נושא 8 מתוך 8 • מכניקה

גז אידיאלי: 15 תרגילים

אינסוף
פיזיקה • מכניקה

לחץ ומשוואת המצב, המודל הקינטי, חום, עבודה והחוק הראשון • מהבסיס ועד שאלות אתגר

כיתה י"א | 5 יח"ל | מכינה קדם־אקדמית

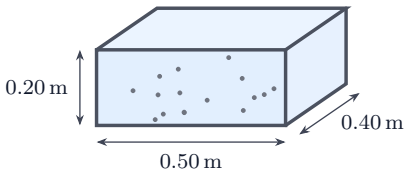
איך עובדים עם הקובץ?

השאלות מסודרות לפי תתי־נושאים, ובכל תת־נושא מהקל לקשה: לחץ, טמפרטורה ומשוואת המצב (שאלות 1 עד 5), המודל הקינטי (6 עד 9), אנרגיה פנימית, חום ועבודה (10 עד 14), וגז כקפיץ (15). התשובות הסופיות נמצאות בסוף הקובץ. נסו לפתור לבד לפני שאתם מציצים!

אתגר קשה יותר מהרגיל בבגרות | מכינה ברמה של המכינה הקדם־אקדמית | חשיבה סעיף שעיקרו הסבר במילים

בכל השאלות, אלא אם נאמר אחרת: הגזים אידיאליים, $k = 1.38 \times 10^{-23}\,\mathrm{J/K}$, $T = t_C + 273$, לחץ האוויר בחוץ $P_0 = 1.0 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$, $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$, וליטר אחד הוא $10^{-3}\,\mathrm{m^3}$. הליום, נאון וארגון הם גזים חד־אטומיים.

שאלה 1



תיבה מתכתית סגורה, שמידותיה $0.50\,\mathrm{m} \times 0.40\,\mathrm{m} \times 0.20\,\mathrm{m}$, מלאה בגז ארגון. התיבה מונחת על הפאה הגדולה ביותר שלה, והגז מפעיל על הפאה הזו כוח של $2.4 \times 10^4\,\mathrm{N}$. הטמפרטורה של הגז $27\,^\circ\mathrm{C}$.

א. מה הלחץ של הגז בתיבה?

ב. מה גודל הכוח שהגז מפעיל על הפאה הקטנה ביותר של התיבה?

ג. מה גודל הכוח השקול שהגז והאוויר שבחוץ מפעילים יחד על הפאה העליונה של התיבה, ומה כיוונו?

ד. כמה אטומי ארגון יש בתיבה?

ה. המסה של אטום ארגון $6.64 \times 10^{-26}\,\mathrm{kg}$.

(1) מה המשקל של הגז שבתיבה?

(2) הגז נמצא במנוחה. הראו שהכוח שהוא מפעיל על הפאה התחתונה גדול מהכוח שהוא מפעיל על הפאה העליונה בדיוק במשקל שלו.

(3) בכמה אחוזים גדול הכוח על הפאה התחתונה מהכוח על הפאה העליונה? האם מוצדק להגיד שהלחץ בתיבה אחיד? חשיבה

שאלה 2

נהג בודק בבוקר את הלחץ בצמיגים של המכונית, כשהטמפרטורה $7\,^\circ\mathrm{C}$. מד הלחץ מראה $2.2\,\mathrm{bar}$. זה הלחץ העודף, מעל לחץ האוויר שבחוץ, $P_0 = 1.0\,\mathrm{bar}$. נפח הצמיג 25 ליטר, והוא לא משתנה. $1\,\mathrm{bar} = 10^5\,\mathrm{Pa}$.

א. מה הלחץ המוחלט של האוויר בצמיג?

ב. כמה מולקולות אוויר יש בצמיג?

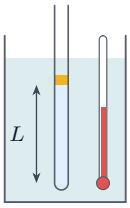
ג. אחרי נסיעה ארוכה, הטמפרטורה של האוויר בצמיג $47\,^\circ\mathrm{C}$. מה מראה עכשיו מד הלחץ?

ד. הנהג משחרר אוויר מהצמיג, עד שהמד מראה שוב $2.2\,\mathrm{bar}$. הטמפרטורה של האוויר בצמיג נשארת $47\,^\circ\mathrm{C}$. איזה חלק מהמולקולות יצא?

ה. למחרת בבוקר הטמפרטורה בצמיג שוב $7\,^\circ\mathrm{C}$. מה מראה עכשיו מד הלחץ? מה כדאי לנהג ללמוד מזה? חשיבה

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 3



תלמידה כולאת אוויר בצינור זכוכית צר וארוך, בעל חתך אחיד, שסגור מלמטה ועומד אנכית. את האוויר סוגרת מלמעלה טיפת שמן, שנעה בצינור בלי חיכוך, ומעליה האוויר של החדר. התלמידה טובלת את הצינור באמבט מים, ומודדת את האורך L של עמודת האוויר בטמפרטורות שונות של המים:

$t_C\ (^\circ\mathrm{C})$	10	30	50	70	90
$L\ (\mathrm{mm})$	169.8	181.8	193.8	205.8	217.8

א. הסבירו למה הלחץ של האוויר הכלוא לא משתנה במהלך הניסוי. (חשיבה)

ב. סרטטו גרף של L כפונקציה של t_C. מה השיפוע שלו?

ג. המשיכו את הגרף: באיזו טמפרטורה האורך של עמודת האוויר היה מתאפס?

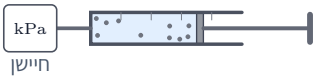
ד. האם אפשר באמת לקרר את האוויר עד שעמודת האוויר תיעלם? הסבירו. (חשיבה)

ה. כתבו את L כפונקציה של הטמפרטורה בקלווין, T.

ו. התלמידה מכניסה את הצינור למקפיא, ושם $L = 153.0\,\mathrm{mm}$. מה הטמפרטורה במקפיא?

ז. התלמידה חוזרת על הניסוי עם צינור זהה, שבו כמות כפולה של אוויר. איך ישתנה הגרף? באיזו נקודה הוא יחתוך את ציר הטמפרטורה? (חשיבה)

שאלה 4



מזרק מחובר בצינור קצר לחיישן לחץ. בהתחלה יש במזרק $20\,\mathrm{cm}^3$ של אוויר בלחץ של החדר. תלמיד דוחף את הבוכנה לאט, וקורא את הנפח V על הסקאלה של המזרק ואת הלחץ P בחיישן. הטמפרטורה, $20\,^\circ\mathrm{C}$, לא משתנה.

$V\ (\mathrm{cm}^3)$	20	16	12	10	8	6
$P\ (\mathrm{kPa})$	100	124	162	191	233	300

א. חשבו את המכפלה PV בכל עמודה של הטבלה. איך המכפלה משתנה כשהנפח קטן?

ב. המורה מסבירה שהסקאלה של המזרק לא כוללת את הנפח V_0 של הצינור ושל החיישן, ולכן הנפח של האוויר הוא $V+V_0$. הראו שאם כך, הגרף של V כפונקציה של $\frac{1}{P}$ הוא קו ישר. בטאו את השיפוע שלו ואת נקודת החיתוך שלו עם ציר V.

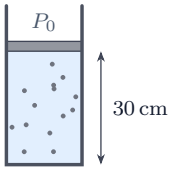
ג. סרטטו את הגרף של V כפונקציה של $\frac{1}{P}$, ומצאו בעזרתו את V_0 ואת המכפלה $P\,(V+V_0)$.

ד. כמה מולקולות אוויר יש במזרק, בצינור ובחיישן יחד?

ה. למה חשוב לדחוף את הבוכנה לאט? (חשיבה)

© אור בן שטרית · אינסוף

שאלה 5 אתגר



גליל אנכי, ששטח החתך שלו $40\,\text{cm}^2$, סגור מלמטה. בגליל יש גז, ומעליו בוכנה שמסתה $8.0\,\text{kg}$. הבוכנה נעה בלי חיכוך, ומעליה האוויר של החדר. בהתחלה הבוכנה במנוחה בגובה $30\,\text{cm}$ מעל תחתית הגליל, והטמפרטורה של הגז $27\,^\circ\text{C}$.

א. מה הלחץ של הגז?

ב. כמה מולקולות יש בגליל?

ג. מניחים לאט על הבוכנה משקולת של $4.0\,\text{kg}$, והטמפרטורה לא משתנה. באיזה גובה תיעצר הבוכנה?

ד. עכשיו, כשהמשקולת על הבוכנה, מחממים את הגז לאט, עד שהבוכנה חוזרת לגובה $30\,\text{cm}$. מה הטמפרטורה של הגז?

ה. מסירים את המשקולת ומקררים את הגז, עד שהוא חוזר למצב ההתחלתי. עכשיו הופכים את הגליל לאט, כך שהפתח למטה והבוכנה מתחת לגז. הטמפרטורה לא משתנה, והגליל ארוך מספיק. מה המרחק בין הבוכנה לקצה הסגור של הגליל?

ו. מאיזו מסה של בוכנה, באותו שטח, גליל הפוך כבר לא יכול להחזיק אותה, ארוך ככל שיהיה? חשיבה

שאלה 6

במכל שנפחו 5.0 ליטר יש גז נאון, בטמפרטורה $27\,^\circ\text{C}$ ובלחץ $2.0\times10^5\,\text{Pa}$. המסה של אטום נאון $3.32\times10^{-26}\,\text{kg}$.

א. כתבו שלוש הנחות של המודל הקינטי של גז אידיאלי. חשיבה

ב. (1) הטמפרטורה של גז היא מדד לגודל מיקרוסקופי מסוים. מהו?

(2) הסבירו למה, לפי המודל הקינטי, אי אפשר לייחס טמפרטורה לריק, כלומר למקום שאין בו מולקולות. חשיבה

ג. מה האנרגיה הקינטית הממוצעת של אטום נאון במכל?

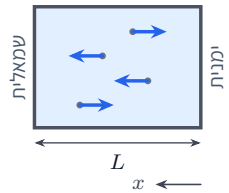
ד. כמה אטומים יש במכל?

ה. מה האנרגיה הפנימית של הגז?

ו. מה v_{rms} של אטומי הנאון?

ז. מה המסה של הגז שבמכל?

שאלה 7



בקובייה שאורך הצלע שלה L יש N מולקולות, והמסה של כל אחת m. במודל פשוט, כל המולקולות נעות באותה מהירות v, הלוך ושוב בין שתי דפנות מקבילות, ימנית ושמאלית, ופוגעות בכל דופן בניצב לה. ההתנגשויות בדפנות אלסטיות, והמולקולות לא מתנגשות זו בזו. ציר x מכוון מהדופן הימנית אל הדופן השמאלית.

א. תנו עובדה ניסויית שמראה שההתנגשויות של מולקולות גז בדפנות של כלי הן אלסטיות (בממוצע, כשהגז והדפנות באותה טמפרטורה). חשיבה

ב. מה השינוי בתנע של מולקולה אחת (ביחס לציר x) כשהיא פוגעת בדופן הימנית?

ג. מחזור אחד של תנועת מולקולה כולל פגיעה בכל אחת מהדפנות, ותנועה הלוך ושוב ביניהן. מה הכוח הממוצע שכל אחת מהדפנות מפעילה על מולקולה אחת במהלך מחזור, ומה כיוונו?

ד. מה הכוח הממוצע שמולקולה אחת מפעילה על הדופן הימנית במהלך מחזור, ומה כיוונו?

ה. בטאו את הלחץ שהמולקולות מפעילות על הדופן הימנית בעזרת N, m, v והנפח V של הקובייה.

ו. במציאות המולקולות נעות לכל הכיוונים ובמהירויות שונות. איך משתנה במקרה כזה הביטוי שמצאתם בסעיף ה? הסבירו.

© אור בן שטרית · אינסוף

(חשיבה)

ז. הצפיפות של הליון בלחץ $1.0 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$ היא $0.16\,\mathrm{kg/m^3}$. מה v_{rms} של אטומי ההליום? המסה של אטום הליון $6.64 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$. מה הטמפרטורה של הגז?

שאלה 8

מכל קשיח שנפחו 10 ליטר מכיל תערובת של הליום וארגון בטמפרטורה $27\,^\circ\mathrm{C}$. במכל 1.2×10^{23} אטומי הליום ו־6.0×10^{22} אטומי ארגון. המסה של אטום הליום $6.64 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$, והמסה של אטום ארגון גדולה ממנה פי 10.

א. מה המקור של הלחץ שהגז מפעיל על הדפנות של המכל? (חשיבה)

ב. השוו בין האנרגיה הקינטית הממוצעת של אטום הליום לזו של אטום ארגון, וחשבו אותן.

ג. האם v_{rms} של אטומי ההליום גדולה מזו של אטומי הארגון, קטנה ממנה או שווה לה? נמקו, וחשבו את שתיהן.

ד. מה הלחץ במכל? איזה משני הגזים תורם יותר ללחץ, ולמה? (חשיבה)

ה. מעבירים את כל התערובת למכל שני שנפחו 20 ליטר, ושכבר יש בו גז נאון, בטמפרטורה $27\,^\circ\mathrm{C}$ ובלחץ $3.0 \times 10^4\,\mathrm{Pa}$. הטמפרטורה לא משתנה. מה הלחץ הסופי במכל השני?

ו. מה האנרגיה הפנימית של כל הגז שבמכל השני?

שאלה 9

כוכב לכת שומר על גז באטמוספרה שלו רק אם המולקולות של הגז לא בורחות ממנו. בשכבה העליונה של האטמוספרה, מולקולה בורחת אם המהירות שלה גדולה ממהירות המילוט. לפי כלל אצבע של אסטרונומים, כוכב שומר על גז במשך מיליארדי שנים רק אם v_{rms} של הגז קטנה משישית ממהירות המילוט.

נתונים: מהירות המילוט מכדור הארץ $11.2\,\mathrm{km/s}$, ומהמאדים $5.0\,\mathrm{km/s}$. הטמפרטורה בשכבה העליונה של האטמוספרה כ־$1000\,\mathrm{K}$ בכדור הארץ, וכ־$270\,\mathrm{K}$ במאדים. המסות של המולקולות: מימן $3.32 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$, הליום $6.64 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$, חנקן $4.65 \times 10^{-26}\,\mathrm{kg}$, חמצן $5.31 \times 10^{-26}\,\mathrm{kg}$ ופחמן דו־חמצני $7.30 \times 10^{-26}\,\mathrm{kg}$.

א. חשבו את v_{rms} של מימן, הליום, חנקן וחמצן בשכבה העליונה של האטמוספרה של כדור הארץ.

ב. לפי כלל האצבע, על אילו מהגזים האלה כדור הארץ שומר? האם זה מתאים להרכב האוויר?

ג. למה כלל האצבע דורש ש־v_{rms} תהיה קטנה בהרבה ממהירות המילוט, ולא רק קטנה ממנה? (חשיבה)

ד. האם המאדים שומר על מימן? האם הוא שומר על פחמן דו־חמצני?

ה. באיזו טמפרטורה v_{rms} של מולקולות חנקן הייתה שווה לשישית ממהירות המילוט מכדור הארץ? ובאיזו טמפרטורה היא הייתה שווה למהירות המילוט עצמה?

שאלה 10

א. לאדם יש ידיים קרות. הוא משפשף אותן זו בזו, והן מתחממות. האם הטמפרטורה שלהן עלתה בגלל עבודה או בגלל חום? (חשיבה)

ב. הוא מחזיק את הידיים מעל תנור, והן מתחממות. האם הטמפרטורה עלתה בגלל עבודה או בגלל חום? (חשיבה)

ג. מקדח שקודח בקיר מתחמם. האם האנרגיה הפנימית שלו עלתה בגלל חום שעבר אליו מהקיר? הסבירו. (חשיבה)

ד. מצאו את השינוי באנרגיה הפנימית של גז בכל אחד מהתהליכים:

(1) הגז מקבל $500\,\mathrm{J}$ חום, ובאותו זמן עושה עבודה של $200\,\mathrm{J}$ על בוכנה.

(2) דוחסים את הגז: הבוכנה עושה עליו עבודה של $300\,\mathrm{J}$, ובאותו זמן הגז מוסר $300\,\mathrm{J}$ חום לסביבה.

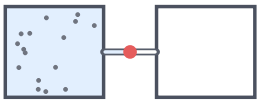
(3) הגז מתפשט בכלי מבודד ועושה עבודה של $150\,\mathrm{J}$ על בוכנה.

© אור בן שטרית · אינסוף

ה. בכל אחד מהתהליכים בסעיף ד, האם הטמפרטורה של הגז עלתה, ירדה או לא השתנתה?

ו. כשמנפחים צמיג במשאבת אופניים, המשאבה מתחממת. הסבירו בעזרת החוק הראשון של התרמודינמיקה. (חשיבה)

שאלה 11



שני מכלים זהים, כל אחד בנפח 3.0 ליטר, מחוברים בצינור דק עם ברז סגור. במכל השמאלי יש הליום בטמפרטורה $27\,^\circ\mathrm{C}$ ובלחץ $1.0\times10^5\,\mathrm{Pa}$, והמכל הימני ריק לגמרי. כל המערכת מבודדת. פותחים את הברז, ואחרי זמן מה הגז מגיע לשיווי משקל.

א. האם הגז עשה עבודה? האם הוא קיבל חום? מה השינוי באנרגיה הפנימית שלו, ומה הטמפרטורה הסופית?

ב. מה הלחץ הסופי?

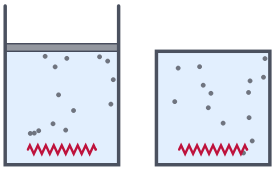
ג. האם המולקולות מאטות כשהגז מתפשט אל המכל הריק? הסבירו בעזרת המודל הקינטי. (חשיבה)

ד. כמה אטומים יש בגז?

ה. הניחו שבמערכת יש רק 4 אטומים, שנעים באקראי. מה הסיכוי שברגע מסוים כל הארבעה נמצאים במכל השמאלי? מה הסיכוי הזה כשיש 20 אטומים?

ו. אחרי שהגז מתפזר, הוא אף פעם לא חוזר מעצמו כולו למכל השמאלי, אף על פי שתהליך כזה לא היה סותר את שימור האנרגיה. איזה חוק מבטא את העובדה הזו? הסבירו אותה בעזרת התשובה לסעיף ה. (חשיבה)

שאלה 12



מכל מבודד בצורת קובייה, שאורך הצלע שלו $30\,\mathrm{cm}$, מלא הליום בטמפרטורה $27\,^\circ\mathrm{C}$ ובלחץ $1.0\times10^5\,\mathrm{Pa}$.

א. כמה אטומים יש במכל?

ב. מה האנרגיה הפנימית של הגז?

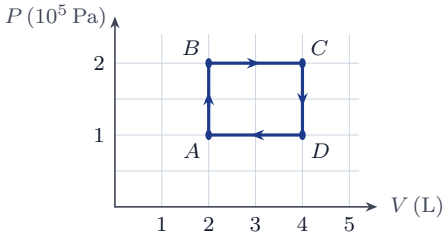
ג. במכל יש גוף חימום, שנותן לגז $2000\,\mathrm{J}$ חום. מה הטמפרטורה הסופית של הגז, ומה הלחץ שלו?

ד. במכל שני, זהה לראשון, יש אותה כמות הליום באותו מצב התחלתי. אבל במקום הדופן העליונה יש בו בוכנה קלה ומבודדת, שנעה בלי חיכוך, ומעליה האוויר בלחץ $1.0\times10^5\,\mathrm{Pa}$. גם בו גוף החימום נותן לגז $2000\,\mathrm{J}$ חום. האם הטמפרטורה הסופית במכל השני שווה לזו שבמכל הראשון, גדולה ממנה או קטנה ממנה? הסבירו. (חשיבה)

ה. מה הטמפרטורה הסופית במכל השני?

ו. מה העבודה שהגז עשה במכל השני, ובכמה עלתה הבוכנה?

שאלה 13



הליום עובר תהליך מחזורי $A\to B\to C\to D\to A$, שמתואר בגרף. בנקודה A הטמפרטורה של הגז $300\,\mathrm{K}$.

א. מה הטמפרטורה בנקודות B, C ו־D?

ב. באילו שלבים הגז עושה עבודה חיובית, ובאילו שלבים הסביבה עושה עליו עבודה? חשבו את העבודה שהגז עושה בכל שלב, ואת העבודה הכוללת שהוא עושה במחזור.

ג. מה השינוי באנרגיה הפנימית של הגז בכל שלב? מה השינוי במחזור שלם?

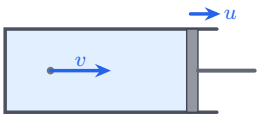
© אור בן שטרית · אינסוף

ד. מה החום שהגז מקבל בכל שלב? באילו שלבים הגז מקבל חום, ובאילו הוא מוסר חום?

ה. הנצילות של מכונה שפועלת במחזור כזה היא העבודה הכוללת שהגז עושה, חלקי החום שהגז קולט בשלבים שבהם הוא מקבל חום (בלי להחסיר את החום שהוא מוסר). חשבו אותה. מכינה

ו. לפי החוק השני, הנצילות של מכונה שפועלת בין טמפרטורה גבוהה T_1 לטמפרטורה נמוכה T_2 לא יכולה להיות גדולה מ־$1-\frac{T_2}{T_1}$. בדקו שהמכונה שלנו מקיימת את התנאי, כאשר T_1 ו־T_2 הן הטמפרטורה הגבוהה ביותר והטמפרטורה הנמוכה ביותר במחזור. מכינה

שאלה 14 אתגר



מולקולה שמסתה m נעה במהירות v לאורך הציר של גליל, אל בוכנה שמתרחקת ממנה במהירות קבועה u. המהירות u קטנה בהרבה מ־v, הבוכנה כבדה מאוד, וההתנגשות ביניהן אלסטית.

א. מה המהירות של המולקולה אחרי ההתנגשות?

ב. מה השינוי באנרגיה הקינטית של המולקולה? האם היא גדלה או קטנה?

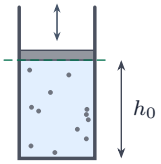
ג. חשבו את העבודה שהבוכנה עושה על המולקולה במהלך ההתנגשות: המכפלה של הכוח הממוצע שהבוכנה מפעילה על המולקולה בתזוזה של הבוכנה עצמה בזמן ההתנגשות. השוו לתשובה לסעיף ב. מכינה

ד. הסבירו בעזרת התוצאות למה גז שמתפשט מהר מתקרר. מה קורה כשהבוכנה נעה לקראת המולקולות? חשיבה

ה. בגליל מבודד יש 2.9×10^{22} אטומי הליום בטמפרטורה $300\,\mathrm{K}$. הגז מתפשט מהר ודוחף בוכנה, ועושה עליה עבודה של $60\,\mathrm{J}$. מה הטמפרטורה של הגז אחרי ההתפשטות?

ו. בגליל אחר, שהדפנות שלו מוליכות חום, אותה כמות של הליום מתפשטת לאט מאוד, בחדר שבו הטמפרטורה $300\,\mathrm{K}$, כך שהטמפרטורה של הגז נשארת $300\,\mathrm{K}$. גם כאן הגז עושה על הבוכנה עבודה של $60\,\mathrm{J}$. מה השינוי באנרגיה הפנימית של הגז, ומה החום Q שהוא מקבל?

שאלה 15 מכינה



גליל אנכי, ששטח החתך שלו $20\,\mathrm{cm}^2$, סגור מלמטה. בגליל יש גז, ומעליו בוכנה שמסתה $2.0\,\mathrm{kg}$, שנעה בלי חיכוך. מעל הבוכנה האוויר של החדר. בשיווי משקל, עמודת הגז בגובה $h_0=20\,\mathrm{cm}$. דוחפים את הבוכנה מעט כלפי מטה ומשחררים אותה, והיא מתנודדת למעלה ולמטה. הניחו שהטמפרטורה של הגז קבועה, והזניחו את המסה של הגז.

א. מה הלחץ P_1 של הגז בשיווי משקל?

ב. נסמן ב־y את ההעתק של הבוכנה כלפי מטה מנקודת שיווי המשקל (y שלילי כשהבוכנה מעל הנקודה), כאשר $|y|\ll h_0$. הראו שהלחץ של הגז הוא בקירוב $P_1\left(1+\frac{y}{h_0}\right)$. היעזרו בקירוב $\frac{1}{1-\varepsilon}\approx1+\varepsilon$, שנכון כש־$\varepsilon$ קטן.

ג. הראו שהכוח השקול על הבוכנה מכוון תמיד אל נקודת שיווי המשקל, ושגודלו בקירוב $c\,|y|$, כאשר $c=\frac{P_1A}{h_0}$ ו־A הוא שטח החתך של הגליל. לכן התנודות הרמוניות. חשבו את c.

ד. מה זמן המחזור של התנודות, ומה התדירות שלהן?

ה. דוחפים את הבוכנה $1.0\,\mathrm{cm}$ מתחת לנקודת שיווי המשקל ומשחררים אותה ממנוחה. מה המהירות המרבית של הבוכנה?

ו. במציאות התנודות מהירות, והגז כמעט לא מספיק להחליף חום עם הדפנות. האם זמן המחזור שימדדו יהיה ארוך מזה שחישבתם, קצר ממנו או שווה לו? הסבירו בעזרת החוק הראשון. חשיבה

© אור בן שטרית · אינסוף

תשובות סופיות

התשובות מעוגלות. הכיוונים מתוארים ביחס לשרטוט או לתיאור שבשאלה.

שאלה 1

א. $P = \frac{2.4\times10^4}{0.20} = 1.2\times10^5\ \text{Pa}$.

ב. $1.2\times10^5 \cdot 0.080 = 9.6\times10^3\ \text{N}$.

ג. $(1.2-1.0)\times10^5 \cdot 0.20 = 4.0\times10^3\ \text{N}$, כלפי מעלה (החוצה מהתיבה).

ד. $N = \frac{PV}{kT} \approx 1.16\times10^{24}$.

ה. (1) כ־$0.77\ \text{N}$ (המסה $0.077\ \text{kg}$). (2) הגז במנוחה, ולכן הכוח של הפאה התחתונה עליו שווה לכוח של הפאה העליונה ועוד המשקל. לפי החוק השלישי של ניוטון, הגז מפעיל על כל פאה כוח שווה בגודלו. (3) בכ־0.0032% בלבד. כן, הלחץ אחיד בקירוב טוב מאוד.

שאלה 2

א. $3.2\times10^5\ \text{Pa}$.

ב. $N = \frac{3.2\times10^5\cdot0.025}{1.38\times10^{-23}\cdot280} \approx 2.07\times10^{24}$.

ג. $P = 3.2\cdot\frac{320}{280} \approx 3.66\ \text{bar}$, והמד מראה כ־$2.66\ \text{bar}$.

ד. $1-\frac{280}{320} = \frac{1}{8}$, כלומר 12.5%.

ה. $P = 3.2\cdot\frac{280}{320} = 2.8\ \text{bar}$, והמד מראה $1.8\ \text{bar}$. מודדים את הלחץ כשהצמיגים קרים.

שאלה 3

א. טיפת השמן בשיווי משקל: הלחץ של האוויר הכלוא שווה ללחץ החדר ועוד המשקל של הטיפה חלקי שטח החתך, ושניהם קבועים.

ב. קו ישר. השיפוע $0.6\ \text{mm}$ לכל מעלה.

ג. ב־$-273\,^\circ\text{C}$.

ד. לא. האוויר הופך לנוזל הרבה לפני כן (בערך ב־$-190\,^\circ\text{C}$), ואז הוא כבר לא גז.

ה. $L = 0.6\ \text{mm/K}\cdot T$: האורך פרופורציוני ל־$T$.

ו. $T = \frac{153.0}{0.6} = 255\ \text{K}$, כלומר $-18\,^\circ\text{C}$.

ז. השיפוע גדל פי 2 ($1.2\ \text{mm}$ לכל מעלה), והגרף חותך את הציר באותה נקודה, $-273\,^\circ\text{C}$.

שאלה 4

א. $1800, 1910, 1944, 1984, 2000\ \text{kPa}\cdot\text{cm}^3$. המכפלה קטנה כשהנפח קטן (בכ־10% בסך הכול), ולכן הנתונים לא מתאימים בדיוק לחוק בויל.

ב. $P(V+V_0) = C$, ולכן $V = C\cdot\frac{1}{P} - V_0$. השיפוע C, והחיתוך עם ציר V הוא $-V_0$.

ג. $C \approx 2.1\times10^3\ \text{kPa}\cdot\text{cm}^3 = 2.1\ \text{J}$, ו־$V_0 \approx 1.0\ \text{cm}^3$.

ד. $N = \frac{C}{kT} \approx 5.2\times10^{20}$.

ה. כדי שהטמפרטורה תישאר קבועה. בדחיסה מהירה האוויר מתחמם.

שאלה 5

א. $P = 1.0\times10^5 + \frac{80}{4\times10^{-3}} = 1.2\times10^5\ \text{Pa}$.

ב. $N \approx 3.48\times10^{22}$.

ג. $P' = 1.3\times10^5\ \text{Pa}$, והגובה $30\cdot\frac{1.2}{1.3} \approx 27.7\ \text{cm}$.

ד. $T = 300\cdot\frac{1.3}{1.2} = 325\ \text{K}$, כלומר $52\,^\circ\text{C}$.

ה. $P = 1.0\times10^5 - 2.0\times10^4 = 8.0\times10^4\ \text{Pa}$, והמרחק $30\cdot\frac{1.2}{0.8} = 45\ \text{cm}$.

ו. מ־$40\ \text{kg}$. $\frac{P_0A}{g}$. בבוכנה כזו הלחץ של הגז היה צריך להיות אפס או שלילי.

שאלה 6

א. למשל: המולקולות נעות באקראי לכל הכיוונים; אין כוחות ביניהן חוץ מאשר בזמן התנגשות; ההתנגשויות אלסטיות; הנפח שלהן זניח.

ב. (1) האנרגיה הקינטית הממוצעת של מולקולה. (2) בריק אין מולקולות, ולכן אין אנרגיה קינטית ממוצעת למדוד.

ג. $\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT \approx 6.21\times10^{-21}\ \text{J}$.

ד. $N \approx 2.42\times10^{23}$.

ה. $U = \frac{3}{2}PV = 1500\ \text{J}$.

ו. $v_{\text{rms}} \approx 612\ \text{m/s}$.

ז. $Nm \approx 8.0\times10^{-3}\ \text{kg} = 8.0\ \text{g}$.

שאלה 7

א. גז בכלי סגור ומבודד שומר על הלחץ ועל הטמפרטורה שלו בלי הגבלת זמן.

ב. $\Delta p = +2mv$, בכיוון החיובי של x.

ג. $\frac{mv^2}{L}$. הדופן הימנית: בכיוון החיובי של x. הדופן השמאלית: בכיוון השלילי.

ד. $\frac{mv^2}{L}$, בכיוון השלילי של x (החוצה מהקובייה).

ה. $F = N\frac{mv^2}{L}$, ו־$P = \frac{F}{L^2} = \frac{Nmv^2}{L^3} = \frac{Nmv^2}{V}$.

ו. $P = \frac{1}{3}\frac{N}{V}m\overline{v^2}$. לכל מולקולה $v^2 = v_x^2+v_y^2+v_z^2$. שלושת הממוצעים שווים, ולכן $\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$, ורק v_x דוחף את הדופן.

ז. $v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} \approx 1.37\times10^3\ \text{m/s}$, ו־$T = \frac{mv_{\text{rms}}^2}{3k} \approx 301\ \text{K}$.

שאלה 8

א. פגיעות של אטומים בדפנות: כל פגיעה נותנת לדופן מתקף קטן.

ב. שוות, כי הטמפרטורה זהה: $\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT \approx 6.21\times10^{-21}\ \text{J}$.

ג. גדולה: המסה קטנה פי 10 והאנרגיה הממוצעת שווה. v_{rms} של הליום כ־$1.37\times10^3\ \text{m/s}$, ושל ארגון כ־$432\ \text{m/s}$, קטנה פי $\sqrt{10} \approx 3.16$.

ד. $P \approx 4.97\times10^4 + 2.48\times10^4 \approx 7.45\times10^4\ \text{Pa}$. ההליום תורם פי 2, כי יש בו פי 2 אטומים, וכל אטום תורם בממוצע אותו דבר.

ה. $\frac{7.45\times10^4}{2} + 3.0\times10^4 \approx 6.73\times10^4\ \text{Pa}$.

ו. $U = \frac{3}{2}PV \approx 2.02\times10^3\ \text{J}$.

שאלה 9

א. ב־$\mathrm{km/s}$: מימן כ־3.53, הליום כ־2.50, חנקן כ־0.944, חמצן כ־0.883.

ב. שישית ממהירות המילוט: $1.87\,\mathrm{km/s}$. כדור הארץ שומר על חנקן ועל חמצן, אבל מאבד מימן והליום. לכן כמעט אין באוויר מימן או הליום.

ג. חלק מהמולקולות מהירות בהרבה מ־v_{rms}, והן בורחות. ההתנגשויות יוצרות כל הזמן מולקולות מהירות חדשות.

ד. שישית ממהירות המילוט: כ־$833\,\mathrm{m/s}$. מימן ($v_{\mathrm{rms}} \approx 1.83\,\mathrm{km/s}$): לא. פחמן דו־חמצני ($v_{\mathrm{rms}} \approx 391\,\mathrm{m/s}$): כן.

ה. כ־$3.91 \times 10^{3}\,\mathrm{K}$ וכ־$1.41 \times 10^{5}\,\mathrm{K}$ ($T = \frac{mv^2}{3k}$).

שאלה 10

א. עבודה (של כוחות חיכוך).

ב. חום.

ג. לא. הקיר קר מהמקדח, ולכן חום לא עובר ממנו אל המקדח. המנוע עושה עבודה, וכוחות החיכוך הופכים אותה לאנרגיה פנימית.

ד. (1) $+300\,\mathrm{J}$. (2) 0. (3) $-150\,\mathrm{J}$.

ה. (1) עלתה. (2) לא השתנתה. (3) ירדה.

ו. בדחיסה מהירה $Q \approx 0$ ו־$W > 0$, ולכן $\Delta U > 0$: האוויר מתחמם, ואיתו המשאבה.

שאלה 11

א. לא ולא: אין בוכנה לדחוף, והמערכת מבודדת. $\Delta U = 0$, והטמפרטורה נשארת $27\,^\circ\mathrm{C}$.

ב. $5.0 \times 10^{4}\,\mathrm{Pa}$.

ג. לא. בין התנגשויות לא פועלים על המולקולות כוחות, ולכן שום דבר לא עושה עליהן עבודה. הן ממשיכות לנוע באותה מהירות.

ד. $N \approx 7.25 \times 10^{22}$.

ה. $\left(\frac{1}{2}\right)^4 = \frac{1}{16} = 0.0625$. כשיש 20 אטומים: $\left(\frac{1}{2}\right)^{20} \approx 9.5 \times 10^{-7}$.

ו. החוק השני. כשיש מספר עצום של אטומים, הסיכוי שכולם יתאספו בחצי אחד זניח, וזה לא קורה.

שאלה 12

א. $N \approx 6.52 \times 10^{23}$.

ב. $U = \frac{3}{2}PV = 4050\,\mathrm{J}$.

ג. $T = 300 \cdot \frac{6050}{4050} \approx 448\,\mathrm{K}$, כלומר $175\,^\circ\mathrm{C}$. הלחץ $P \approx 1.49 \times 10^{5}\,\mathrm{Pa}$.

ד. קטנה: הגז מתפשט ודוחף את הבוכנה, וחלק מהחום הופך לעבודה.

ה. $Nk = \frac{PV}{T} = 9.0\,\mathrm{J/K}$, ולכן $\Delta T = \frac{2000}{2.5 \cdot 9.0} \approx 88.9\,\mathrm{K}$, ו־$T \approx 389\,\mathrm{K}$, כלומר $116\,^\circ\mathrm{C}$.

ו. העבודה: $P\,\Delta V = Nk\,\Delta T = 800\,\mathrm{J}$. $\Delta V = 8.0 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}^3$, והבוכנה עלתה כ־$8.9\,\mathrm{cm}$.

שאלה 13

א. $T_B = 600\,\mathrm{K}$, $T_C = 1200\,\mathrm{K}$, $T_D = 600\,\mathrm{K}$.

ב. $B \to C$: הגז עושה $400\,\mathrm{J}$. $D \to A$: $-200\,\mathrm{J}$ (הסביבה עושה עליו $200\,\mathrm{J}$). בשני השלבים האחרים: אפס. במחזור: $200\,\mathrm{J}$.

ג. לפי סדר השלבים: $+300$, $+600$, -600 ו־$-300\,\mathrm{J}$. במחזור: אפס.

ד. לפי סדר השלבים: $+300$, $+1000$, -600 ו־$-500\,\mathrm{J}$. הגז מקבל חום ב־$A \to B$ וב־$B \to C$, ומוסר חום בשני האחרים.

ה. $\eta = \frac{200}{1300} \approx 15.4\%$.

ו. $1 - \frac{300}{1200} = 75\%$, ו־$75\% < 15.4\%$.

שאלה 14

א. $v - 2u$, בכיוון ההפוך לתנועה ההתחלתית שלה.

ב. $\Delta E_k = \frac{1}{2}m(v-2u)^2 - \frac{1}{2}mv^2 = -2mu\,(v-u)$. האנרגיה קטנה.

ג. $J = 2m(v-u)$, נגד כיוון התנועה של הבוכנה, שזזה $u\,\Delta t$. העבודה: $-Ju = -2mu\,(v-u)$, כמו בסעיף ב.

ד. מולקולות שפוגעות בבוכנה המתרחקת חוזרות איטיות יותר, ולכן $\overline{E_k}$ יורדת. בוכנה מתקרבת מחזירה אותן מהירות יותר ($v + 2u$).

ה. $\Delta U = W = -60\,\mathrm{J}$, ולכן $\Delta T \approx -100\,\mathrm{K}$, ו־$T \approx 200\,\mathrm{K}$.

ו. $\Delta U = 0$, ולכן $Q = -W = +60\,\mathrm{J}$: הגז מקבל $60\,\mathrm{J}$ חום מהסביבה.

שאלה 15

א. $P_1 = 1.0 \times 10^{5} + \frac{20}{2 \times 10^{-3}} = 1.1 \times 10^{5}\,\mathrm{Pa}$.

ב. $P = P_1 \frac{h_0}{h_0 - y} = \frac{P_1}{1 - y/h_0} \approx P_1\left(1 + \frac{y}{h_0}\right)$.

ג. הכוח השקול $(P - P_1)A \approx \frac{P_1 A}{h_0}\,y$ מכוון אל נקודת שיווי המשקל. $c = \frac{P_1 A}{h_0} = 1100\,\mathrm{N/m}$.

ד. $2\pi\sqrt{M/c} \approx 0.268\,\mathrm{s}$ ($M = 2.0\,\mathrm{kg}$), והתדירות כ־$3.73\,\mathrm{Hz}$.

ה. $\omega = \sqrt{c/M} \approx 23.5\,\mathrm{rad/s}$, ולכן $v_{\max} \approx 0.235\,\mathrm{m/s}$.

ו. קצר יותר. בדחיסה מהירה $Q \approx 0$, ולכן הגז מתחמם. הלחץ גדל יותר מאשר בטמפרטורה קבועה, כלומר c גדול יותר.

© 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.