



פרופ' ניר שביב

נע נע

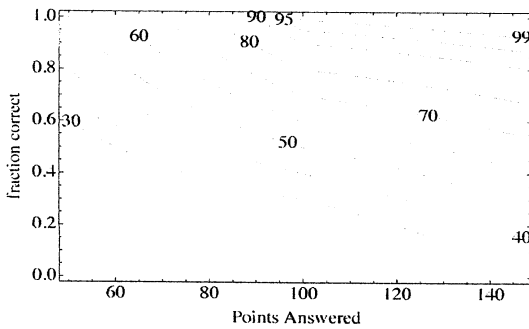
שיטות שיערוך בפיסיקה 77412

מבחן מועד א' - אביב תשע"ד

אם פתרון

- המבחן הוא ללא כל חומר עזר, פרט לפריטים הבאים:  
- 2 דפי נוסחאות (4 עמודי A4)  
- מחשבון

- יש לנמק את התשובות. תשובה לא מנומקת לא תתקבל.



- משך המבחן שעתיים.

- בבחינה אוסף שאלות שסכום ערכן עולה על 100 נקודות. הציון הסופי ניתן לפי אותה נוסחה כמו בשנים קודמות. גרפית, הציון הסופי כתלות במספר הנקודות הכולל עליהם עניתם והאחוז שעניתם נכון נתון בגרף משמאל. מותר לענות רק על חלק מהסעיפים של כל שאלה.

- כמו בחיים האמיתיים יתכן ולא כל הגדלים הדרושים נתונים בשאלה, ולהיפך, יתכנו נתונים שאינם נחוצים.

- **בטבלה למטה, יש להקיף את מספרי השאלות והסעיפים שברצונכם שיבדקו.**

- את התשובות, כולל הדרך, יש לכתוב בטופס הבחינה. רצוי להעזר במחברת משבצות כדפי טיוטא. בסוף הבחינה יש להגיש את הטופס. אין להגיש את המחברת. תוכלו למצוא עותק של טופס הבחינה באתר הקורס.

- נקודת בונוס תנתן למי שטופס הבחינה שלו נקי מסודר, ובמיוחד קריא.

בהצלחה!

סה"כ	סדר	ב8	ב6	א6	ב5	א5	4	3	ג2	ב2	א2	1	הקיפו השאלות לבדיקה:
													לשימוש הבדוק:

1. (10 נק') **שמחה וששון**: העריכו כמה אולמות וגני שמחה יש בישראל (סה"כ, לא בנפרד!).

תשובה:

- אוכלוס'ת ישראל מנין כ-  $8 \times 10^6$  נפש.  
 - ל ציג מקיים כ- 4 שמחה גתים (חתנים, בר/בת מצווה וברית).  
 - כלומר מספר האירועים גטים הוא כ-  

$$R_E = \frac{8 \times 10^6 \text{ people}}{2 \text{ people per couple}} \cdot \frac{1 \text{ life}}{80 \text{ yr}} \cdot 4 \frac{\text{events}}{\text{couple} \cdot \text{yr}}$$
 תוחלת חיים

=  $200,000 \frac{\text{events}}{\text{yr}}$

- ל אולם יכול לקיים כ-  $\frac{R_H}{300}$  אירועים גטים ורק:

$$N_{\text{Halls}} \approx \frac{R_E}{R_H} = \frac{2 \times 10^5 \text{ events/yr}}{300 \text{ events/hall/yr}}$$

$\approx 666 \text{ halls}$

לפי חזרל שחזר 2 (מכתבה גמאי 2014) ישנם כ- 700 אולמות וגני שמחה בישראל.

2. חלקיקים בבור: נתון בור עם אנרגיה פוטנציאלית מהצורה  $U = \alpha|x|$ . בתוך הבור ישנם חלקיקים קלסיים לא יחסותיים בטמפ' סופית T.
- א. (12 נק') העריכו מהיא התוחלת  $\langle x^2 \rangle$ .
- כעת מוסיפים לאנרגיה הפוטנציאלית תיקון כך שטה"כ היא נהיית  $U = \alpha|x| + \beta x^3$ .
- ב. (15 נק') העריכו מהו התיקון לתוחלת כפי שחושבה בסעיף הקודם.
- ג. (8 נק') מהו התנאי על מקדמי האיברים באנרגיה הפוטנציאלית כך שהתיקון יהיה קטן?

תשובה: א. ה'א' ובה'ד'ק'ים ק'אס"ים (ז'א ק'וונ'ט'ים) ו'א' יחסות'ים,

ש'יון ק'ין אנרג'יא (ה'אוק'ה ש'וה ק'י'ת צ'י'ק) ת'ת'ן:

$$kT \sim \langle U \rangle = \langle \alpha|x| \rangle = \alpha \langle |x| \rangle$$

$$\langle |x| \rangle \sim \frac{kT}{\alpha} \rightarrow \underline{\underline{\langle x^2 \rangle \sim \left(\frac{kT}{\alpha}\right)^2}}$$

ד. כעת אנני ה'וצ'ים ק'ה'ל'ג א'ל ה'ת'ק'ו'ן ל'מ'א'י'ב'ר  $\beta x^3$ . (כ'ת'ב' ל'ק'ר'ו'ל'ג):

$$\langle |x| \rangle \sim \langle |x| \rangle_0 + \delta \langle |x| \rangle \equiv x_0 + \delta x$$

↑  
ס'י'מ'ו'ן מ'ק'ו'ר'ב'

$$kT \sim \langle U \rangle \approx \alpha(x_0 + \delta x) + \beta(x_0 + \delta x)^3$$

א'ק'ו'י'פ'ר'ט'י'ס'ן נ'י'ת' ל'נ'ו' כ'ז'ו'ת':  
נ'ס'ת' ה'ס'ב'ר ה'א'ש'י'ן ה' - א'ד':

$$kT \sim \alpha x_0 + \alpha \delta x + \beta(x_0^3 + 3x_0^2 \delta x + \alpha(\delta x)^2)$$

ה'א'ת' ו-  $\beta$  ק'ט'ן ה'א'י'ב'ר  $3\beta x_0^2 \delta x$  י'ת'ה "ס'ף כ'י'ב'ו'ז" ו'ל'ט' ז'נ'י'ה.

$$\delta x \approx -\frac{\beta}{\alpha} x_0^3 = -\frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{kT}{\alpha}\right)^3$$

נ'ק'ב'ו'ל':

$$\langle x^2 \rangle = \langle (x_0 + \delta x)^2 \rangle = \langle x_0^2 \rangle + 2x_0 \delta x + \dots$$

↑ ↑  
ל'פ'נ'י ה'ת'מ'ו'ר'ב'.

ו'ס':

$$\delta \langle x^2 \rangle \approx \underbrace{x_0^2}_{\text{ה'ת'מ'ו'ר'ב' ה'ז'ו' מ'א'ו'ר'ב'}} + 2x_0 \delta x - x_0^2 = 2x_0 \delta x = -\frac{2\beta}{\alpha^5} (kT)^4$$

ז. ה'ת'נ'אי ה'ז'ו':

$$\frac{\beta}{\alpha^4} (kT)^3 \ll \frac{kT}{\alpha} \rightarrow \underline{\underline{\beta \ll \frac{\alpha^3}{(kT)^2}}}$$

3. (15 נק') גלי כבידה ממערכת בינרית: נתונה מערכת בינרית של שני כוכבים בעלי מסה  $m$  שמסתובבים זה סביב זה במרחק  $r$  זה מזה. העריכו מהו הזמן האופיני לדעיכת המסלול כתוצאה מפליטת גלי כבידה קוודרופוליים (הסדר המונופולי והדיפולי מתאפסים).

רמז: שימו לב שאמפליטודת הגלים צריכה להיות לינארית במסה.

תשובה: לפי השאלה, האור המרכזי הוא הדיפולי. הקונצנציה הכבדת:

$$Q \equiv MR^2 \rightarrow [Q] = g \cdot cm^2$$

היגרו והקנה מתואר כדציה יחסית, וגם מניכור האור  $c$  וגם  $g$  יכנס:

$$[c] = cm/sec \quad [g] = cm^3/sec^2$$

נכזה בתחילה רבנות הספק פליטה של גלים ממערכת שמתנצנצת בתדירות  $\omega$ :

$$[P] = \frac{erg}{sec} = g \frac{cm^2}{sec^3} \quad [\omega] = 1/s$$

קרא מיצד נספר או אגשי קפזר בעצמי שקול מימדים כי יש  $2-3-5$  צלילים חסבי מימדים. אגל, נאמי לנו שאמפליטודת הגלים צריכה לקבלת צנאנית המנה. קטן, ההספק שהולך כמו וואמפליטודת הכיבול יהיה יחס למסה הכיבול. אולם, המסה אינה נכנסת ישירות לפיתוח הקציה, ולכן צריך  $Q$  ולכן, הפיתוח יכול  $P/Q^2$ .

$$[P/Q^2] = \frac{1}{sec^3} g cm^2 \quad [c] = cm/sec \quad \text{אורגת הגלים שלנו היא אמ-כין:}$$

$$[\omega] = 1/sec \quad [g] = cm^3/sec^2$$

$$\pi = \frac{P/Q^2 \cdot c^5}{\omega^6 Q^2 g} \rightarrow P = \frac{Q^2 g \omega^6}{c^5}$$

$$\omega^2 \sim \frac{GM}{R^3}$$

$$v \sim \frac{GM^2}{R}$$

במסלול קפזי מתקיימת:

$$\tau \sim \frac{v}{P} = \frac{GM^2}{R} \frac{c^5}{Q^2 g \omega^6} = \frac{c^5 R^5}{g^3 M^3}$$

$$Q \equiv MR^2$$

$$\omega \approx (GM/R^3)^{1/2}$$

4. (15 נק') **צבעם של מים כבדים**: המים כחולים כי ישנם כמה רמות אנרגטיות של תנודות אורכיות של קשרי ה-OH המתאימות לפוטונים באורך גל של 750 ננומטר, דהיינו, יש בליעה בתחום האדום. (לסקרנים, המעבר מתאים לקפיצה של שלוש רמות אנרגיה של התנודות הסימטריות של קשרי ה-OH ורמת אנרגיה של התנודה האסימטרית, או הפוך, 3 רמות אסימטריות ורמה סימטרית. קפיצה של פחות רמות נותנת בליעה באינפרא אדום ואילו החתך פעולה לקפיצה של יותר רמות קטן הרבה יותר). במים כבדים מוחלף המימן (פרוטונים) בדאוטריום הכבד פי שתיים. לאיזה אורכי גל תוזז הבליעה שנמצאת סביב 750 ננומטר במים כבדים? מה יהיה צבעם של המים הכבדים?

תשובה: האור והמסה של ה-D פי שתיים יותר גבוהה מה-H (אבל ההבדל יגיע קטן למסת ה-O, האוסצילציה תהיה בעיקר בגובה של ה-D או H).  
 ואכן, התדירות האופיית של התנודה תהיה  $\sqrt{k/m}$  כש-  $m \approx m_D$ .

אורך הגל  $\lambda$  יחס הפיך לתדירות  $\nu$  של האור, אולם זו יחסית לתדירות האוסצילציה:

$$E_i \approx h\nu \quad \nu_{ph} = \frac{E}{h} = \frac{\omega}{2\pi} \propto m^{-1/2}$$

$$\lambda \propto \nu^{-1} \propto m^{1/2}$$

אם  $m$  גבוהה בקטלור 2 ה גבוהה בקטלור  $\sqrt{2}$ .

$$\underline{\lambda_{new}} \approx \underline{\lambda_{old}} \cdot \sqrt{2} \approx \underline{1060 \text{ nm}}$$

במקום שתהיה באיזה באזור (750nm) יש גלידה באינפרא-אדום. הניסוי יהיה אם כן שקופים יותר (אפוארקים) (אזו הצבע הכחול) שבעד מבליעה גבוהה יותר באזורם).

5. ללכת על המים?

- א. (8 נק') העריכו מהו ההספק עבודה שיכול אדם ממוצע להשיג בעזרת רגליו.  
 ב. (15 נק') העריכו מהיא האנרגיה הדרושה על מנת שאדם יחף יוכל לרוץ על מים.  
 ג. (10 נק') מה צריך להיות גובהה של חיה (הדומה בגיאומטריה שלה לאדם) כך שתוכל לרוץ על מים? (יש להראות, לא סתם לכתוב!)

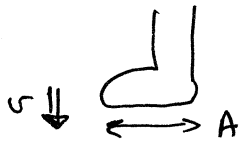
תשובה:

א. לאורך זמן אפשר לחבר קוטר ב- 5 שניות. ההספק שניתן להשיג הוא  
 יחסית:

$$P_{Bio} \approx \frac{mgh}{t} \approx \frac{70 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4 \text{ m}}{4 \text{ s}} \approx 700 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^3} = 700 \text{ W} \quad (\sim 600 \text{ kcal/hr})$$

... 4m - יורד - 4m - 4s

ב. זה הזמן קצרי. מן הסתם הקצב הזמן אינו יהיה דק יותר.  
 ב. אדם זכין להפעיל את הברזל כפי "בחינת אים בהל"ו. הכתם הוא  $F = \dot{m}v$   
 אם שטח החץ A והיא נעה במהירות v, נקבל:



$$\dot{m} \sim A v \rho$$

$$F = A v^2 \rho \sim mg \rightarrow v^2 = \frac{mg}{A \rho}$$

↑  
 ב"טיוו משקל הכח מתגבר לכדי כוח.

$$\dot{m} \sim A v \rho \sim \frac{A (mg)^{1/2} \rho}{(A \rho)^{1/2}} \sim A^{1/2} m^{1/2} g^{1/2} \rho^{1/2}$$

וההספק הזכיר הוא:

$$P_{req} = \frac{1}{2} \dot{m} v^2 \sim \frac{1}{2} A^{1/2} m^{1/2} g^{1/2} \rho^{1/2} \cdot \frac{mg}{A \rho}$$

$$\sim A^{-1/2} m^{3/2} g^{3/2} \rho^{-1/2}$$

$$P_{req} \approx 4000 \text{ W}$$

שטח רגל אדם

$$A \approx 200 \text{ cm}^2 \approx 0.02 \text{ m}^2$$

$$m \approx 70 \text{ kg}$$

ערוך אצט "עגיל"

5  
המשך תשובה לשאלה מס'

$$P_{Bio} \sim P_{Bio,0} \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^3$$

ג. אנו כוזבים  $P_{Bio}/P_{req} \sim 1$  (אוק):

תחת הנחה שההספק יחסי ל- $(\Delta z)^3$  לאסת השכי שחסה

$$P_{req} \sim P_{req,0} \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^{-3.5} \quad \left[ -\frac{3}{2} + \frac{3}{2} \cdot 3 \right] \quad A \propto h^2$$

כמו כן:

$$1 \sim \frac{P_{Bio}}{P_{req}} \sim \frac{P_{Bio,0}}{P_{req,0}} \cdot \frac{(h/h_0)^3}{(h/h_0)^{3.5}} \rightarrow \frac{h}{h_0} \sim \frac{1}{36}$$

$$\frac{7000}{40000} \sim \frac{1}{6}$$

הנה  $h_0 = 180 \text{ cm}$  נקבל:

$$\underline{\underline{h \sim 5 \text{ cm}}}$$

לפי הדספויסן יכולה להיות אף הרים. היא יתרה עגולה נ-5 ס"מ אולם טסה הרגלים עגול יתרה יחסית זרטה הקיר מאשי אצל האצט.

הערה: גובה פנים אנו חסוד בשולה זו. אפסי זכאות זאג יום נשורה אה  
הצגה האופייני של כזה הכרזיה זרה של גתה הפנים:

$$F_{grav} \sim mg \sim 7 \times 10^4 \text{ gr} \cdot 10^3 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} = 7 \times 10^7 \text{ dyne}$$

$$F_n \sim \rho \cdot h \sim 70 \frac{\text{dyne}}{\text{cm}} \cdot 1.8 \times 10^4 \text{ cm} \sim 1.5 \times 10^6 \text{ dyne}$$

למש פניה של גוים:  
אנרגיה/אח"ט  
כח הית'אולק  
אויך  
אפני.

וצדק לקטנו יתרה כתיגז טולק א הגזם (180cm)  
חא מיתג שקטוו אכר הרגל. (~10cm).

6. פיצוץ דו-מימדי. פצצה מתפוצצת בין שתי לוחות הנמצאים במרחק  $d$  זה מזה.  
 א. (15 נק') מה יהיה הקשר בין  $r(t)$  בגבול בו המסה ההתחלתית של הפצצה זניחה, כמו גם הטמפ' של האויר בין הלוחות, ובגבול בו  $r$  גדול בהרבה מ- $d$ .  
 ב. (10 נק') מהו התנאי על האנרגיה שמשחררת בפיצוץ כדי שהפתרון של סעיף א' אכן יתקיים בזמן כלשהו?

תשובה: א. להבדיל דגמית הפיצוץ שפיתולו גבית, כאן ישנו גודל נוסף  $d$ , המרחק בין הלוחות, שניתן עוד למספר מסר מימדים שלא נאפשרו פתרון בצורת עיקול. מימדים (מלאו תדבנות נוספות). הפיך שפיתולו אמרן הוא ע"י בנית מודל פשוט. אני מעוניין בגודל בו האנרגיה של הפיצוץ הוכה כולו לאנרגיה קינמית + קינמית של אויר מסביב לפיצוץ. לעדכון התורה השניה למספר הפיזיקאים במסגרת כן את האנרגיה הקינמית (כפי קדוץ מסר מימדים).

$$E \rightarrow \underbrace{m v^2}_{\substack{\text{מסה} \\ \text{בזמן } t}} \sim \int dR^2 \cdot \underbrace{\left(\frac{R}{t}\right)^2}_{\substack{\text{אנרגיה} \\ \text{אופיינית}}}$$

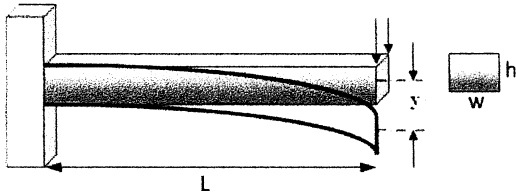
↑ הפיך לאנרגיה קינמית

$$E \sim \int d \frac{R^4}{t^2} \rightarrow R \sim \left( \frac{E t^2}{\rho d} \right)^{1/4} \quad \text{קטן}$$

ב. כדי שהפתרון יתקיים בזמן כלשהו, אנו צריכים שבאנרגיה הכוללת ב- $d^3$  לפני הפיצוץ (בהינן האנרגיה התחמית המקומית) תהיה קטנה ומס'ר קינמית של הפיצוץ.

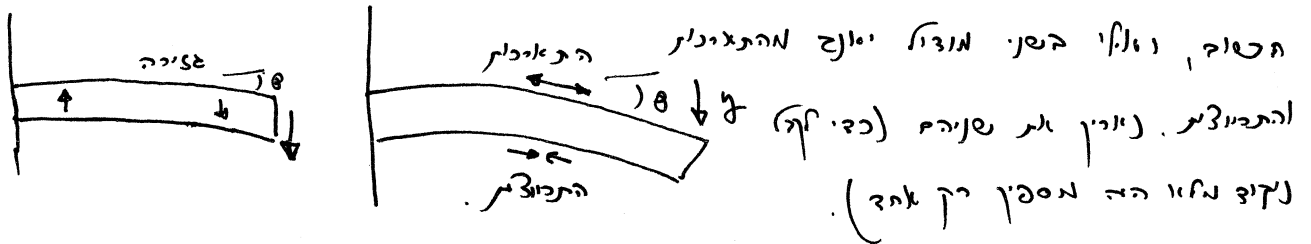
$$E > \rho d^3$$





7. (15 נק') נטיית מוט. מוט מחובר לקיר כמתואר בציור. כתוצאה ממשקלו, הוא נוטה כלפי מטה, כך שקצהו יורד גובה  $y$  יחסית למצב ללא כח משיכה. למוט אורך  $L$ , רוחב  $w$  וגובה  $h$  וכן המודולים האלסטיים הם כולם שווים ל- $E$ . כיצד ישתנה  $y$  אם נאריך את  $L$  בפקטור 2?  
(הציור אינו מדויק כי עיקר הכיפוף יהיה במרכז המוט, אולם זה הציור הכי דומה שמצאתי...)

תשובה: למעשה ישנם שני גבולות להתנהלות שניות. בהיפוך, מומנט הגזירה



נטייה ממוצעת גזירה!

אזנה מוצלם בשוט. האשית (כבי) שמוצגת אלסט. זה כמו לחמץ: אניגיה ליה רבי או כח ליה שטה. לכן, נסבך את הנטה  $\theta$  כי

$$A \sim \frac{F}{E \cdot A}$$

בתורה זה:  $A = h \cdot w$

$$\theta \sim \frac{Lwh\rho g}{E \cdot wh} = \frac{L\rho g}{E}$$

ואילו  $F \sim mg \sim Lwh\rho g$

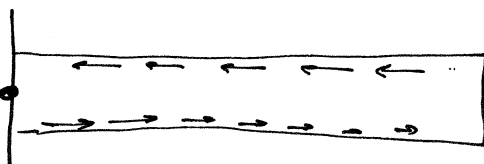
$$y \sim L\theta \sim \frac{L^2\rho g}{E}$$

ואילו הסטייה תהיה:

כלומר, הארכת המוט בפקטור 2 תגדיל את הסטייה  $y$  בפקטור 4.

נטייה מהתאבנות / והתבולות

האופציה השניה היא שלב יותר (לאין) של המוט מתאבק ואילו לבי השני. למבוע. (ישלך את המומנט שמופא סביב נקודת החיבור)



הפנאר הגולסט"ם גוהים  
אמט א"בציר" אהשתוקב אפי  
משלה כבי אהתנגד אכביצה

7 המשך תשובה לשאלה מס'

(נניח כי ההתאבטת (או התכווצות) האופיינית היא  $\Delta l$ , אלני ההתאבטת יחסית לאורך המוט צפייה:  $\frac{\Delta l}{l} E$  והמומנט סביב הנקודה יהיה:

$$\tau_E \sim \frac{\Delta l}{l} E \cdot wh \cdot h$$

$\frac{\Delta l}{l} E$  - הכוח האנכי הממוצע  
 $wh \cdot h$  - המוצר  $wh \cdot h$   
 $h$  - אופנין  
 $wh$  - שטח אופנין  
 $\frac{\Delta l}{l} E$  - כוחות' שטח

מאונך גיסאן המומנט צ"כ כפי צורה הוא:

$$\tau_g \sim mg \cdot L$$

$mg$  - כוח כבידה  
 $L$  - אופנין

ישווה ביניהם ונקבל:

$$\frac{\Delta l}{l} \sim \frac{\rho L wh \cdot L}{E \cdot wh \cdot h} \sim \frac{\rho L^2}{E}$$

כפירוק אל  $y$ , אנתנו צייכום אקדלו אלר ההתאבטת - עקרייה. קשר זה

$$y \sim L \left(\frac{dl}{l}\right)^2$$

הוא:

$$y = L(1 - \cos \theta) \sim L \theta^2 \sim L \left(\frac{dl}{L}\right)^2$$

כ

$$y \sim \frac{L^5 \rho^2 g^2}{E^2 h^2}$$

אין:

כלומר, הכפול אורך המוט בקטלו 2 תצדכ אור  $y$  בקטלו  $\sqrt[3]{32}$

המסמער הא שטבו  $y$  קטלו, הנטייה נקדט - משורה. כואו משזיל

אור  $y$  (צ"כ הצטר אורך המוט) בבלד למסוי ואנס ~~שטח~~ נכה האד

ואז  $y$  גרמ האד אפר עם הצטר 12- אורך המוט והוא מתכשר או נסבר