

# בוחן בפיזיקה קלאסית 1

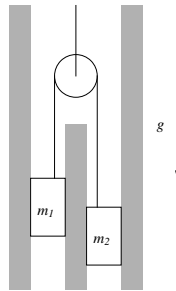
מרצה: פרופ' אהוד נקר מתרגלים: מיכל פטרושבסקי ומיכאל רוטמן

סמסטר א', תשע"ג  
7 בדצמבר, 2012

## הנחיות לנבחן

עליכם לענות על כל הסעיפים. ניתן להשתמש בדף נוסחאות אחד הכתוב משני צידי. אין להיעזר בשום מכשיר אלקטרוני. משך המבחן הוא 1.5 שעות. **בהצלחה!**  
ניתן להניח ש  $\mu_k = \mu_s$ , הגלגלת חסרת מסה והחוסים חסרי מסה ולא אלסטיים.

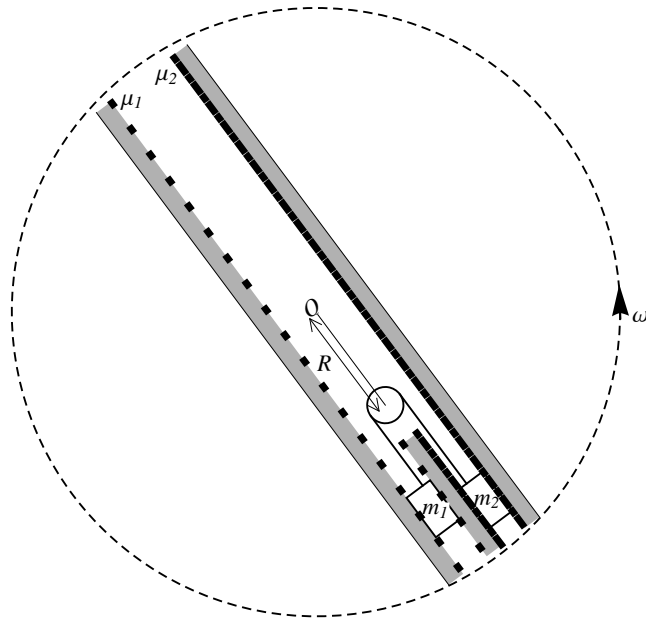
1. נתונה המערכת שבשרטוט. מצאו את תאוצת המסות. שימו לב שפועל כח משיכה. (20 נקודות)



2. כעת מסובבים את המערכת בזווית  $\theta$  ביחס לאופק (כך שהגלגלת גבוהה מהמסות). כעת קיים מקדם חיכוך  $\mu_1$  בין המסה  $m_1$  לקירות ומקדם חיכוך  $\mu_2$  בין  $m_2$  לקירות. מצאו את תאוצת המסות במקרה זה. (25 נקודות)

## החל מהסעיף הבא לא פועל כח כבידה.

3. כעת המערכת מסתובבת במהירות זוויתית  $\omega$  קבועה כנתון באיור. מרכז הסיבוב נמצא בנקודה  $O$ . נתונים המרחק בין המרכז לגלגלת,  $R$ , והמרחקים בין המסה  $m_1$  ו-  $m_2$  למרכז הסיבוב,  $r_1 > R$  ו-  $r_2 > R$ . בהתאמה. נתון גם שבזמן  $t = 0$  מרחק המסות מהראשית אינו משתנה בזמן (כלומר  $\dot{r}_1 = \dot{r}_2 = 0$ ). מה התנאי שצריך להתקיים בין נתוני הבעיה על מנת שהמרחקים בין המסות לראשית יישארו קבועים בכל זמן? הניחו כי המסות נמצאות רחוק מאוד מהראשית ולכן נעות רק בכיוון רדיאלי. (25 נקודות)



החל מהסעיף הבא מקדמי החיכוך  $\mu_1$  ו- $\mu_2$  הינם אפס.

4. גמד שיושב במרכז המערכת המסתובבת מושך את הגלגלת בכוח,  $F$ , הגדול מספיק על מנת שהגלגלת תנוע לכיוון המרכז. נתון שב- $t = 0$  מתקיים

$$\begin{aligned} R(t=0) &= R_0 & \dot{R}(t=0) &= 0 \\ r_1(t=0) &= r_{10} & \dot{r}_1(t=0) &= 0 \\ r_2(t=0) &= r_{20} & \dot{r}_2(t=0) &= 0 \end{aligned}$$

רשמו את מיקום הגופים כתלות בזמן (כל זמן ש  $R, R > 0, r_1, r_2 > R$ ). (20 נקודות)

5. מה מיקום הגלגלת כתלות בזמן בסעיף הקודם? (10 נקודות)

פתרון:

א. הפתרון זהה לשאלה שנפתרה בכיתה:

$$a_1 = g \left( \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right)$$

$$a_2 = -a_1$$

כאשר תאוצה חיובית היא בכיוון כח הכובד.

ב. כח החיכוך ולכן התאוצה תלויים בכיוון התנועה. נניח תחילה ש  $m_1$  נעה כלפי מטה. נבחר מערכת צירים כך שכיוון חיובי במורד השיפוע. משוואות הכח הן:

$$m_1 a_1 = m_1 g \sin \theta - \mu_1 N_1 - T$$

$$m_2 a_2 = m_2 g \sin \theta + \mu_2 N_2 - T$$

$$\text{כאשר } a_1 = -a_2 \text{ ו } N_1 = m_1 g \cos \theta ; N_2 = m_2 g \cos \theta$$

מפתרון משוואות אלו מקבלים:

$$a_1 = g \left( \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \sin \theta - \frac{m_1 \mu_1 + m_2 \mu_2}{m_1 + m_2} \cos \theta \right)$$

כעת נניח ש  $m_2$  נעה כלפי מטה. במקרה זה הפתרון לעיל תקף כאשר מחליפים בין האינדקסים 1 ו 2.

לבסוף נניח שברגע כלשהו אין תנועה. אז התאוצה תלויה בתנאי  $(m_1 \mu_1 + m_2 \mu_2) \cos \theta \geq (m_1 - m_2) \sin \theta$

אם הוא מתקיים אז  $a = 0$  (אין תנועה מאחר חיכוך מונע זאת). אחרת המסה הגדולה יותר מאיצה כלפי מטה לפי הפתרון שמצאנו.

ג. נשים לב תחילה שמאחר והרדיוס והמהירות הזוויתית של הגופים לא משתנים אז אין כח נורמלי ולכן גם אין חיכוך:

$$N = m a_r = m(\dot{\omega} + 2\omega\dot{r}) = 0$$

מאחר ואין כבידה הכח היחידי במערכת הוא T (מצביע לכיוון המרכז).

$$-T = m a_{r,1} = m_1(\ddot{r}_1 - \omega^2 r_1)$$

$$-T = m a_{r,2} = m_2(\ddot{r}_2 - \omega^2 r_2)$$

נדרוש  $\ddot{r}_1 = \ddot{r}_2 = 0$  ונקבל שהתנאי לכך הוא:

$$m_1 r_1 = m_2 r_2$$

כאשר מהגדרת השאלה מתחייב  $r_1, r_2 > R$

ד. מאחר והגלגלת חסרת מסה סך הכוחות עליה מתאפס, כלומר  $F = 2T$  משוואות הכוחות זהה לזו שבסעיף הקודם כך שמשוואת התנועה עבור כל אחד מהגופים היא:

$$\ddot{r} - \omega^2 r = -\frac{F}{2m}$$

שפתרונה הכללי הוא:

$$r = Ae^{\omega t} + Be^{-\omega t} + \frac{F}{2m\omega^2}$$

$$A = B = \frac{1}{2} \left( r_0 - \frac{F}{2m\omega^2} \right) \quad \text{מתקבל } r(t=0) = r_0 ; \dot{r}(t=0) = 0$$

כלומר

$$r_1 = \left( r_{1,0} - \frac{F}{2m_1\omega^2} \right) \cosh(\omega t) + \frac{F}{2m_1\omega^2}$$

$$r_2 = \left( r_{2,0} - \frac{F}{2m_2\omega^2} \right) \cosh(\omega t) + \frac{F}{2m_2\omega^2}$$

ה. מאחר והגלגלת חסרת מסה לא ניתן להשתמש במשוואת כוחות כדי לחשב את מיקומה. למעשה ניתן לראות מסעיף ד שכל אחת מהמסות נעה ללא תלות במסה השנייה והגלגלת מתאימה את עצמה כך שאורך החוט קבוע, כלומר:  $(r_1 - R) + (r_2 - R) = (r_{1,0} - R_0) + (r_{2,0} - R_0) = const$ . כך ש:

$$R = \frac{(r_1 - r_{1,0}) + (r_2 - r_{2,0})}{2} + R_0$$