s})} = \frac{1}{T} \frac{\text{turn}}{\text{s}} = \frac{1}{T} (\text{Hz})$$

תבנית / מספרים
תבנית / שנייה אחת

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

תבנית / סוגי
מהירות / סוגי

מה זמן המחזור של השדה האלקטרומגנטי של שידור תחנת רדיו 88 fm?

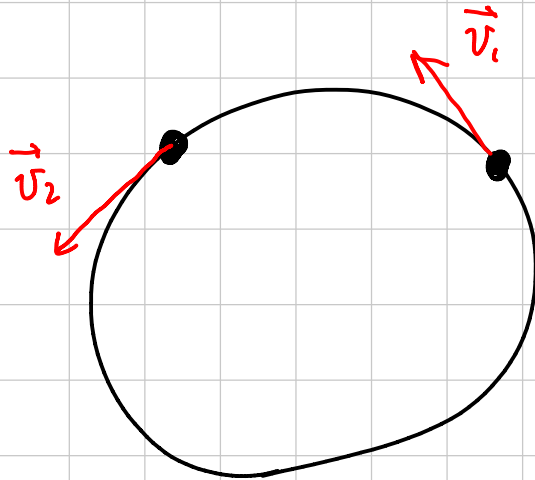
תבנית

$$f = 88 \text{ MHz} = 88 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$$f = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{88 \cdot 10^6} \text{ s} = 1.1 \cdot 10^{-8} \text{ s} = 11 \text{ ns}$$

תאוצה צנטריפטלית

CENTRIPETAL
ACCELERATION



$$|\vec{v}| = \text{const}$$

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \rightarrow \vec{v}_2 - \vec{v}_1 =$$

A diagram showing the subtraction of vector \vec{v}_1 from vector \vec{v}_2 . The result is a vector pointing from the tip of \vec{v}_1 to the tip of \vec{v}_2 .

$$\vec{v}_2 - \vec{v}_1 =$$

A diagram showing the addition of vector \vec{v}_2 and the negative of vector \vec{v}_1 (labeled $-\vec{v}_1$). The resulting vector is labeled $\Delta \vec{v}$.

היטאוציה היא כלפי מטה. \vec{a} לא משנה את גודל הווקטור \vec{v} , רק את כיוונו!
CENTRIPETAL = מחפש את המרכז (של הסיבוב)

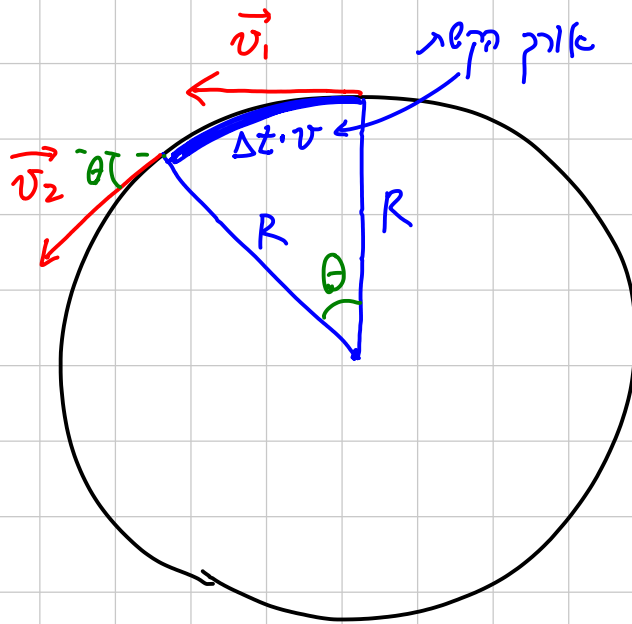
היטאוציה תלויה בגודל המהירות וברדיוס הסיבוב:

$$a = \frac{v^2}{R}$$

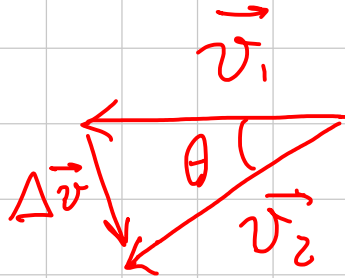
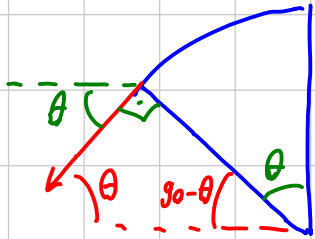
$v = \omega R$	$f = \frac{1}{T}$
$\omega = \frac{2\pi}{T}$	$a = \frac{v^2}{R}$

סיכום משוואות יחידות:

הוכחה

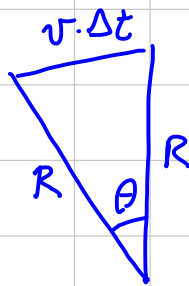
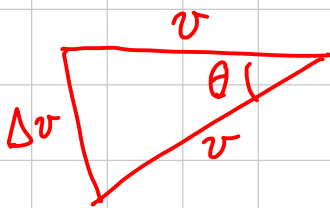


$$|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2|$$



$$\begin{aligned} \vec{v}_1 + \vec{v}_3 &= \vec{v}_2 \\ \vec{v}_3 &= \vec{v}_2 - \vec{v}_1 \\ \vec{v}_3 &= \Delta \vec{v} \end{aligned}$$

ר'N/3 פה פירט עליון והשווה בין ר'N/3



יחס בין הצדדים הקצרים

$$\left\{ \frac{\Delta v}{v \Delta t} = \frac{v}{R} \right.$$

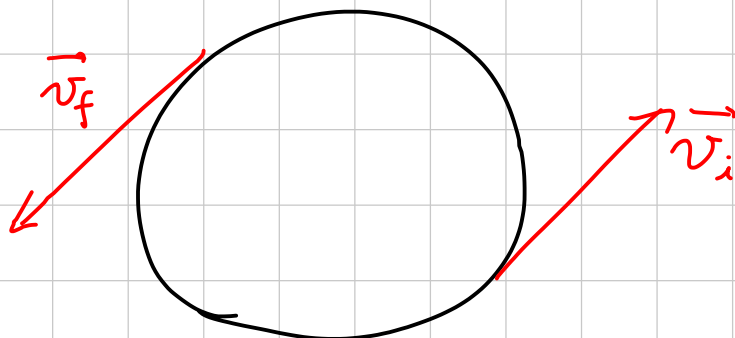
יחס בין הצדדים הארוכים

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{R}$$

$$a = \frac{v^2}{R}$$

יבוא

מטוס עושה סיבוב מעגלי במהירות קבועה, כאשר ראשו של הטייס פונה כלפי מרכז הסיבוב. המטוס מתחיל את הסיבוב במהירות $\vec{v}_i = 400\hat{i} + 500\hat{j}$ m/s וכעבור 24 שניות המהירות היא $\vec{v}_f = -400\hat{i} - 500\hat{j}$ m/s. מה גודל התאוצה הצנטריפטלית, ביחידות של g?



24s - e נסיון נסה - e
 $T = 48s$; $\vec{v}_i = -\vec{v}_f$; $\vec{v}_i = -\vec{v}_f$; $\vec{v}_i = -\vec{v}_f$
הוא מסלול חצי מעגל ;

$$a = \frac{v^2}{R} ; \quad v = \omega R ; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$|\vec{v}| = v = \sqrt{400^2 + 500^2} \cong 640 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{v^2}{v/\omega} = \omega v = \frac{2\pi v}{T}$$

$$a = \frac{2\pi \sqrt{400^2 + 500^2}}{48} = 83.8 \text{ m/s}^2 = 8.6 \text{ g}$$

תרגיל

מאוורר מסתובב 1200 פעמים בדקה. קצה הלהב במרחק 15 cm ממרכז הסיבוב.

- מה המרחק הכולל שקצה הלהב עובר בסיבוב שלם?
- מהו התדר ה-Hz?
- מה גודל מהירות קצה הלהב?
- מה גודל תאוצת קצה הלהב?
- מהו זמן המחזור?

$$R = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$$

$$f = \frac{1200 \text{ turn}}{\text{min}}$$

$$S = 2\pi R = 2\pi \cdot 0.15 \text{ m}$$

$$S = 0.94 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} v &= \omega R \\ \omega &= \frac{2\pi}{T} \\ f &= \frac{1}{T} \\ a &= \frac{v^2}{R} \end{aligned}$$

$$f = 1200 \frac{\text{turn}}{\text{min}} \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = \frac{1200 \text{ turn}}{60 \text{ s}}$$

$$f = 20 \text{ Hz}$$

$$v = \omega R = \frac{2\pi}{T} R = 2\pi f \cdot R$$

$$v = 2\pi \cdot 20 \cdot 0.15$$

$$v = 18.8 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{v^2}{R} = \frac{(2\pi \cdot f \cdot R)^2}{R} = (2\pi)^2 f^2 R$$

$$a = 2369 \text{ m/s}^2$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{20} \text{ s} = 0.05 \text{ s}$$

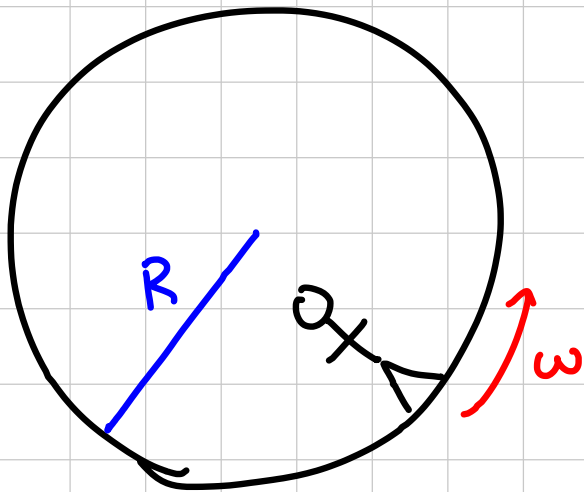
חללית מעגלית בעלת רדיוס 8 m יוצרת תאוצה צנטריפטלית, כך שעבור מי שנמצא בתוכה, נדמה שקיימת תאוצה בגודל 9.8 m/s^2 .

א. באיזו מהירות זוויתית ω החללית מסתובבת?

ב. מהו זמן המחזור?

ג. מהו גודל המהירות v של אדם העומד שם?

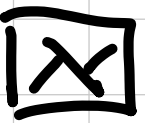
ד. איזו תאוצה צנטריפטלית ירגיש אדם שעולה בסולם בכיוון מרכז החללית?



$$R = 8 \text{ m}$$

$$a_c = 9.8 \text{ m/s}^2$$

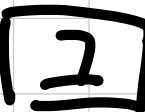
$$a = \frac{v^2}{R} \quad v = \omega R$$



$$a = \frac{\omega^2 R^2}{R} \rightarrow a = \omega^2 R$$

$$\omega^2 = \frac{a}{R} \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{a}{R}} \rightarrow \boxed{\omega = \sqrt{\frac{9.8}{8}} = 1.1 \text{ rad/s}}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{R}{a}}$$



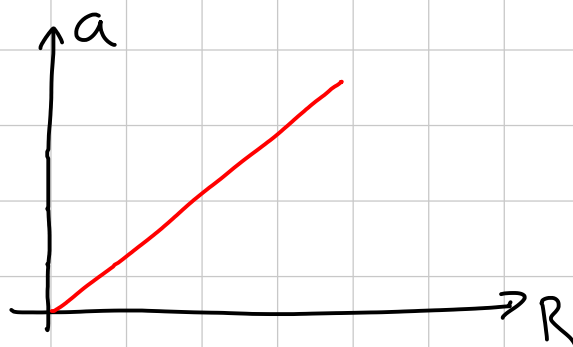
$$\boxed{T = 5.7 \text{ s}}$$

$$a = \frac{v^2}{R} \rightarrow v^2 = aR \rightarrow \boxed{v = \sqrt{aR} = 8.9 \text{ m/s}}$$



$$a(R) = \omega^2 R$$

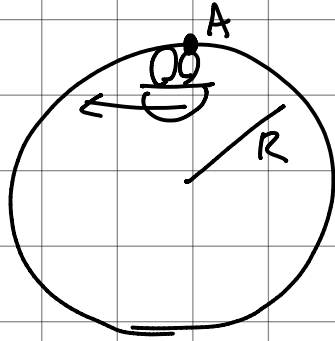
התאוצה a קטנה לאט
כאשר $R \rightarrow 0$!





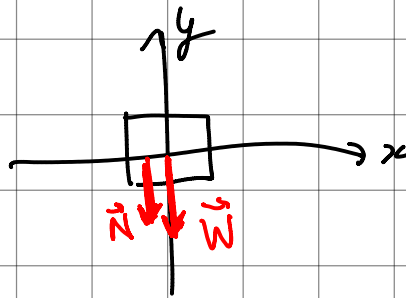
מכונית בעלת מסה 700 kg נוסעת במסלול כפי שמוצג באיור. רדיוס הלולאה הוא 5 m. מה המהירות המינימלית כדי שהמכונית תצליח להשלים את המסלול?

תרגיל



$$m = 700 \text{ kg}$$

$$R = 5 \text{ m}$$



פאזיטר
אוף דופט
נקודה A:

$$F_{NET} = F_{CENT}$$

$$N + W = \frac{mv^2}{R}$$

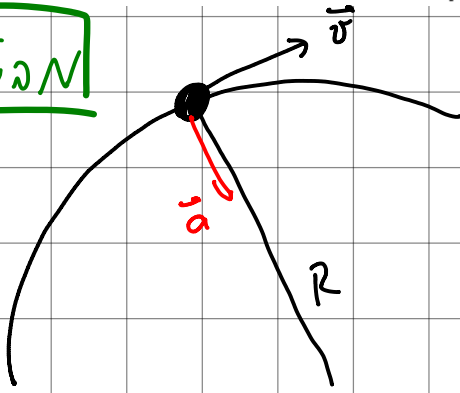
כאשר המכונית על סף לא להפסיק את העולה, היא מתחילה להינתק מהמסלול, ולכן $N=0$

$$W = mg = \frac{mv^2}{R}$$

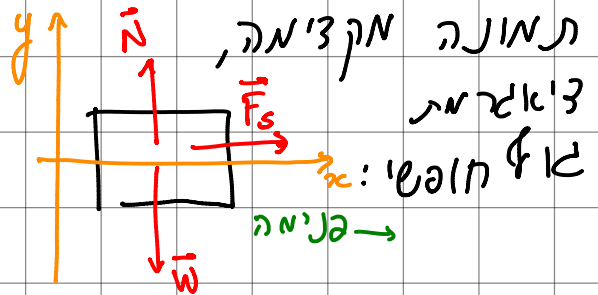
$$v^2 = gR \rightarrow v = \sqrt{gR} = 7 \text{ m/s} = 25.2 \text{ km/h}$$

מכונית בעלת מסה 1000 kg נוסעת בעיקול מעגלי בעל רדיוס 30 m. בהינתן שמקדם החיכוך הסטטי בין הצמיגים לכביש הוא 0.7, מה המהירות המירבית שהמכונית תוכל לנסוע בלי להחליק?

מבט צד



מבט גב



$$\vec{N} + \vec{w} = 0 \rightarrow N = mg \quad \text{צ'ר } y$$

מכיוון שהמכונית צד סוף. $F_s = \frac{mv^2}{R}$ צ'ר x

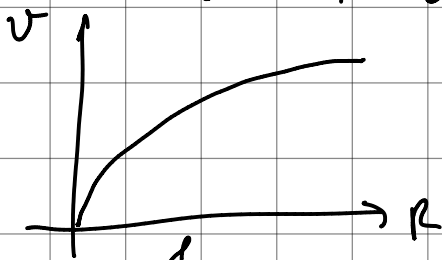
התסקרה: $F_s \leq \mu_s N$

$F_s = \mu_s N$ $\mu_s \cdot N = \frac{mv^2}{R}$

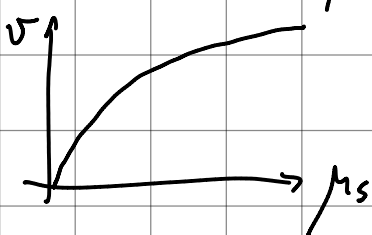
$$\mu_s mg = \frac{mv^2}{R}$$

$$v^2 = \mu_s g R \rightarrow v = \sqrt{\mu_s g R} = 14.3 \text{ m/s} = 52 \text{ km/h}$$

— מה יקרה אם רציוס העיקול יקטן? ציירו גרף

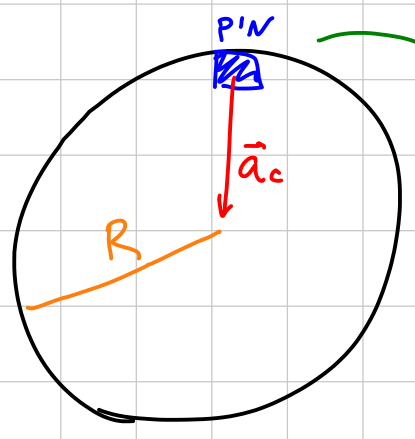


— מה יקרה אם הכביש יהיה יבש חלק? ציירו גרף

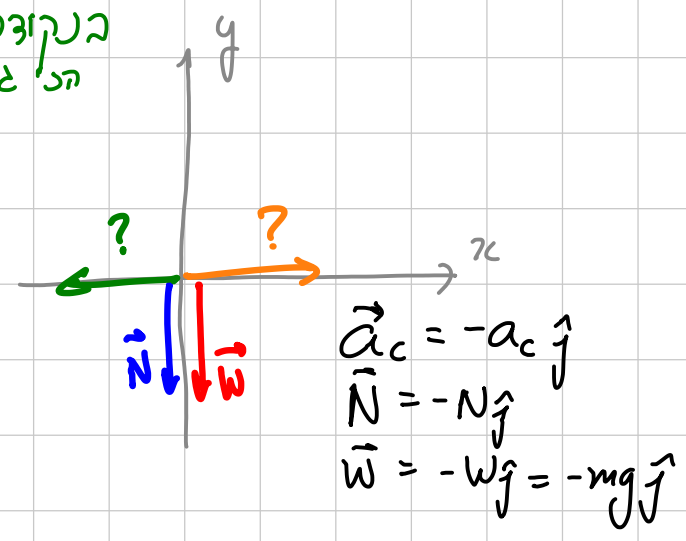


תרגיל

אדם מסובב דלי עם 4 ליטרים מים במישור אנכי.
 כמה פעמים בדקה הוא צריך לסובב כדי להבטיח
 שהמים לא ייפלו מהדלי? המרחק בין המים לכתף
 (מרכז הסיבוב) הוא 1.0 מטר.



הת' גבוהה
 בתקופה



$$\sum F_y = m \vec{a}$$

הכיוון y:

$$\vec{N} + \vec{W} = m \vec{a}_c$$

$$-N \hat{j} - mg \hat{j} = -m a_c \hat{j}$$

PK הריץ כמעט טכניס מהפס: N=0

כף משנה מה
 המסה!

$$-mg = -m a_c$$

$$a_c = g$$

$$\frac{v^2}{R} = g \rightarrow v = \sqrt{gR}$$

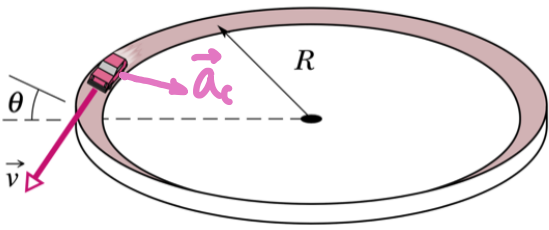
$$v = \omega R = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi f R$$

$$f \left(\text{Hz} = \frac{1}{s} \right)$$

$$2\pi f R = \sqrt{gR} \rightarrow f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{R}}$$

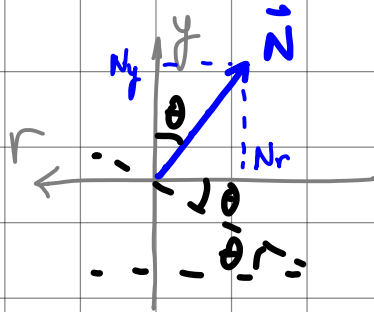
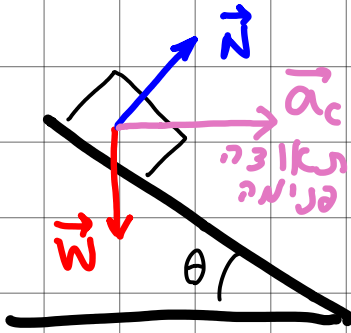
$$f \approx 0.5 \text{ Hz} = 0.5 \frac{\text{turn}}{s} \left(\frac{60s}{1\text{min}} \right) = 0.5 \cdot 60 \frac{\text{turn}}{\text{min}} = 30 \frac{\text{turn}}{\text{min}} = 30 \text{ RPM}$$

תרגיל



לא תמיד תוכלו לסמוך על החיכוך שבזכותו תעבור מכוניתכם את עיקול הדרך, במיוחד אם הדרך קפואה או רטובה. זאת הסיבה לשיפוע שבעיקולי דרכים מהירות. נניח שמכונית בעלת

מסה m נעה במהירות קבועה $v=20$ m/s, בעיקול משופע שהרדיוס שלו $R=190$ m. מהי הזווית θ שהופכת את ההסתמכות על החיכוך למיותרת?



$$\vec{N} = -N_r \hat{r} + N_y \hat{j}$$

$$N_r = N \sin \theta$$

$$N_y = N \cos \theta$$

$$\vec{W} = -W \hat{j}$$

N_r הוא הכוח היחיד שבונה ומרכז הסיבוב, לכן הוא הכוח הצנטריפטי:

$$N_r = \frac{mv^2}{R}$$

$$N \sin \theta = \frac{mv^2}{R}$$

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

$$\vec{W} + \vec{N}_y = 0$$

$$-W \hat{j} + N_y \hat{j} = 0$$

$$N_y = W$$

$$N \cos \theta = W$$

$$N = \frac{W}{\cos \theta} = \frac{mg}{\cos \theta}$$

כדי למצוא את N נעשה מאזן כוחות בכיוון y :

$$N \sin \theta = \frac{mv^2}{R}$$

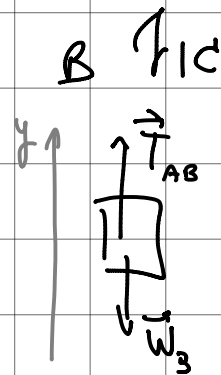
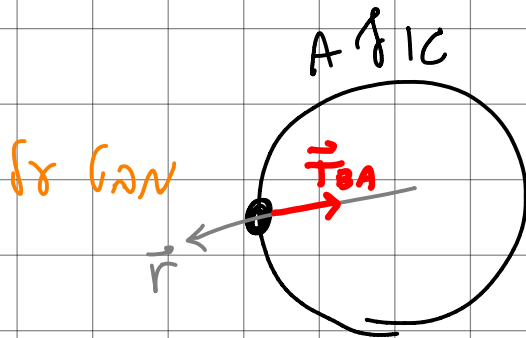
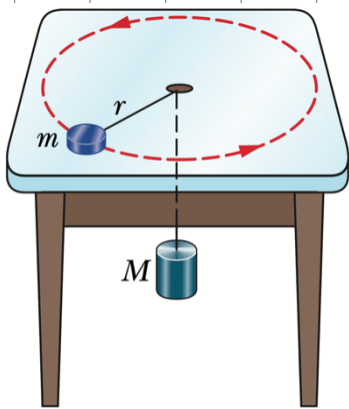
$$mg \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{mv^2}{R}$$

$$\tan \theta = \frac{v^2}{gR}$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{v^2}{gR} \right) \rightarrow \theta = 0.21 = 12^\circ$$

תרגיל

גוף בעל מסה $m=1.50 \text{ kg}$ מחליק על שולחן חסר חיכוך בתנועה מעגלית שרדיוסה 20.0 cm . הגוף קשור דרך חור בשולחן למסה של 2.50 kg . איזו מהירות תאפשר לגוף השני להישאר במנוחה?



מבט מן העל

$$\vec{T}_{AB} = T \hat{j}$$

$$\vec{W}_B = -W_B \hat{j}$$

$$T_A = T_B = T$$

$$\sum \vec{F}_y = 0$$

$$T \hat{j} - W_B \hat{j} = 0 \rightarrow T = W_B$$

: מבט מן העל

: מבט מן הצד : T הוא הכוח הצנטריפטלי

$$T = \frac{m_A v^2}{R}$$

$$W_B = \frac{m_B v^2}{R}$$

$$v^2 = \frac{m_B g R}{m_A}$$

$$v = \sqrt{\frac{m_B g R}{m_A}} \rightarrow v \approx 1.8 \text{ m/s}$$