בונוס להעמקה • מכניקה

סטטיקה של גוף קשיח: 15 תרגילים

אינסוף
פיזיקה • מכניקה

מומנט ומרכז כובד, מנופים וקורות, צירים וסולמות, התהפכות • מהבסיס ועד שאלות אתגר

מכינה קדם־אקדמית | קורס מבוא | להעמקה

איך עובדים עם הקובץ?

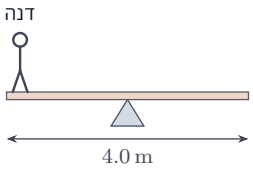
השאלות מסודרות לפי תתי־נושאים, ובכל תת־נושא מהקל לקשה: מומנט ומרכז כובד (שאלות 1 עד 4), מנופים וקורות (5 עד 8), צירים, כבלים וסולמות (9 עד 12), והחלקה, התהפכות ויציבות (13 עד 15). התשובות הסופיות נמצאות בסוף הקובץ. נסו לפתור לבד לפני שאתם מציצים!

אתגר קשה יותר מהרגיל חשיבה סעיף שעיקרו הסבר במילים

בכל השאלות, אלא אם נאמר אחרת: $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$, $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = \sin 53^\circ = 0.8$. המוטות, הקרשים והסולמות אחידים. החוטים והכבלים קלים.

שאלה 1

נדנדה בנויה מקרש שאורכו $4.0\,\mathrm{m}$ ומסתו $20\,\mathrm{kg}$, ונקודת המשען שלה באמצע הקרש. דנה, שמסתה $30\,\mathrm{kg}$, יושבת בקצה השמאלי.



א. באיזה מרחק מנקודת המשען, ובאיזה צד, צריך לשבת יוני, שמסתו $40\,\mathrm{kg}$, כדי שהנדנדה תהיה מאוזנת?

ב. מה הכוח של נקודת המשען על הקרש במצב הזה?

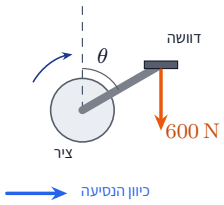
ג. יוני עובר לשבת בקצה הימני. לאיזה מקום צריך להזיז את נקודת המשען (מודדים מהקצה של דנה), כדי שהנדנדה תהיה שוב מאוזנת?

ד. יוני יורד, ודנה נשארת לבד בקצה שלה. באיזה מרחק מהקצה שלה צריכה להיות נקודת המשען עכשיו?

ה. איזו נקודה מיוחדת נמצאת בדיוק מעל נקודת המשען שמצאתם בסעיף ד? הסבירו למה זה חייב להיות כך. חשיבה

שאלה 2

רוכבת אופניים שמסתה $60\,\mathrm{kg}$ עומדת על דוושה אחת, והיא לוחצת על הדוושה אנכית כלפי מטה בכוח ששווה למשקל שלה. אורך הארכובה, המוט שמחבר את הדוושה לציר, הוא $17\,\mathrm{cm}$. הזווית θ נמדדת מהמצב שבו הארכובה פונה ישר למעלה, בכיוון הסיבוב.



א. מה המומנט של הכוח שהרוכבת מפעילה, סביב הציר, כשהארכובה אופקית ופונה קדימה?

ב. מה המומנט כשהארכובה פונה קדימה ונוטה ב־37° מתחת לאופק?

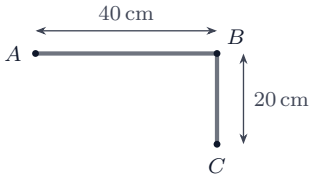
ג. מה המומנט כשהארכובה פונה ישר למטה? הסבירו למה קשה להתחיל לנסוע כשהדוושה במצב הזה. חשיבה

ד. כתבו את המומנט כפונקציה של θ, בחצי הסיבוב שבו $0 \le \theta \le 180^\circ$. באילו זוויות המומנט שווה לחצי מהערך הגדול ביותר שלו?

ה. לרוכבים מקצועיים יש נעליים שמחוברות לדוושות. כשהארכובה פונה ישר למטה, רוכב כזה מושך את הדוושה אחורה בכוח אופקי של $150\,\mathrm{N}$. מה המומנט של הכוח הזה סביב הציר? האם הוא מסובב את הארכובה באותו כיוון כמו בסעיף א?

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 3



תיל אחיד שאורכו $60\,\text{cm}$ ומסתו $0.30\,\text{kg}$ מכופף בזווית ישרה בנקודה B, כך שאורך החלק AB הוא $40\,\text{cm}$, ואורך החלק BC הוא $20\,\text{cm}$.

א. איפה מרכז הכובד של התיל? תארו את המקום שלו בעזרת שני מרחקים: מהישר BC ומהישר AB.

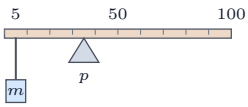
ב. תולים את התיל בחוט שקשור לנקודה D על החלק AB, כך ש־AB אופקי. מה המרחק AD?

ג. תולים את התיל מהקצה A, כך שהוא יכול להסתובב בחופשיות. מה הזווית בין AB לקו האנכי?

ד. תולים את התיל מהקצה C. מה הזווית בין BC לקו האנכי?

שאלה 4

תלמיד רוצה למצוא את המסה M של סרגל באורך מטר. בלי משקולות הסרגל מאוזן על להב, כשהלהב נמצא מתחת לסימן $50.0\,\text{cm}$. התלמיד תולה משקולת שמסתה m בסימן $5.0\,\text{cm}$, ומזיז את הלהב עד לסימן p, שבו הסרגל שוב מאוזן. הוא חוזר על הניסוי עם כמה משקולות:



$m\,(\text{g})$	50	100	150	200	250
$p\,(\text{cm})$	36.9	29.4	25.1	21.8	19.7

א. הראו ש־$m\,(p-5.0)=M\,(50.0-p)$, כשהמרחקים בסנטימטרים.

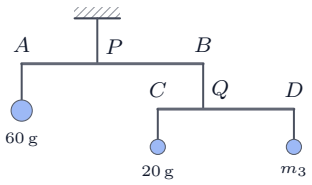
ב. חשבו לכל מדידה את $X=\frac{50.0-p}{p-5.0}$, וסרטטו גרף של m כפונקציה של X.

ג. מצאו מהגרף את המסה M של הסרגל.

ד. למה הקו הישר בגרף צריך לעבור בראשית הצירים? (חשיבה)

ה. איפה יהיה הלהב כשתולים משקולת של $300\,\text{g}$?

שאלה 5



במובייל שבשרטוט, המוט העליון AB באורך $40\,\text{cm}$ תלוי מהתקרה בחוט שקשור לנקודה P עליו. מהקצה A תלוי קישוט של $60\,\text{g}$. מהקצה B תלוי מוט תחתון CD באורך $30\,\text{cm}$, בחוט שקשור לנקודה Q, במרחק $10\,\text{cm}$ מ־C. מ־C תלוי קישוט של $20\,\text{g}$, ומ־D קישוט שמסתו m_3. המסות של המוטות זניחות, והמוטות אופקיים. השרטוט לא בקנה מידה.

א. מה המסה m_3?

ב. מה המרחק AP?

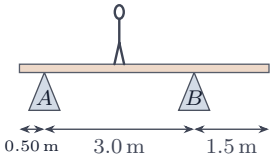
ג. מה המתיחות בחוט העליון?

ד. מוסיפים ל־D קישוט של $30\,\text{g}$. לאן צריך להזיז את Q ואת P, כדי ששני המוטות יישארו אופקיים?

ה. במצב ההתחלתי, בלי הקישוט הנוסף, מחליפים את המוט העליון במוט אחיד שמסתו $30\,\text{g}$. לאן צריך להזיז את P?

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 6



פועל עומד על פיגום: קרש שאורכו $5.0\,\mathrm{m}$ ומסתו $25\,\mathrm{kg}$, שמונח על שני חמורים. חמור A נמצא במרחק $0.50\,\mathrm{m}$ מהקצה השמאלי של הקרש, וחמור B במרחק $3.5\,\mathrm{m}$ מהקצה הזה. מסת הפועל $75\,\mathrm{kg}$, ו־x הוא המרחק שלו מהקצה השמאלי.

א. מה הכוח של כל חמור על הקרש, כש־$x = 2.0\,\mathrm{m}$?

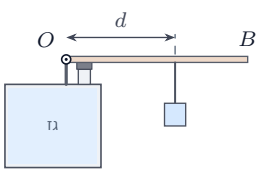
ב. כתבו את הכוחות של שני החמורים כפונקציה של x, וסרטטו את הגרפים שלהם בתחום $0.50\,\mathrm{m} \le x \le 3.5\,\mathrm{m}$.

ג. הפועל הולך ימינה, מעבר ל־B. עד איזה ערך של x הוא יכול ללכת, בלי שהקרש יתהפך?

ד. האם הפועל יכול להגיע בבטחה לקצה השמאלי של הקרש? נמקו.

ה. הפועל רוצה להגיע לקצה הימני. מה המסה הקטנה ביותר של דלי שהוא צריך להניח בקצה השמאלי?

שאלה 7



ב־1679 בנה דניס פאפין "מבשל קיטור", אבי סיר הלחץ, והוסיף לו שסתום ביטחון. בדגם של השסתום שבשרטוט, פקק קטן סוגר פתח שהשטח שלו $2.0\,\mathrm{cm}^2$, והגז שבכלי דוחף אותו כלפי מעלה. מעל הפקק יש מוט אחיד ואופקי OB, שאורכו $30\,\mathrm{cm}$ ומסתו $0.10\,\mathrm{kg}$. המוט מחובר לכלי בציר O, והפקק לוחץ עליו במרחק $3.0\,\mathrm{cm}$ מ־O. על המוט תלויה משקולת של $0.25\,\mathrm{kg}$, שאפשר להזיז לאורכו, במרחק d מ־O, מ־$d = 6.0\,\mathrm{cm}$ ועד הקצה B. מחוץ לכלי הלחץ $P_0 = 1.0 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$, ומשקל הפקק זניח. השסתום נפתח כשהפקק מתחיל להרים את המוט.

א. מה הלחץ בכלי ברגע שהשסתום נפתח, כש־$d = 18\,\mathrm{cm}$?

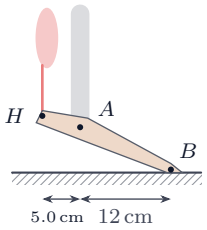
ב. מה הלחץ הקטן ביותר ומה הלחץ הגדול ביותר שאפשר לקבוע בעזרת המשקולת?

ג. הראו שהלחץ שבו השסתום נפתח הוא פונקציה קווית של d. בכמה הוא גדל כשמזיזים את המשקולת $1.0\,\mathrm{cm}$ החוצה?

ד. מה הכוח של הציר O על המוט ברגע שהשסתום נפתח, כש־$d = 18\,\mathrm{cm}$? מה כיוונו?

ה. בכלי סגור יש רק אוויר, בטמפרטורה $27\,^\circ\mathrm{C}$ ובלחץ $1.0 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$. מחממים את הכלי, והנפח שלו לא משתנה. באיזו טמפרטורה השסתום נפתח, כש־$d = 18\,\mathrm{cm}$?

שאלה 8



אישה שמסתה $60\,\mathrm{kg}$ עומדת על קצות האצבעות של רגל אחת. כף הרגל שלה היא מנוף: היא נשענת על הרצפה בכרית כף הרגל (B), עצם השוק מפעילה עליה כוח במפרק הקרסול (A), וגיד אכילס מושך את העקב (H) אנכית כלפי מעלה. המרחקים האופקיים: $AB = 12\,\mathrm{cm}$, ו־$AH = 5.0\,\mathrm{cm}$ (העקב נמצא מאחורי הקרסול). משקל כף הרגל זניח.

א. סרטטו את הכוחות שפועלים על כף הרגל.

ב. מה הכוח שגיד אכילס מפעיל?

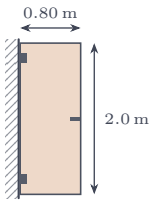
ג. מה הכוח שעצם השוק מפעילה על כף הרגל במפרק הקרסול, ומה כיוונו?

ד. כשנקודת המשען היא B, איזה סוג של מנוף היא כף הרגל? הסבירו. (חשיבה)

ה. שריר הסובך מתקצר ב־$1.0\,\mathrm{cm}$ ביחס לשוק, כף הרגל מסתובבת סביב B, והשוק נשארת אנכית. בכמה עולה הגוף, בקירוב? הראו שהעבודה של השריר (הכוח שלו כפול ההתקצרות שלו) שווה לאנרגיה הפוטנציאלית שהגוף צובר. (אתגר)

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 9



דלת אחידה שגובהה $2.0\,\text{m}$, רוחבה $0.80\,\text{m}$ ומסתה $24\,\text{kg}$ תלויה על שני צירים, בצד אחד שלה. הצירים נמצאים $0.20\,\text{m}$ מתחת לקצה העליון של הדלת ו־$0.20\,\text{m}$ מעל הקצה התחתון שלה.

א. מה הרכיב האופקי של הכוח של כל ציר על הדלת? באיזה כיוון הוא פועל?

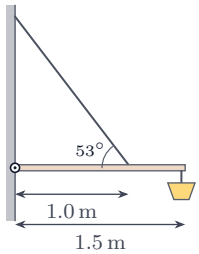
ב. הניחו שכל ציר נושא חצי מהמשקל של הדלת. מה גודל הכוח של כל ציר?

ג. ילד שמסתו $30\,\text{kg}$ נתלה על הידית, במרחק $0.75\,\text{m}$ מקו הצירים. מה הרכיב האופקי של הכוח של כל ציר עכשיו?

ד. למה מרכיבים את הצירים רחוק ככל האפשר זה מזה? חשיבה

ה. בכל ציר, הברגים מחזיקים אותו במשקוף. בציר העליון, האם הכוח של הדלת מושך את הברגים החוצה מהמשקוף או דוחף אותם פנימה? ובציר התחתון? חשיבה

שאלה 10



פנס רחוב תלוי בקצה של זרוע אופקית ואחידה, שאורכה $1.5\,\text{m}$ ומסתה $3.0\,\text{kg}$. הזרוע מחוברת לעמוד בציר. כבל שקשור לזרוע במרחק $1.0\,\text{m}$ מהציר עולה אל העמוד, בזווית $53°$ לזרוע. מסת הפנס $6.0\,\text{kg}$.

א. מה המתיחות בכבל?

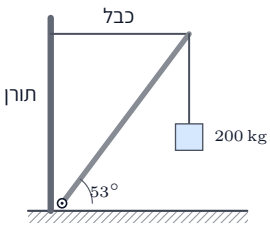
ב. מה הרכיבים של הכוח שהציר מפעיל על הזרוע? מה גודל הכוח, ומה כיוונו?

ג. הכבל עומד במתיחות של $200\,\text{N}$ לכל היותר. מה המסה הגדולה ביותר של פנס שאפשר לתלות בקצה הזרוע?

ד. מזיזים את נקודת הקשירה של הכבל לאורך הזרוע, והזווית בין הכבל לזרוע נשארת $53°$. באיזה מרחק מהציר צריך לקשור את הכבל, כדי שהכוח של הציר יהיה אופקי?

ה. איזו נקודה מיוחדת נמצאת במרחק שמצאתם בסעיף ד מהציר? הסבירו למה. חשיבה

שאלה 11



הזרוע של עגורן היא מוט אחיד שאורכו $4.0\,\text{m}$ ומסתו $50\,\text{kg}$, והיא מחוברת בציר לבסיס של התורן. כבל אופקי מחבר את הקצה העליון של הזרוע לתורן. מהקצה העליון של הזרוע תלוי משא של $200\,\text{kg}$. הזרוע נוטה ב־$53°$ לאופק.

א. מה המתיחות בכבל?

ב. מה גודל הכוח של הציר על הזרוע, ומה הזווית שלו עם האופק?

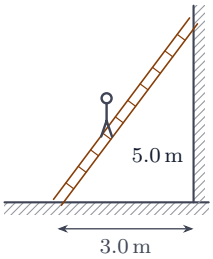
ג. האם הכוח של הציר מכוון לאורך הזרוע? איך היה מכוון הכוח אילו מסת הזרוע הייתה זניחה?

ד. מורידים את הזרוע, עד שהיא נוטה ב־$37°$ לאופק. הכבל נקשר לתורן נמוך יותר, כך שהוא נשאר אופקי. מה המתיחות בכבל עכשיו?

ה. למה מפעילי עגורנים נזהרים מלהוריד את הזרוע כשתלוי עליה משא כבד? חשיבה

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 12 אתגר



סולם שאורכו $5.0\,\mathrm{m}$ ומסתו $12\,\mathrm{kg}$ נשען על קיר חלק. הבסיס שלו נמצא על הרצפה, $3.0\,\mathrm{m}$ מהקיר. מקדם החיכוך הסטטי בין הסולם לרצפה $\mu_s = 0.40$. אדם שמסתו $70\,\mathrm{kg}$ מטפס על הסולם.

א. לפני שהאדם עולה: מה הכוחות של הקיר ושל הרצפה על הסולם? האם הסולם יכול לעמוד כך?

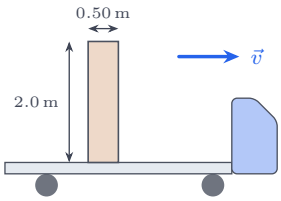
ב. עד איזה מרחק מבסיס הסולם, לאורכו, יכול האדם לטפס לפני שהסולם מחליק? באיזה גובה מעל הרצפה נמצאות אז כפות הרגליים שלו?

ג. מה מקדם החיכוך הסטטי הקטן ביותר שמאפשר לאדם להגיע לראש הסולם?

ד. עם $\mu_s = 0.40$, מה הזווית הקטנה ביותר בין הסולם לרצפה שמאפשרת לאדם להגיע לראש הסולם? השוו לכלל הבטיחות "1 ל־4", שלפיו הסולם נוטה בכ־$75°$.

ה. למה גם סולם שעומד כמעט אנכית מסוכן? חשיבה

שאלה 13



ארון אחיד שגובהו $2.0\,\mathrm{m}$, עומקו $0.50\,\mathrm{m}$ ומסתו $60\,\mathrm{kg}$ עומד זקוף. מקדם החיכוך הסטטי בינו לבין המשטח $\mu_s = 0.40$.

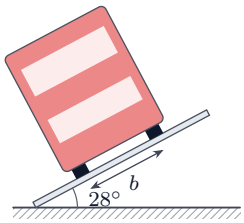
א. מעמיסים את הארון על משאית בעזרת רמפה, שאפשר לשנות את השיפוע שלה. הארון עומד זקוף על הרמפה, והעומק שלו לאורך הרמפה. באיזו זווית הוא יתהפך, ובאיזו זווית הוא יחליק? מה יקרה קודם?

ב. הארון עומד זקוף על רצפת המשאית, והעומק שלו בכיוון הנסיעה. המשאית בולמת בתאוצה שגודלה a. מאיזה ערך של a הארון יתחיל להחליק? מאיזה ערך הוא יתחיל להתהפך? מה יקרה קודם?

ג. המשאית בולמת בתאוצה שגודלה $2.0\,\mathrm{m/s^2}$. מה כוח החיכוך על הארון, ומה כיוונו? באיזה מרחק מהדופן של הארון שפונה לחזית המשאית פועל כוח הנורמל של הרצפה?

ד. משכיבים את הארון על הגב שלו, ועכשיו האורך שלו, $2.0\,\mathrm{m}$, בכיוון הנסיעה. מה התאוצה הגדולה ביותר של הבלימה, שבה הארון לא זז ביחס למשאית?

שאלה 14 אתגר



המרחק בין הגלגלים הימניים לשמאליים של אוטובוס דו־קומתי הוא $b = 2.0\,\mathrm{m}$. מרכז הכובד שלו נמצא באמצע, בגובה h מעל הכביש. התעלמו מהמתלים ומהעיוות של הצמיגים. $\tan 28° \approx 0.532$.

א. במבחן ההטיה האוטובוס עומד על משטח שמטים אותו ב־$28°$, ואסור שיתהפך. מה הגובה הגדול ביותר של מרכז הכובד שמאפשר לו לעבור את המבחן?

ב. למה עורכים את המבחן כשהקומה העליונה עמוסה? חשיבה

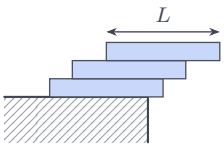
ג. אוטובוס שמרכז הכובד שלו בגובה $1.5\,\mathrm{m}$ נוסע בסיבוב אופקי שרדיוסו $50\,\mathrm{m}$. מאיזו מהירות הוא יתחיל להתהפך, אם הוא לא מחליק קודם?

© אור בן שטרית · אינסוף

ד. מקדם החיכוך הסטטי בין הצמיגים לכביש $\mu_s = 0.70$. מאיזו מהירות האוטובוס יתחיל להחליק? מה יקרה קודם?

ה. במכונית פרטית $b = 1.5\,\mathrm{m}$, ומרכז הכובד בגובה $0.55\,\mathrm{m}$. מה יקרה קודם באותו סיבוב, עם אותו מקדם חיכוך: החלקה או התהפכות? מצאו תנאי על $\frac{b}{2h}$ ועל μ_s, שקובע אם כלי רכב מתהפך לפני שהוא מחליק.

שאלה 15 אתגר



ספרים אחידים וזהים, שאורך כל אחד מהם $L = 24\,\mathrm{cm}$, מונחים בערימה על קצה של שולחן. כל ספר בולט מעבר לספר שמתחתיו, והספר התחתון בולט מעבר לקצה השולחן. רוצים שהספר העליון יבלוט כמה שיותר מעבר לקצה השולחן.

א. כמה יכול לבלוט ספר אחד, שמונח לבד על השולחן?

ב. שני ספרים: כמה יכול הספר העליון לבלוט מעבר לתחתון? כמה יכול התחתון לבלוט מעבר לשולחן? מה הבליטה של הספר העליון מעבר לשולחן?

ג. בערימה שבה הספר העליון בולט הכי הרבה, מה הבליטה של הספר ה־k מלמעלה מעבר לספר שמתחתיו? נמקו.

ד. מה הבליטה הגדולה ביותר של הספר העליון מעבר לשולחן בערימה של 4 ספרים? האם הספר העליון יכול להיות כולו מחוץ לשולחן?

ה. כמה ספרים צריך, כדי שהספר העליון יבלוט $2L$ מעבר לשולחן? האם אפשר להגיע לכל בליטה, כשיש מספיק ספרים? חשיבה

© אור בן שטרית · אינסוף

תשובות סופיות

התשובות מעוגלות. הכיוונים מתוארים ביחס לשרטוט או לתיאור שבשאלה.

שאלה 1

א. $1.5\,\text{m}$ מימין לנקודת המשען.

ב. $900\,\text{N}$, כלפי מעלה.

ג. $\frac{20}{9} \approx 2.22\,\text{m}$ מהקצה של דנה.

ד. $0.80\,\text{m}$.

ה. מרכז הכובד של דנה והקרש יחד: $\frac{30\cdot 0+20\cdot 2.0}{50} = 0.80\,\text{m}$. על דנה ועל הקרש יחד פועלים רק שני כוחות: המשקל המשותף, במרכז הכובד, והכוח של נקודת המשען. אם הם לא על אותו קו אנכי, הם זוג כוחות, והם מסובבים.

שאלה 2

א. $\tau = 600 \cdot 0.17 = 102\,\text{N}\cdot\text{m}$.

ב. הזרוע $0.17\cos 37^\circ = 0.136\,\text{m}$, ולכן $\tau \approx 81.6\,\text{N}\cdot\text{m}$.

ג. אפס: קו הפעולה עובר דרך הציר. במצב הזה דחיפה למטה לא מסובבת את הארכובה ("נקודה מתה").

ד. $\tau = 102\sin\theta\,\text{N}\cdot\text{m}$. חצי מהמרבי ב־$\theta = 30^\circ$ וב־$\theta = 150^\circ$.

ה. $150 \cdot 0.17 = 25.5\,\text{N}\cdot\text{m}$. כן, באותו כיוון.

שאלה 3

א. BC $13.3\,\text{cm}$ מהישר A (לכיוון AB) ו־$3.33\,\text{cm}$ מהישר C (לכיוון AB). מרכז הכובד נמצא מחוץ לתיל.

ב. $AD \approx 26.7\,\text{cm}$.

ג. $\tan\varphi = \frac{3.33}{26.7}$, כלומר $\varphi \approx 7.1^\circ$.

ד. $\tan\varphi = \frac{13.3}{16.7} = 0.8$, כלומר $\varphi \approx 38.7^\circ$.

שאלה 4

א. מומנטים סביב הלהב: המשקולת בזרוע $p - 5.0$, ומשקל הסרגל, שפועל ב־$50.0\,\text{cm}$, בזרוע $50.0 - p$.

ב. $X \approx 0.411$, 0.844, 1.24, 1.68, 2.06.

ג. השיפוע הוא M: כ־$120\,\text{g}$ (תשובה בין 115 ל־$125\,\text{g}$ מתקבלת).

ד. כש־$m = 0$ הסרגל מאוזן ב־$p = 50.0\,\text{cm}$, ואז $X = 0$.

ה. $p = \frac{5.0\cdot 300+50.0\cdot 120}{300+120} \approx 17.9\,\text{cm}$.

שאלה 5

א. $m_3 = 10\,\text{g}$.

ב. $AP \approx 13.3\,\text{cm}$.

ג. $0.90\,\text{N}$.

ד. Q במרחק $20\,\text{cm}$ מ־C, ו־P באמצע AB, $20\,\text{cm}$ מ־A.

ה. $AP = 15\,\text{cm}$.

שאלה 6

א. $N_A \approx 458\,\text{N}$, $N_B \approx 542\,\text{N}$.

ב. $N_B = 41.7 + 250x$ ו־$N_A = 958.3 - 250x$ (בניוטונים, כש־x במטרים): שני קווים ישרים, שסכומם תמיד $1000\,\text{N}$.

ג. $x \approx 3.83\,\text{m}$, כלומר $0.33\,\text{m}$ מעבר ל־B.

ד. כן. בקצה השמאלי $N_B \approx 41.7\,\text{N} > 0$, והקרש לא מתהפך.

ה. $25\,\text{kg}$.

שאלה 7

א. $P = 2.0\times 10^5\,\text{Pa}$.

ב. מ־$1.50\times 10^5\,\text{Pa}$ ($d = 6.0\,\text{cm}$) עד $2.50\times 10^5\,\text{Pa}$ ($d = 30\,\text{cm}$).

ג. $(P - P_0)\cdot 2.0\times 10^{-4}\cdot 0.030 = 2.5\,d + 0.15$ (d במטרים). בכל סנטימטר הלחץ גדל בכ־$4.2\times 10^3\,\text{Pa}$.

ד. $16.5\,\text{N}$, כלפי מטה.

ה. $T = 600\,\text{K}$, כלומר $327\,^\circ\text{C}$.

שאלה 8

א. ב־B הרצפה דוחפת למעלה ($600\,\text{N}$), ב־H הגיד מושך למעלה, וב־A השוק לוחצת למטה.

ב. $T = \frac{600\cdot 12}{5.0} = 1440\,\text{N}$.

ג. $600 + 1440 = 2040\,\text{N}$, כלפי מטה.

ד. סוג 2: נקודת המשען (B) בקצה, העומס (הכוח של השוק ב־A) באמצע, והכוח של הגיד בקצה השני. הכוח של הגיד קטן מהעומס, אבל גדול פי 2.4 ממשקל הגוף.

ה. העקב עולה כ־$3.4\,\text{cm}$, והקרסול, ואיתו הגוף, עולה כ־$2.4\,\text{cm}$. העבודה של השריר: $600\cdot 0.024 = 14.4\,\text{J} = 0.010\cdot 1440$.

שאלה 9

א. $60\,\text{N}$ בכל ציר: הציר העליון מושך את הדלת אל המשקוף, והתחתון דוחף אותה ממנו.

ב. $\sqrt{60^2 + 120^2} \approx 134\,\text{N}$.

ג. $\frac{240\cdot 0.40+300\cdot 0.75}{1.6} \approx 201\,\text{N}$.

ד. הרכיב האופקי שווה למומנט של המשקל חלקי המרחק בין הצירים. מרחק גדול, כוחות קטנים.

ה. הציר העליון מושך את הברגים החוצה, והתחתון דוחף אותם פנימה.

שאלה 10

א. $T \approx 141\,\text{N}$ (בדיוק $140.6\,\text{N}$).

ב. $H_x \approx 84.4\,\text{N}$, הרחק מהעמוד, ו־$H_y = 22.5\,\text{N}$, כלפי מטה. הגודל כ־$87.3\,\text{N}$, בזווית של כ־$14.9^\circ$ מתחת לאופק.

ג. כ־$9.2\,\text{kg}$.

ד. $1.25\,\text{m}$ מהציר.

ה. מרכז הכובד המשותף של הזרוע והפנס. כשהכוח של הציר אופקי, הרכיב האנכי של המתיחות שווה למשקל הכולל, $90\,\text{N}$, והמומנט שלו סביב הציר שווה למומנט של המשקל הכולל. לכן הוא פועל באותו מרחק מהציר.

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 11

א. $T \approx 1690\,\text{N}$ (בדיוק $1687.5\,\text{N}$).

ב. כ־$3.02 \times 10^3\,\text{N}$, בזווית של כ־$56.0°$ מעל לאופק, הרחק מהתורן.

ג. לא: הכוח נוטה ב־$56.0°$, והזרוע ב־$53°$. בלי מסת הזרוע $T = 1500\,\text{N}$ ו־$H_y = 2000\,\text{N}$, ולכן $\tan\varphi = \frac{4}{3}$, כלומר $\varphi \approx 53.1°$: לאורך הזרוע.

ד. $T = 3000\,\text{N}$.

ה. כשזרוע העגורן יורדת, המרחקים האופקיים של המשקלים מהציר גדלים, ואיתם המתיחות בכבל והכוח על הציר. גם המומנט שמנסה להפיל את העגורן כולו גדל.

שאלה 12

א. הרצפה: $N = 120\,\text{N}$ למעלה ו־$f = 45\,\text{N}$ אל הקיר. הקיר: $N_w = 45\,\text{N}$, אופקית, הרחק מהקיר. כן, $45 < 0.40 \cdot 120 = 48\,\text{N}$.

ב. $s \approx 2.70\,\text{m}$ לאורך הסולם, וכפות הרגליים בגובה של כ־$2.16\,\text{m}$.

ג. $\mu_s \approx 0.70$ (בדיוק $\frac{570}{820}$).

ד. $\tan\theta = \frac{760}{328} \approx 2.32$, כלומר $\theta \approx 66.7°$. הכלל ($75.5°$) משאיר מרווח ביטחון.

ה. כשהסולם כמעט אנכי, מרכז הכובד של האדם והסולם קרוב לקו האנכי שעובר בבסיס. אם האדם נוטה מעט אחורה, מרכז הכובד עובר אותו, והסולם מתהפך הרחק מהקיר.

שאלה 13

א. מתהפך כש־$\tan\theta = \frac{0.50}{2.0}$, כלומר ב־$14.0°$. מחליק כש־$\tan\theta = 0.40$, כלומר ב־$21.8°$. הוא מתהפך קודם.

ב. מחליק מ־$a = \mu_s g = 4.0\,\text{m/s}^2$. מתהפך מ־$a = g \cdot \frac{0.25}{1.0} = 2.5\,\text{m/s}^2$ (חצי העומק חלקי גובה מרכז הכובד). הוא מתהפך קודם.

ג. $f = 120\,\text{N}$, אחורה (נגד כיוון הנסיעה). הנורמל פועל $5.0\,\text{cm}$ מהדופן שפונה לחזית המשאית.

ד. $4.0\,\text{m/s}^2$: מעל זה הארון מחליק. כדי להתהפך הוא צריך $40\,\text{m/s}^2$.

שאלה 14

א. $h = \frac{1.0}{0.532} \approx 1.88\,\text{m}$.

ב. עומס בקומה העליונה מגביה את מרכז הכובד, ולכן זה המצב המסוכן ביותר.

ג. $v = \sqrt{gr\frac{b}{2h}} \approx 18.3\,\text{m/s}$, כ־$66\,\text{km/h}$.

ד. $v = \sqrt{\mu_s gr} \approx 18.7\,\text{m/s}$, כ־$67\,\text{km/h}$. האוטובוס מתהפך קודם.

ה. התהפכות ב־$v \approx 26.1\,\text{m/s}$ והחלקה ב־$v \approx 18.7\,\text{m/s}$: המכונית מחליקה קודם. כלי רכב מתהפך קודם כאשר $gr\frac{b}{2h} < \mu_s gr$, כלומר $\frac{b}{2h} < \mu_s$.

שאלה 15

א. $\frac{L}{2} = 12\,\text{cm}$.

ב. $\frac{L}{2} = 12\,\text{cm}$, $\frac{L}{4} = 6.0\,\text{cm}$. יחד: $18\,\text{cm}$.

ג. $\frac{L}{2k}$. נמדוד מהקצה הבולט של הספר ה־k. מרכז הכובד של $k-1$ הספרים שמעליו נמצא בדיוק מעל הקצה הזה, ומרכז הכובד של הספר ה־k נמצא $\frac{L}{2}$ ממנו. לכן מרכז הכובד של k הספרים יחד נמצא $\frac{L}{2k}$ מהקצה, והוא צריך להיות מעל הקצה של הספר שמתחתם.

ד. $L\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{6}+\frac{1}{8}\right) = \frac{25}{24}L = 25\,\text{cm}$. כן, הוא כולו מחוץ לשולחן, ב־$1.0\,\text{cm}$.

ה. 31 ספרים. כן: הבליטה היא $\frac{L}{2}\left(1+\frac{1}{2}+\cdots+\frac{1}{n}\right)$, והסכום הזה גדל בלי גבול.

© 2026 אור בן שטרית · אינסוף. כל הזכויות שמורות.
מותר להדפיס ולהפיץ את הקובץ בשלמותו ובחינם לצורכי לימוד. אסור להעתיק ממנו תרגילים או איורים לחומרים אחרים, לשנות אותו או להשתמש בו למטרות מסחריות בלי אישור בכתב.
הקובץ נכתב בידי אינסוף ואינו פרסום רשמי של משרד החינוך או של גוף אחר.