הכנה לבחינת מיון להנדסאים (מכניקה וחשמל)

פרק 22 - הידרו-סטטיקה והידרו-דינמיקה

תוכן העניינים

1. הידרוסטטיקה והידרודינמיקה 1

הידרו-סטטיקה והידרו-דינמיקה:

נושא1 : הידרוסטטיקה

רקע:

זורמים - נוזלים וגזים (כל חומר שיכול לזרום)
הידרוסטטיקה - ניתוח זורמים במצב מנוחה.
הידרודינמיקה - ניתוח זרימה.

מצבי צבירה:
מוצק - צורה קבועה ונפח קבוע
נוזל - צורה לא קבועה ונפח קבוע
גז - צורה לא קבועה ונפח לא קבוע

צפיפות:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

לחץ:

$$P = \frac{F}{A}$$

F - גודל הכוח המאונך למשטח
A - שטח
הלחץ הוא סקלר
יחידות ב SI: $1Pa = 1N/m^2$

זורמים מפעילים לחץ בכל הכיוונים.
עבור גוף במנוחה, הלחץ זהה מכל הכיוונים

אם אין זרימה אז הלחץ מאונך לדופן,
רכיב מקביל לדופן יגרום לזרימה

הלחץ בעומק h בתוך נוזל(בעל צפיפות אחידה):

$$P = \rho gh$$

*הנוסחה היא ללחץ שפועל מהנוזל בלבד , לחישוב הלחץ המוחלט יש להוסיף את הלחץ בפני הנוזל

מוצקים	צפיפות (kg/m^3)	נוזלים	צפיפות (kg/m^3)
אלומיניום	2.70×10^3	מים$(4°C)$	1.00×10^3
ברזל ופלדה	7.8×10^3	פלזמת דם	1.03×10^3
נחושת	8.9×10^3	דם מלא	1.05×10^3
עופרת	11.3×10^3	מי ים	1.025×10^3
זהב	19.3×10^3	כספית	13.6×10^3
בטון	2.3×10^3	אתנול (אלכוהול אתילי)	0.79×10^3
גרניט	2.7×10^3	בנזין	0.68×10^3
עץ (טיפוסי)	$0.3–0.9 \times 10^3$	**גזים**	
זכוכית רגילה	$2.4–2.8 \times 10^3$	אוויר	1.29
קרח(H_2O)	0.917×10^3	הליום	0.179
עצם	$1.7–2.0 \times 10^3$	פחמן דו-חמצני (CO_2)	1.98
		אדי מים $(100°C)$	0.598

לחץ בזורם בעל צפיפות משתנה:

$$P(y_2) - P(y_1) = -\int_{y_1}^{y_2} \rho g \, dy$$

לחץ אטמוספרי:

$$P_0 = 1.013 \cdot 10^5 Pa = 101.3\,kPa = 1atm$$
$$1bar = 10^5 Pa$$

לחץ יחסי - הלחץ ביחס ללחץ האטמוספרי

$$P = P_0 + P_G$$

P - לחץ אבסולוטי

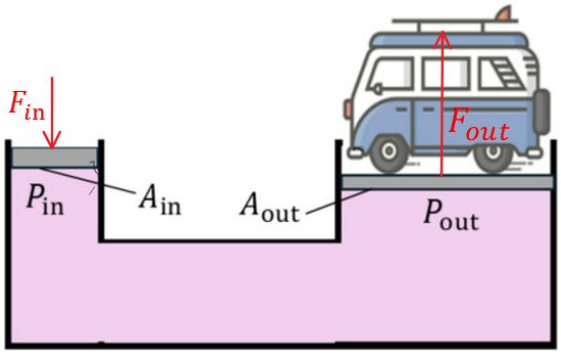
P_0 - לחץ אטמוספרי

P_G - לחץ יחסי

עקרון פסקל - אם לחץ חיצוני מופעל על זורם תחום אז הלחץ בכל נקודה בזורם גדל באותה ערך.

מערכת הידראולית:

$$F_{out} = \frac{A_{out}}{A_{in}} F_{in}$$



כוח ציפה:

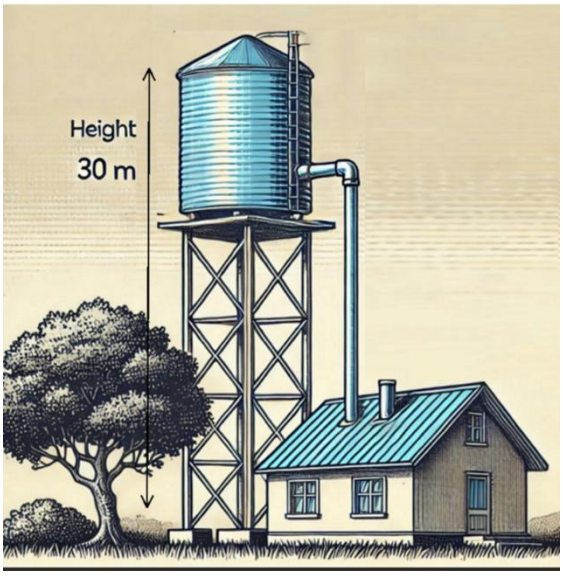
$$F_b = \rho_l V g$$

ρ_l - צפיפות הזורם

V - נפח הגוף

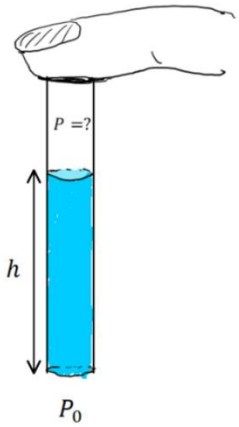
שאלות:

1) דוגמה - לחץ בברז



פני המים של מאגר מים ביתי נמצאים בגובה של 30 מטר מעל הברז בבית. חשבו את ההבדל בין לחץ המים בברז ללחץ בפני המאגר (כאשר הברז סגור).

2) תרגיל - אצבע מחזיקה מים בקש



מכניסים קש לכוס מים וסותמים עם האצבע את חלקו העליון, מוציאים את הקש וחלק מהמים נשארים בקש. חשבו את הלחץ בחלק הריק שבקש אם נתון שגובה המים בקש הוא $h = 10\ cm$

3) דוגמה - עומק מקסימאלי לשאיבת מים

מהו העומק המקסימאלי ממנו ניתן לשאוב מים ללא שימוש בשלבי ביניים?

4) דוגמה - ואקום בחלל

סטודנט הציע לעשות נעלים היוצרות ואקום עם הקרקע בשביל אסטרונאוטים שהולכים על תחנת חלל (מחוץ לתחנה). הסבירו מדוע הרעיון לא יעבוד?

5) דוגמה - לחץ אטמוספרי כתלות בגובה (כולל אינטגרלים)

חשבו את הלחץ האטמוספרי כתלות בגובה מעל פני הים. הניחו שהלחץ פרופורציוני לצפיפות (הנחה לא לגמרי מדויקת) וכי הלחץ והצפיפות בגובה פני הים ידועים.

6) דוגמה - בלון גז מרים חבילה



קושרים בלון הליום למתנה השוקלת 0.5 ק״ג . מסת הבלון ללא ההליום היא 200 גרם. נפח המתנה זניח.
א. מה צריך להיות קוטר הבלון כך שהמתנה תרחף באוויר?
ב. גז חנקן זול יותר מהליום. מה צריך להיות קוטר הבלון אם היו ממלאים אותו בגז חנקן שצפיפותו $1.25\frac{kg}{m^3}$ במקום הליום?

7) תרגיל - האם הכתר עשוי זהב



השמועה אומרת שאריכמדס גילה את העקרון שלו כשהיה באמבטיה וניסה לחשוב איך אפשר לדעת האם הכתר של המלך עשוי מזהב טהור. מאוד מסובך לחשב את נפח הכתר בגלל הצורה שלו, אבל ניתן למצא את הצפיפות שלו באמצעות השוואה של המשקל שלו באוויר לעומת המשקל במים.
משקלו של הכתר באוויר הוא 12.3 ק״ג ומשקלו במים הוא 10.9 ק״ג , האם הכתר עשוי זהב?

8) שאלה - מי שוקל יותר

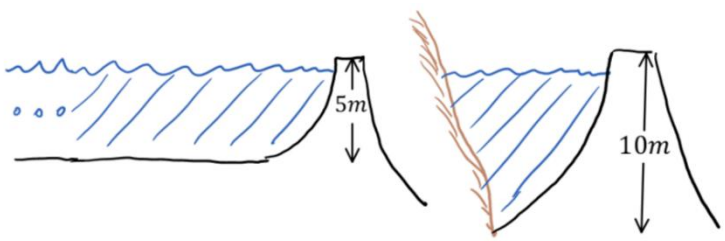
הניחו ששני כלים זהים מלאים במים עד הקצה. באחד מהכלים יש חתיכת עץ שצפה. מי מהכלים שוקל יותר?

9) שאלה - קרח נמס במים



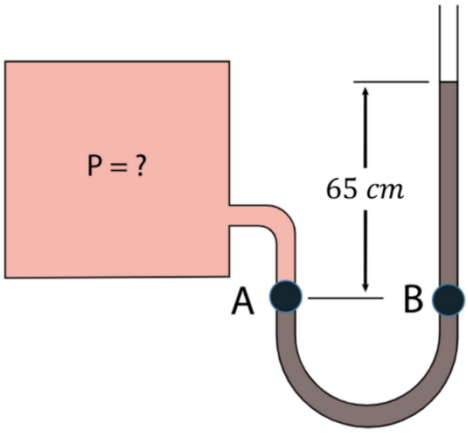
כאשר קובית קרח נמסה בכוס מים, האם פני המים בכוס עולים, יורדים, או נשארים באותו הגובה?
האם התשובה שלכם משתנה אם יש הרבה בועות-אוויר בקרח? מה אם יש בקרח הרבה גרגירי חול?

10) שאלה - מאיזה אגם הלחץ גדול יותר



על איזה מהסכרים הבאים פועל כוח אופקי גדול יותר בהנחה כי רוחב מאגר המים (לתוך הדף) זהה.

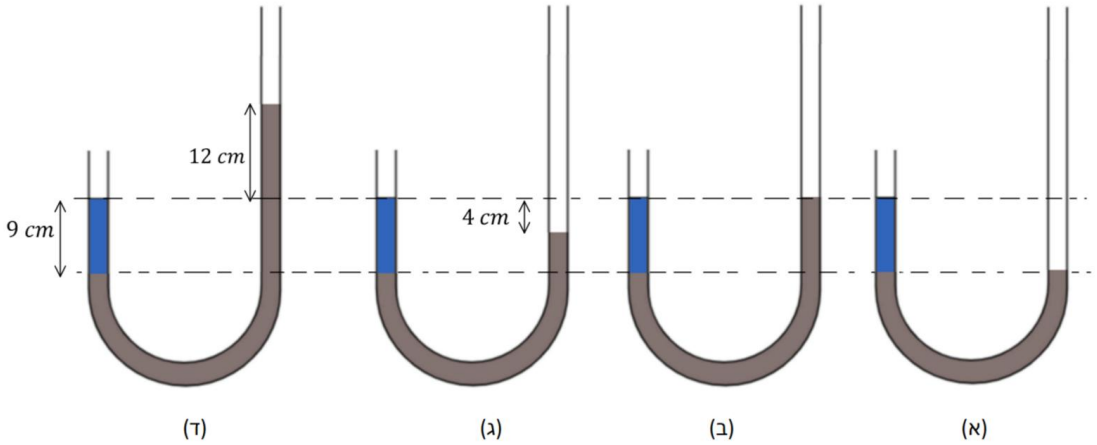
11) תרגיל - מנומטר מחובר למיכל גז



מנומטר הוא צינור בצורת U המשמש למדידת לחץ. במערכת הבאה משתמשים במנומטר למדידת לחץ של גז במיכל. המנומטר מלא בנוזל שצפיפותו 850 ק"ג למ"ק. קצה אחד של המנומטר פתוח לאטמוספירה והנוזל בקצה זה גבוה מצידו השני ב 65 ס"מ. מה הלחץ במיכל?

12) תרגיל – צינורית U

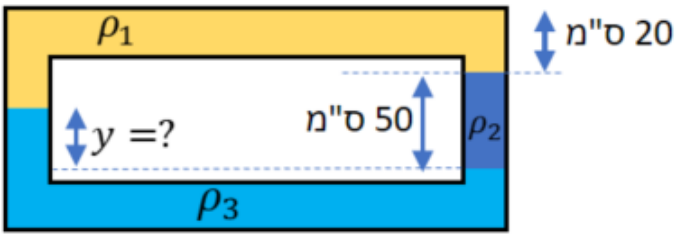
א. איזה מארבעת המצבים הבאים אינו יכול להיות יציב?
ב. חשבו את צפיפות הנוזל הכוחל עבור שלושת המצבים האחרים אם הנוזל האפור הוא כספית.



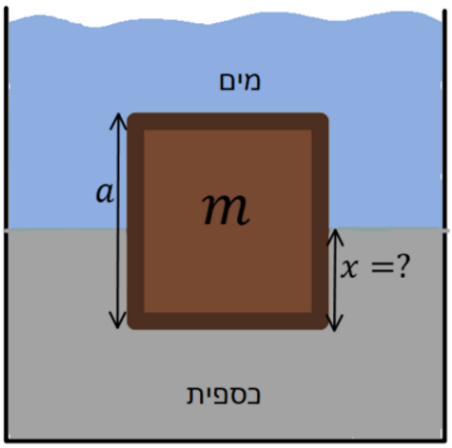
13) תרגיל- שלושה נוזלים בצינור

האיור הבא מתאר צינור סגור שבתוכו שלושה נוזלים שונים. צפיפויות הנוזלים הן:

$\rho_1 = 800\frac{kg}{m^3}$, $\rho_3 = 1200\frac{kg}{m^3}$, $\rho_2 = 1000\frac{kg}{m^3}$. מצאו את הגובה y באיור.

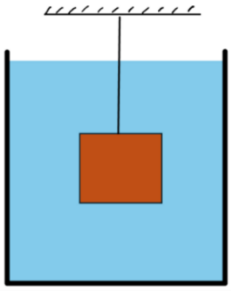


14) תרגיל - קובייה בתוך נוזל מים וכספית



קובייה שאורך כל צלע שלה הוא $a = 20\ cm$ ומסתה $m = 32\ \text{kg}$ מוכנסת לתוך מיכל המכיל שכבת כספית ומעליה שכבת מים. כמה תשקע הקובייה ביחס למשטח ההפרדה בין השכבות?

15) תרגיל - קובייה צפה בתנועה הרמונית

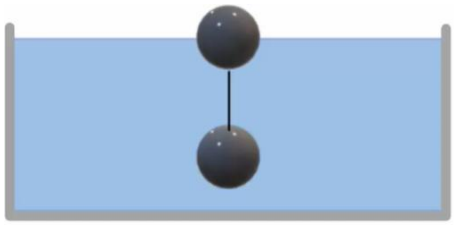


קובייה בעלת צלע a נמצאת בתוך נוזל וקשורה בחוט לתקרה. צפיפות הנוזל היא ρ_l וצפיפות הקוביה היא ρ_c .

א. מה המתיחות בחוט אם $\rho_l < \rho_c$?

ב. אם $\rho_l > \rho_c$, מהי תדירות התנודות של הקוביה סביבה נקודת שיווי משקל במצב ציפה?

16) שני כדורים קשורים בחוט בתוך המים

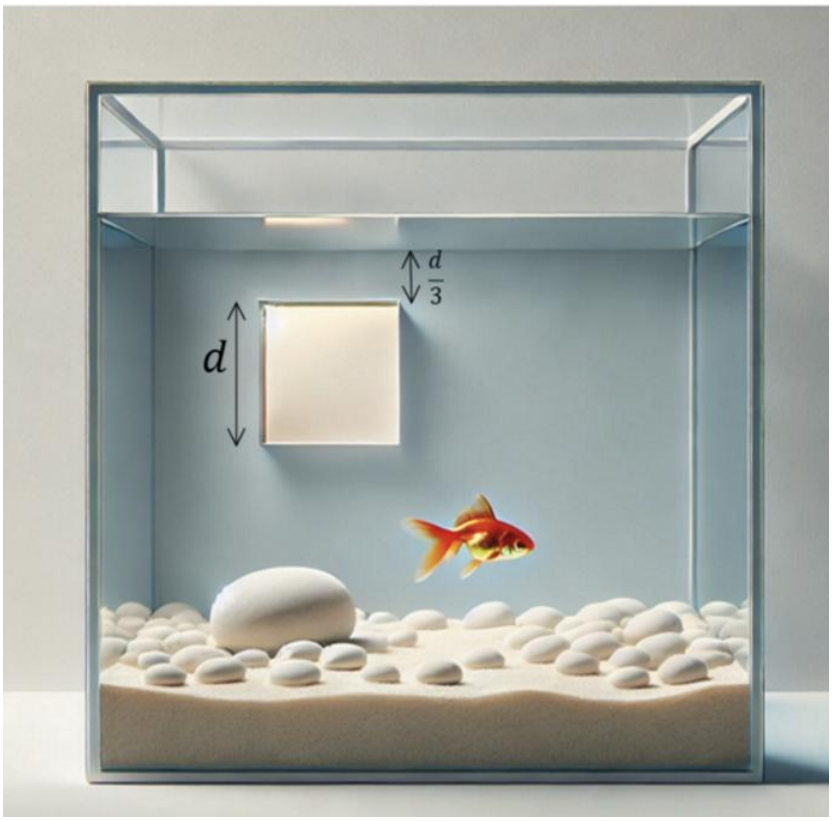


שני כדורים בעלי נפח זהה $V = 20\text{c.m}^3$ קשורים בחוט זה לזה.
מניחים את הכדורים במים ולאחר זמן רב רואים שהמערכת התייצבה כך שכדור 1 נמצא כולו בתוך המים ורק חצי מנפחו של כדור 2 שקע לתוך המים, ראה איור.
המסה של כדור 1 גדולה פי 4 מזו של כדור 2.

א. מהי המסה של כל כדור?

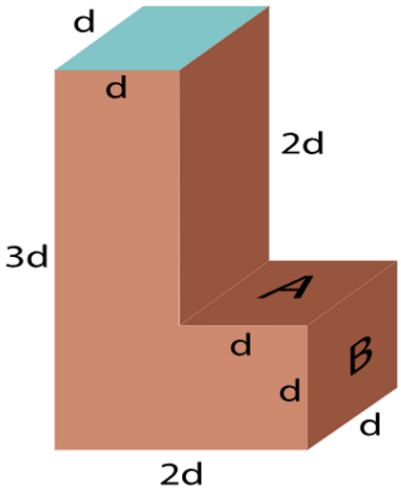
ב. מהי צפיפות המסה של כל כדור?

17) תרגיל-כוח על חלון באקווריום*



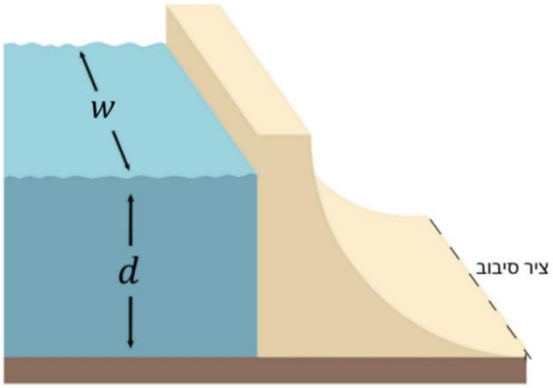
חשבו את הכוח האופקי הפועל על חלון ריבועי הנמצא בתוך אקווריום. גודל החלון הוא $d \times d$ וחלקו העליון נמצא בעומק $\frac{d}{3}$ מתחת לפני המים. שימו לב שהלחץ על החלון משתנה עם העומק.

18) תרגיל - כוח על פאות קובייה*



המיכל שבאיור מלא בנוזל בעל צפיפות ρ_l ופתוח לאוויר בחלקו העליון. איזה כוח מפעיל הנוזל על הפאות A ו- B של המיכל. איזה כוח היה מפעיל הנוזל אם כל המערכת הייתה בנפילה חופשית?

19) תרגיל - כוח על סכר (כולל אינטגרלים)**

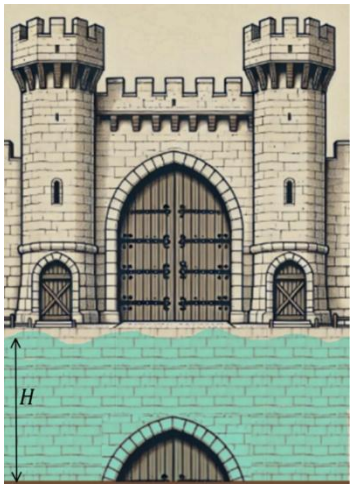


בסכר שבאיור $w = 300\,m, d = 20\,m$.

א. מהו הכוח האופקי שמפעילים המים על הסכר כתוצאה מלחץ הכיול (הלחץ יחסי) שלהם?
שימו לב, לכל עומק לחץ כיול אחר.

ב. מהו מומנט הכוח הכולל שמפעיל לחץ הכיול על הסכר ביחס לציר המסומן.

20) תרגיל - כוח על שער חצי עגול **

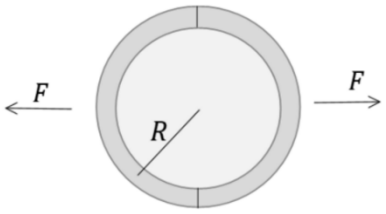


מבצר עתיק מוקף בתעלה בעומק $H = 10\,m$. בתחתית התעלה ישנו שער סודי בצורת חצי מעגל ברדיוס $2\,m$. חשבו את הכוח הכולל שפועל על דלתות השער מלחץ המים.

21) תרגיל - שתי המיספרות חלולות***

שתי ההמיספרות חלולות (המיספרה היא חצי מקליפת כדור) נוגעות זו בזו בקו המשווה. שואבים את האוויר בין ההמיספרות ויוצרים תת לחץ בנפח הכדור הכלוא ביניהם. כתוצאה מכך פועל כוח ה"מדביק" את ההמיספרות ביחד.

א. הראו כי הכוח הנדרש להפריד את ההמיספרות הוא $F = \pi R^2 \Delta P$



כאשר ΔP הוא הפרש הלחצים ו- R רדיוס הכדור.

ב. מה יהיה הכוח אם $R = 1.5\ m$ והלחץ בין ההיספירות הוא אלפית מלחץ אטמוספירי.

ג. הקליפה הכדורית המרוקנת נופלת בשדה כבידה של כוכב נויטרונים שמסתו כפעמיים מסת השמש $M \approx 4 \cdot 10^{30} kg$ ורדיוסו מאוד קטן. מסת ההימספירות הן חצי טון כל אחת, באיזה מרחק ממרכז הכוכב יפרדו ההמיספירות בהנחה שקו ההפרדה ביניהם ניצב לכיוון הנפילה?

כוח הכבידה בין שתי מסות הוא $F = \frac{GMm}{r^2}$ כאשר r הוא המרחק בין המסות ו- $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{(kg)^2}$. הכוח שמפעיל הכוכב על כל המיספרה פועל במרכז המסה שלה שנמצא בגובה $\frac{1}{2}R$ מהמרכז.

תשובות סופיות — הידרוסטטיקה

1. $3 \cdot 10^5\ Pa$

2. $100.3\ kPa$

3. 10 מטר

4. הסבר בסרטון

5. $P(y) = P_0 e^{-\frac{\rho_0 g}{P_0} y}$

6. א. $1.06\ \text{m}$ ב. $3.2\ \text{m}$

7. לא, הכתר עשוי מנחושת

8. המשקל זהה

9. במקרה הראשון המים נשארים באותו גובה. במקרה שיש בועות קרח, ובהנחה שמסת האוויר שבבועות זניחה, לא יהיה שינוי בגובה המים. אם מתחשבים במסת האוויר אז פני המים יורדים.
במקרה של גרגירי חול , פני המים ירדו

10. הכוח על הסכר הימני גדול יותר

11. $5525\ \text{Pa}$ לחץ יחסי

12. א. מצב (א) אינו אפשרי. ב. צפיפויות הנוזל הכחול:

צפיפות	מצב
$\rho = 13.6 \times 10^3\ kg/m^3$	(ב)
$\rho \approx 7.56 \times 10^3\ kg/m^3$	(ג)
$\rho \approx 31.7 \times 10^3\ kg/m^3$	(ד)

13. $y \approx 25cm$

14. $x \approx 4.76\ cm$

15. א. $T = (\rho_c - \rho_l)a^3 g$

ב. תדירות זוויתית: $\omega = \sqrt{\frac{\rho_l g}{\rho_c a}}$ תדירות רגילה: $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\rho_l g}{\rho_c a}}$

16. א. $m_1 = 24\ g, m_2 = 6\ g$ ב. $\rho_1 = 1.2\ g/cm^3, \rho_2 = 0.3\ g/cm^3$

17. $F = \frac{5}{6}\rho g d^3$

18. פאה A: $F_A = 2\rho g d^3$ פאה B: $F_B = \frac{5}{2}\rho g d^3$
בנפילה חופשית: כוח הלחץ היחסי מתאפס.

19. א. $F = 6 \times 10^8\ N$ ב. $\tau = 4 \times 10^9\ N \cdot m$

20. $6 \cdot 10^5\ N$

21. א. ההוכחה בסרטון. ב. $F \approx 7.15 \times 10^5\ N$
ג. $r \approx 6.6 \times 10^5\ m \approx 660\ km$

נושא 2 : דינמיקת זורמים

רקע

סוגי זרימה :

זרימה למינרית (שכבתית) - זורם הנע בשכבות מקבילות ללא הפרעה בין השכבות.

זרימה טורבולנטית (עירבולית) - זרימה באופן לא מסודר ואקראי. בדרכ מכילה מערבולות שנקראות זרמי אדי. איבוד אנרגיה גבוה.

ספיקה :

ספיקה מסית - Q_m המסה של הזורם שעוברת דרך שטח חתך ביחידת זמן

$$Q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho A v$$

ρ - צפיפות הזורם, A - שטח חתך, v - מהירות הזורם

ספיקה נפחית - Q_V נפח הזורם העובר דרך שטח חתך ביחידת זמן

$$Q_V = \frac{\Delta V}{\Delta t} = Av$$

במצב יציב הספיקה לא משתנה לאורך הזרימה $Q_{m_1} = Q_{m_2}$.

משוואת הרציפות :

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

עבור זורם לא דחיס $\rho_1 = \rho_2$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

עקרון ברנולי - הלחץ הפוך למהירות הזורם

משוואת ברנולי:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 + P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 + P_2$$

או $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h + P = const$

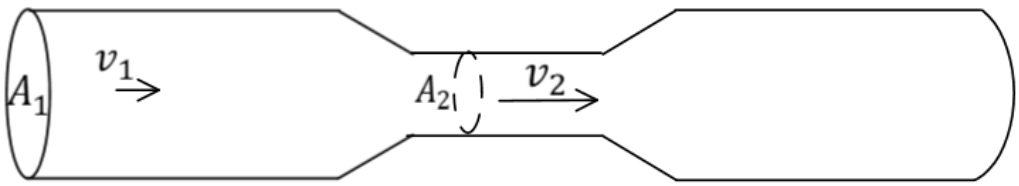
הנחות למשוואת ברנולי:

- הזרימה למינרית ובמצב יציב
- הנוזל אינו דחיס
- אין חיכוך (אין צמיגות)

חוק טוריצ'לי:

מהירות הזרימה של נוזל דרך חור בתחתית של מיכל מלא בגובה h , זהה למהירות שצובר גוף בנפילה חופשית מאותו הגובה $v = \sqrt{2gh}$

צינור ונטורי:



צמיגות – Viscosity:

משוואת פואזיי:

הירידה בלחץ(באנרגיה) בעקבות צמיגות בצינור גלילי

$$P_1 - P_2 = \frac{8\eta L Q_v}{\pi r^4}$$

כאשר:

$P_1 - P_2$ - הפרש הלחצים, P_1 הלחץ בתחילת הזרימה.

L - אורך הצינור. Q_v - הספיקה הנפחית

r - רדיוס הצינור η - מקדם הצמיגות.

הנחות המשוואה:

1. זורם אינו דחיס
2. זרימה למינרית
3. אורך הצינור גדול משמעותית מהרדיוס.
4. זורם ניוטוני.

מעבר לזרימה עירבולית:

מעבר מזרימה למינרית לערבולית מתרחש כאשר מספר ריינולדס גדול מ 2000

$$\mathrm{Re} = \frac{2\bar{v}r\rho}{\eta}$$

$\bar{v}$ - מהירות ממוצעת של הנוזל

r - רדיוס הצינור

ρ - צפיפות הנוזל

η - צמיגות

משוואת ברנולי עם צמיגות:

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 + P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 + P_2 + \frac{8\eta L Q_v}{\pi r^4}$$

משאבות:

משאוות וואקום - משאבות שיוצרות תת לחץ במוצא.

משאבות דחיסה - משאבות שמגדילות את הלחץ בכניסת החומר.

משאבות סחרור circulating pump - משאבות המשמשות להניע נוזלים או גז במערכת סגורה.

$$N = Q_v \Delta P$$

N - הספק מופק של המשאבה

Q_v - ספיקה נפחית

ΔP - הפרשי הלחצים שיוצרת המשאבה

נצילות:

$$\eta = \frac{\text{N}}{\text{מושקע הספק}}$$

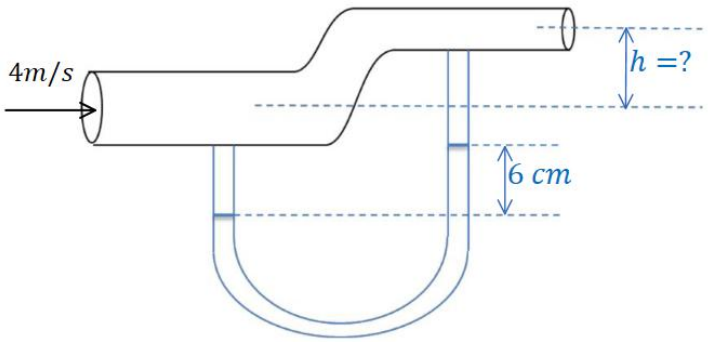
תרגילים:

1) **דוגמה - הערכת מספר הנימים בגוף האדם**
בבני אדם, הדם זורם מהלב אל אבי העורקים (אאורטה), שממנו הוא עובר לעורקים הראשיים. אלה מתפצלים לעורקים קטנים, שבתורם מתפצלים לאין ספור נימים זעירים. רדיוס אבי העורקים הוא כ - $1.2\ cm$ ומהירות הדם שעובר בו היא כ $40\ {}^{cm}/_{s}$. נים טיפוסי הוא ברדיוס $4 \cdot 10^{-4} cm$ ומהירות הדם בו היא $5 \cdot 10^{-4}\ {}^{m}/_{s}$. העריכו את מספר הנימים בגוף.

2) **דוגמה – ארובה**
מה צריך להיות שטח החתך של ארובה על מנת שתוכל להחליף את כל האוויר בחדר בנפח של $400\ m^3$ כל 12 דקות, אם האוויר שבה נע במהירות $2.5\ {}^{m}/_{s}$?

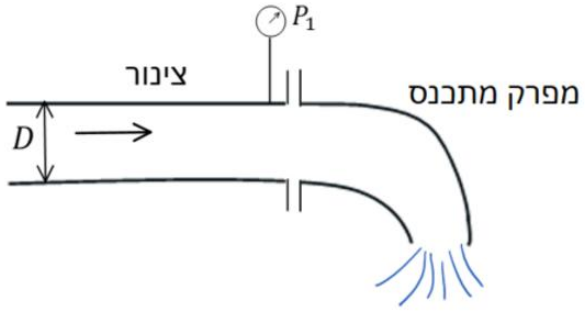
3) **תרגיל - מערכת הסקה ביתית**
במערכת הסקה ביתית מים חמים מוזרמים דרך צינורות מתחת לרצפה. נניח כי המים נשאבים במהירות של $0.4\ {}^{m}/_{s}$ דרך צינור בקוטר של $5\ cm$ בלחץ של $3\ atm$ ומוזרמים לצינור בקוטר $3\ cm$ הנמצא בקומה השנייה בגובה $6\ m$ מעל המרתף. מהו הלחץ ומהירות הזרימה בצינור שבקומה השנייה? הניחו שהמערכת הצינורות אינה מתחלקת לענפים.

4) **תרגיל - מדידת הפרשי גובה בצינור עם מנומטר**
אוויר נע בחלקו הרחב של הצינור שבאיור במהירות $4\ {}^{m}/_{s}$. רדיוס הצינור בחלק זה הוא $3\ cm$ ובחלקו הצר הוא $2\ cm$. הפרש הגבהים במנומטר הוא $6\ mm$ והנוזל בו הוא מים.
צפיפות האוויר היא $0.8\ {}^{kg}/_{m^3}$. מהו הפרש הגבהים בין חלקי הצינור? (הצינור אינו פתוח לאוויר בחלק המתואר)



5) דוגמה - כוח פועל על מפרק מתכנס

מים זורמים דרך צינור מתכת המתחבר אל מפרק מתכנס. קוטר הצינור הוא $D = 40mm$ וקוטר המפרק ביציאה הוא $d = 15mm$. המפרק משנה את כיוון המים ב 90 מעלות. ספיקת המים היא 1.2 ליטר לשניה. המערכת אופקית (כוח הכובד לתוך הדף וניתן להתעלם ממנו).

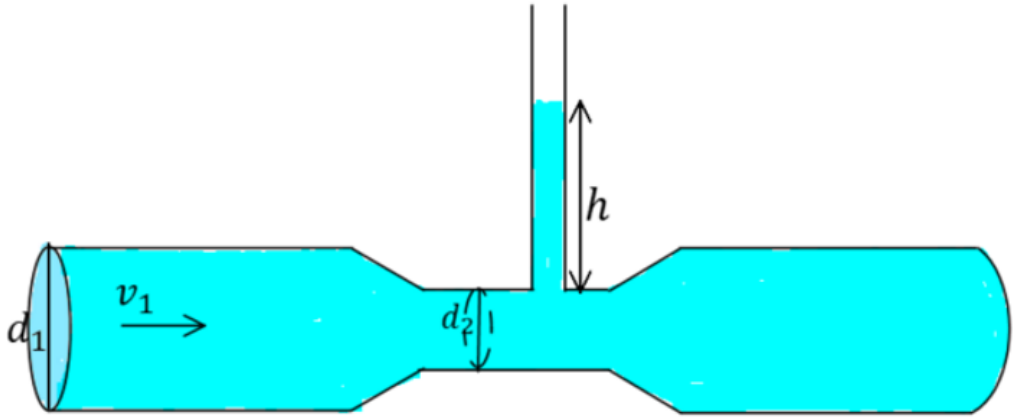


א. מהו לחץ המים בחיבור הצינור למפרק?

ב. מה הכוח שמפעיל הצינור על המפרק?

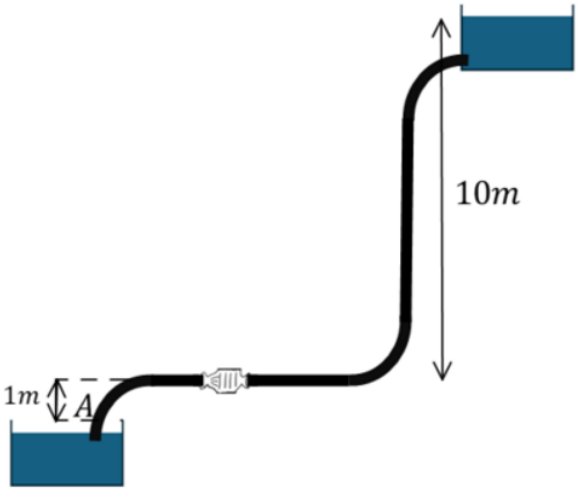
6) דוגמה - מד לחץ בצינור ונטורי

צינור ונטורי מכיל מים הזורמים במהירות v_1 (בחלק הרחב של הצינור). נתונים הקוטרים d_1 ו - d_2. מחברים לצינור צינורית קטנה באזור צוואר הצינור הפתוחה לאוויר בקצה העליון ומודדים את גובה המים בצינורית h. מהם הלחצים בצינור?



7) תרגיל - מערכת שאיבת שמן

באיור מתוארת מערכת שאיבת שמן (צפיפות $850\frac{kg}{m^3}$). הספיקה הנפחית של השמן במערכת היא $0.012\frac{m^3}{s}$. קוטר צינור היניקה (כניסה) של המשאבה הוא $120\ mm$ וקוטר צינור הסניקה (יציאה) של המשאבה הוא $90\ mm$



א. מהי מהירות הזרימה בצינור היניקה והסניקה?

ב. מה הלחץ בכניסה למשאבה

אם הלחץ בנקודה A באיור הוא 20 kPa ?
ג. מה הלחץ ביציאה מהמשאבה?
ד. מה ההספק המופק של המשאבה ומה ההספק המושקע אם הנצילות היא 0.4

8) שאלות נכון לא נכון צינורות מתרחבים

קבעו לגבי כל אחד מההיגדים הבאים האם הוא נכון או לא נכון. הזניחו צמיגות (חיכוך).

א. מים תמיד זורמים מלחץ גבוה ללחץ נמוך.

ב. הצרה בצינור אופקי גורמת בהכרח לירידה בלחץ.

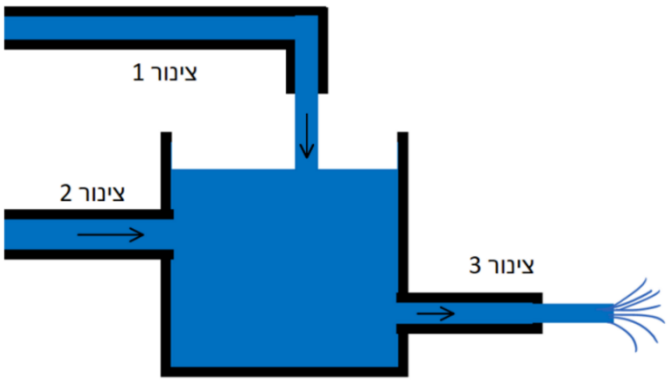
ג. הלחץ בצינור מתרחב ומשופע כלפי מטה חייב לגדול.

9) שאלה -אוויר בין שני בלונים



שני בלוני הליום נמצאים במנוחה במרחק קטן זה מזה. נושפים אוויר במרווח שבין הבלונים (האוויר אינו פוגע ישירות בבלונים) מה יקרה לבלונים?

10) תרגיל - חישובי ספיקה



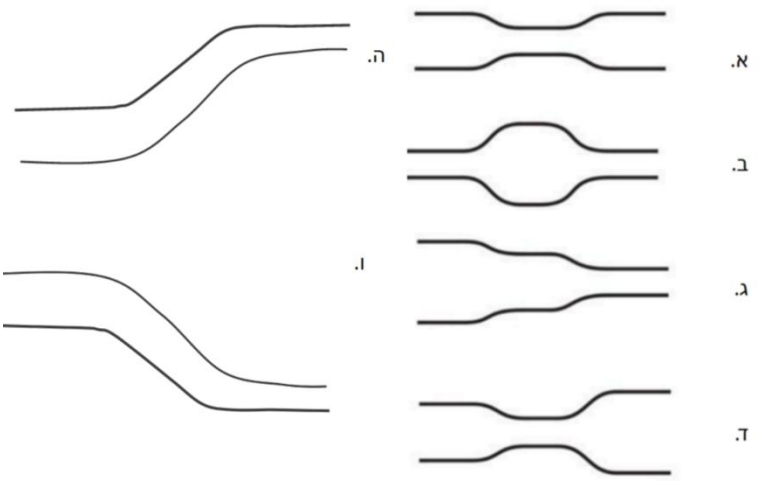
באיור ישנו מיכל שאליו מוזרמים מים דרך צינורות 1 ו- 2 וממנו יוצאים מים דרך צינור 3. נתון כי גובה המים במיכל לא משתנה וכי מהירות המים בצינור 1 היא $3\ ^{m}/_{s}$ וקוטרו הוא $6\ cm$. הספיקה הנפחית של צינור 2 היא $0.08\ ^{m^3}/_{s}$ וקוטר צינור 3 הוא $4\ cm$. מהי מהירות המים בצינור 3?

11) תרגיל - קוטר מים היוצאים מברז



מים יוצאים מברז בקוטר 12 מ״מ בספיקה של 200 מיליליטר לשניה. מה יהיה קוטר עמוד המים במרחק 20 ס״מ מתחת לפתח הברז?

12) תרגיל - עבודה על גז בצינור



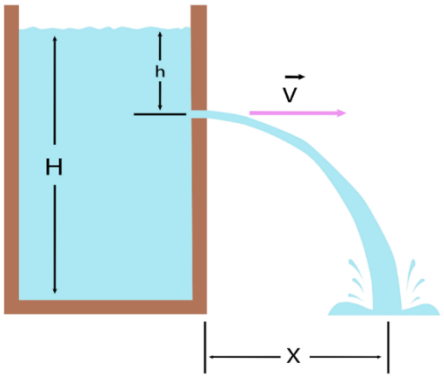
לפניכם שישה צינורות בעלי חתך משתנה. מים זורמים משמאל לימין בכל צינור זרימה למינרית ללא צמיגות, כוח הכובד כלפי מטה. רשמו עבור כל צינור האם העבודה הכוללת המתבצעת על יחידת נפח של מים חיובית /שלילית /אפס /לא ניתן לדעת.

13) תרגיל - כוח על מזרק



נוזל אידיאלי ובלתי דחיס בעל צפיפות ρ נמצא בתוך מזרק. כוח קבוע F מופעל על בוכנת המזרק. שטח החתך של המחט הוא A_2 ושל בוכנה A_1 . ניתן להניח $A_2 \ll A_1$. מהי מהירות הנוזל ביציאה מהמחט אל האוויר? הזניחו הפרשי גבהים

14) תרגיל - חור במיכל מים



מיכל בגובה H מלא במים. קודחים חור בעומק h מתחת לפני המים והמים יוצאים מהמיכל במהירות כלשהיא לא ידועה.

א. מצאו את x , המרחק שבו המים פוגעים בקרקע, כתלות ב H ו- h בלבד.

ב. באיזה h המרחק x יהיה מקסימלי?

15) תרגיל - זרם במקלחת

לצינורות ביתיים קוטר של 0.75 (שלושת רבעי) אינץ'. הלחץ <u>היחסי</u> בכניסה לבניין הוא 1.1 אטמוספירות. דיירת הנמצאת בקומה השלישית, בגובה 9.2 מטרים, פותחת את המקלחת בספיקה של 6.5 ליטר לדקה. קוטר חורי הטוש במקלחת הוא 1.5 מילימטר <u>כל אחד</u>.

א. מהי מהירות הזרימה בצינור שנכנס לבניין?

ב. מהי מהירות המים ביציאה מהחורים של הטוש?

ג. כמה חורים כאלו יש בערך?

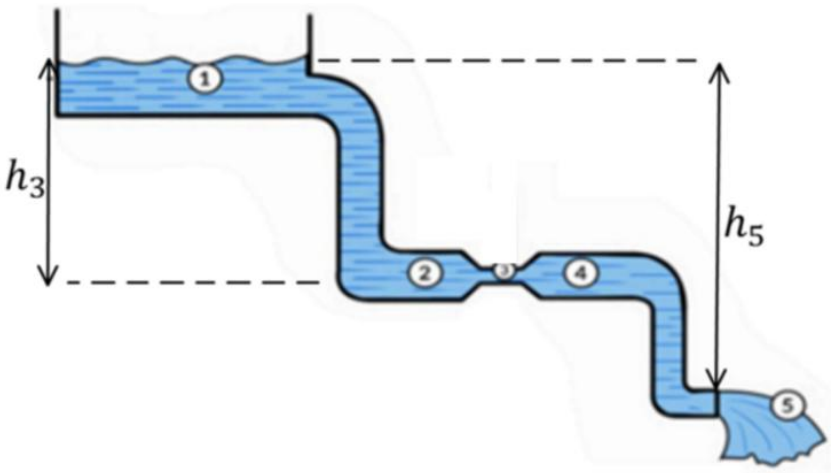
16) תרגיל - צינור יוצא ממאגר מים

במערכת הבאה ישנו מאגר מים גדול (1 באיור). מתוך המאגר יוצא צינור, קצה הצינור נמצא בגובה H מתחת לפני המים במאגר ופתוח לאוויר (נקודה 5 באיור).

בנוסף, בגובה $\frac{3}{5}H$ מתחת לפני המים של המאגר קיימת היצרות של הצינור (3 באיור) ובה שטח החתך קטן פי שלוש משטח החתך בשאר הצינור.

א. מהי מהירות המים ביציאתם מהצינור (בנקודה 5)?

ב. מהו הלחץ בנקודות 2,3 ו- 4 באיור?



תשובות סופיות — דינמיקת זורמים

1. $7 \cdot 10^9$
2. $0.22\ \mathrm{m}^2$
3. מהירות הזרימה: $1.1\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ הלחץ: $2.5\ \mathrm{atm}$
4. $4.25\ \mathrm{m}$
5. א. $22.6\ \mathrm{kPa}$ מעל לחץ אטמוספרי
   ב. $-29.5\ \mathrm{N}\,\hat{x} - 8.15\ \mathrm{N}\,\hat{y}$
6. $P_{\text{צוואר}} = P_0 + \rho g h;\quad P_{\text{כניסה}} = P_{\text{צוואר}} + \frac{1}{2}\rho\left(v_2^2 - v_1^2\right);$
   $v_2 = v_1(d_1/d_2)^2$
7. א. יניקה $1.06\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, סניקה $1.89\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ ב. $11.5\ \mathrm{kPa}$
   ג. $83.5\ \mathrm{kPa}$ ד. מופק: $0.864\ \mathrm{kW}$ מושקע: $2.16\ \mathrm{kW}$
8. א. לא נכון ב. נכון ג. נכון
9. הבלונים יתקרבו
10. $70\ \mathrm{m/s}$
11. $9.76\ \mathrm{mm}$
12. א. אפס, ב. אפס, ג. חיובית, ד. שלילית, ה. חיובית,
    ו. לא ניתן לדעת
13. $v \approx \sqrt{\frac{2F}{\rho A_1}}$
14. א. $x = \sqrt{4h(H-h)}$ ב. $h = \frac{H}{2}$
15. א. $v_1 \approx 0.38\ m/s$ ב. $v_2 \approx 6.2\ m/s$ ג. $N \approx 10$ חורים
16. א. $v_5 = \sqrt{2gH}$
    ב. לחץ יחסי: $P_2 = P_4 = -\frac{2}{5}\rho g H$ בנקודה 3: $P_3 = -\frac{42}{5}\rho g H$