

נוזלים

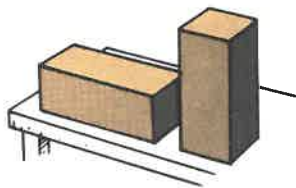


המולקולות בנוזל, להבדיל מהמולקולות במוצק, אינן ממוקמות במקומות קבועים. המולקולות בנוזל יכולות לזרום. הן חופשיות לנוע ממקום למקום בהחליקן זו על זו, והנוזל מקבל את צורת כלי הקיבול. מולקולות הנוזל קרובות זו לזו ומגלות התנגדות רבה לדחיסתן. משום כך נוזלים הם, למעשה, בלתי-דחיסים.

נוזל הנמצא בכלי מפעיל כוח על דפנות הכלי. כדי לדון בפעולת הגומלין בין הנוזל ובין הדפנות, רצוי להגדיר את מושג **הלחץ**. לחץ מוגדר ככוח ליחידת שטח שעליו הוא פועל*:

$$\text{לחץ} = \frac{\text{כוח}}{\text{שטח}}$$

להדגמת ההבדל בין לחץ לכוח, התבוננו בשתי הלבנים שבאיור 12.1. הלבנים זהות, אלא שאחת מונחת על הדופן הרחבה שלה והשנייה על צידה הצר. שתי הלבנים שוות משקל ולכן מפעילות אותו כוח על המשטח, אך הלבנה



איור 12.1

משקל הלבנים אמנם שווה, אך הלבנה העומדת מפעילה על השולחן לחץ גדול יותר.

* ניתן למדוד לחץ בכל יחידת כוח המחולקת בכל יחידת שטח. היחידה הבינלאומית ללחץ (SI), ניוטון למ², נקראת פסקל, על שם המדען והתיאולוג בן המאה ה-17, בלו פסקל. לחץ של 1 פסקל הוא לחץ קטן מאוד ושווה בערך ללחץ המופעל על ידי שטר של 50 שקלים הפרוס על שולחן. מדענים משתמשים לעיתים קרובות בקילו-פסקלים (1 קילו-פסקל = 1000 פסקל).

העומדת מפעילה על המשטח לחץ גדול יותר. מכיוון שהכוח מחולק על פני שטח קטן יותר, הלחץ גדל. אילו היתה הלבנה ניצבת על פינתה, הלחץ היה גדול עוד יותר.

כאשר צוללים במים חשים בלחץ המים המופעל על עור התוף. ככל שצוללים עמוק יותר הלחץ גובר. מה גורם ללחץ זה? זהו פשוט משקל המים שמעלינו המעיק עלינו. אם נצלול לעומק כפול, משקל המים שמעלינו יוכפל ולכן נחוש בלחץ כפול. לחץ הנוזל תלוי בעומק. אם נצלול בנוזל שצפיפותו גדולה מצפיפות המים, הלחץ יגדל בהתאם. לחץ הנוזל תלוי גם בצפיפות הנוזל. הלחץ בנוזל שווה למכפלת המשקל הסגולי בעומק*:

$$\text{לחץ הנוזל} = \text{עומק} \times \text{משקל סגולי}$$

בקיצור, הלחץ המופעל על צידי כלי הקיבול ועל תחתיתו תלוי בצפיפות הנוזל ובעומקו בלבד. בעומק כפול לחץ הנוזל על תחתית הכלי כפול; בעומק גדול פי שלושה, הלחץ גדול פי שלושה; וכן הלאה. כשצפיפות הנוזל גדולה פי שניים או



איור 12.2

התלות של לחץ הנוזל בעומק אינה מהווה בעיה לג'ירפה, בשל ליבה הגדול ובזכות המערכת המורכבת של שסתומים וצנרת כלי-הדם הגמישים והסופגים שבמוחה. לולא מבנים אלו היא היתה מתעלפת כשהיתה מרימה את ראשה בפתאומיות, והיתה חשופה לשטפי-דם מוחיים כשהיתה מרכינה אותו.

* קשר זה נובע מהגדרות הלחץ והצפיפות. נתבונן בשטח מסוים בתחתיתו של כלי קיבול. משקלו של עמוד הנוזל הנמצא ישירות מעל שטח זה יוצר לחץ. מההגדרה משקל סגולי = משקל/נפח, נוכל לבטא את משקל הגוף: משקל = משקל סגולי $\times$ נפח. הנפח של עמוד הנוזל שווה למכפלת השטח בעומק. מכאן נקבל:

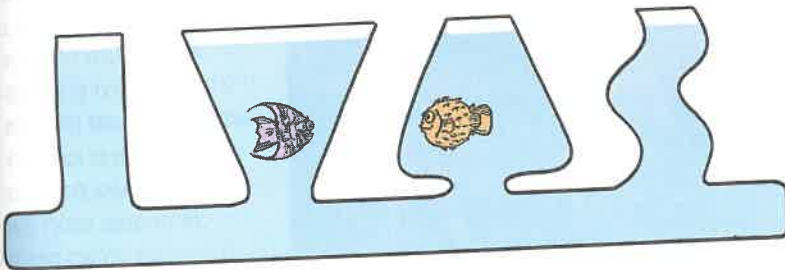
$$\text{משקל סגולי} \times \text{עומק} = \frac{\text{משקל סגולי} \times \text{נפח} \times \text{משקל סגולי}}{\text{שטח}} = \frac{\text{משקל סגולי} \times \text{כוח}}{\text{שטח}} = \text{לחץ}$$

פי שלושה, לחץ הנוזל בעומק נתון מוכפל בהתאמה פי שניים או פי שלושה. נוזלים הם למעשה בלתי-דחיסים - כלומר, כאשר מופעל עליהם לחץ, נפחם כמעט אינו משתנה. לכן, פרט לשינויים החלים בצפיפות עקב שינויי טמפרטורה, צפיפות הנוזל שווה בדרך כלל בכל העומקים*.

חשוב לשים לב שהלחץ אינו תלוי בכמות הנוזל. כך למשל, תחושו אותו לחץ בין שתשקיעו את ראשכם מטר מתחת לפני המים בבריכה קטנה ובין שתעשו זאת באמצעיתו של אגם גדול. הדבר נכון גם לגבי דגים. התבוננו בכלים השלובים שבאיור 12.3. אם תאחזו דג זהב בזנבו ותטבלו את ראשו כמה סנטימטרים מתחת לפני המים, לחץ המים על ראש הדג יהיה שווה בכל הכלים. אם תשחררו את הדג והוא ירד סנטימטרים אחדים למטה, הלחץ עליו יגדל עם הגידול בעומק, אך זאת ללא תלות בכלי שבו הוא יימצא. אם הדג ישחה לקרקעית, הלחץ יגבר עוד, אך גם הפעם, ללא הבדל בין הכלים השונים. בכל הכלים הנוזל מגיע לגובה שווה, ולכן לחץ המים בתחתית שווה, ללא תלות בצורת הכלי או בנפחו. אילו היה לחץ המים בתחתית אחד הכלים גדול יותר מהלחץ בתחתית הכלי הצר יותר ובעל הנפח הקטן יותר הנמצא בשכנותו, אזי היה הלחץ הרב יותר כופה על המים לנוע הצידה ולהעלות את פני המים בכלי הצר יותר עד להשוואת הלחצים. אך הדבר אינו מתרחש. הלחץ תלוי בעומק ואינו תלוי בנפח, ומכאן מתברר מדוע המים בוחרים להתייצב ברמה מסוימת.

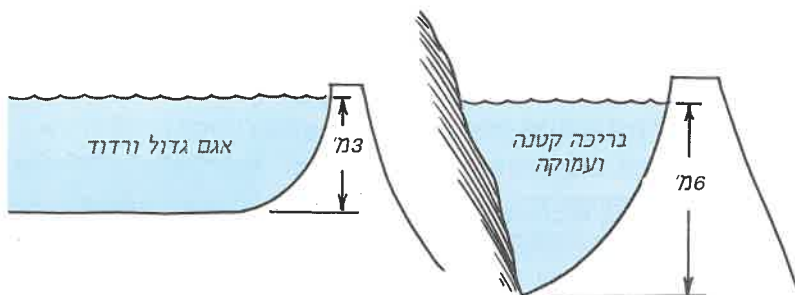
איור 12.3

לחץ הנוזל באותו עומק שווה בכל הכלים ללא תלות בצורת הכלי.



נוכל להיווכח כי המים "יודעים" לבחור בעצמם את הגובה הראוי אם נמלא צינור גינה במים ונקרב את שני קצותיו זה לזה. גובה המים בשני הצדדים יהיה שווה. גובהם בשני הצדדים יהיה שווה גם אם שני קצותיו של הצינור יהיו רחוקים זה מזה. אחדים מהרומאים הקדומים לא הבינו עובדה זו, ובנו אמות מים מסובכות בעלות קשתות גבוהות ומסלולים עקלתוניים, כדי להבטיח

* צפיפות מים מזוקקים היא 1000 ק"ג/מ³. הואיל והמשקל (mg) של 1000 ק"ג הוא $9.8 \times 1000 = 9800$ ניוטון, משקלם הסגולי של מים הוא 9800 ניוטון למטר מעוקב (9800 נ"מ³). לחץ המים מתחת לפני אגם שווה למכפלת משקל סגולי זה בעומק המדוד במטרים. למשל, לחץ המים בעומק של 1 מטר הוא 9800 נ"מ³, ובעומק של 10 מטר הלחץ הוא 98,000 נ"מ³. בשיטת היחידות SI לחץ נמדד בפסקלים, כך שהלחץ הוא 9800 פסקל ו-98,000 פסקל, בהתאמה, או בקילו-פסקל - 9.8 קילו-פסקל ו-98 קילו-פסקל, בהתאמה.

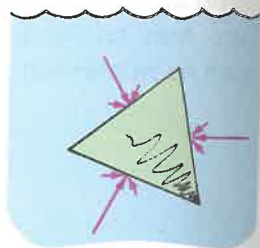


איור 12.4

הלחץ הממוצע שמופעל על הסכר תלוי בעומקם הממוצע של המים ולא בנפח המים במאגר. הלחץ על הסכר באגם הגדול והרדוד הוא מחצית מהלחץ המופעל על הסכר בבריכה הקטנה והעמוקה.

שהמים יזרמו תמיד מתונות כלפי מטה, מהמאגר אל העיר. אילו היו מניחים את הצינורות בהתאם לתוואי הקרקע, היו המים צריכים לזרום במקומות מסוימים במעלה, והרומאים חששו שהדבר אינו אפשרי. אמנם בכמה מן העמקים ברחבי האימפריה הרומית הונחו צינורות כדי להוביל מים דרכם, ואולם עריכת ניסויים לצורכי הוכחה לא היתה נהוגה עדיין, ולכן ברוב המקומות נבנו אמות מים מורכבות בעבודה מאומצת של עבדים.

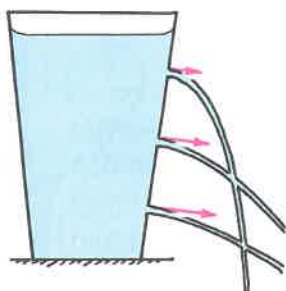
עוד עובדה מעניינת הנוגעת ללחץ בנוזל היא שהלחץ פועל במידה שווה בכל הכיוונים. כך למשל, כשאנו שקועים בתוך מים, אנו חשים שלחץ המים באוזנינו שווה בכל כיוון שאליו נבחר לסובב את ראשו. מכיוון שנוזל יכול לזרום, הלחץ אינו פועל רק כלפי מטה. כשרואים מים הקולחים הצידה מנקב בצידה של קופסה, מגלים שהלחץ מופעל גם לצדדים. אם ננסה לדחוף כדור-ים מתחת לפני המים, ניווכח שלחץ מופעל גם כלפי מעלה. ברור שתחתיתה של סירה נדחפת כלפי מעלה בלחץ המים. הלחץ בכל נקודה בנוזל פועל במידה שווה בכל הכיוונים.



איור 12.5

שקול הכוחות בנוזל, היוצר לחץ על המשטח, מאונך למשטח.

כאשר נוזל לוחץ על משטח, נוצר כוח שקול שכיוונו מאונך למשטח (איור 12.5). כשיש נקב במשטח, הנוזל פורץ בזווית ישרה למשטח ומסלולו מתעקם מטה בהשפעת כוח הכובד (איור 12.6). בעומק רב יותר הלחץ גדל, ועימו עולה מהירות הנוזל הקולח*.

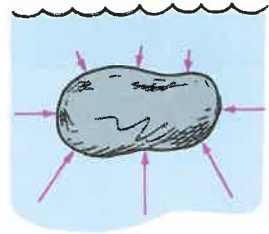


איור 12.6

לחץ המים פועל במאונך לצידי המכל וגדל עם העומק.

* מהירות היציאה של הנוזל היא $\sqrt{2gh}$, כאשר h הוא העומק מתחת לפני הנוזל. מעניין לציין שזאת גם המהירות שאליה יגיעו המים או כל גוף אחר שייפול חופשית מאותו גובה h .

כוח העילוי



איור 12.7

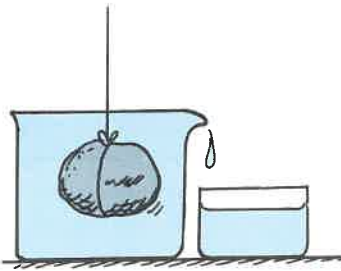
הלחץ הגדול יותר על תחתית הגוף השקוע יוצר כוח עילוי כלפי מעלה.

כל מי שהרים אי-פעם חפץ השקוע במים התוודע לכוח העילוי - הפחת שחל לכאורה במשקלם של חפצים השקועים בנוזל. לדוגמה, קל להרים גוש סלע מקרקעיתו של נהר כל עוד הסלע נמצא מתחת לפני המים; אך כאשר הסלע נמצא מעל פני המים, הכוח הנדרש להרמתו גדל במידה ניכרת. הסיבה לכך היא שכאשר הסלע שקוע במים, המים מפעילים עליו כוח כלפי מעלה, בכיוון המנוגד לכוח הכובד. הכוח הפועל כלפי מעלה נקרא **כוח העילוי**, והוא תוצאה של הגברת הלחץ שחלה עם הגידול בעומק. איור 12.7 מראה מדוע כוח העילוי פועל כלפי מעלה. לחץ מופעל על הגוף בכל נקודותיו במאונך לשטח פניו. החיצים מייצגים את גודלם ואת כיוונם של הלחצים בנקודות שונות. הלחצים על צידי הגוף בנקודות המצויות בעומק שווה יוצרים כוחות המבטלים זה את זה. הלחץ על תחתית הסלע הוא הגדול ביותר, מפני שתחתית הסלע נמצאת בעומק מרבי. מאחר שהלחץ הפועל כלפי מעלה על תחתית הסלע גדול מהלחץ המופעל כלפי מטה על חלקו העליון של הסלע, הלחצים אינם מקזזים זה את זה, וההשפעה השקולה של הלחצים פונה כלפי מעלה. התפלגות זו של לחצים הפועלים על חלקו התחתון של הסלע יוצרת כוח שקול כלפי מעלה, הוא כוח העילוי.

אם משקלו של הגוף השקוע גדול מכוח העילוי, הגוף ישקע. אם משקל הגוף שווה לכוח העילוי הפועל על הגוף, הוא יישאר בגובה שבו שמים אותו, כדג. אם כוח העילוי גדול ממשקל הגוף הטבול כולו, הגוף יעלה אל פני הנוזל ויצוף.

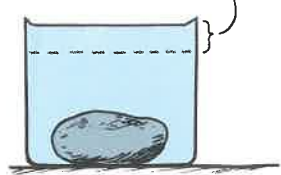
איור 12.8

נפח המים שדוחה האבן הטבולה שווה לנפח האבן.



כדי להבין מהו כוח העילוי יש להבין את משמעות הביטוי "נפח המים הנדחה". אם שמים אבן בכלי המלא במים עד שפתו, חלק מהמים יישפך מן הכלי (איור 12.8). המים נדחו על ידי האבן. על נקלה ניווכח כי הנפח - כלומר, כמות המרחב שנתפסה או מספר הסנטימטרים המעוקבים - של המים שנדחו שווה לנפח האבן. אם נשים גוף כלשהו במכל המלא במים רק בחלקו, גובה פני המים יעלה (איור 12.9). בכמה? בדיוק במידה שבה פני המים היו עולים לו נמזגו לכלי מים שנפחם שווה לנפח הגוף הטבול. זוהי דרך נוחה לקציבת נפחם של גופים בעלי כל צורה שהיא: גוף השקוע כולו בנוזל דוחה תמיד נוזל שנפחו כנפח הגוף.

מים שנדחו



איור 12.9

גובה פני המים לאחר שהתרוממו שווה לגובה שיתקבל מהוספת מים שנפחם שווה לנפח האבן.

הקשר בין כוח העילוי לבין הנפח הנדחה נתגלה לראשונה במאה השלישית לפנה"ס על ידי הוגה הדעות היווני ארכימדס. ניסוחו הוא:

כוח העילוי הפועל על גוף השקוע בזורם שווה למשקל הזורם שהוא דחה.

קשר זה נקרא **חוק ארכימדס**. הוא תקף בנוזלים ובגזים - שניהם זורמים. אם גוף שקוע דוחה 1 ק"ג של זורם, אזי כוח העילוי הפועל עליו שווה למשקל של 1 ק"ג*.

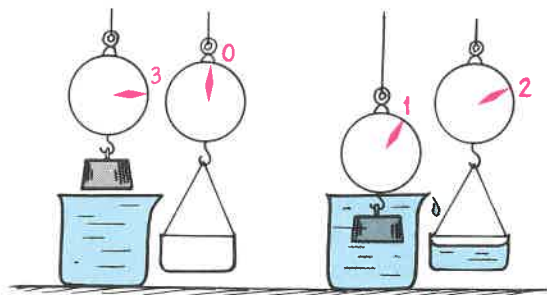


איור 12.10

נפחו של ליטר מים הוא 1000 ס"מ³, מסתו 1 ק"ג ומשקלו 9.8 ניוטון. אם כך, צפיפות המים היא 1 ק"ג/ליטר ומשקלם הסגולי 9.8 נ"ל/טר. (משקלם הסגולי של מי-ים גבוה קמעא ושווה ל-10 נ"ל/טר)

בהשתמשנו במונח טבול כוונתנו שקוע לחלוטין או באופן חלקי. אם נשקיע מכל חתום של 1 ליטר עד מחציתו, הוא ידחה חצי ליטר של מים וכוח העילוי עליו ישווה למשקל חצי ליטר של מים. אם נטבילו לגמרי (נטביעו), כוח העילוי עליו ישווה למשקל של ליטר מים או למשקל קילוגרם אחד של מים. כל עוד אין דוחסים את המכל והוא שקוע לגמרי, כוח העילוי עליו ישווה בכל עומק למשקל של 1 קילוגרם. בכל עומק, נפח המים הנדחה אינו יכול לעלות על נפח המכל. משקל נפח זה של מים (לא משקל החפץ השקוע!) שווה לכוח העילוי.

אם גוף בן 25 ק"ג דוחה בטבילתו זורם בן 20 ק"ג, אזי משקלו הנדמה ישווה למשקלם של 5 ק"ג. שימו לב שבאיור 12.11, המשקל הנדמה של הלבנה



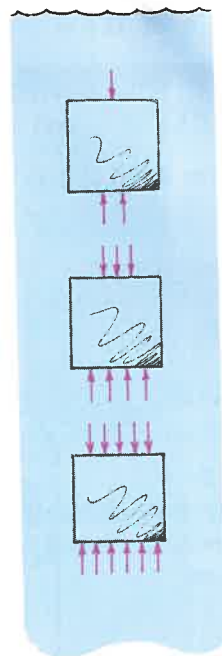
איור 12.11

משקלה של לבנה בת 3 ק"ג באוויר גדול ממשקלה במים. כאשר הלבנה טבולה הפחת במשקלה שווה לכוח העילוי, השווה למשקל המים שנדחו.

* קילוגרם אינו יחידת כוח אלא יחידת מסה. לכן, למעשה, כוח העילוי אינו 1 ק"ג אלא משקלו של 1 ק"ג, שהוא 9.8 ניוטון. יכולנו לומר שכוח העילוי הוא קילוגרם כוח, ולא 1 ק"ג.

הטבולה בת 3 הק"ג שווה למשקל של 1 קילוגרם. המשקל הנדמה של גוף טבול שווה להפרש בין משקל הגוף באוויר לכוח העילוי.

ניתן לסכם את הדיון בחוק ארכימדס בדוגמה מספרית שתוכיח כי ההפרש בין הכוחות הפועלים מעלה ומטה על קובייה שקועה, כתוצאה מההפרש בלחצים, שווה למשקל הזורם שנדחה. הדבר אינו תלוי בעומק שבו נמצאת הקובייה, כי אף על פי שהלחץ גדל עם העומק, ההפרש בין הלחץ הפועל על הדופן התחתונה כלפי מעלה ובין הלחץ הפועל על הדופן העליונה כלפי מטה שווה בכל העומקים (איור 12.12). כוח העילוי שווה תמיד למשקל הזורם שנדחה, ללא תלות בצורת הגוף השקוע.



איור 12.12

ההפרש בין הכוחות הפועלים על הלבנה הטבולה כלפי מעלה לבין הכוחות הפועלים עליה כלפי מטה שווה בכל העומקים.

שאלות

1. האם קובע חוק ארכימדס שכוח העילוי על גוף שקוע שדחה 10 ניוטון של זורם שווה ל-10 ניוטון?
2. משקיעים במים מכל המלא לגמרי בעופרת, שנפחו 1 ליטר ומסתו 11.3 ק"ג. מהו כוח העילוי הפועל על המכל?
3. סלע נזרק לתוך אגם עמוק. האם כוח העילוי על הסלע גדל או קטן כשהסלע הולך ושוקע?
4. כוח העילוי הוא הכוח השקול שזורם מפעיל על גוף, ובפרק 4 הרי למדנו שהכוח השקול יוצר תאוצה. מדוע אם כן אין הגוף השקוע מואץ?

תשובות:

1. כן. מנקודת מבט שונה ניתן לומר שהגוף הטבול דוחף לצדדים 10 ניוטון של זורם. הזורם הנדחה מגיב בדחיפת הגוף הטבול ב-10 ניוטון.
2. כוח העילוי שווה למשקל של 1 ק"ג (9.8 ניוטון) כי הנפח של המים שנדחו הוא 1 ליטר, מסתם 1 ק"ג ומשקלם 9.8 ניוטון. הנתון על העופרת שמסתה 11.3 ק"ג אינו שייך לדיון; 1 ליטר של חומר כלשהו שיושקע ידחה 1 ליטר של מים, וכוח העילוי עליו ישווה למשקל של 1 ק"ג, כלומר ל-9.8 ניוטון.
3. כוח העילוי אינו משתנה עם שקיעת הסלע, כי בכל עומק שבו יימצא הסלע הוא ידחה אותה כמות של מים. מאחר שמים הם, למעשה, בלתי-דחיסים, צפיפותם שווה בכל העומקים; לכן, משקל המים הנדחים, או כוח העילוי, שווה בכל העומקים.
4. הגוף יואץ אם כוח העילוי עליו לא יאוזן על ידי כוחות אחרים הפועלים עליו - כוח הכובד והתנגדות הזורם. הכוח השקול על גוף שקוע הוא השקול של הכוח הכולל שהזורם מפעיל (כוח העילוי), של משקל הגוף, ואם הגוף נע - גם של כוח החיכוך בזורם.

השפעת הצפיפות על שקיעת גופים

חשוב לציין שכוח העילוי הפועל על גוף טבול תלוי בנפח הגוף. גופים קטנים דוחים כמויות קטנות של מים ופועלים עליהם כוחות עילוי קטנים. גופים גדולים דוחים כמויות גדולות של מים וכוחות העילוי שפועלים עליהם גדולים. נפח הגוף השקוע - ולא משקלו - קובע את כוח העילוי. כוח העילוי שווה למשקל נפח הזורם שנדחה. (נקודה זאת היא המקור לבלבול הרב בנושא כוח העילוי. נסו להבהיר לעצמכם שעניין זה ברור לכם!)

עם זאת, למשקל יש חשיבות, שכן הקשר בין גודל משקלו של הגוף לגודלו של כוח העילוי הוא שקובע אם הגוף ישקע או יצוף. האם ברור לכם כי כאשר כוח העילוי שווה בדיוק למשקל הגוף, אזי משקל הגוף חייב להיות שווה למשקל המים שנדחו? מהי צפיפותו של הגוף במקרה זה? הואיל והמשקלים שווים והנפחים של הגוף ושל המים שנדחו שווים, גם צפיפותם שווה. צפיפות הגוף שווה לצפיפות המים. הדבר נכון לגבי דג, הנמצא במצב שבו הוא אינו צף ואינו שוקע. אם הדג יתנפח בדרך כלשהי, צפיפותו תהיה קטנה מצפיפות המים והוא יצוף. אם הדג יבלע אבן וצפיפותו תעלה על צפיפות המים, הוא ישקע. ננסה שלושה כללים פשוטים:

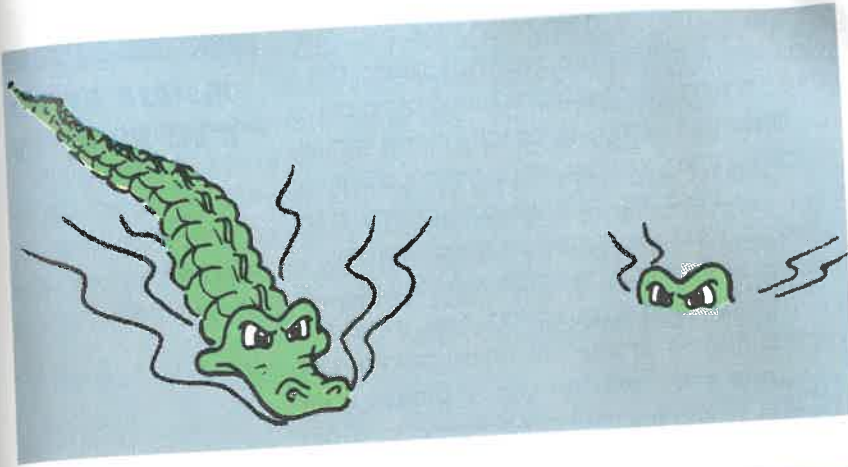
1. אם צפיפותו של גוף גדולה מצפיפות הזורם שבו הוא טבול, הגוף ישקע.
2. אם צפיפותו של גוף קטנה מצפיפות הזורם שבו הוא טבול, הגוף יצוף.
3. אם צפיפותו של גוף שווה לצפיפות הזורם שבו הוא טבול, הגוף לא ישקע ולא יצוף.

מה ניתן להסיק מכללים אלה על אנשים שלמרות מאמציהם אינם מצליחים לצוף? * צפיפותם פשוט גדולה מדי! כדי לצוף ביתר קלות עליך להפחית את צפיפותך. מהקשר משקל סגולי = משקל/נפח נובע שכדי להקטין את המשקל הסגולי יש להקטין את המשקל או להגדיל את הנפח. תפקידה של חגורת הצלה הוא להגדיל את נפחך בלי לשנות כמעט את משקלך.

כדי להגיע לצפיפות הרצויה, משנים את משקלה של צוללת, ולא את נפחה. מכניסים ומוציאים מים ממכלי הנטל. דגים מווסתים את צפיפותם בהרחבת כיסי האוויר המשנים את נפחם ובכיווצם. הדג יכול לעלות מעלה על ידי הגדלת נפחו (המקטינה את צפיפותו) ולרדת מטה על ידי הקטנת נפחו (המגדילה את צפיפותו). התנין מגדיל את צפיפותו הכוללת כאשר הוא בולע אבנים. בקיבוניהם של תניניים גדולים מצאו בין 4 ל-5 ק"ג של אבנים מאוחסנות בחלקן הקדמי. בשל צפיפותו המוגדלת התנין שוחה בעומק רב יותר, ובכך מקטין את מידת חשיפתו לטרפו (איור 12.13).

* מעניין לציין כי תשעה מבין עשרה אנשים שאינם יכולים לצוף הם גברים. רוב הגברים שריריים יותר מהנשים ולכן צפיפותם גדולה מעט יותר מצפיפות הנשים.

איור 12.13
(משמאל) תנין
מתקרב במים.
(מימין) תנין שבלע
אבנים מתקרב במים.

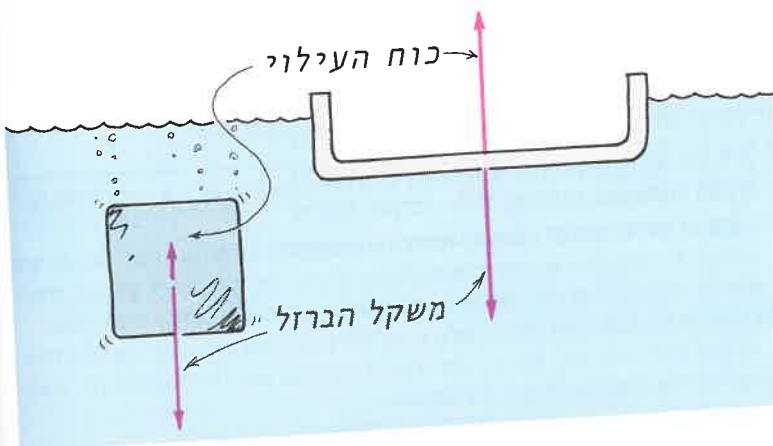


כשגז מגדיל את צפיפותו, הוא שוקע; כשהוא מקטין את צפיפותו, הוא צף. הסבירו זאת בעזרת מושג כוח העילוי.

שאלה

ברזל צפוף ממים ולכן הוא שוקע, אך ספינה העשויה ברזל צפה. מדוע? התבוננו בגוש ברזל שמשקלו 1 טון. צפיפות הברזל גדולה כמעט פי שמונה מצפיפות המים ולכן טון ברזל הטבול במים ידחה רק $\frac{1}{8}$ טון של מים, ואין בכך כדי למנוע את שקיעתו. נניח שנעצב מחדש את גוש הברזל לצורת קערה, כבאיור 12.14. משקלו עדיין יהיה 1 טון. כשנטבילו במים, הוא ידחה כמות גדולה יותר של מים משדחה במקרה הקודם. ככל שנטבילו עמוק יותר, כמות המים שתידחה תגדל ועימה יגדל גם כוח העילוי הפועל על הגוף. כאשר ישווה כוח העילוי ל-1 טון, לא תוסיף הקערה לשקוע.

ציפה



איור 12.14
גוש הברזל שצורתו קובייה
שוקע, ואילו אותו ברזל
המעוצב כקערה צף.

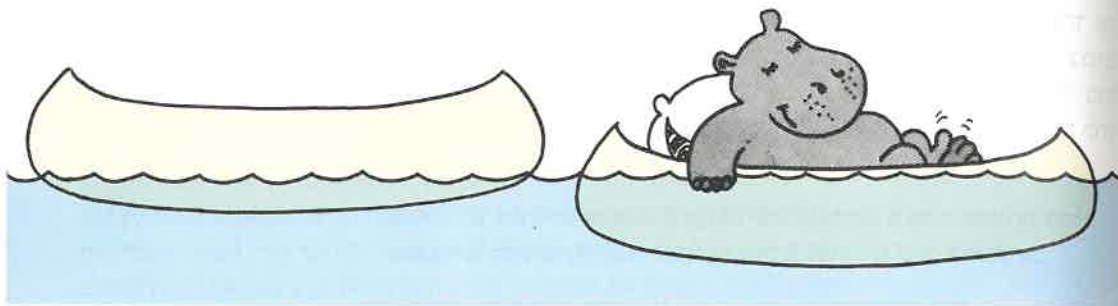
תשובה:

כאשר דג מגדיל את צפיפותו באמצעות הקטנת נפחו, הוא דוחה פחות מים, ולכן כוח העילוי הפועל עליו קטן. כאשר הוא מגדיל את צפיפותו על ידי התרחבותו, הוא דוחה כמות רבה יותר של מים וכוח העילוי הפועל עליו גדל.

כאשר סירת הברזל דוחה מים שמשקלם כמשקלה, היא צפה. עובדה זו נקראת לעיתים **עקרון הציפה**, שניסוחו:

גוף צף דוחה זורם שמשקלו כמשקל הגוף.

כל ספינה, כל צוללת וכל כדור פורח חייבים להיות בנויים כך שידחו זורם שמשקלו כמשקלם. לכן, ספינה שמשקלה 10,000 טון צריכה להיבנות רחבה דיה כך שתדחה 10,000 טון של מים לפני שתשקע בהם עמוק מדי. כך גם בנוגע לאוויר; כדור פורח שמשקלו 100 קילוגרם דוחה לפחות 100 ק"ג של אוויר. אם הוא דוחה יותר אוויר, הוא נישא כלפי מעלה; אם הוא דוחה פחות, הוא נופל כלפי מטה. אם הוא דוחה כמות אוויר שמשקלה כמשקלו, הוא מרחף בגובה קבוע.



מכיוון שכוח העילוי הפועל על גוף שווה למשקל הזורם שהגוף דחה, הרי שזורמים שצפיפותם גדולה יותר יפעילו על גוף כוח עילוי גדול יותר משיפעילו עליו זורמים שצפיפותם קטנה יותר. זו הסיבה לכך שסירה תצוף גבוה יותר במים מלוחים מאשר במים מתוקים, כי צפיפותם של מים מלוחים גדולה במקצת מצפיפותם של מים מתוקים. בדומה לכך, גוש ברזל ישקע במים אך יצוף בכספית.

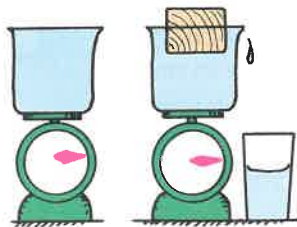
איור 12.15

משקל הגוף הצף שווה למשקל המים שדחה החלק השקוע.

השלימו את החלקים החסרים במשפטים הבאים:

שאלות

- נפח הגוף השקוע שווה ל _____ הזורם שנדחה.
- משקל הגוף הצף שווה ל _____ הזורם שנדחה.



איור 12.16

גוף צף דוחה זורם שמשקלו כמשקל הגוף.

תשובות:

- נפח.
- משקל.

איור 12.17

אותה אונייה -
ריקה ועמוסה. מה
הקשר בין המשקל
שהועמס על
האונייה למשקל
המים הנוספים
שנדרחו?



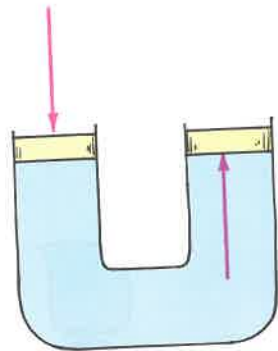
חוק פסקל

אחת העובדות החשובות בקשר ללחץ בזורם היא ששינוי בלחץ בחלק אחד שי הזורם מועבר ללא פחת לחלקיו האחרים. כך למשל, אם הלחץ במינ המסופקים לעיר יוגדל בתחנת השאיבה ב-10 יחידות לחץ, אזי הלחץ בכל מקום לאורך כל הצינורות המחוברים למערכת יגדל אף הוא ב-10 יחידות לחץ (בהנחה שהמים שרויים במנוחה). כלל זה נקרא **חוק פסקל**:

השינויים בלחץ שחלים בכל נקודה שהיא בזורם שרוי במנוחה בכלי מועברים ללא שינוי לכל הנקודות בזורם ופועלים בכל הכיוונים.

את החוק גילה בלו פסקל (1623-1662), מתמטיקאי, פיסיקאי ותיאולוג צרפתי. יחידת הלחץ בשיטת היחידות SI, הפסקל (1 פסקל = 1 נ"מ^2), נקראת על שמו.

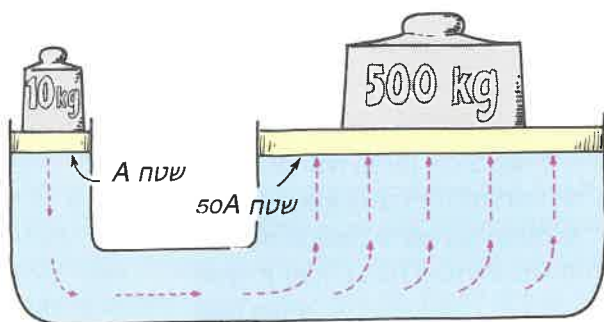
מלאו במים צינור שצורתו U והניחו בוכנות בכל אחד מקצותיו, כמתואר באיור 12.18. הלחץ המופעל על הבוכנה השמאלית יועבר דרך הנוזל ויפעל על תחתיתה של הבוכנה הימנית. (הבוכנות הן למעשה "פסקים" המחליקים בחופשיות אך צמודים לצינור). הלחץ שהבוכנה השמאלית תפעיל על המים ישווה בדיוק ללחץ שהמים יפעילו על הבוכנה הימנית. בכך אין כל חידוש. אך נניח שהצינור שמימין רחב יותר ומשתמשים בבוכנה ששטחה גדול יותר; אזי תתרחש תופעה מרשימה. שטח הבוכנה השמאלית באיור 12.19 הוא 1 ס"מ^2 , ושטחה של הבוכנה הימנית גדול פי 50 - 50 ס"מ^2 . נניח שהניחו משא של 1 ניוטון על הבוכנה השמאלית. אזי נוסף לחץ של 1 ניוטון לס"מ² (1 נ"ס"מ²), המועבר דרך הנוזל אל הבוכנה הגדולה. עתה בא לידי ביטוי ההבדל בין לחץ לכוח. הלחץ הנוסף של 1 ניוטון לס"מ² מופעל על כל סנטימטר מרובע של הבוכנה הגדולה. מכיוון ששטח הבוכנה הגדולה הוא 50 סנטימטרים מרובעים, הכוח הנוסף שיופעל עליה יהיה 50 ניוטון. לכן, הבוכנה הגדולה תוכל לשאת משא של 50 ניוטון. זהו משא הגדול פי 50 מהמשא שעל הבוכנה הקטנה!



איור 12.18

הכוח המופעל על הבוכנה השמאלית מגדיל את הלחץ בנוזל ומועבר לבוכנה הימנית.

עניין זה ראוי לציון, כי בעזרת התקן כזה נוכל להכפיל כוחות. הפעלת כוח של ניוטון אחד יוצרת כוח של 50 ניוטון. באמצעות הגדלה נוספת בשטח הבוכנה הגדולה (או הקטנת שטח הבוכנה הקטנה), ניתן להכפיל את הכוח כרצוננו. פעולת המכשם ההידרולי מבוססת על חוק פסקל.

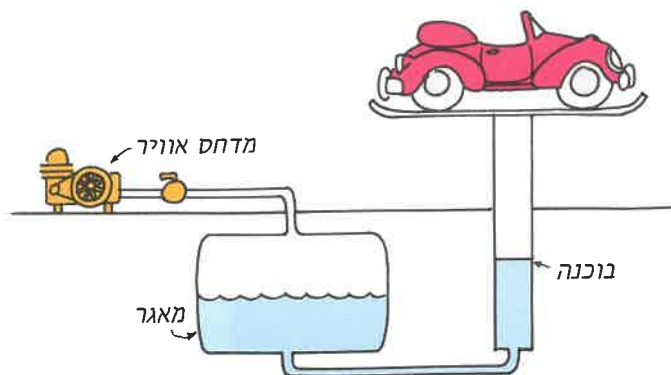


איור 12.19
משא של 10 ק"ג על הבוכנה השמאלית יתמוך בעומס של 500 ק"ג על הבוכנה הימנית.

פעולת המכש ההידרולי אינה סותרת את עקרון שימור האנרגיה, מפני שהגדלת הכוח מתקזזת בהקטנת מרחק התזוזה. כאשר הבוכנה השמאלית מוזזת כלפי מטה ב-10 ס"מ, הבוכנה הגדולה תעלה רק באחד חלקי חמישים ממרחק זה, כלומר ב-0.2 ס"מ. מכפלת הכוח המופעל בדרך שלאורכה הוא פועל שווה למכפלת הכוח המופק בדרך שלאורכה פועל כוח זה; בדומה למנוף. חוק פסקל תקף לכל הזורמים - גזים ונוזלים כאחד. שימוש אופייני בחוק פסקל לגזים ונוזלים הוא המנוף ההידרולי המצוי ברוב המוסכים (איור 12.20). אוויר דחוס מפעיל לחץ על שמן הנמצא במאגר תת-קרקעי. השמן מעביר את הלחץ לגליל, המרים את המכונית. הלחץ הנמוך יחסית שיוצר את הכוח המרים על הבוכנה הוא בערך כלחץ האוויר בצמיגי המכונית. הדבר אפשרי, מכיוון שלחץ נמוך הפועל על שטח גדול יחסית יוצר כוח ניכר.

כיצד משתנה גובה פני השמן במאגר בהשוואה למרחק שהמכונית עלתה, כאשר המכונית שבאיור 12.20 מורמת?

שאלה



איור 12.20
חוק פסקל במוסר.

המכונית עולה מרחק גדול יותר מהמרחק שיורדים פני השמן במאגר, כי שטח הבוכנה קטן יחסית לשטח פני השמן במאגר.

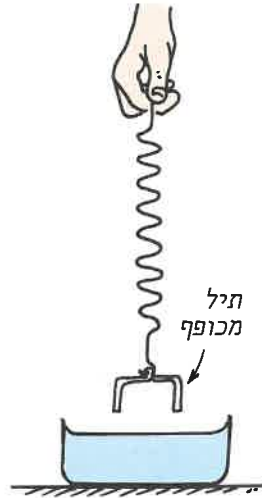
תשובה:

מתח פנים

נתלה פיסת תיל נקייה בקפיץ לוליני רגיש, נטבול את התיל בכלי מים ולאחר מכן נעלה אותו. כשנססה להוציא את התיל מתוך המים, נגלה מהתארכות הקפיץ שפני המים מפעילים כוח ניכר על התיל (איור 12.21). פני המים מגלים התנגדות רבה יותר למתיחתם מזו שמגלה הקפיץ. פני המים נוטים להתכווץ. נבחין בנטייה זו גם אם נרטיב מכחול עדין-שיער. כל זמן שהמכחול טבול במים, שערותיו מפוזרות בדומה לשערותיו של מכחול יבש, אך כאשר מוציאים את המכחול מהמים, שכבת פני השטח של המים מתכווצת וגורמת להתלכדות השערות (איור 12.22). הכוח המכווץ הזה הפועל בפני השטח של נוזלים נקרא **מתח הפנים**.

איור 12.21

כאשר התיל המכופף מוכנס למים ולאחר מכן מוצא מהם, הקפיץ מתארך בגלל מתח הפנים.



איור 12.22

כאשר מוציאים את המכחול מהמים, מתח הפנים גורם להידבקות שערותיו.



מתח הפנים הוא הסיבה לצורתן הכדורית של טיפות הנוזלים. טיפות גשם, רסיסי שמן ונטיפי מתכת מותכת הם כדוריים כי פני השטח שלהם נוטים להתכווץ וכופים על הטיפה את הצורה בעלת שטח הפנים המזערי. הצורה כדורית, מכיוון שעבור נפח נתון, הצורה הגיאומטרית בעלת שטח הפנים הקטן

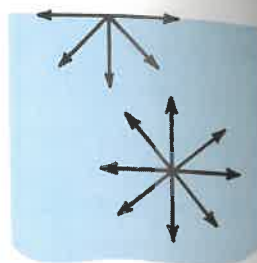
איור 12.23

מתח הפנים גורם לטיפות זעירות של מים להיות כדוריות. האם תוכלו להשתמש ברעיונות של איור 11.15 שבפרק הקודם כדי להסביר מדוע טיפות גדולות יותר מתפחסות יותר בהשפעת כוח הכובד, בעוד צורתן של הטיפות הקטנות כדורית יותר?



ביותר היא כדור. זו הסיבה לכך שאגלי הטל ורסיסי הערפל על קורי עכביש או על עלי צמחים הם כדורים זעירים (איור 12.23).

מתח הפנים הוא תוצאה של כיווץ פני הנוזל, הנגרם בשל כוחות משיכה בין המולקולות. מתחת לפני השטח, כל מולקולה נמשכת בכל הכיוונים אל המולקולות השכנות לה, ולכן, בסך הכל היא אינה נוטה להימשך לכיוון כלשהו. לעומת זאת, מולקולה המצויה בפני הנוזל נמשכת רק אל המולקולות שבצידיה ומתחתיה; דבר אינו מושך אותה כלפי מעלה (איור 12.24). משיכות מולקולריות אלו יוצרות משיכה של מולקולה המצויה בפני השטח פנימה אל תוך הנוזל. הנטייה למשוך את המולקולות שבשטח הפנים של הנוזל אל תוכו, גורמת לשטח הפנים לקטון עד כמה שניתן. פני השטח מתנהגים כקרום אלסטי. עדות לכך היא מחטי פלדה יבשות או סכיני גילוח הנראים כצפים על פני המים; למעשה, מתח הפנים של המים הוא שמחזיק אותם על פני הנוזל. מתח הפנים של המים גדול מזה של נוזלים שכיחים אחרים. למים נקיים, למשל, מתח פנים גדול יותר מלמי-סבון. הדבר ניכר כאשר קרום זעיר של סבון על פני המים נפרש למעשה על כל המשטח ובכך מקטין את שטח הפנים של המים הנקיים. כך קורה גם לשמן או לשומן הצפים על מים. לשמן מתח פנים קטן מלמים ולכן, פרט למקרה שבו המים חמים, השמן יוצר שכבה המכסה את כל פני המים. מתח הפנים של מים חמים קטן יותר, מכיוון שכוח הקשירות של המולקולות, הנעות במהירות, קטן. זו הסיבה לכך שמולקולות של שמן או שומן יכולות לצוף בבועות קטנות על פני מרק חם. אך כאשר המרק מתקרר ומתח הפנים של המים גדל, השומן או השמן נפרשים על פני המרק. המרק הופך "שמנוני". הסיבה לכך שטעמו של מרק חם שונה מטעמו של מרק קר היא בעיקר העובדה שמתח הפנים של המים משתנה עם השינוי בטמפרטורה.

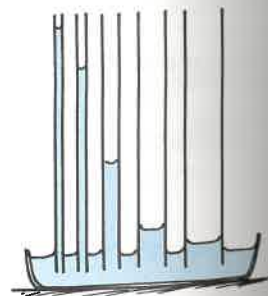


איור 12.24

מולקולה בפני השטח נמשכת רק לצדדים ולמטה אל המולקולות השכנות. מולקולה המצויה מתחת לפני השטח נמשכת במידה שווה בכל הכיוונים.

אם טובלים במים צינורית זכוכית נקייה שקוטרה הפנימי קטן, המים ירטיבו את חלקה הפנימי של הצינורית ויעלו בתוכה. בצינורית שקוטר חללה הוא חצי מילימטר, למשל, המים יעלו מעט מעל ל-5 ס"מ. כאשר החלל הפנימי קטן יותר, המים יעלו יותר (איור 12.25). עלייתו או ירידתו של נוזל בצינורית חלולה דקיקה או בחלל צר נקראת נימיות.

מולקולות מים נמשכות אל הזכוכית יותר משהן נמשכות זו לזו. המשיכה בין חומרים שונים נקראת תאחיזה (אדהזיה). המשיכה בין חומרים זהים נקראת קשירות (קוהזיה). כאשר טובלים צינורית זכוכית במים, התאחיזה בין הזכוכית לבין המים גורמת לשכבה דקה של מים להימשך מעלה על משטחי הצינורית, כבאיור 12.26א. מתח הפנים גורם לשכבה זו להתכווץ, כבאיור 12.26ב. באיור ג השכבה על המשטח הפנימי ממשיכה להתכווץ, ומעלה עימה מים עד שמשקלם של המים שעלו מאזן את כוחות התאחיזה. כשהצינורית דקיקה, משקל המים בצינורית קטן והמים יעלו גבוה יותר משיעול בצינורית רחבה.



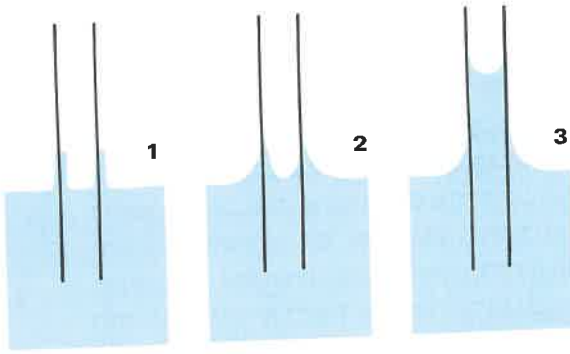
איור 12.25

צינורות נימיים.

כאשר טובלים מכחול במים, המים עולים בחללים הצרים שבין הזיפים בפעולת הנימיות. אם תניחו את קצות שערכם באמבט, המים יגיעו לקרקפתכם באותה דרך. כך עולה השמן בפתילה וכך חודרים המים למגבת

איור 12.26

השלבים המשוערים בפעולת הנימיות, כפי שהם נראים בחתך של צינורית.



שקצה אחד שלה טבול בתוכם. הכניסו פינה של קוביית סוכר לקפה וכולה תירטב במהירות. פעולת הנימיות בקרקע חשובה בהבאת המים לשורשי הצמחים. אנו פוגשים בפעולת הנימיות בתופעות רבות בטבע. כמה נאה.

שאלות חזרה

1. מה ההבדל בין כוח לחץ?

לחץ בנוזל

2. מה הקשר בין הלחץ בנוזל לבין העומק שלו? בין לחץ הנוזל לצפיפותו?

3. פי כמה יגדל לחץ המים על אוזניים אם תשחו בעומק כפול? האם הלחץ באותו עומק יהיה גדול יותר במים מלוחים מאשר במים מתוקים? מדוע?

4. מהו הקשר בין לחץ המים בעומק של מטר מתחת לפני המים בבריכה קטנה לבין לחץ המים באותו עומק באגם עצום?

5. מהו הכיוון ההתחלתי שבו יזרמו מים ממכל מלא אם תנקבו בו חור? מדוע?

כוח העילוי

6. מדוע כוח העילוי הפועל על גוף השקוע במים פונה כלפי מעלה?

7. מהו הקשר בין נפחו של גוף הטבול במים לנפח המים שנדחו?

חוק ארכימדס

8. מה הקשר בין כוח העילוי הפועל על דג לבין משקל הדג?

9. מהו נפח המים שנדחים כאשר מכניסים למים מכל שנפחו 1 ליטר עד מחציתו? מהו כוח העילוי הפועל על המכל?

תקציר מונחים

לחץ היחס בין הכוח לשטח שעליו הכוח מופעל:

$$\text{לחץ} = \frac{\text{כוח}}{\text{שטח}}$$

לחץ בנוזל = עומק $\times$ משקל סגולי

כוח עילוי הכוח השקול שזורם מפעיל על גוף הטבול בו.

חוק ארכימדס כוח העילוי שפועל על גוף הטבול בזורם שווה למשקל הזורם שהגוף דחה.

עקרון הציפה גוף צף דוחה נוזל שמשקלו כמשקל הגוף.

חוק פסקל הלחץ שמופעל על זורם הכלוא במכל מועבר ללא פחת לכל חלקי הזורם ופועל בכל הכיוונים.

מתח פנים נטיית פני השטח של נוזל לצמצם את שטחם בדומה ליריעת גומי מתוחה.

נימיות עלייתו או ירידתו של נוזל בצינור חלול דק או בחלל צר.

לקריאה נוספת

רוג'רס, א"מ. פיסיקה לחקרן. המרכז הישראלי להוראת המדעים ע"ש עמוס דה-שליט. ירושלים. תשלי"א. פרק 6. ספר ישן-למדי זה עוסק בנושא מתח הפנים בדרך מעניינת.

במים עד שהביצה תצוף. מהי צפיפות הביצה ביחס לצפיפות מי-ברז? ביחס לצפיפותם של מים מלוחים?

2. נקבו מספר חורים בתחתיתו של מכל מלא במים, ובגלל לחץ המים הם יקלחו החוצה. כעת הפילו את המכל, ושימו לב שבנופלו חופשית המים אינם קולחים עוד! אם חבריכם אינם מבינים את המתרחש, התוכלו להבהיר לעצמכם את התופעה ולהסבירה להם?



3. סבון מחליש את כוחות התאחזה בין מולקולות המים. תוכלו לראות זאת אם תשימו מעט שמן בבקבוק מים ותנערו אותו עד שהמים והשמן יתערבבו. שימו לב שעם הפסקת הניעור המים והשמן נפרדים במהירות. עתה הוסיפו לתערובת מעט סבון. נערו שוב את הבקבוק ותראו שהסבון יוצר קרום דקיק מסביב לכל טיפת שמן זעירה, וכי לאחר הפסקת הניעור נדרש זמן רב יותר להצטברות השמן.

זוהי דרך פעולתו של סבון בתהליך הניקוי. הוא שובר את מתח הפנים מסביב לכל חלקיק לכלוך כך שהמים יכולים להגיע לחלקיקי הכלוך ולהקיפם. הלכלוך נסחף בשטיפה. סבון הוא חומר ניקוי יעיל רק בנוכחות מים.

תרגילים

- מדוע יפתחו אנשים הרתוקים למיטתם פחות פצעי לחץ אם ישכבו על מזרן-מים במקום על מזרן רגיל?
- כידוע, סכין חד חותך טוב יותר מסכין קהה. התדעו מדוע?
- מאיה ברז פתוח לגמרי יזרמו מים בשנייה, מברז בקומה העליונה או מברז בקומה התחתונה?
- מי מפעיל לחץ גדול יותר על הקרקע - פיל או גברת העומדת נעולה נעלי-עקב דקיקים? (מי צפוי להשאיר סימנים על רצפת לינוליאום?) התוכלו להעריך באופן גס כל אחד מהלחצים?

5. מורה לפיסיקה ריסק בקבוקי זכוכית בפני כיתתו ופיזר את הרכיבים על שולחנו. לאחר מכן פסע על הזכוכית השבורה ברגליים יחפות! אילו עקרונות פיסיקליים הוא

10. מהו הקשר בין כוח העילוי הפועל על גוף טבול ובין משקל המים שנדחו?

11. מהי המסה של 1 ליטר מים? מה משקלם בניוטונים?

12. האם כוח העילוי שפועל על גוף שקוע תלוי במשקל הגוף עצמו או במשקל הזורם שהוא דחה? האם הוא תלוי במשקל הגוף או בנפחו? נמקו את תשובתכם.

השפעות הצפיפות על שקיעת גופים

13. מהו הקשר בין צפיפות הגוף לצפיפות המים כשכוח העילוי הפועל על הגוף שווה למשקל הגוף?

14. מהו הקשר בין צפיפות הגוף לצפיפות המים אם כוח העילוי הפועל על הגוף גדול ממשקל הגוף?

15. מהו הקשר בין צפיפות הגוף לצפיפות המים אם כוח העילוי הפועל על הגוף קטן ממשקל הגוף?

16. כיצד מווסתים את צפיפותה של צוללת? כיצד מווסתת צפיפותו של דג?

ציפה

17. כמה מים דוחה ספינה בת 100 טון? מהו כוח העילוי הפועל עליה?

18. האם כוח העילוי הפועל על גוף צף תלוי במשקל הגוף עצמו או במשקל הזורם שנדחה על ידי הגוף? האם במקרה המיוחד של ציפה שני המשקלים הללו שווים? נמקו את תשובתכם.

חוק פסקל

19. מה יקרה ללחץ בכל חלקי זורם המצוי בכלי אם נגדיל את הלחץ באחד מחלקיו?

20. אם מגדילים את הלחץ במכשך הידרולי ב-10 נ"ס"מ², מהו המשא הנוסף שתוכל לשאת בוכנה ששטחה 50 ס"מ²?

מתח פנים

21. מדוע מתכווצים פניה של טיפת מים?

22. מהי הצורה הגיאומטרית בעלת שטח הפנים הקטן ביותר?

23. מדוע מרק קר הוא שמנוני?

נימיות

24. הסבירו את ההבדל בין כוח תאחזה לכוח קשירות.

25. מה קובע את גובה עליית המים בצינור נימי?

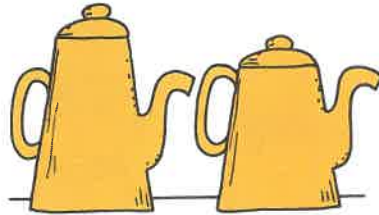
מטלות בית

1. נסו להציף ביצה על פני מים. לאחר מכן המיסו מלח

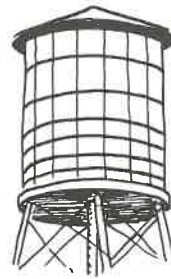
ניסה להדגים, ומדוע הקפיד שחלקי הזכוכית יהיו קטנים ורבים: (אל תחזרו על הניסוי!)

6. מדוע גופך נח יותר בשכיבה מאשר בישיבה? מדוע לחץ הדם נמדד בחלקה העליון של הזרוע, בגובה הלב? האם לחץ הדם ברגליים גדול יותר?

7. איזה משני קנקני התה שבאיור מכיל נוזל רב יותר?



8. האיור מתאר מאגר מים של כ־1 קטן. המכל עשוי מעץ ומחוזק בחישוקי מתכת. (א) מדוע מורם המאגר למרומי מגדל? (ב) מדוע החישוקים צפופים יותר בחלקו התחתון?



9. מכניסים גוש אלומיניום שנפחו 10 ס"מ³ לתוך גביע המלא במים עד שפתו. המים נשפכים. לגביע אחר מכניסים גוש עופרת שנפחו 10 ס"מ³. האם העופרת דוחה כמות גדולה יותר, פחותה או אותה כמות של מים?

10. מכניסים גוש אלומיניום שמסתו 1 ק"ג לתוך גביע המלא במים עד שפתו. המים נשפכים. לגביע אחר מכניסים גוש של עופרת שמסתו אף היא 1 ק"ג. האם העופרת דוחה כמות גדולה יותר, פחותה או אותה כמות של מים?

11. מכניסים גוש אלומיניום שמשקלו 10 ניוטון לתוך גביע מים המלא עד שפתו. המים נשפכים. לגביע אחר מכניסים גוש עופרת שמשקלו 10 ניוטון. האם העופרת דוחה כמות גדולה יותר, פחותה או אותה כמות של מים? (מדוע תשובותיכם לתרגיל זה ולתרגיל 10 שונות מתשובותיכם לתרגיל 9?)

12. האגדה מספרת על ילד הולנדי אמץ שפקק באצבעו חור בסכר וחסם את פריצת האוקיינוס האטלנטי לארצו. הייתכן הדבר? האם הסיפור מתקבל על הדעת?

13. כיצד לדעתכם יש לתכנן את מערכת הניקוז בגורד שחקים כדי למנוע זרימה אדירה של שפכים לקומת המרתף בשעה שמדיחים אסלה בקומות העליונות? (דונו בהשערותיכם עם אדם המבין בהנדסת בניין.)

14. כיצד קובעים המים בעצמם את המפלס שאליו יגיעו?

15. נניח שברצונכם להניח יסודות לבית בשטח הררי המכוסה בצמחייה סבוכה. כיצד תוכלו להשתמש בצינור השקיה מלא במים כדי להשוות גבהים בין נקודות המרוחקות זו מזו?

16. כאשר טובלים במים בחוף סלעי, האבנים שבקרעית מכאיבות פחות בכפות הרגליים ככל שהמים עמוקים יותר. מדוע?

17. האם היה פועל כוח עילוי על גוף הטבול בנוזל אילו היה הלחץ בנוזל שווה בכל העומקים?

18. כמה כוח יש להפעיל כדי לדחוף לתוך מים מכל פלסטיק שמשקלו זעום ונפחו 1 ליטר?

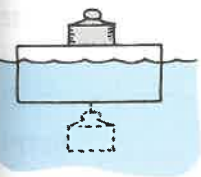
19. מהו הקשר בין החלק היחסי השקוע של גוף צף ליחס בין הצפיפויות של הגוף ושל הנוזל שבו הוא צף?

20. צפיפות הרי ההימליה קטנה במעט מצפיפות קליפת כדור הארץ שעליה הם "צפים". האם ניתן להניח כי בדומה לקרחונים צפים, עומק הרי ההימליה גדול יותר מגובהם?

21. כשתטבלו בפעם הבאה באמבט, התבוננו בפקק שבקרעית. האם פועל כוח עילוי על הפקק הסותם את פתח הניקוז כאשר האמבט מלא? ולאחר הוצאת הפקק, בהיותו מונח על תחתית האמבט ליד פתח הניקוז? נמקו את תשובתכם.

22. מדוע אין זה מדויק לומר שגופים כבדים שוקעים וגופים קלים צפים? הציגו דוגמאות קיצוניות להוכחת תשובתכם.

23. אם נניח משקולת ברזל על לבנת עץ צפה, הלבנה תצוף כשחלק גדול יותר ממנה שקוע במים. אם נתלה את המשקולת בתחתית הלבנה, האם החלק השקוע במים יהיה גדול יותר או קטן יותר? נמקו את תשובתכם.

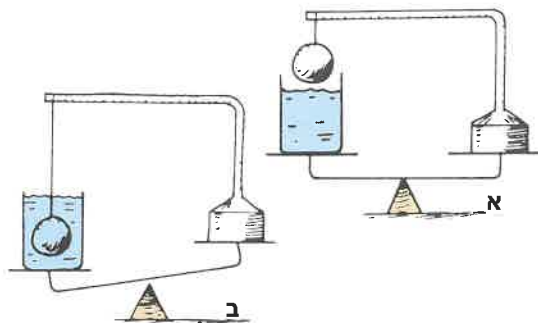


24. האם עומקה של ספינה העמוסה בקלקר גדול יותר או קטן יותר מזה של ספינה ריקה? נמקו.

25. האם צוללת שהחלה לשקוע תמשיך בשקיעתה עד לקרקעית אם לא ייעשה בה כל שינוי? הסבירו.

נניח דג בתוך הדלי? (האם תשובתכם תהיה שונה אם נתון כי הדלי היה מלא מלכתחילה עד שפתו?)

38. משקל מכל המים שבאיור (א) שווה למשקל הכן וכדור הברזל התלוי עליו. כאשר מורידים את הכדור התלוי לתוך המים, האיזון מופר (ב). האם תוספת המשקל שיש להניח בכף הימנית כדי להשיב את האיזון גדולה ממשקל הכדור, שווה לו או קטנה ממנו?



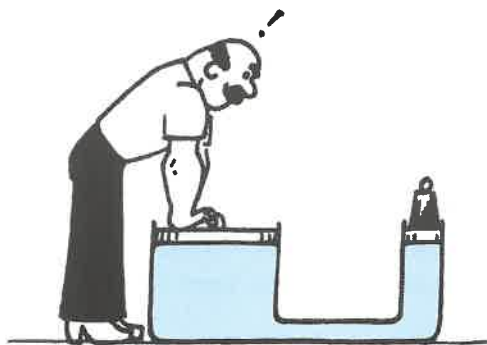
39. אילו היה שדה הכובד של כדור הארץ מתחזק, האם דג היה צף, שוקע או נותר באותו עומק?

40. באילו הבדלים היינו חשים אילו היינו שוחים במים בתחנת חלל הסובבת את כדור הארץ במרחק שבו תאוצת הנפילה החופשית היא $\frac{1}{2}g$? האם היינו צפים במים כפי שהיינו צפים בהם על כדור הארץ?

41. כשתשחררו כדור פינג-פונג מתחת לפני מים, הוא יעלה אל פניהם. האם הדבר יתרחש גם אם מכל המים יימצא במרכז של תחנת חלל הנעה במסלולה סביב הארץ? הסבירו.

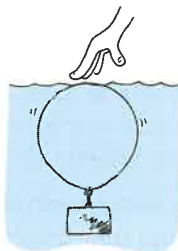
42. לרוע מזלכם אתם נופלים בשקט לתוך בריכה קטנה ושקטה שבקרקעיתא אורבים תנינים מורעבים המוקירים את חוק פסקל. מה לחוק פסקל ולהנאת התנינים?

43. במתקן ההידרולי שבאיור, שטח הבוכנה הגדולה גדול פי 50 משטח הבוכנה הקטנה. האיש החזק מקווה להפעיל כוח גדול דיו להרמת 10 הק"ג המונחים על הבוכנה הקטנה. האם, לדעתכם, יצליח בכך? נמקו.



26. אוניית-משא עמוסה בגרוטאות ברזל נמצאת בתעלה סגורה. אם ישליכו את הברזל למים, האם גובה פני המים יעלה, ירד או לא ישתנה?

27. האם גובה פני המים יעלה או ירד כשאוניית מלחמה תטבע בתעלה?



28. משקולת התלויה בבלון גורמת לכך שהוא מצליח בקושי לצוף במים. אם נדחף את הבלון פנימה, האם הוא יחזור לפני המים, יישאר בעומק שאליו הגיע או ישקע? (רמז: האם יחול שינוי בצפיפות הבלון?)

29. צפיפותה של אבן השקועה במים אינה משתנה, אך כשאנו צוללים צפיפותנו משתנה. מדוע?

30. מדוע כשאנו נושפים או צפים בגובה נמוך יותר?

31. בתשובה לשאלה מדוע גופים צפים גבוה יותר במים מלוחים מאשר במים מתוקים, אומר חברכם שמים מלוחים צפופים ממים מתוקים. (האם לעיתים קרובות עונה חברכם במתן עובדות הקשורות לתשובות אך אינו מספק סיבות מוצקות?) כיצד תענו אתם על אותה שאלה?

32. הניחו שאתם שוחים חוגרים שני גלגלי הצלה שווי-גודל - תחילה גלגל מלא בקלקר ולאחר מכן גלגל כבד מאוד המלא בגולות עופרת. אם תשתמשו בגלגלים אלה במים, באיזה מקרה כוח העילוי יהיה גדול יותר? באיזה מקרה כוח העילוי אינו מועיל? מדוע שונות התשובות זו מזו?

33. משקל מוח האדם כ-15 ניוטון. כוח העילוי שמפעילים הנוזלים שמסביב למוח הוא כ-14.5 ניוטון. האם פשר הדבר הוא שיש לפחות 14.5 ניוטון של זורם המקיף את המוח? נמקו את תשובתכם.

34. הצפיפויות היחסיות של מים, של קרח ושל כוהל הן 1.0, 0.9 ו-0.8 בהתאמה. האם קוביות קרח במשקה אלכוהולי צפות גבוה יותר או נמוך יותר משיצופו במים? מה תוכלו לומר על צפיפותו של קוקטייל שבו קוביות הקרח שקועות בתחתית הכוס?

35. האם פני המים בכוס עולים, יורדים או אינם משתנים כאשר קוביית קרח הנמצאת בכוס המים נמסה?

36. הניחו שבקוביית הקרח מהשאלה הקודמת יש בועות אוויר רבות. מה קורה לגובה פני המים בכוס כאשר הקרח נמס? מה היה קורה אילו הכילו קוביות הקרח גרגרי חול רבים?

37. דלי המלא עד מחציתו במים מונח על מאזני קפיץ. האם קריאת המאזניים תעלה או שמה לא תשתנה אם

בעיות

1. שטח החתך של הבוכנה במגבה ההידרולי שבאיור 12.20 הוא 400 ס"מ². המסה הכוללת של המכונית והמגבה היא 2000 ק"ג. חשבו מהו הלחץ שיש להפעיל על פני הזורם כדי להרים את המכונית.
2. חשבו את הלחץ שתחושו כאשר תחזיקו כדור שמסתו 5 ק"ג על קצה אצבעכם ששטחה 1 ס"מ². השוו בין לחץ זה ללחץ שחישבתם בשאלה הקודמת.
3. רפסודה מלבנית שאורכה 5 מ' ורוחבה 2 מ' צפה במים מתוקים. חשבו בכמה תשקע הרפסודה אם יעמיסו עליה סוס שמסתו 400 ק"ג.
4. הניחו שניתן להנמיך את הרפסודה מהשאלה הקודמת לעומק של 15 ס"מ נוספים בטרם יכסוה המים והיא תשקע. כמה סוסים שמסתם 400 ק"ג תוכל הרפסודה לשאת?

44. במתקן ההידרולי המוצג באיור 12.19, הכוח מוכפל ביחס השטחים שבין הבוכנה הגדולה והקטנה. יש התמהים מדוע אין חשיבות לשטח פני הנוזל במאגר שבמתקן המתואר באיור 12.20. מהו ההסבר שיבהיר את הבלבול?

45. אנו אומרים שנוזל מקבל את צורת הכלי שבו הוא נמצא. מה היתה צורתה הטבעית של בועת מים ללא כלי קיבול ובהעדר כוח הכובד?

46. מדוע ידלפו מים חמים מנקבים במקרן המכונית (הרדיאטור) במהירות רבה יותר ממים קרים?

47. האם נכון לומר שהסיבה לעליית מים בצינורות קטנים חלולים היא הנימיות? הסבירו.

48. לעיתים ניתן לראות חרקים ה"הולכים" על פני המים בבריכה מבלי לשקוע. מהו ההסבר שנותנת הפיסיקה לתופעה זו?