

دوره فشرده یکاها و تبدیل یکاها

درس سوم: تبدیل یکاها در فیزیک

حسین شناور

دانشگاه فرهنگیان

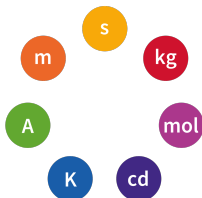


- این مجموعه درس به عنوان پروژه درس اقدام پژوهی (دانشگاه فرهنگیان - پردیس شهید بهشتی مشهد) آماده شده است. هدف از این مجموعه درس ارائه مدون مبحث یکاها و تبدیل یکاها در فیزیک، نجوم و شیمی است. برای رسیدن به این هدف، ما جزییات ریاضی این مبحث را نیز مرور کرده و تلاش می کنیم با مثال های زیاد موضوع را منتقل کنیم.
 - خواهشمندم هرگونه اشتباه نوشتاری، مفهومی و یا محاسباتی را به آدرس ایمیل من ارسال کنید تا در ویرایش های بعدی تصحیحات لازم اعمال شوند:
- h.shenavar@gmail.com
- از همفکری همکلاسی های گرامی، و استاد محترم درس سرکار خانم زنوزاده، سپاسگزارم.
 - برای ضبط این درس ها از نرم افزار *Zoom* استفاده شده است.

- ۱ تبدیل یکاها در فیزیک
- جدول های تبدیل یکا
- تبدیل پیشوندها
- تبدیل زنجیره ای یکاها

آنچه گذشت: یکاهای اصلی و فرعی

جدول ۱-۱ کمیت های اصلی و یکای آنها		
کمیت	نام یکا	نماد یکا
طول	متر	m
جرم	کیلوگرم	kg
زمان	ثانیه	s
دما	کلوین	K
مقدار ماده	مول	mol
جریان الکتریکی	آمپر	A
شدت روشنایی	کندلا (شمع)	cd



ما برای همه کمیت های مهم یکا (واحد) تعریف خواهیم کرد؛ ولی تاکنون اثبات شده است که یکای همه کمیت های فیزیکی را می توان از هفت یکای اصلی طول، جرم، زمان، بار الکتریکی، دما، مقدار ماده و درخشندگی به دست آورد. بنابراین، ما در ابتدا این هفت کمیت اصلی را تعریف کرده و سپس کمیت های ثانویه را براساس آنها تعریف خواهیم کرد.

روش پیدا کردن واحد یک کمیت ثانویه: به جز کمیت هایی که یکای آنها با واحدهای اصلی نشان داده می شوند، کمیت های بسیار دیگری در علم وجود دارند که یکای آنها را می توان با ترکیبی (ضرب و تقسیم) از واحدهای اصلی ساخت. روش کلی چنین کاری بسیار آسان است:

۱ رابطه تعریف کننده کمیت فرعی را بنویسید.

۲ واحدهای به کار رفته در رابطه را بر حسب

واحد های اصلی بنویسید.

۳ با ضرب و تقسیم واحدها، یکای کمیت

فرعی را به دست آورید.

آنچه گذشت: ریاضیات تبدیل یکاها

1. $\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{ac}{bd}$	$\frac{2}{3} \cdot \frac{5}{7} = \frac{2 \cdot 5}{3 \cdot 7} = \frac{10}{21}$
2. $\frac{a}{b} \div \frac{c}{d} = \frac{a}{b} \cdot \frac{d}{c}$	$\frac{2}{3} \div \frac{5}{7} = \frac{2}{3} \cdot \frac{7}{5} = \frac{14}{15}$
3. $\frac{a}{c} + \frac{b}{c} = \frac{a+b}{c}$	$\frac{2}{5} + \frac{7}{5} = \frac{2+7}{5} = \frac{9}{5}$
4. $\frac{a}{b} + \frac{c}{d} = \frac{ad+bc}{bd}$	$\frac{2}{5} + \frac{3}{7} = \frac{2 \cdot 7 + 3 \cdot 5}{35} = \frac{29}{35}$
5. $\frac{ac}{bc} = \frac{a}{b}$	$\frac{2 \cdot 5}{3 \cdot 5} = \frac{2}{3}$
6. If $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$, then $ad = bc$	$\frac{2}{3} = \frac{6}{9}$, so $2 \cdot 9 = 3 \cdot 6$

تبدیل یکاها را با استفاده از روش تبدیل زنجیره ای می توان انجام داد. در این روش، داده ها به صورت پی در پی در ضریب های تبدیلی برابر با یک ضرب می شوند و یکاها، مانند کمیت های جبری، به گونه ای دست کاری می شوند که فقط یکاهای مطلوب باقی بمانند.

$$\frac{x}{y} = \frac{x}{a} \frac{a}{b} \frac{b}{c} \dots \frac{q}{y}$$

برای اینکه محاسبات مربوط به تبدیل یکاها را به درستی انجام دهیم باید،

۱ واحدها را به درستی بشناسیم.

۲ محاسبات کسری را به خوبی انجام دهیم.

۳ محاسبات توانی را به خوبی انجام دهیم.

۴ محاسبات مربوط به نمادگذاری علمی را به خوبی انجام دهیم.

$$x = a \times 10^n \quad \text{If: } 1 \leq a < 10 \quad \text{and} \quad n \in \mathbb{Z}$$

Law	Example
1. $a^m a^n = a^{m+n}$	$3^2 \cdot 3^5 = 3^{2+5} = 3^7$
2. $\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$	$\frac{3^5}{3^2} = 3^{5-2} = 3^3$
3. $(a^m)^n = a^{mn}$	$(3^2)^5 = 3^{2 \cdot 5} = 3^{10}$
4. $(ab)^n = a^n b^n$	$(3 \cdot 4)^2 = 3^2 \cdot 4^2$
5. $\left(\frac{a}{b}\right)^n = \frac{a^n}{b^n}$	$\left(\frac{3}{4}\right)^2 = \frac{3^2}{4^2}$
6. $\left(\frac{a}{b}\right)^{-n} = \left(\frac{b}{a}\right)^n$	$\left(\frac{3}{4}\right)^{-2} = \left(\frac{4}{3}\right)^2$
7. $\frac{a^{-n}}{b^{-m}} = \frac{b^m}{a^n}$	$\frac{3^{-2}}{4^{-5}} = \frac{4^5}{3^2}$

چند نکته درباره جدول های تبدیل یکا

- لازم نیست این جدول ها را حفظ کنید، فقط باید بتوانید در هنگام حل مساله به آنها رجوع کنید.
- تبدیل های بسیار مهم یکا، در اثر تمرین و تکرار، معمولا به راحتی به خاطر سپرده می شوند.
- این جدول ها از ویرایش دهم کتاب مبانی فیزیک هالیدی، رزنیک، واکر (ترجمه گلستانیان-بهار) استخراج شده اند.
- یکاهای اصلی SI : هفت یکای اصلی SI که در جلسه اول معرفی شدند. مثلا متر یک یکای اصلی SI است.
- زیر یکای اصلی SI : یکاهایی که با استفاده از پیشوندها (نانو، میکرو، سانتی، میلی، کیلو، مگا، گیگا، و ...) به هفت یکای اصلی SI مربوط می شوند. مثلا میلی متر، $1\text{ mm} = 10^{-3}\text{ m}$ ، یک زیریکای اصلی SI است.
- یکاهای فرعی SI : این یکاها بر حسب هفت یکای اصلی SI تعریف می شوند (با استفاده از فرمول تعریف کننده کمیت). در این زمینه در جلسه اول بحث کردیم. مثلا m/s یک یکای فرعی SI است و برای اندازه گیری سرعت (و یا تندی) استفاده می شود.
- یکاهای غیر SI : این ها یکاهایی هستند که در خارج از سیستم بین المللی یکاها (SI)، به صورت تاریخی، تعریف شده اند و همچنان در برخی موارد استفاده می شوند. مثلا یک اینچ برابر با 2.54 cm است.

یکای بین المللی، زیر یکاهای بین المللی و یکاهای غیر SI طول

- رابطه بین واحد SI طول و واحدهای دیگر را در جدول زیر مشاهده می کنید.
- واحد SI طول با فوت پررنگ مشخص شده است.

طول

mi	ft	in	km	m	cm	
$6,214 \times 10^{-6}$	$3,281 \times 10^{-2}$	0,3937	10^{-5}	10^{-2}	1	= یک سانتی متر
$6,214 \times 10^{-4}$	3,281	39,37	10^{-3}	1	100	= یک متر
0,6214	3281	$3,937 \times 10^4$	1	1000	105	= یک کیلومتر
$1,578 \times 10^{-5}$	$8,333 \times 10^{-2}$	1	$2,540 \times 10^{-5}$	$2,540 \times 10^{-2}$	2,540	= یک اینچ
$1,894 \times 10^{-4}$	1	12	$3,048 \times 10^{-4}$	0,3048	30,48	= یک فوت
1	5280	$6,336 \times 10^4$	1,609	1609	$1,609 \times 10^5$	= یک مایل

یک یارد = 3 ft	یک سال نوری = $9,461 \times 10^{12}$ km	یک آنگستروم = 10^{-10} m
یک راد = 16,5 ft	یک پارسک = $3,084 \times 10^{13}$ km	یک مایل دریایی = 1852 m
یک میل = 10^{-3} in	یک فاتوم = 6 ft	6076 ft = 1,151 mi
یک نانومتر = 10^{-9} m	شعاع بور = $5,292 \times 10^{-11}$ m	یک فرمی = 10^{-15} m

یکای بین المللی، زیر یکاهای بین المللی و یکاهای غیر SI مساحت

- رابطه بین واحد SI مساحت و واحدهای دیگر را در جدول زیر مشاهده می کنید.
- واحد SI مساحت با فونت پررنگ مشخص شده است.

مساحت

in^2	ft^2	cm^2	m^2		
1550	$10,76$	10^4	1	=	یک مترمربع
$0,1550$	$1,076 \times 10^{-3}$	1	10^{-4}	=	یک سانتی متر مربع
144	1	929,0	$9,290 \times 10^{-2}$	=	یک فوت مربع
1	$6,944 \times 10^{-3}$	6,452	$6,452 \times 10^{-4}$	=	یک اینچ مربع

$$43560 \text{ ft}^2 = \text{یک جریب}$$

$$2,778 \times 10^7 \text{ ft}^2 = 640 \text{ جریب}$$

$$2,471 = 10^4 \text{ m}^2 = \text{یک هکتار}$$

$$10^{-28} \text{ m}^2 = \text{یک بارن}$$

یکای بین المللی، زیر یکاهای بین المللی و یکاهای غیر SI حجم

- رابطه بین واحد SI حجم و واحدهای دیگر را در جدول زیر مشاهده می کنید.
- واحد SI حجم با فوت پرننگ مشخص شده است.

حجم

in^3	ft^3	L	cm^3	m^3	
$6,102 \times 10^4$	25,31	1000	10^6	1	= یک متر مکعب
$6,102 \times 10^{-2}$	$3,531 \times 10^{-5}$	$1,000 \times 10^{-3}$	1	10^{-6}	= یک سانتی متر مکعب
61,02	$3,531 \times 10^{-2}$	1	1000	$1,000 \times 10^{-3}$	= یک لیتر
1728	1	28,23	$2,832 \times 10^4$	$2,832 \times 10^{-2}$	= یک فوت مکعب
1	$5,787 \times 10^{-4}$	$1,639 \times 10^{-2}$	16,39	$1,639 \times 10^{-5}$	= یک اینچ مکعب

یک گالن آمریکایی = 4 کوارت مایع آمریکایی = 8 پینت آمریکایی = 128 اونس مایع آمریکایی = 231 in^3

یک گالن امپریال انگلیسی = $277,4 \text{ in}^3$ = 1,201 گالن مایع آمریکایی

یکای بین المللی، زیر یکاهای بین المللی و یکاهای غیر SI جرم

- رابطه بین واحد SI جرم و واحدهای دیگر را در جدول زیر مشاهده می کنید.
- واحد SI جرم با فونت پررنگ مشخص شده است.
- واحدهایی که در زمینه تیره معلوم شده اند واحدهای وزن هستند که به واحدهای جرم در شتاب گرانشی استاندارد ($g \approx 9.8 \text{ m/s}^2$) مربوط هستند.

جرم

کمیت هایی که در زمینه ی تیره درج شده اند یکای جرم نیستند، اما اغلب به این عنوان به کار می روند. مثلاً وقتی می نویسیم $1 \text{ kg} = 2.205 \text{ lb}$ ، منظور این است که در محلی که g دارای مقدار استاندارد 9.80665 m/s^2 است، یک کیلوگرم جرمی است که 2.205 پوند وزن دارد.

ton	lb	oz	u	slug	kg	g	
$1/10^6 \times 10^{-6}$	2.205×10^{-3}	3.527×10^{-2}	6.022×10^{23}	6.852×10^{-5}	0.001	1	= یک گرم
$1/10^3 \times 10^{-3}$	2.205	35.27	6.022×10^{26}	6.852×10^{-2}	1	1000	= یک کیلوگرم
$1/609 \times 10^{-2}$	32.17	514.8	8.786×10^{27}	1	14.59	1.459×10^4	= یک اسلاگ
$1/1830 \times 10^{-30}$	3.662×10^{-27}	5.857×10^{-26}	1	$1/138 \times 10^{-28}$	1.661×10^{-27}	1.661×10^{-24}	= یک یکای جرم اتمی
3.125×10^{-5}	6.25×10^{-2}	1	1.718×10^{-25}	1.943×10^{-3}	2.185×10^{-2}	28.35	= یک اونس
0.0005	1	16	2.732×10^{26}	3.108×10^{-2}	0.2536	253.6	= یک پوند
1	2000	3.2×10^4	5.463×10^{29}	62.16	907.2	9.072×10^5	= یک تن

یک تن متریک = 1000 kg

یکای بین المللی، زیر یکاهای بین المللی و یکاهای غیر SI چگالی

- رابطه بین واحد SI چگالی و واحدهای دیگر را در جدول زیر مشاهده می کنید.
- واحد SI چگالی با فونت پررنگ مشخص شده است.
- واحدهایی که در زمینه تیره معلوم شده اند واحدهای چگالی وزنی هستند که به واحدهای چگالی جرمی در شتاب گرانشی استاندارد ($g \approx 9.8 \text{ m/s}^2$) مربوط هستند. توجه: lb/ft^3 هم یک چگالی وزنی است.

چگالی

کمیت هایی که در زمینه ی تیره درج شده اند، چگالی های وزنی هستند و به این جهت، از نظر ابعادی با چگالی های جرمی متفاوت اند. به جدول جرم رجوع کنید.

lb/in^3	lb/ft^3	g/cm^3	kg/m^3	slug/ft^3	
1.862×10^{-2}	32.17	0.5154	1515.4	1	= یک اسلاگ بر فوت مکعب
3.613×10^{-5}	6.243×10^{-2}	0.001	1	1.940×10^{-3}	= یک کیلوگرم بر متر مکعب
3.613×10^{-2}	62.43	1	1000	1.940	= یک گرم بر سانتی متر مکعب
5.787×10^{-4}	1	1.602×10^{-2}	16.02	3.108×10^{-2}	= یک پوند بر فوت مکعب
1	1728	27.68	2.768×10^2	53.71	= یک پوند بر اینچ مکعب

یکای بین المللی، زیر یکاهای بین المللی و یکاهای غیر SI زمان

- رابطه بین واحد SI زمان و واحدهای دیگر را در جدول زیر مشاهده می کنید.
- واحد SI زمان با فونت پررنگ مشخص شده است.

زمان

s	min	h	d	y		
$3,156 \times 10^7$	$5,259 \times 10^5$	$8,766 \times 10^3$	365,2	1	=	یک سال
$8,640 \times 10^4$	1440	24	1	$2,738 \times 10^{-3}$	=	یک روز
3600	60	1	$4,167 \times 10^{-2}$	$1,141 \times 10^{-4}$	=	یک ساعت
60	1	$1,667 \times 10^{-2}$	$6,944 \times 10^{-4}$	$1,901 \times 10^{-6}$	=	یک دقیقه
1	$1,667 \times 10^{-2}$	$2,778 \times 10^{-4}$	$1,157 \times 10^{-5}$	$3,169 \times 10^{-8}$	=	یک ثانیه

یکای بین المللی، زیر یکاهای بین المللی و یکاهای غیر SI تندى

- رابطه بین واحد SI تندى (سرعت) و واحدهای دیگر را در جدول زیر مشاهده می کنید.
- واحد SI تندى با فوت پررنگ مشخص شده است.

تندى

cm / s	mi / h	m / s	km / h	ft / s		
۳۰/۴۸	۰/۶۸۱۸	۰/۳۰۴۸	۱/۰۹۷	۱	=	یک فوت بر ثانیه
۲۷/۷۸	۰/۶۲۱۴	۰/۲۷۷۸	۱	۰/۹۱۱۳	=	یک کیلومتر بر ساعت
۱۰۰	۲/۲۳۷	۱	۳/۶	۳/۲۸۱	=	یک متر بر ثانیه
۴۴/۷۰	۱	۰/۴۴۷۰	۱/۶۰۹	۱/۴۶۷	=	یک مایل بر ساعت
۱	$۲/۲۳۷ \times ۱۰^{-۲}$	۰/۰۱	$۳/۶ \times ۱۰^{-۲}$	$۳/۲۸۱ \times ۱۰^{-۲}$	=	یک سانتی متر بر ثانیه

یک مایل بر دقیقه = $۶۰/۰۰۰ \text{ mi/h} = ۸۸/۰۰ \text{ ft/s}$

یک گره = یک مایل دریایی بر ساعت = $۱/۶۸۸ \text{ ft/s}$

یکای بین المللی، زیر یکاهای بین المللی و یکاهای غیر SI نیرو

- رابطه بین واحد SI نیرو و واحدهای دیگر را در جدول زیر مشاهده می کنید.
- واحد SI نیرو با فونت پررنگ مشخص شده است.

نیرو

یکاهای نیرو که در زمینه ی تیره درجه شده اند، اکنون کمتر به کار می روند. مثال: یک گرم - نیرو (مساوی با ۱gf) نیروی گرانشی وارد بر شیئی به جرم یک گرم است در محلی که g دارای مقدار استاندارد 9.80665 m/s^2 است.

kgf	gf	pdl	lb	N	dyne	
1.020×10^{-6}	1.020×10^{-3}	7.233×10^{-5}	2.248×10^{-6}	10^{-5}	۱	= یک دین
۰/۱۰۲۰	۱۰۲/۰	۷/۲۳۳	۰/۲۲۴۸	۱	۱۰۵	= یک نیوتون
۰/۲۵۳۶	۲۵۳/۶	۳۲/۱۷	۱	۴/۴۴۸	4.448×10^5	= یک پوند
1.410×10^{-2}	۱۴/۱۰	۱	3.108×10^{-2}	۰/۱۳۸۳	1.383×10^4	= یک پوندال
۰/۰۰۱	۱	7.093×10^{-2}	2.205×10^{-3}	9.807×10^{-3}	۹۸۰/۷	= یک گرم - نیرو
۱	۱۰۰۰	۷۰/۹۳	۲/۲۰۵	۹/۸۰۷	9.807×10^5	= یک کیلوگرم - نیرو

یک تن = 2000 lb

یکای بین المللی، زیر یکاهای بین المللی و یکاهای غیر SI فشار

- رابطه بین واحد SI فشار و واحدهای دیگر را در جدول زیر مشاهده می کنید.
- واحد SI فشار با فونت پررنگ مشخص شده است.

فشار

lb / ft ²	lb / in ²	Pa	cmHg	اینچ آب	dyne / cm ²	atm	
۲۱۱۶	۱۴۷۰	$۱/۰۱۳ \times ۱۰^۵$	۷۶	۴۰۶/۸	$۱/۰۱۳ \times ۱۰^۶$	۱	= یک اتمسفر
$۲/۰۸۹ \times ۱۰^{-۳}$	$۱/۴۵۰ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۱	$۷/۵۰۱ \times ۱۰^{-۵}$	$۴/۰۱۵ \times ۱۰^{-۴}$	۱	$۹/۸۶۹ \times ۱۰^{-۷}$	= یک دین بر سانتی متر مربع
۵/۲۰۴	$۳/۶۱۳ \times ۱۰^{-۲}$	۲۴۹/۱	۰/۱۸۶۸	۱	۲۴۹۱	$۲/۴۵۸ \times ۱۰^{-۳}$	= یک اینچ آب در ۴°C
۲۷/۸۵	۰/۱۴۹۳۴	۱۳۳۳	۱	۵/۳۵۳	$۱/۳۳۳ \times ۱۰^۴$	$۱/۳۱۶ \times ۱۰^{-۲}$	= یک سانتی متر جیوه در ۰°C
$۲/۰۸۹ \times ۱۰^{-۲}$	$۱/۴۵۰ \times ۱۰^{-۴}$	۱	$۷/۵۰۱ \times ۱۰^{-۴}$	$۴/۰۱۵ \times ۱۰^{-۳}$	۱۰	$۹/۸۶۹ \times ۱۰^{-۶}$	= یک پاسکال
۱۴۴	۱	$۶/۸۹۵ \times ۱۰^۳$	۵/۱۷۱	۲۷/۶۸	$۶/۸۹۵ \times ۱۰^۴$	$۶/۸۰۵ \times ۱۰^{-۲}$	= یک پوند بر اینچ مربع
۱	$۶/۹۴۴ \times ۱۰^{-۳}$	۴۷/۸۸	$۳/۵۹۱ \times ۱۰^{-۲}$	۰/۱۹۲۲	۴۷۸/۸	$۴/۷۲۵ \times ۱۰^{-۴}$	= یک پوند بر فوت مربع

* در محلی که شتاب گرانشی دارای مقدار استاندارد $۹/۸۰۶۶۵ \text{ m/s}^2$ است.

یک بار = $۱۰^۶ \text{ dyne/cm}^2 = ۰/۱ \text{ MPa}$ یک میلی بار = $۱۰^۳ \text{ dyne/cm}^2 = ۱۰^۲ \text{ Pa}$ یک تور = یک میلی متر جیوه

یکای بین المللی، زیر یکاهای بین المللی و یکاهای غیر SI انرژی، کار و گرما

- رابطه بین واحد SI انرژی، کار و گرما و واحدهای دیگر را در جدول زیر مشاهده می کنید.
- واحد SI انرژی با فونت پررنگ مشخص شده است.
- واحدهایی که در زمینه تیره معلوم شده اند واحدهای جرم هستند که با توجه به رابطه هم ارزی جرم-انرژی اینشتین $E = mc^2$ به واحدهای انرژی مربوط می شوند.

انرژی، کار، گرما

کمیت‌هایی که در زمینه تیره درج شده‌اند، یکاهای انرژی نیستند، اما در اینجا برای اطلاعات بیشتر ذکر شده‌اند. این کمیت‌ها از فرمول هم‌ارزی نسبیتی جرم - انرژی، $E = mc^2$ ناشی می‌شوند و انرژی آزاد شده را هنگام تبدیل کامل یک کیلوگرم یا یک یکای جرم اتمی یکی شده (u) به انرژی (دو ردیف پایین)، یا جرم تبدیل شده به یکی از یکاهای انرژی (دو ستون سمت چپ) را به دست می‌دهند.

u	kg	MeV	eV	kW.h	cal	J	hp.h	ft.lb	erg	Btu	
7.07×10^{12}	1.174×10^{-14}	6.585×10^{10}	6.585×10^{21}	2.93×10^{-2}	252.0	1.055	3.929×10^{-2}	777.9	1.055×10^{10}	1	= یکای بریتانیایی گرما
670.2	1.113×10^{-24}	6.242×10^5	6.242×10^{11}	2.778×10^{-14}	2.389×10^{-8}	1.0^{-7}	3.750×10^{-14}	7.376×10^{-8}	1	9.481×10^{-11}	= یک اری
9.073×10^5	1.509×10^{-17}	8.464×10^{12}	8.464×10^{18}	3.766×10^{-7}	0.3238	1.306	5.051×10^{-7}	1	1.306×10^5	1.285×10^{-3}	= یک فوت - پوند
1.799×10^{16}	2.898×10^{-11}	1.676×10^{19}	1.676×10^{20}	7.457	6.213×10^5	2.648×10^6	1	1.980×10^6	2.648×10^{13}	2545	= یک‌قوه اسب - ساعت =
6.703×10^5	1.113×10^{-17}	6.242×10^{12}	6.242×10^{18}	2.778×10^{-7}	0.2389	1	3.750×10^{-7}	0.7376	1.07	9.481×10^{-4}	= یک ژول
2.806×10^{10}	4.660×10^{-17}	2.613×10^{13}	2.614×10^{19}	1.163×10^{-6}	1	4.1868	1.056×10^{-6}	3.088	4.186×10^7	3.968×10^{-3}	= یک کالری
2.413×10^{16}	3.907×10^{-11}	2.227×10^{19}	2.227×10^{20}	1	8.600×10^5	3.600×10^6	1.341	2.650×10^6	3.600×10^{13}	3413	= یک‌کیلووات - ساعت =
1.074×10^{-14}	1.782×10^{-26}	1.06	2.40×10^{-26}	3.817×10^{-20}	1.602×10^{-19}	5.967×10^{-26}	1.82×10^{-19}	1.602×10^{-12}	1.519×10^{-22}	1.519×10^{-22}	= یک الکترون ولت
1.074×10^{-27}	1.782×10^{-27}	1.06	2.40×10^{-27}	3.817×10^{-21}	1.602×10^{-20}	5.967×10^{-27}	1.82×10^{-20}	1.602×10^{-13}	1.519×10^{-16}	1.519×10^{-16}	= یک میلیون eV
6.022×10^{26}	1	5.610×10^{29}	5.610×10^{30}	2.497×10^{10}	2.146×10^{10}	8.987×10^{16}	3.348×10^{16}	6.629×10^{16}	8.987×10^{23}	8.521×10^{13}	= یک کیلوگرم
1	1.661×10^{-27}	938.0	9.382×10^8	4.146×10^{-11}	3.054×10^{-11}	1.492×10^{-10}	5.059×10^{-17}	1.01×10^{-10}	1.492×10^{-7}	1.415×10^{-13}	= یکای جرم اتمی (u)

یکای بین المللی، زیر یکاهای بین المللی و یکاهای غیر SI توان

- رابطه بین واحد SI توان و واحدهای دیگر را در جدول زیر مشاهده می کنید.
- واحد SI توان با فونت پررنگ مشخص شده است.

توان

W	kW	cal/s	hp	ft.lb/s	Btu/h	
						یک یکای بریتانیایی
۰٫۲۹۳۰	$۲٫۹۳۰ \times 10^{-۴}$	$۶٫۹۹۸ \times 10^{-۲}$	$۳٫۹۲۹ \times 10^{-۴}$	۰٫۲۱۶۱	۱	= گرما بر ساعت
۱٫۳۵۶	$۱٫۳۵۶ \times 10^{-۳}$	۰٫۳۲۳۹	$۱٫۸۱۸ \times 10^{-۳}$	۱	۴٫۶۲۸	= یک فوت. پوند بر ثانیه
۷۴۵٫۷	۰٫۷۴۵۷	۱۷۸٫۱	۱	۵۵۰	۲۵۴۵	= یک قوه اسب
۴٫۱۸۶	$۴٫۱۸۶ \times 10^{-۳}$	۱	$۵٫۶۱۵ \times 10^{-۳}$	۳٫۰۸۸	۱۴٫۲۹	= یک کالری بر ثانیه
۱۰۰۰	۱	۲۳۸٫۹	۱٫۳۴۱	۷۳۷٫۶	۳۴۱۳	= یک کیلووات
۱	۰٫۰۰۱	۰٫۲۳۸۹	$۱٫۳۴۱ \times 10^{-۳}$	۰٫۷۳۷۶	۳٫۴۱۳	= یک وات

یکای بین المللی، زیر یکاهای بین المللی و یکاهای غیر SI میدان مغناطیسی و شار مغناطیسی

- رابطه بین واحد SI میدان مغناطیسی و شار مغناطیسی و واحدهای دیگر این دو را در جدول زیر مشاهده می کنید.
- واحد SI میدان مغناطیسی و شار مغناطیسی با فونت پررنگ مشخص شده است.

میدان مغناطیسی

میلی گاوس	تسلا	گاوس		
۱۰۰۰	10^{-4}	۱	=	یک گاوس
10^7	۱	10^4	=	یک تسلا
۱	10^{-7}	10^{-4}	=	یک میلی گاوس

یک تسلا = یک وبر بر متر مربع

شار مغناطیسی

وېر	ماکسول		
10^{-8}	۱	=	یک ماکسول
۱	10^8	=	یک وبر

یکای بین المللی و یکاهای غیر SI دما

- رابطه بین واحد SI دما (کلوین) و واحدهای دیگر دما را در جدول زیر مشاهده می کنید.

تبدیل از	به	فرمول
سانتیگراد	فارنهایت	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32$
فارنهایت	سانتیگراد	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$
سانتیگراد	کلوین	$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$
کلوین	سانتیگراد	$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$

رابطه بین واحدهای مختلف زاویه

● رابطه بین واحدهای مختلف زاویه در جدول زیر مشاهده می کنید.

زاویه ی مسطحه

rev (دور)	rad (رادیان)	□ (ثانیه)	□ (دقیقه)	° (درجه)		
$2,778 \times 10^{-3}$	$1,745 \times 10^{-2}$	3600	60	1	=	یک درجه
$4,630 \times 10^{-5}$	$2,909 \times 10^{-4}$	60	1	$1,667 \times 10^{-2}$	=	یک دقیقه
$7,716 \times 10^{-7}$	$4,848 \times 10^{-6}$	1	$1,667 \times 10^{-2}$	$2,778 \times 10^{-4}$	=	یک ثانیه
0,1592	1	$2,063 \times 10^5$	3438	57,30	=	یک رادیان
1	6,283	$1,296 \times 10^6$	$2,16 \times 10^4$	360	=	یک دور

زاویه ی فضایی

یک کره = 4π استرادیان = $12,57$ استرادیان

دیگر یکاهای اصلی SI

چهار یکای اصلی باقیمانده SI را در آینده با جزییات بررسی خواهیم کرد.

جریان الکتریکی	آمپر	A	«... جریان ثابتی است که اگر از دو سیم مستقیم موازی با طول بی نهایت و سطح مقطع دایره ای ناچیز، به فاصله ی یک متر از هم در خلاء بگذرد، میان سیم ها برای هر متر طول نیرویی برابر با 2×10^{-7} نیوتون ایجاد شود» (۱۹۴۶/۱۳۲۵)
دمای ترمودینامیکی	کلوین	K	«... $\frac{1}{273.16}$ برابر دمای ترمودینامیکی نقطه ی سه گانه آب است» (۱۹۶۷/۱۳۴۶).
مقدار ماده	مول	mol	«... مقدار ماده ی دستگاهی است، که عده ی موجودات بنیادی آن با عده ی اتم های موجود در 0.012 کیلوگرم کربن - ۱۲ برابر باشد» (۱۹۷۱/۱۳۵۰).
شدت نور	کاندلا	cd	«... شدت نور در جهت معینی از چشمه ای که تابش تکفام با بسامد 540×10^{12} Hz گسیل می کند و شدت تابش در آن جهت $\frac{1}{683}$ وات بر استرادیان است» (۱۹۷۹/۱۳۵۸).

پیشوندها به کمک ما می آیند.

۱ همانطور که پیشتر گفته شد، یکاهای بین المللی به صورتی انتخاب شده اند که اندازه گیری های مربوط به زندگی روزمره را تسهیل کنند.

۲ ولی مقادیر اندازه گیری های علمی و صنعتی معمولاً بسیار بزرگتر (و یا بسیار کوچکتر) از کمیت های روزمره هستند. یکی از راه های غلبه بر این مشکل استفاده از پیشوندهاست. به جدول زیر دقت کنید.

پیشوندهای مربوط به یکاهای SI

ضریب	پیشوند*	نماد	ضریب	پیشوند*	نماد
10^{-1}	دسی	d	10^{24}	یوتا	Y
10^{-2}	سانتی	c	10^{21}	زتا	Z
10^{-3}	میلی	m	10^{18}	اکزا	E
10^{-6}	میکرو	μ	10^{15}	پتا	P
10^{-9}	نانو	n	10^{12}	ترا	T
10^{-12}	پیکو	p	10^9	گیگا	G
10^{-15}	فمتو	f	10^6	مگا	M
10^{-18}	آتو	a	10^3	کیلو	k
10^{-21}	زپتو	z	10^2	هکتو	h
10^{-24}	یوکتو	y	10^1	دکا	da

* پیشوندهای با کاربرد متداول تر با حروف سیاه نشان داده شده اند.

مثال

- مثال ۱: اندازه میانگین یک اتم nm $\frac{1}{10}$ می باشد در حالی که اندازه هسته اتم 10000 بار کوچکتر از اندازه اتم است. اندازه اتم و هسته اتم را بر حسب متر بنویسید.
- پاسخ: در چنین مواردی، به جای n در عبارت nm $\frac{1}{10}$ به راحتی مقدار 10^{-9} را از جدول بالا قرار می دهیم:

$$10^{-10} m = 10^{-9} m \times \frac{1}{10} = 10^{-10} m$$
- بنابراین اندازه میانگین اتم برابر $10^{-10} m$ می باشد. به همین ترتیب، اندازه میانگین هسته اتم برابر است با

$$10^{-14} m = 10^{-10} m \times 10^{-4} = \frac{10^{-10} m}{10000} = \frac{10^{-10} m}{10^4}$$
اندازه میانگین هسته اتم
- دقت کنید که چطور دانسته های ما از اعداد تواندار و نمادگذاری علمی در اینجا به کار می آیند.
- مثال ۲: زمان واپاشی پایون (یک ذره زیراتمی) تقریباً برابر s 10^{-16} می باشد. این زمان را با استفاده از پیشوندها می توان به صورت $f s$ 10^{-1} و یا as 10^2 نیز نوشت.

مثال

- مثال ۳: واحد نجومی ($AU = astronomical\ unit$) به صورت فاصله میانگین بین زمین تا خورشید تعریف می شود:

$$1\ AU = 1.496 \times 10^8\ km$$

این واحد را می توان بر حسب متر به صورت زیر نوشت:

$$1\ AU = 1.496 \times 10^8\ km = 1.496 \times 10^8 \times 10^3\ m = 1.496 \times 10^{11}\ m$$

و یا AU برابر است با 1.496×10^8 ترامتر: $1\ AU = 0.1496\ Tm$.

- مثال ۴: جرم زمین برابر است با $5.972 \times 10^{24}\ kg$. این جرم را با استفاده از پیشوند بنویسید.
پاسخ: $5.972 \times 10^{24}\ kg = 5.972\ Y\ kg$ = جرم زمین

- لازم نیست همه این پیشوندها را حفظ کنید. به یاد سپردن موارد پرکاربرد کافی است.

- برای به خاطر سپردن پیشوندهایی مانند کیلو، مگا و ترا به ظرفیت حافظه های کامپیوتری مراجعه کنید.

مثال

- مثال ۵: چگالی آهن برابر 7.86 g/cm^3 می باشد. چگالی آهن برابر چه مقدار در واحد kg/m^3 می باشد؟

پاسخ: مفهوم این مقدار این است که هر سانتی متر مکعب آهن 7.86 g جرم دارد. برای تبدیل این مقدار به kg/m^3 داریم:

$$7.86 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 7.86 \frac{\cancel{\text{g}}}{\text{cm}^3} \times \frac{\text{kg}}{10^3 \cancel{\text{g}}} \times \left(\frac{10^2 \text{ cm}}{\text{m}} \right)^3$$

$$7.86 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 7.86 \times \frac{1}{10^3} \times \frac{\text{kg}}{\cancel{\text{cm}^3}} \times \frac{10^6 \cancel{\text{cm}^3}}{\text{m}^3}$$

$$7.86 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 7.86 \times \frac{10^6}{10^3} \times \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 7.86 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

مفهوم مقدار به دست آمده این است که هر متر مکعب آهن $7.86 \times 10^3 \text{ kg}$ جرم دارد.

چند نکته

- نکته: دقت کنید که عبارت اولیه فقط در عبارت هایی معادل با یک ضرب شده است؛

$$\frac{kg}{10^3 g} = 1, \quad \frac{10^2 cm}{m} = 1$$

بنابراین مقدار آن بدون تغییر باقی می ماند.

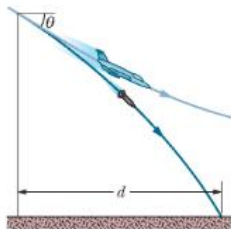
- نکته: دقت کنید که ضرایب به صورتی انتخاب شده اند که واحد های دلخواه باقی بمانند و واحدهای دیگر حذف شوند. مثلاً ما عبارت اولیه را در $1 = \frac{kg}{10^3 g}$ ضرب کرده ایم و نه

$1 = \frac{10^3 g}{kg}$ زیرا می خواهیم واحد g را حذف کنیم:

$$7.86 \frac{g}{cm^3} = 7.86 \frac{\cancel{g}}{cm^3} \times \frac{kg}{10^3 \cancel{g}} \times \left(\frac{10^2 cm}{m} \right)^3$$

- نکته: توجه کنید که g/cm^3 را به صورت $\frac{g}{cm^3}$ هم می نویسیم. همچنین kg/m^3 به صورت $\frac{kg}{m^3}$ نوشته می شود و ...

نیاز به تبدیل یکاها: در بیشتر مواقع، تبدیل واحد نخستین گام در حل مساله است.



هوایمایی مطابق شکل با سرعت 360 km/h تحت زاویه $\theta = 35^\circ$ زیر افق بسته ای را رها میکند. فاصله افقی بین نقطه رها شدن و نقطه برخورد $d = 1550 \text{ m}$ می باشد.

(الف) بسته چه مدت در هوا بوده است؟

(ب) ارتفاع نقطه رها شدن چقدر بوده است؟

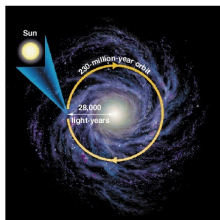
(پ) مولفه های بردار سرعت در هنگام برخورد با زمین و اندازه بردار سرعت $|\vec{v}|$ را بیابید.

سال نوری "فاصله" ای است که نور در مدت یک سال می پیماید. هر سال نوری چند متر است؟ راهنمایی: سرعت نور برابر است با $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

(ب) فاصله خورشید تا مرکز کهکشان 28000 سال نوری است. این فاصله چند متر است؟

(پ) اگر 230 میلیون سال طول بکشد تا خورشید یکبار به دور کهکشان بچرخد سرعت حرکت خورشید به دور مرکز کهکشان چند متر بر ثانیه است؟ راهنمایی: $v = 2\pi r/T$.

(ت) شتاب حرکت خورشید به دور مرکز کهکشان را با استفاده از فرمول $a = v^2/r$ و بر حسب m/s^2 به دست آورید.



Copyright © Addison Wesley

روش زنجیره ای تبدیل یکاها

تبدیل یکاها را با استفاده از روش تبدیل زنجیره ای می توان انجام داد. در این روش، داده ها به صورت پی در پی در ضریب های تبدیلی برابر با یک ضرب می شوند و یکاها، مانند کمیت های جبری، به گونه ای دست کاری می شوند که فقط یکاهای مطلوب باقی بمانند.

$$\frac{x}{y} = \frac{x}{a} \frac{a}{b} \frac{b}{c} \dots \frac{q}{y}$$

مثلا می دانیم که $60\ s = 1\ min \Rightarrow \frac{60\ s}{1\ min} = 1 \quad \text{and} \quad \frac{1\ min}{60\ s} = 1$

و یا $60\ min = 1\ h \Rightarrow \frac{60\ min}{1\ h} = 1 \quad \text{and} \quad \frac{1\ h}{60\ min} = 1$

از اینگونه برابری ها می توانیم برای تبدیل یکاها استفاده کنیم. به مثال زیر دقت کنید.

مثال ۱: یک سال چند ثانیه است؟

پاسخ: برای حل این سوال باید سال را به روز، روز را به ساعت، ساعت را به دقیقه و دقیقه را به ثانیه تبدیل کنیم:

$$1\ y = 1\ y \times \frac{365/25\ day}{y} = 365/25\ day \times \frac{24\ h}{day} = 365/25 \times 24\ h$$

$$1\ y = 8766\ h \times \frac{60\ min}{h} = 8766 \times 60\ min = 525960\ min \times \frac{60\ s}{min}$$

$$1\ y = 31557600\ s = 3.156 \times 10^7\ s$$

مثال های دیگر از روش زنجیره ای تبدیل یکاها

● مثال ۲: خودرویی با سرعت 70 km/h در حال حرکت است. سرعت این خودرو را بر حسب مایل بر ساعت و متر بر ثانیه به دست آورید.

● پاسخ) می توانیم سرعت خودرو بر حسب مایل بر ساعت را از جدول یکاهای طول (تبدیل کیلومتر به مایل) به دست آوریم:

$$70 \cdot \frac{\text{km}}{\text{h}} = 70 \cdot \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{\text{mi}}{1.609 \text{ km}}$$

$$70 \cdot \frac{\text{km}}{\text{h}} = 70 \cdot \frac{\cancel{\text{km}}}{\text{h}} \frac{\text{mi}}{1.609 \cancel{\text{km}}} = \frac{70}{1.609} \frac{\text{mi}}{\text{h}} = 43.505 \frac{\text{mi}}{\text{h}}$$

دقت کنید که در اینجا واحد زمان (ساعت) را بدون تغییر رها کرده ایم. برای پیدا کردن سرعت خودرو بر حسب متر بر ثانیه هم داریم:

$$70 \cdot \frac{\text{km}}{\text{h}} = 70 \cdot \frac{\cancel{\text{km}}}{\cancel{\text{h}}} \frac{10^3 \text{ m}}{\cancel{\text{km}}} \frac{\cancel{\text{h}}}{60 \times 60 \text{ s}} = 70 \times \frac{1000}{3600} \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{70}{3.6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 19.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

در این مورد واحد زمان (ساعت) را نیز تغییر داده ایم.

● نکته: برای تبدیل سرعت بر حسب کیلومتر بر ساعت به سرعت بر حسب متر بر ثانیه، عدد مورد نظر را بر 3.6 تقسیم کنید.

مثال های دیگر از روش زنجیره ای تبدیل یکاها

● مثال ۳: زمین با سرعت 30 km/s به دور خورشید در حال حرکت است. مقدار این سرعت را بر حسب واحد نجومی بر سال AU/y به دست آورید.

● پاسخ) باید شیوه تبدیل کیلومتر به واحد نجومی، و همچنین ثانیه به سال را بدانیم:

$$30 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 30 \frac{\cancel{\text{km}}}{\cancel{\text{s}}} \times \frac{AU}{1.496 \times 10^8 \cancel{\text{km}}} \times \frac{3.155 \times 10^7 \cancel{\text{s}}}{y} =$$

$$30 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 30 \times \frac{3.155}{1.496} \times \frac{10^7}{10^8} \times \frac{AU}{y} = 6.326 \frac{AU}{y}$$

دقت کنید که مقدار 6.326 بسیار نزدیک به مقدار عدد 2π است. آیا دلیل این اتفاق را می دانید؟

دستگاه واحدهای سانتیمتر-گرم-ثانیه (cgs)

واحدهای سی جی اس (به انگلیسی: *CGS units*) سرواژه *Centimetre – Gram – Second* (سانتیمتر-گرم-ثانیه) یکی از دستگاههای اندازه گیری است. یکاهای مکانیکی در این سیستم با یکاهای دستگاه بین المللی مرتبط هستند؛ هرچند، برای یکاهای الکترومغناطیسی واحدهای متفاوتی پیشنهاد شده است.

واحدهای مکانیکی سی جی اس

ابعاد	واحد	تعریف	اس آی
طول	سانتیمتر	1/100 از متر	$= 10^{-2} \text{ m}$
جرم	گرم	1/1000 از کیلوگرم	$= 10^{-3} \text{ kg}$
زمان	ثانیه	1 ثانیه	$= 1 \text{ s}$
نیرو	دین	$\text{g cm} / \text{s}^2$	$\text{N } 10^{-5} =$
انرژی	ارگ	$\text{g cm}^2 / \text{s}^2$	$\text{J } 10^{-7} =$
توان	ارگ در ثانیه	$\text{g cm}^2 / \text{s}^3$	$\text{W } 10^{-7} =$
فشار	باری	$\text{g} / (\text{cm s}^2)$	$= 10^{-1} \text{ Pa}$
گرانروی دینامیک	پواز	$\text{g} / (\text{cm s})$	$= 10^{-1} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

نکات مهم این درس

انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید نکات اساسی تبدیل یکاها در فیزیک را بیان کنید. برای اینکار لازم است بتوانید به سوال های زیر پاسخ دهید:

- ۱ در اینترنت جستجو کرده و جدول های تبدیل یکا را بیابید.
- ۲ منظور از یکای اصلی SI چیست ؟
- ۳ منظور از زیریکای اصلی SI چیست ؟
- ۴ منظور از یکای فرعی SI چیست ؟
- ۵ منظور از یکای غیر SI چیست ؟
- ۶ واحدهای SI طول، زمان، جرم، حجم، مساحت، چگالی، تندی، نیرو، انرژی، فشار و توان را نام ببرید.
- ۷ دمای سانتی گراد چطور به دمای کلون تبدیل می شود؟ دمای سانتی گراد چطور به دمای فارنهایت تبدیل می شود؟
- ۸ پیشوندهای مهم برای جایگزینی 10^3 ، 10^6 ، 10^9 ، 10^{-3} ، 10^{-6} ، و 10^{-9} را نام ببرید.
- ۹ روش تبدیل زنجیره ای یکاها را توضیح دهید.
- ۱۰ توضیح دهید که درک درست کسرها، توان و نمادگذاری علمی چطور می تواند به فهم صحیح تبدیل واحدها کمک کند.

اگر درباره هرکدام از مفاهیم یاد شده بالا مشکلی احساس می کنید، لطفا درس را یک بار دیگر مرور کنید.

فراوش نکنیم که بهترین راه برای درک و ”درونی سازی“ مفاهیم ریاضی و فیزیک، حل مساله است. به همین دلیل سعی کنید دانسته های خود را با حل سوالات زیر محک زده و تقویت کنید.

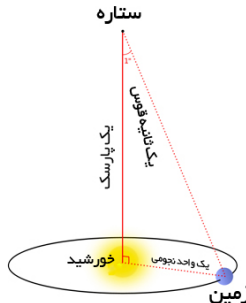
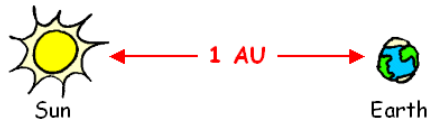


تمرین

- ۱ اگر یک پوند (lb) برابر ۱۶ اونس (oz) باشد، ۲۳۸ اونس برابر چقدر پوند خواهد بود؟
- ۲ سرعت متحرکی برابر 45 mi/h (مایل بر ساعت) است. این سرعت برابر چند فوت بر ثانیه است؟
- ۳ سی فوت مکعب (30 ft^3) چند یارد مکعب (yd^3) است؟
- ۴ یک سال نوری چند متر است؟ یک متر چند سال نوری است؟ یک سال نوری چند واحد نجومی (AU) است؟
- ۵ دمای یک لیوان آب ۱۲ درجه سانتی گراد است. دمای آب را بر حسب کلوین و فارنهایت گزارش کنید.
- ۶ مساحت کشور ایران برابر است با 1648195 km^2 . مساحت ایران را بر حسب m^2 ، cm^2 ، ft^2 ، mi^2 و in^2 گزارش کنید.
- ۷ زمین کره است به شعاع 6370 km . مساحت کره زمین را بر حسب km^2 ، m^2 ، cm^2 ، ft^2 ، yd^2 ، mi^2 و in^2 گزارش کنید.
- ۸ سی گالن مایع (آمریکایی) چند لیتر است؟ این مقدار چند مترمکعب است؟

مبحث بعدی: تبدیل یکاها در نجوم

در جلسه بعد با برخی یکاهای مهم مورد استفاده در نجوم و شیوه تبدیل آنها به یکدیگر آشنا خواهیم شد. اگر به مباحث نجومی علاقه ندارید می توانید از درس بعدی صرف نظر کنید؛ هرچند در درس بعد خواهیم آموخت که دانشمندان چطور یکاهای جدید (متناسب با مساله) را ابداع می کنند.



مراجع

- ❶ یکاها و ابعاد کمیت های فیزیکی، نوشته ال. ای. سنا، ترجمه مسعود میرشکار، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۶۶
- ❷ مبانی فیزیک هالیدی، رزینیک، واکر، ویرایش دهم، ترجمه گلستانیان-بهار، انتشارات مبتکران، ۱۳۹۷
- ❸ Halliday, David, Robert Resnick, and Jearl Walker; Fundamentals of physics, 10th edn. John Wiley & Sons, 2014.
- ❹ Halliday, D., R. Resnick, and K. S. Krane. "Physics, 5th edn." (2002).
- ❺ Ohanian, Hans C., and John T. Markert. Physics for engineers and scientists, 3th edn. 2007.
- ❻ Young, Hugh D., Roger A. Freedman, and Albert Lewis Ford. Sears and Zeman-sky's university physics, 13th edn. Pearson education, 2006.

با سپاس از توجه شما،
لطفاً ما را در شبکه های
اجتماعی دنبال کنید.