

נספח א מערכות היחידות

שתי מערכות עיקריות של יחידות מקובלות כיום בעולם: המערכת המטרית, או המערכת הבינלאומית (המוכרת בראשי התיבות של שמה הצרפתי: SI), נהוגה ברוב ארצות העולם, והמערכת התקנית של ארה"ב (USCS), שיש המכנים אותה עדיין מערכת היחידות הבריטית), שבה משתמשים בארה"ב וגם ב...בורמה. בכל אחת מן המערכות יש יחידות מידה לאורך, למסה ולזמן. יחידות האורך, המסה והזמן נקראות לעיתים היחידות הבסיסיות, מכיוון שלאחר קביעתן, נקבעים על פיהן גדלים אחרים.

בכנס הבינלאומי למידות ומשקלות שנערך בפריס ב-1960 הוגדרו היחידות במערכת SI ונקבע מעמדה. בטבלה 1.א מוצגות היחידות של מערכת SI וסימוניהן. SI מבוססת על השיטה המטרית, שאותה קבעו מדענים צרפתיים ב-1791, לאחר המהפכה הצרפתית. מבנה מערכת זו הופך אותה לשימושית במחקר המדעי, ומדענים ברחבי העולם כולו משתמשים בה. השיטה המטרית מתפצלת לשתי מערכות של יחידות. באחת יחידת האורך היא המטר, יחידת המסה - הקילוגרם ויחידת הזמן - השנייה. מערכת זו נקראת מערכת מטר-קילוגרם-שנייה (mks) והיא המערכת המועדפת בפיסיקה. המערכת השנייה היא מערכת הסנטימטר-גרם-שנייה (cgs), שבשל ערכיה הקטנים יותר מועדפת בכימיה. הקשר בין היחידות mks ו-cgs הוא כידוע: 100 סנטימטרים שווים ל-1 מטר; 1000 גרם שווים לקילוגרם. בטבלה 2.א מובאות כמה יחידות אורך ומוצגים הקשרים ביניהן.

המערכת הבינלאומית

מערכת USCS מבוססת על המערכת שהיתה מקובלת באימפריה הבריטית. היחידה רגל (foot) היא יחידת האורך, הליברה (pound) היא יחידת המשקל או הכוח, והשנייה - יחידת הזמן. גם בארה"ב מוחלפת כיום מערכת USCS במערכת הבינלאומית - חילוף המתרחש במהירות יחסית במדע ובטכנולוגיה ובמספר ענפי ספורט (במסלולי ריצה ובשחייה), ובאיטיות רבה בחלק מהתחומים וההתמחויות, שנראה שהשינוי בהם לא יתרחש לעולם. למשל, ממשיכים לקנות מושבים על קו ה-50 יארד במשחקי פוטבול. רוחב סרטי צילום נמדד אמנם במילימטרים, אך רוחב התקליטונים נמדד באינצ'ים. אין הבדל בין יחידות הזמן בשתי המערכות, פרט לכך שב-SI משמשת באורח בלעדי כמעט השנייה (s ולא sec) בתוספת קידומות, ואילו ב-USCS מקובלות גם הדקה, השעה, השנה וכו', המסומנות בקיצור בשתי אותיות או יותר (שעה: h ולא hr).

המערכת המקובלת בארה"ב

גודל	שם היחידה	סימון עברי	סימון לועזי
אורך	מטר	מ'	m
מסה	קילוגרם	ק"ג	kg
זמן	שנייה	ש'	s
כוח	ניוטון	נ'	N
אנרגיה	ג'ול	ג'	J
זרם חשמלי	אמפר	אמפ'	A
טמפרטורה	קלווין	קלווין	K

טבלה א.1
יחידות SI

יחידת אורך	קילומטר	מטר	סנטימטר	אינץ'	רגל	מייל
1 קילומטר =	1000	1000	100,000	39,370	3280.84	0.62140
1 מטר =	0.00100	1	100	39.370	3.28084	6.21×10^{-4}
1 סנטימטר =	1.0×10^{-5}	0.0100	1	0.39370	0.032808	6.21×10^{-6}
1 אינץ' =	2.54×10^{-5}	0.02540	2.5400	1	0.083333	1.58×10^{-5}
1 רגל =	3.05×10^{-4}	0.30480	30.480	12	1	1.89×10^{-4}
1 מייל =	1.60934	1609.34	160,934	63,360	5280	1

טבלה א.2
טבלת ההמרה בין יחידות אורך שונות

אחד היתרונות המרכזיים של המערכת המטרית הוא העובדה שהיא מבוססת על השיטה העשרונית, וכל היחידות קשורות ליחידות קטנות מהן או גדולות מהן בחילוק או בכפל בחזקות של 10. הקידומות המוצגות בטבלה א.3 הן הקידומות המקובלות לביטוי הקשרים בין היחידות.

קידומת	הגדרה
מיקרו-	מיליונית: מיקרו-שנייה היא מיליונית השנייה
מילי-	אלפית: מיליגרם הוא אלפית הגרם
סנטי-	מאית: סנטימטר הוא מאית המטר
קילו-	אלף: קילוגרם הוא 1000 גרם
מגה-	מיליון: מגה-הרץ הוא מיליון הרץ

טבלה א.3
קידומות מקובלות

המטר

בשיטה המטרית, אמת המידה לאורך התבססה במקורה על המרחק מהקוטב הצפוני לקו המשווה. מרחק זה נחשב בזמנו ל-10,000 קילומטרים בקירוב. המטר, אחד חלקי עשרה מיליון מאורך זה, הוגדר וסומן בקפידה יתרה באמצעות חריצים על מוט העשוי מסגסוגת פלטינה-אירידיום. מוט זה שמור

במכון הבינלאומי למידות ומשקלות בצרפת. המטר התקני כויל מאז במונחי אורך הגל של אור - הוא שווה ל-1,650,763.73 פעמים אורך הגל של האור הכתום הנפלט מאטומי הגז קריפטון-86. עתה, המטר מוגדר כמרחק שהאור עובר בריק במרווח זמן השווה ל-1 חלקי 299,792,458 של השנייה.



הקילוגרם

היחידה התקנית למדידת מסה, הקילוגרם, היא גוש של פלטינה שאף הוא שמור במכון הבינלאומי למידות ומשקלות בצרפת (איור א.1). הקילוגרם שווה ל-1000 גרם. גרם הוא המסה של סנטימטר מעוקב (ס"מ³) של מים ב-4° צלסיוס. (הליברה (פאונד), המשמשת עדיין בכמה ארצות, היא 0.4536 קילוגרם.)

איור א.1

הקילוגרם התקני.

השנייה

יחידת הזמן התקנית היא השנייה. עד 1956 היא הוגדרה באמצעות היממה השמשית הממוצעת, שחולקה ל-24 שעות. כל שעה חולקה ל-60 דקות וכל דקה חולקה ל-60 שניות. לפיכך, ביממה היו 86,400 שניות והשנייה הוגדרה כ-1/86,400 מהיממה השמשית הממוצעת. ב-1956 נבחרה היממה השמשית הממוצעת של שנת 1900 כאמת המידה שלפיה נקבעה השנייה. ב-1964 הוגדרה השנייה רשמית כמשך הזמן של 9,192,631,770 תנודות של אטום צזיום-133.

ניוטון

ניוטון הוא הכוח הנדרש להאצת 1 קילוגרם בתאוצה של 1 מטר לשנייה לשנייה. יחידה זו נקראת על שמו של הפיסיקאי הדגול איזק ניוטון.

ג'ול

הג'ול הוא כמות העבודה שמבצע כוח שגודלו 1 ניוטון הפועל לאורך דרך של 1 מטר. ב-1948 אומץ הג'ול כיחידת האנרגיה בכינוס הבינלאומי למידות ומשקלות. כך, החום הסגולי של מים ב-15° צלסיוס הוא 4185.5 ג'ול לקילוגרם למעלה צלסיוס. מספר זה קשור תמיד לשווה הערך המכני של החום - 4185.5 ג'ול לקלוריה.

אמפר

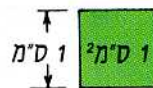
אמפר מוגדר כעוצמת הזרם הקבוע שבזורמו בשני מוליכים מקבילים בעלי אורך אינסופי ושטח חתך זניח, הנמצאים בריק במרחק של 1 מטר זה מזה, גורם להפעלת כוח ביניהם בשיעור של 2×10^{-7} ניוטון לכל מטר של אורך המוליכים. בדיוננו על הזרם החשמלי בספר זה השתמשנו בהגדרה לאמפר שאינה הגדרתו הרשמית, אך קל יותר להבינה: זרם של אמפר אחד הוא קצב זרימה של 1 קולון בשנייה. קולון הוא המטען של 6.25×10^{18} אלקטרונים.

קלווין

היחידה הבסיסית לטמפרטורה, הנקראת על שמו של המדען וויליאם תומסון, הלורד קלווין. הקלווין מוגדר כ-1/273.15 מהטמפרטורה התרמודינמית של הנקודה המשולשת של מים (הנקודה הקבועה שבה קרח, מים נוזליים ואדי מים מתקיימים זה לצד זה בשיווי משקל). ההגדרה נבחרה ב-1968, כשהוחלט לשנות את שם היחידה ממעלה קלווין ($^{\circ}\text{K}$) לקלווין (K). הטמפרטורה של נקודת ההיתוך של קרח בלחץ אטמוספירי היא 273.15 קלווין. הטמפרטורה שבה לחץ האדים של מים מזוקקים משתווה ללחץ האטמוספירי התקני היא 373.15 קלווין (זוהי טמפרטורת הרתיחה של מים בלחץ אטמוספירי תקני).

שטח

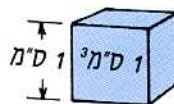
יחידת השטח היא ריבוע שאורך צלעו שווה לגודל היחידה התקנית לאורך. במערכת הבינלאומית זהו ריבוע שאורך צלעותיו 1 מטר ושטחו הוא 1 מ². בשיטת cgs זהו הס"מ². שטחו של משטח נקבע לפי מספר המטרים הרבועים או הסנטימטרים הרבועים המכסים אותו. שטחו של מלבן שווה למכפלת אורכו ברוחבו. שטחו של עיגול שווה ל- πr^2 , כאשר $\pi=3.14$ ו- r הוא רדיוס העיגול. בספרי הגיאומטריה ניתן למצוא נוסחאות לחישובי השטחים של צורות אחרות.



איור 2. ריבוע היחידה.

נפח

נפחו של עצם הוא המרחב שהוא תופס. יחידת הנפח היא המרחב שתופסת קובייה שאורך צלעה שווה לגודל יחידת האורך התקנית. בשיטה המטרית (SI) זוהי קובייה שאורך צלעה 1 מטר (1 ס"מ בשיטת cgs). סימון היחידה הוא מ³ או ס"מ³. נפחו של מרחב נקבע על פי מספר המטרים המעוקבים או הסנטימטרים המעוקבים שהוא מכיל. במערכת SI נמדדים נפחים גם בליטרים. ליטר שווה ל-1000 ס"מ³.



איור 3. קוביית היחידה.

כאשר כותבים מספרים גדולים וקטנים מקובל להשתמש בסימון מתמטי מקוצר. המספר 50,000,000 מתקבל מהכפלת 5 ב-10, ושוב ב-10, ושוב ב-10 - וכך הלאה, 7 פעמים. דרך מקוצרת להציג זאת היא כתיבת המספר כ- 5×10^7 . את המספר 0.0005 ניתן לקבל מ-5 על ידי חלוקתו ב-10 ארבע פעמים. הדרך הקצרה לבטא זאת היא לכתוב את 0.0005 כ- 5×10^{-4} . אם כך, 3×10^5 פירושו $3 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$ או 3,000,000, ו- 6×10^{-3} פירושו $6/(10 \times 10 \times 10)$ או 0.006. כתיבת מספרים בצורה מקוצרת זו נקראת הצגה מדעית.

הצגה מדעית של גדלים מספריים

$1,000,000 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10^6$	
$100,000 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10^5$	
$10,000 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10^4$	
$1000 = 10 \times 10 \times 10 = 10^3$	
$100 = 10 \times 10 = 10^2$	
$10 = 10 = 10^1$	
$1 = 1 = 10^0$	
$0.1 = 1/10 = 10^{-1}$	
$0.01 = 1/100 = 10^{-2}$	
$0.001 = 1/1000 = 10^{-3}$	
$0.0001 = 1/10,000 = 10^{-4}$	
$0.00001 = 1/100,000 = 10^{-5}$	
$0.000001 = 1/1,000,000 = 10^{-6}$	

נשתמש בהצגה המדעית כדי לבטא מספר קבועים שימושיים בפיסיקה.

מהירות האור בריק $= 2.9979 \times 10^8$ מ/ש	
1 יחידה אסטרונומית (A.u.)	
(המרחק הממוצע ארץ-שמש) $= 1.50 \times 10^{11}$ מ'	
המרחק הממוצע ארץ-ירח $= 3.84 \times 10^8$ מ'	
רדיוס קו המשווה של השמש $= 6.96 \times 10^8$ מ'	
רדיוס קו המשווה של צדק $= 7.14 \times 10^7$ מ'	
רדיוס קו המשווה של כדור הארץ $= 6.37 \times 10^6$ מ'	
רדיוס קו המשווה של הירח $= 1.74 \times 10^6$ מ'	
הרדיוס הממוצע של אטום המימן $= 5 \times 10^{-11}$ מ'	
מסת השמש $= 1.99 \times 10^{30}$ ק"ג	
מסת צדק $= 1.90 \times 10^{27}$ ק"ג	
מסת כדור הארץ $= 5.98 \times 10^{24}$ ק"ג	
מסת הירח $= 7.36 \times 10^{22}$ ק"ג	
מסת הפרוטון $= 1.6726 \times 10^{-27}$ ק"ג	
מסת הניטרון $= 1.6749 \times 10^{-27}$ ק"ג	
מסת האלקטרון $= 9.1 \times 10^{-31}$ ק"ג	
מטען האלקטרון $= 1.602 \times 10^{-19}$ קולון	