

## פיסיקה למתמטיקאים

### תרגיל 4: משוואות אויילר לגראנג'

1. שטח פנים מינימלי. נניח שיוצרים משטח על ידי סבוב של עקום המחבר שתי נקודות במישור  $xy$  סביב ציר  $y$ . מצאו את העקום עבורו שטח הפנים של המשטח מינימלי.

2. The brachistochrone problem בשאלה זו נוודא כי זמן הנסיעה מנקודה  $(x_1, y_1)$  לנקודה  $(x_2, y_2)$  לאורך ישר המחבר את שתי הנקודות,  $t_{1,2}^{lin}$ , ארוך מזמן הנסיעה בין שתי הנקודות לאורך ציקלואידה,  $t_{1,2}^{cyc}$ . נניח כי התנועה מתרחשת בין הראשית למינימום של הציקלואידה  $(x(\phi) = -a(\phi - \sin \phi), y(\phi) = a(1 - \cos \phi), a < 0$

(א) חשבו את  $t_{1,2}^{lin}$  משיקולי קינמטיקה

(ב) הניחו פרמטריזציה  $\{0 \leq t \leq t_{1,2}^{cyc}; \phi(0) = 0, \phi(t_{1,2}^{cyc}) = \pi\}$  וחשבו את  $t_{1,2}^{cyc} = \int_1^2 ds/v$

(ג) הראו כי  $t_{1,2}^{lin}/t_{1,2}^{cyc} = \sqrt{1 + 4/\pi^2}$

3. הראו כי  $t_{1,2}^{cyc}$  כאשר נוסעים מנקודה  $(x_1, y_1)$  למינימום של הציקלואידה  $(-\pi a, 2a)$  קבוע לכל בחירה של נקודת התחלה  $(x_1, y_1)$  (רמז: קבלו את האינטגרל  $\int_{\phi_0}^{\pi} \sqrt{\frac{1 - \cos \phi}{\cos \phi_0 - \cos \phi}} d\phi$  כאשר  $\phi_0$  הזווית בנקודת ההתחלה, והראו כי הוא שווה ל  $\pi$ ).

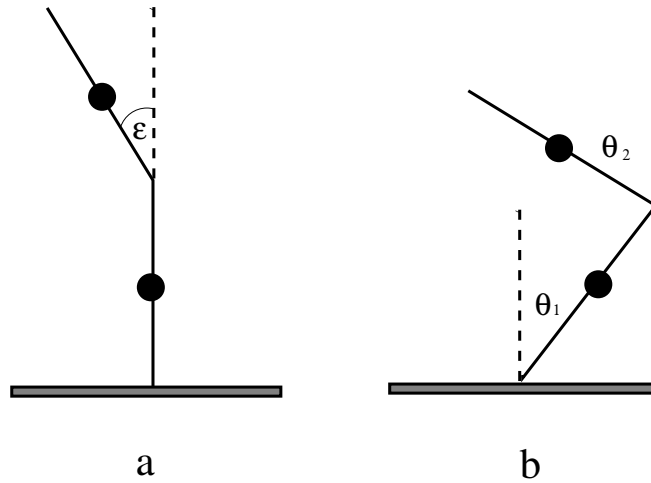
4. שתי מסות  $m_1$  ו  $m_2$  עם קורדינטות  $x_1$  ו  $x_2$  בהתאמה, מתנגשות אלסטית.

(א) רשמו את הלגראנג'יאן והראו כי התנע הקווי נשמר.

(ב) מצאו קורדינטות אחרות ולגראנג'יאן חדש, כך שהתנע הקווי הינו תנע צמוד לקורדינטה ציקלית.

5. שני מוטות חסרי מסה באורך  $r$  כל אחד מחוברים בקצותיהם. מסה  $m$  מקובעת באמצע כל אחד מן המוטות. המוט התחתון מוחזק אנכית, וקצהו מחובר לקרקע. המוט העליון מוסט בזווית  $\epsilon$  ביחס למוט האנכי (איור  $a$ ). מצאו את התאוצות הזוויתיות ברגע בו משחררים את המוטות ממנוחה. (הניחו כי  $\epsilon \ll 1$ , רשמו את מיקומי המסות כמתואר באיור  $b$  והשתמשו

בקרוב זווית קטנות).



6. כתבו את הלגראנג'יאן המאולץ לבעייה מתרגיל כיתה 6 (תנועה על פני חרוט) בקורדינטות כדוריות  $(r, \theta, \varphi)$  והראו כי ע"י בחירת אילוץ הולונומי מהצורה  $f = \theta - \alpha$ , הכח נתון ע"י  $\lambda/r$  כאשר  $\lambda$  כופל לגראנג'. מהו כח זה? השוו לתוצאה המתקבלת מכתובת החוק השני של ניוטון מפורשות.