

שאלה 1 [15 נקודות]

חובה לפתור את השאלה בעזרת השיטה להמרת יחידות שלמדנו בכיתה: **factor-label method**.
[7 נקודות] א. תקליטור (CD) מכיל 783 MB (מגה-בייטים) של מידע דיגיטלי. כל בייט (byte, B) שווה 8 ביטים (bit, b). נגן התקליטור קורא את המידע בקצב קבוע של 1.4 Mb (מגה-ביט) לשנייה. כמה דקות לוקח לנגן את כל התקליטור?

[8 נקודות] ב. מול אחד של אטומים מכיל 6.02×10^{23} אטומים. אם היינו מפזרים מול של אטומים באופן אחיד על פני כדור הארץ, כמה אטומים היינו מוצאים במילימטר מרובע אחד?

- נניח שכדור הארץ הוא כדור מושלם (ספירה), ושטח של כדור הוא $S = 4\pi R^2$.
- רדיוס כדור הארץ הוא $R = 3959$ מיילים.
- מייל אחד שווה 1.6 km.

1

X

DATA = 783 MB

1B = 8b

RATE = 1.4 Mb/s

IS כח"ס ה נתון למנוחה במהירות קבועה $l = vt$

t = DATA / RATE = 783 MB / 1.4 Mb/s = 783 * 10^6 B / (1.4 * 10^6 b/s) * (8b / 1B) = 783 * 8 s / 1.4 * (1min / 60s)

t ≈ 74.6 min

1 mol atoms = 6.02 * 10^23 atoms / (4π * (3959 mile)^2)

1 mol = 6.02 * 10^23
1.6 km = 1 mile
R = 3959 mile

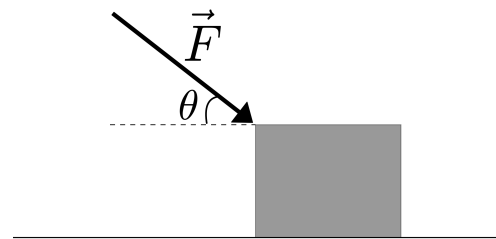
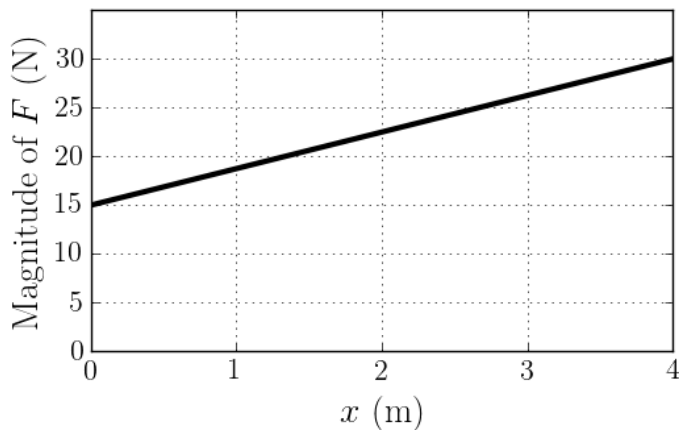
1

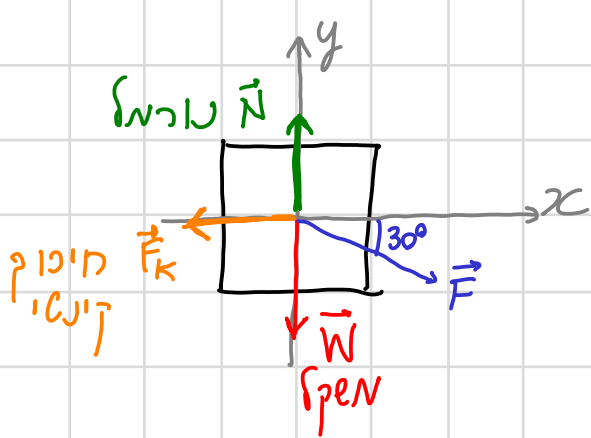
= 6.02 * 10^23 atoms / (4π * 3959^2 mile^2) * (1 mile / 1.6 km)^2 * (1 km / 10^3 m)^2 * (1 m / 10^3 mm)^2

= 6.02 * 10^23 / (4π * 3959^2 * 1.6^2 * 10^6 * 10^6) atoms / mm^2 ≈ 1194 atoms / mm^2

שאלה 2 [20 נקודות]

בלוק בעל מסה 5 kg נדחף לאורך משטח אופקי על-ידי כוח \vec{F} , כפי שמתואר באיור למטה. ברגע $t = 0$ s הבלוק נמצא ב- $x = 0$ m, והוא נע ימינה במהירות 2 m/s (זהו הכיוון החיובי של ציר ה- x). הזווית בין הכוח הדוחף לאופק היא $\theta = 30^\circ$. כיוונו של הכוח נשמר בזמן, אך גודלו משתנה כפי שמתואר בגרף למטה. מקדם החיכוך הקינטי בין הבלוק לרצפה הוא $\mu = 0.2$, ו- $g = 10 \text{ m/s}^2$.
[2 נקודות] א. ציירו דיאגרמת גוף חופשי עבור הבלוק. כמו כן, רשמו מאזן כוחות עבור כל ציר.
[6 נקודות] ב. שרטטו גרף עבור הרכיב האופקי של \vec{F} כתלות ב- x . חשבו את העבודה שהכוח הלא קבוע \vec{F} עושה על הבלוק.
[6 נקודות] ג. שרטטו גרף עבור כוח החיכוך כתלות ב- x . חשבו את העבודה שכוח החיכוך עושה על הבלוק.
[6 נקודות] ד. מה מהירות הבלוק בנקודה $x = 4$ m?





N

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

2

$$v_0 = 2 \text{ m/s}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\mu = 0.2$$

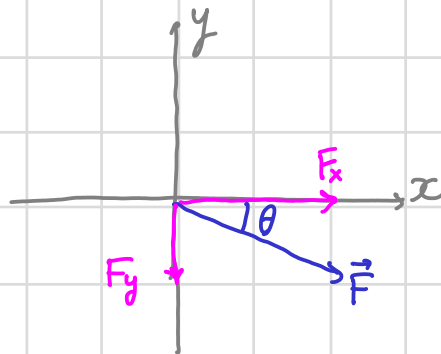
$$\theta = 30^\circ$$

$$\sum F = ma = F_x - F_k \quad : \text{כ"ר } x$$

$$\sum F = 0 = N - W - F_y \quad : \text{כ"ר } y$$

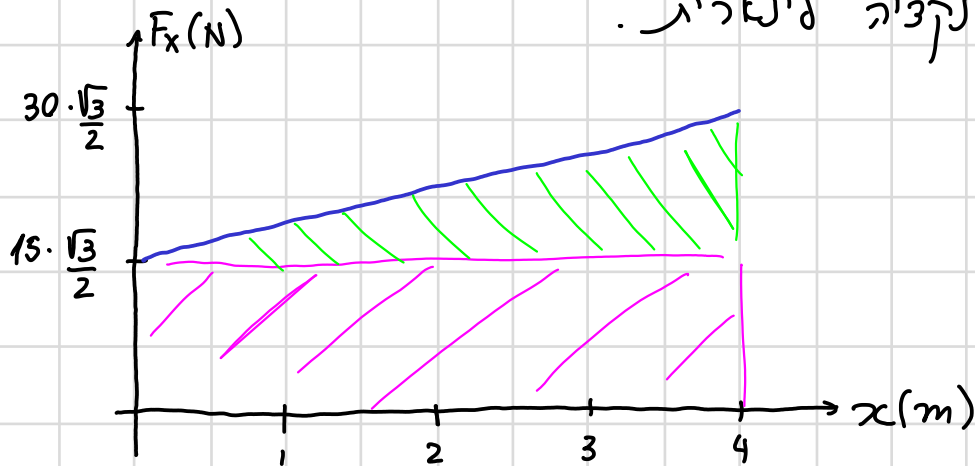
$$F_x = F \cdot \cos \theta = F \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$F_y = F \cdot \sin \theta = F \cdot \frac{1}{2}$$



7

מכיוון ש- $|\vec{F}|$ הוא פונקציה ליניארית ה- x (לפי הגדרת), $F_x = F \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$ כ"ר, יהיה פונקציה ליניארית.



צבור סום קבוע, $W = F \cdot \Delta x$. מכיון שיש לנו כוח לא קבוע, צרינו לתקן את השטח מתחת $F_x(x)$.

$$W_{F_x} = 4 \cdot \frac{15\sqrt{3}}{2} + 4 \cdot \left(\frac{30\sqrt{3}}{2} - \frac{15\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \frac{1}{2} = \frac{4\sqrt{3}}{2} \left(15 + \frac{15}{2} \right) = \frac{4\sqrt{3} \cdot 45}{4}$$

מסלול

זעיון

$$W_{F_x} = 45\sqrt{3} \text{ J}$$

→

$W_{F_x} \approx 78 \text{ J}$

7

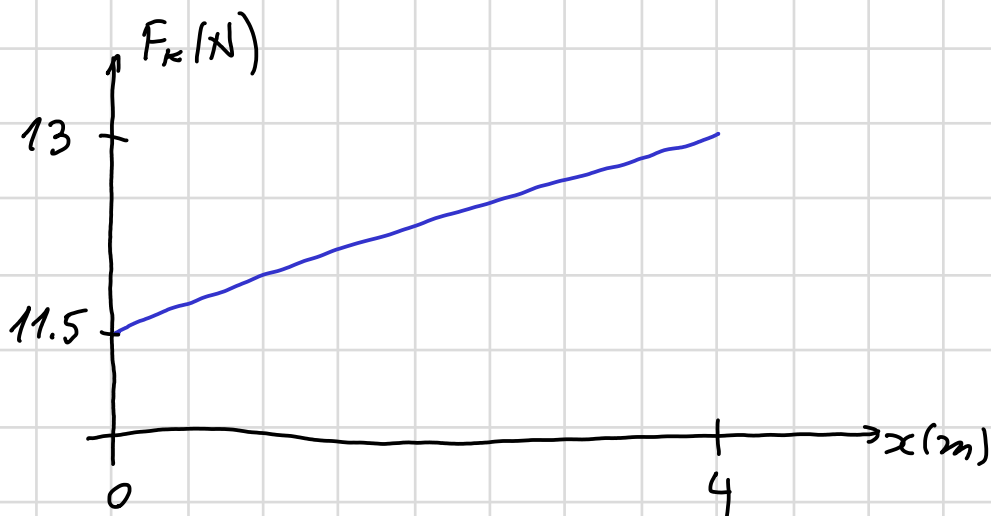
$$F_k = \mu \cdot N = \mu (W + F_y) = \mu (mg + F \sin \theta)$$

$$F_k = \mu mg + \mu \sin \theta \cdot F$$

מכיוון ש $|\vec{F}|$ הוא פונקציה ליניארית ב- x , גם F_k יהיה פונקציה ליניארית.

$$F_k = 0.2 \cdot 5 \cdot 10 + 0.2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 15 = 11.5 \text{ N} : F = 15 \text{ N}$$

$$F_k = 0.2 \cdot 5 \cdot 10 + 0.2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 30 = 13 \text{ N} : F = 30 \text{ N}$$



לוב נחשב את השטח כזו למצוא את העבודה של F_k .
הפעם הכוח מנוגד לכיוון ההתקדמות ($\alpha = 180^\circ$), לכן העבודה
יהיה שלילית.

$$W_{F_k} = -4 \cdot 11.5 - 4 \cdot \frac{(13 - 11.5)}{2}$$

$$W_{F_k} = -49 \text{ J}$$

1
לפי משפט העבודה-אנרגיה, העבודה של
לקוח הכוחות (לשניהם $W_{F_x} + W_{F_k}$) אורמת לשינוי
האנרגיה הקינטית.

$$\Delta E_k = W_{F_x} + W_{F_k} = 45\sqrt{3} - 49 \approx 29 \text{ J}$$

$$E_{k2} - E_{k1} = 29 \text{ J} \rightarrow \frac{mv_2^2}{2} = 29 + \frac{mv_1^2}{2} \rightarrow v_2^2 = \frac{2 \cdot 29}{m} + v_1^2$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 29}{m} + v_1^2}$$

$$\begin{array}{l} m = 5 \text{ kg} \\ v_1 = 2 \text{ m/s} \end{array}$$

$$v_2 \approx 3.9 \text{ m/s}$$

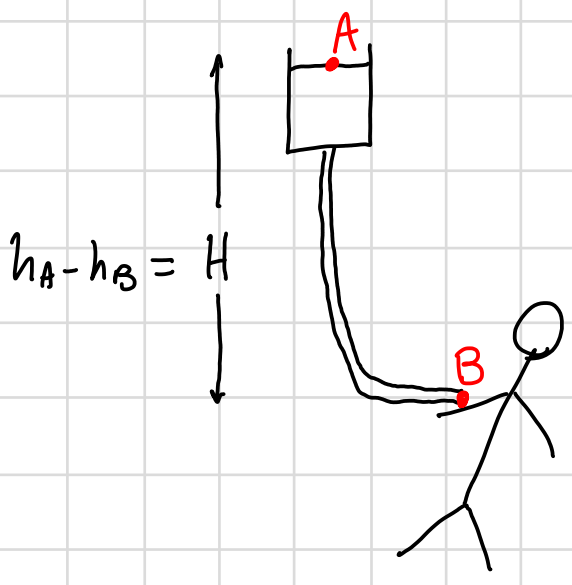
שאלה 3 [20 נקודות]



אדם מקבל עירווי (אינפוזיה) של מי מלח. אם השקית עם המים לא נמצאת בגובה מספיק גדול ביחס לגוף המטופל, דם עלול לזרום לתוך הצינורית, במקום שהתמיסה תיכנס לגוף האדם. הסבירו במילים את התופעה הזאת, ובעזרת חוק ברנולי, מצאו את הגובה המינימלי שימנע זרימה לא רצויה. הניחו כי:

- צפיפות התמיסה $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.
- השקית פתוחה לאטמוספירה, ומהירות הזרימה בפני התמיסה שבשקית היא קטנה מאוד (זניחה).
- לחץ הדם בווריד היד ביחס לאטמוספירה הוא 1 kPa .
- התמיסה היא זורם אידאלי.
- $g = 10 \text{ m/s}^2$.

3



$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$P_B - P_{\text{ATM}} = 1 \text{ kPa} = P_B - P_A$$

$$v_A = 0 \text{ m/s}$$

$$P_A + \rho g h_A + \frac{\rho v_A^2}{2} = P_B + \rho g h_B + \frac{\rho v_B^2}{2} \quad \text{חוק ברנולי:}$$

$$\rho g (h_A - h_B) - (P_B - P_A) = \frac{\rho v_B^2}{2} \quad \text{נתפל את } v_B^2 :$$

$$v_B^2 = 2gH - \frac{2}{\rho}(P_B - P_A)$$

ברור שכמה שהסקיג' תהיה יותר גבוהה, כך מ' המלח 'זכמו יותר מהר לטק אול המלח. יש גובה קריטי H_0 לעבורו המהירות מתאבד. אם הסקיג' ירד ממות לגובה הזה, אז הזרימה תהיה הכיוון השני. מהו H_0 ?
 כאמור, בגובה H_0 מהירות הזרימה מתאבד ($v_B = 0$)

$$0 = 2gH_0 - \frac{2}{\rho}(P_B - P_A) \rightarrow H_0 = \frac{P_B - P_A}{\rho g} = \frac{1 \text{ kPa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$H_0 = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

במציאת הגובה הזה הוא יותר בצד מ-0.1 מטר, מכיוון שהזרימה צובר כיוון ממש צדק, ואז הזרימה לא תהיה זניחה, ולא נוכל להשתמש בחוק ברנולי.

שאלה 4 [30 נקודות]

כוח משמר פועל על כדור בעל מסה 2 kg . הגרף למטה מראה את האנרגיה הפוטנציאלית של הכדור כתלות במיקומו.

[6 נקודות] א. שרטטו את הגרף של הכוח F שפועל על הכדור כתלות ב- x . מכיוון שאין קווים ישרים בגרף, ציירו את הגרף באופן איכותי.

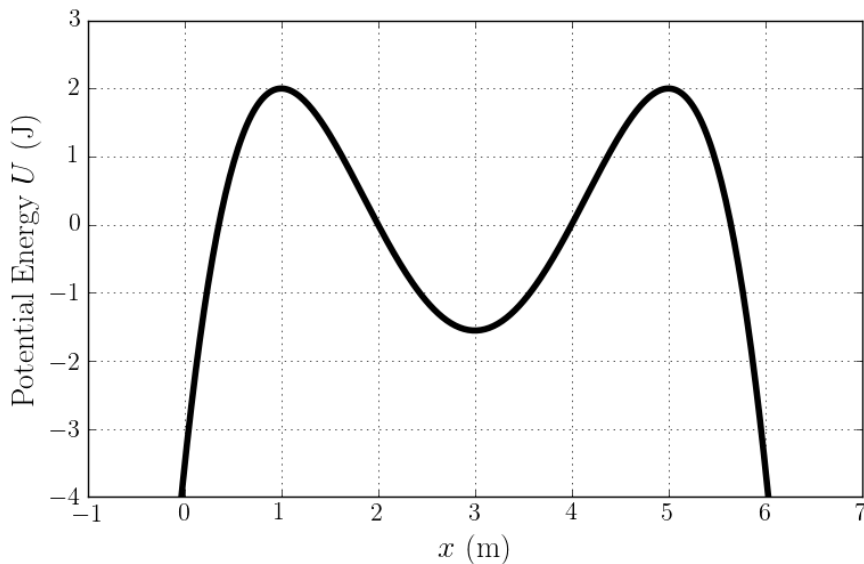
[4 נקודות] ב. תארו באופן מילולי את התנועה של הכדור אם הוא ישוחרר מנקודה $x = 2m$ (במהירות אפס).

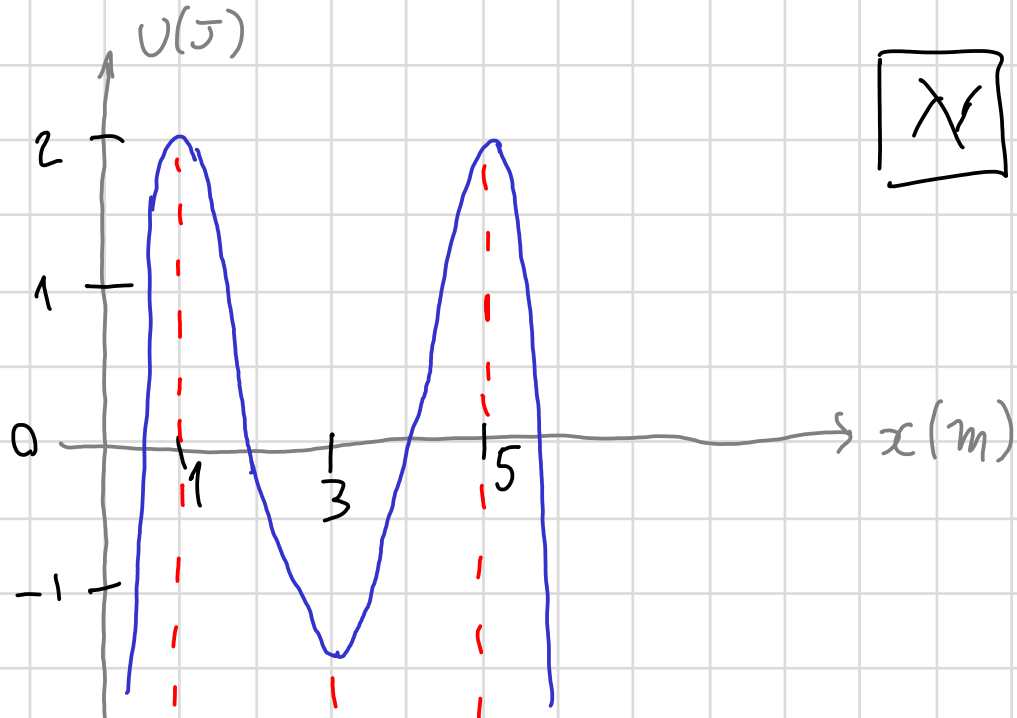
[5 נקודות] ג. מה המהירות המינימלית שהיינו צריכים לזרוק את הכדור מנקודה $x = 2m$ כדי להבטיח שהוא יגיע לאינסוף? נמקו.

[3 נקודות] ד. מצאו את נקודות שיווי המשקל, ומיינו אותן לפי יציבותן.

[6 נקודות] ה. מה המשמעות של נקודת שיווי משקל יציבה? מה יקרה אם נדחף קצת כדור שנמצא במנוחה בנקודת שיווי משקל יציבה? תנו דוגמה למצב שיווי משקל יציב (שונה מזה של התרגיל, כמובן).

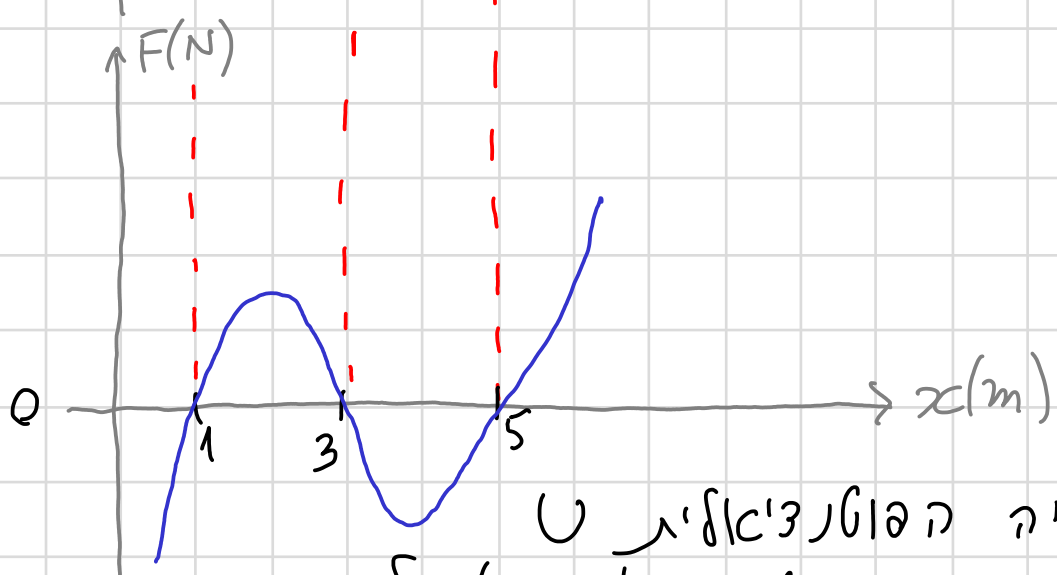
[6 נקודות] ו. מה המשמעות של נקודת שיווי משקל לא יציבה? מה יקרה אם נדחף קצת כדור שנמצא במנוחה בנקודת שיווי משקל לא יציבה? תנו דוגמה למצב שיווי משקל לא יציב (שונה מזה של התרגיל, כמובן).





λ

$m = 2 \text{ kg}$ (4)



האנרגיה הפוטנציאלית U

הנקודה $m=2$ שווה אפס ג'אול.

הכדור ינוע ימינה עד שיגיע לנקודה $x=4$ שם הוא יעצר ויחזור חזרה. הכדור יעשה תנועה

אוסילטורית (תנודות) בין נקודות המבנה $x=2$ ו- $x=4$ ולא יא 'בסיק' 'היתנגז' 'אסופ'.

הכדור צריך לצאת מהור האנרגיה הפוטנציאלית כיבן שהוא נמצא. אנרגיה מכניג של 2 היא האנרגיה המינימלית שהוא צריך, ומכיוון ש- $U(2) = 0.5$, הוא צריך $E_k = 2.5$

$$E_k = 2.5 = \frac{mv^2}{2} \rightarrow v^2 = 4 \rightarrow v = \pm \sqrt{2} \text{ m/s}$$

לא משנה לאיפה כיוון הוא ייסע, אם תהיה לכדור
מחירויות גבוהה מ- $2m$, הוא יצליח לברוח
לאינסוף.

ד נקודות שיווי המשקל הן הנקודות היכן
שהשיפוע (נגזרת) של (גאט מתאסס. קיימור שלוש

נקודות שיווי משקל: $x = 1m$

$x = 3m$

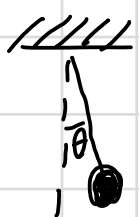
$x = 5m$

נקודות $x = 1m$ ו- $x = 3m$ נמצאות ב"גבוע",
אבל הפרעה על כדור שיושב שם תגרום לו
לברוח משם, לכן אלה נקודות שיווי משקל בלתי
יציבות.

נקודה $x = 3m$ נמצאת ב"עמק", אבל הפרעה
על כדור שיושב שם תגרום לכדור להגר לזנב סביב
נקודה זו, לכן מצובה בנקודת שיווי משקל יציבה.

ה נקודת שיווי משקל יציבה נמצאת ב"עמק"
(מינימום מקומי) של (גאט. הכוח הפועל על
גוף בקרבת נקודת שיווי משקל יציבה פונה תמיד
כלפי נקודה זו, וכך הוא מחזיר את הסצם לתמנית
המינימום של (גאט. הפרעות קטנות על צצם הנמצא
בנקודה הזאת לא יצליחו להוציא אותו משם.

פונקציה עשיוי משקל יציב היא מטוטלת שעולה
תנודות קטנות. נקודת שיווי המשקל היא $\theta = 0$,
כלומר, כאלו המטוטלת פונה כלפי מטה.



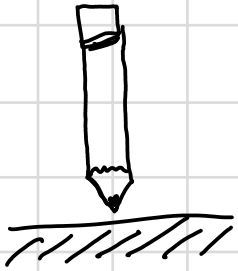
[7]

נקודת שיווי משקל לא יציבה נמצאת ב"גבעה"
(מקסימום מקומי) של $U(x)$. הכוח הפועל על אדם

הקיבת נקודת שיווי משקל לא יציבה פונה תמיד
"אחורה", כאג אומרת, הוא מרחיק את הגוף

מנקודה זו. כל הפרעה קטנה על אדם הנמצא
בנקודה הזאת יגרום ילאו לברוח ממנה.

דוגמה לשיווי משקל לא יציב היא ציורון שצומח
על חורף.



שאלה 5 [15 נקודות]

אביב, בן וגלית מדברים על תרגיל בפיזיקה, שבו שני קליעים זהים נורים באותה המהירות. הקליעים פוגעים בבלוקים בעלי אותה מסה, המונחים על משטח חסר חיכוך. אחד הבלוקים עשוי מעץ, והבלוק השני עשוי מפלדה. הקליע שפוגע בבלוק הפלדה מוחזר חזרה, בעוד הקליע שפוגע בבלוק העץ נכנס בו ולא יוצא.

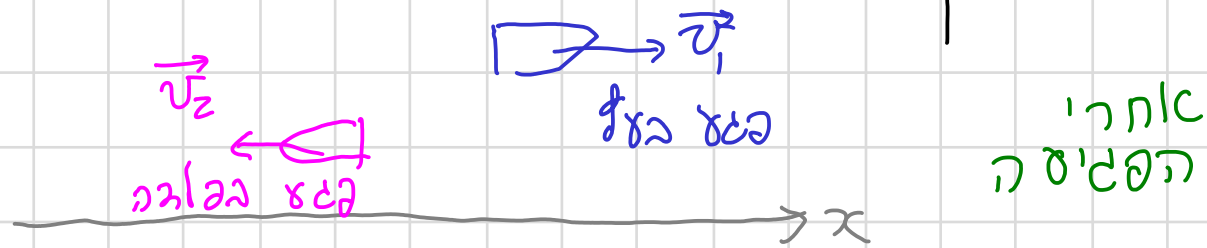
אביב אומר: "כל המסות והמהירויות שוות, לכן שני הבלוקים ינועו באותה המהירות אחרי הפגיעה." בן אומר: "אבל מה עם התנע? הקליע שפוגע בבלוק העץ מעביר לו את כל התנע ואת כל האנרגיה, לכן בלוק העץ ינוע יותר מהר מבלוק הפלדה."

גלית אומרת: "העובדה שאחד הקליעים חזר חזרה הוא פקטור חשוב. לכן בלוק הפלדה הוא שינוע יותר מהר."

מי צדק? אביב, בן או גלית? נמקו.

5

מכיוון שגני הבולקים מתחילים ממנוחה ויש להם
אנרגיה המסה, הבולק שייסד יותר מהי הוא זה שיקבל
יותר תנע על-ידי הקליע. מתקל הוא העברת
תנע מאף אחד לבולק שני. איזה משני הקליעים
יזעביר יותר תנע לבולק? תשובה: הקליע שירבוש
מתקל (קט) יותר בצול. מ היא המסה של הקליעים,
ו-ט היא המהירות של הקליעים כאשר הם פוגעים
בבולק.



$$\Delta p = m(v_1 - v_0)$$

הקליע שפוגע
בבולק העץ

מהירות הקליע אחרי לפגוע בבולק,
סקיטי כי הקליע נוסע באותו כיוון

$$\Delta p_{בולק} = m(v_2 - v_0)$$

הקליע שבולע
בבולק הפלדה

מהירות הקליע אחרי שבולע בבולק,
סקיטי כי נתון שהוא חוצר חזרה

קט להקליעים מרבישים הוא בהכרח אפילי, הכי הקליעים
מרבישים כוח שלילי (כאפי שמאל) כשמן ההתנגשות.
ה-קט שיהיה יותר שלילי יתרחס עם מתקל יותר בצול
על הבולק. במילים אחרות, כמה שפעם מתקל בצול
יותר על הקליע, כך הוא יופל עצמוס יותר אג בבולק,
ולתקנות לו מהירות יותר בצול.

הקליע שהרביים מתקל יותר בצול הוא זה שבאצ
 בהלוק הפלדה, כי המתקל היה כל-כך גזול שהקליע
 אבולו חזר חזרה! לכן בלוק הפלדה ייסע יותר מהר
 מבלוק העץ. אלו צבקה. אפשר לכתוב את זה בצורה
 יותר מתמטית:

→ לא יבוצע עדיין מי יותר גזול

$$\Delta p_{\text{עץ}} = m(v_1 - v_0) < m(v_2 - v_0) = \Delta p_{\text{פלדה}}$$

נוסף שטמ בטני האב"פ:

$$m_1 v_1 = m_2 v_2 = \underbrace{m_2 v_2}_{\text{יבוצע לנו כי } v_2 > v_1} = \Delta p_{\text{עץ}} + m_2 v_0$$

יבוצע לנו כי $v_2 > v_1$

$$\Delta p_{\text{פלדה}} < \Delta p_{\text{עץ}}$$

לכן

המתקל של הקליע שבאצ
 בבלוק הפלדה הוא יותר שלילי, לכן בלוק הפלדה
 יקבל תגז יותר גזול ויכול לנסוע יותר מהר.

חשוב להבהיר כי $\Delta p_{\text{עץ}} + \Delta p_{\text{פלדה}}$ הם השניוויי בתגז
 של הקליעים, ולא של הבלוקים.

אכשיו הסבר קצר

הבלוק שייסע יותר מהר הוא זה שישניק מתקל
 יותר גזול לקליע שבאצ בו. הקליע שבאצ בבלוק הפלדה
 בהירות קיבל יותר מתקל מאשר זה שבאצ בבלוק
 העץ, כי הוא אפילו יכל לשנות כיוון ואחזור חזרה.
 לכן אלו צבקה, בלוק הפלדה הוא זה שייסע
 יותר מהר.