

فیزیک مکانیک

اندازه گیری، یکاها و ابعاد

حسین شناور

گروه فیزیک، دانشکده علوم

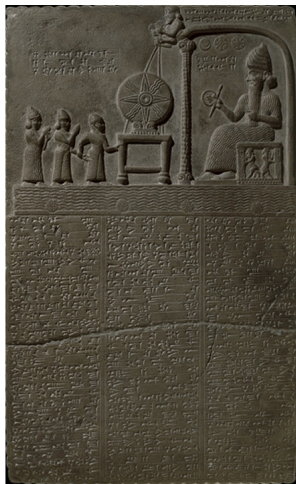


دانشگاه هرمزگان

- این مجموعه درس در ایام همه گیری کرونا در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۹ و با سرعتی بیش از حد معمول تهیه شده است؛ بنابراین، امکان وجود اشتباهات در این ارائه وجود دارد.
 - 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 همکاران محترم در دانشگاه صنعتی قوچان که، با تلاش بسیار، امکان ارائه آنلاین این مجموعه درس را فراهم آورده اند، سپاسگزارم.

- ۱ اندازه گیری، یکاها و ابعاد
- اندازه گیری و یکاهای اصلی
- تحلیل ابعادی

مرز علم-غیر علم، اندازه‌گیری دقیق و با معنی است.



شکل از <https://sci.esa.int/>

بخش‌هایی از دانش بشری که براساس اندازه‌گیری‌های دقیق و سیستماتیک بنا شده‌اند، در قرون گذشته اهمیت فوق‌العاده‌ای پیدا کرده‌اند. این شاخه‌های علم تاکنون زندگی روزمره انسان را متحول کرده‌اند.

دوره مدرن فیزیک، به صورت معنی‌داری، با دقت اندازه‌گیری دستگاه‌ها درهمتنیده شده است؛ به این معنا که با افزایش دقت دستگاه‌ها، نظریه‌های فیزیکی به مراتب بهبود پیدا کرده‌اند و با بهبود نظریه‌ها، دقت دستگاه‌ها بیشتر شده است.

در علم همیشه درباره کمیت‌های "قابل اندازه‌گیری" صحبت می‌کنیم. به بیان دقیق‌تر، کمیت‌هایی که قابلیت اندازه‌گیری نداشته باشند، در علوم جایگاهی ندارند.

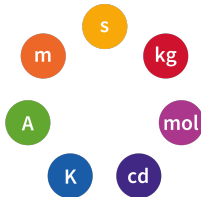
مثال معاصر: پیشتر کیهان‌شناسی بیشتر براساس حدسیات فلسفی درباره منشأ و شکل جهان بنا شده بود و بنابراین چندان شکل علمی نداشت. ولی در حال حاضر، با اندازه‌گیری‌های دقیق فاصله، فرکانس، زاویه و ... این دانش جزء لاینفک فیزیک محسوب شده و بسیاری از حدسیات گذشته رد شده و یا بهبود یافته‌اند. این پیشرفت‌ها در کمتر از صد سال اخیر اتفاق افتاده‌اند.

تمام کمیت‌های مطرح در این کتاب، به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم، قابل اندازه‌گیری هستند.

با اندازه‌گیری برخی از کمیت‌های پایه (مثل زمان، طول و جرم) و غیر پایه (مثل حجم، چگالی، سرعت، شتاب و ...) در آزمایشگاه آشنا خواهید شد.

یکاهای اصلی در فیزیک

SI base unit		
Base quantity	Name	Symbol
length	meter	m
mass	kilogram	kg
time	second	s
electric current	ampere	A
thermodynamic temp	kelvin	K
amount of substance	mole	mol
luminous intensity	candela	cd



شکل ها از نت

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.

مثلا واحد طول، متر m و واحد زمان ثانیه s می باشد؛ بنابراین، واحد سرعت (که آهنگ تغییر در موقعیت است) به صورت m/s به دست می آید. همچنین، شتاب آهنگ تغییر در سرعت می باشد. بنابراین واحد شتاب به صورت m/s^2 به دست می آید. در انتها، با توجه به اینکه واحد جرم کیلوگرم می باشد، می توان واحد نیرو را با استفاده از قانون دوم نیوتن به صورت زیر به دست آورد:

$$F = ma \quad \Rightarrow \quad N = kg \frac{m}{s^2}$$

واحد نیرو را نیوتن N می نامیم.

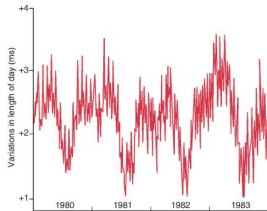
پیشتر، یکای کولن C به عنوان واحد بار الکتریکی یکی از یکاهای اصلی به شمار می آمد. ولی اندازه گیری بار الکتریکی مشکل است در حالی که اندازه گیری برخی کمیت های وابسته به آن (به ویژه جریان الکتریکی) بسیار راحت تر و دقیق تر است. بنابراین، دانشمندان تصمیم گرفتند که به جای بار الکتریکی از جریان الکتریکی به عنوان یکی از یکاهای اصلی استفاده کنند.

ما در این کتاب از سیستم بین المللی یکاها SI

Le Systeme International d'Units

استفاده خواهیم کرد.

ثانیه: یکای زمان



در طول قرون گذشته واحدهای زیادی برای اندازه‌گیری زمان معرفی شده اند که مشهورترین، و پرکاربردترین آنها، سیستم ثانیه-دقیقه-ساعت-روز-سال- قرن... است. این یکاها بر اساس حرکت وضعی و انتقالی زمین (روز و سال) معرفی شده اند؛ ولی، اندازه‌گیری های دقیق نشان داده اند که این مقادیر ثابت نیستند.

هرچند، ما برای دقت هرچه بیشتر، نیاز به ثبات یکاها داریم. به همین دلیل، در قرون گذشته، دستگاه های بسیاری برای اندازه‌گیری هرچه دقیق تر زمان ابداع شده اند.

دو معیار مهم یک یکای خوب: دقیق بودن و در دسترس بودن.

شکل ها از فیزیک هالیدی، ویرایش پنجم، و ویکی.



ثانیه: یکای زمان

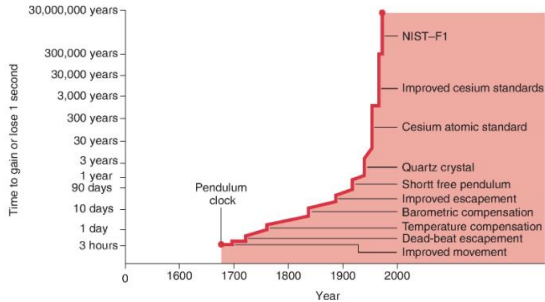
**TABLE 1-3** Some Measured Time Intervals^a

Time Interval	Seconds
Lifetime of proton	$>10^{40}$
Half-life of double beta decay of ^{82}Se	3×10^{27}
Age of universe	5×10^{17}
Age of pyramid of Cheops	1×10^{11}
Human life expectancy (U.S.)	2×10^9
Time of Earth's orbit around the Sun (1 year)	3×10^7
Time of Earth's rotation about its axis (1 day)	9×10^4
Period of typical low-orbit Earth satellite	5×10^3
Time between normal heartbeats	8×10^{-1}
Period of concert-A tuning fork	2×10^{-3}
Period of oscillation of 3-cm microwaves	1×10^{-10}
Typical period of rotation of a molecule	1×10^{-12}
Shortest light pulse produced (1990)	6×10^{-15}
Lifetime of least stable particles	$<10^{-23}$

^a Approximate values.

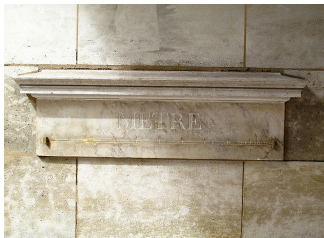
در حال حاضر از ساعت های اتمی برای اندازه‌گیری دقیق زمان استفاده می‌شود.

ثانیه استاندارد: برابر با 9192631770 زمان تناوب در یک طول موج خاص اتم سزیم 133 می‌باشد.



شکل ها از فیزیک هالیدی، ویرایش پنجم.

متر: یکای طول



Measurement	Length in Meters
Distance to the first galaxies formed	2×10^{26}
Distance to the Andromeda galaxy	2×10^{22}
Distance to the nearby star Proxima Centauri	4×10^{16}
Distance to Pluto	6×10^{12}
Radius of Earth	6×10^6
Height of Mt. Everest	9×10^3
Thickness of this page	1×10^{-4}
Length of a typical virus	1×10^{-8}
Radius of a hydrogen atom	5×10^{-11}
Radius of a proton	1×10^{-15}

فرهنگ های مختلف، تا دو قرن پیش، از یکاهای گوناگونی برای اندازه گیری طول استفاده می کرده اند.

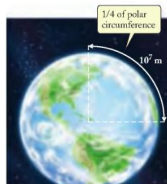
نمونه های ایرانی: ذرع، گز، ارش (یا ارج و یا ذراع)، چارک، گره، بهر و وجب. آیا شما نیز واحد دیگری را برای اندازه گیری طول می شناسید؟

تنوع یکاها امکان تقلب را افزایش می دهد. همچنین، این تنوع مقایسه نتایج علمی را سخت تر می کند. بنابراین، پس از انقلاب فرانسه، در سال ۱۷۹۲ تصمیم بر آن شد که آحاد یکسان و بدون تغییری ایجاد شوند. این تصمیم، در نهایت منجر به تاسیس انجمن بین المللی اوزان و مقادیر شد.

متر در ابتدا به عنوان یک ده میلیونم فاصله استوا تا قطب شمال تعیین شد. ولی این یکا چندان در دسترس همگانی نیست. بنابراین، در ادامه، متر به عنوان فاصله بین دو خراش ریز بر روی یک استوانه از جنس پلاتین-ایریدیم (که در موزه سور پاریس نگهداری می شود) تعریف شد.

متر های ثانویه دیگری از متر استاندارد تهیه و به نقاط مختلف ارسال شد. ولی، با ساختن هر کپی، دقت مترها کاهش می یابد. چرا؟

شکل ها از ویکی، فیزیک هالیدی، ویرایش دهم و اوهایان.



متر: یکای طول



در سال ۱۹۶۰، به جهت دستیابی به دقت بیشتر، متر به صورت $۱۶۵۰۷۶۳/۷۳$ برابر طول موج تابشی نارنجی-قرمز اتم کپتون-۸۶ تعریف شد.

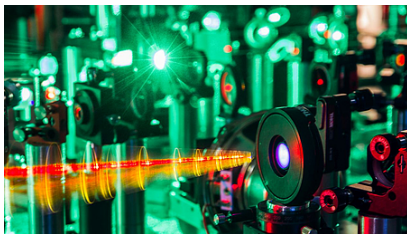
در نهایت، تا سال ۱۹۸۳، اندازه گیری سرعت نور فوق العاده دقیق تر از اندازه گیری فاصله شده بود. بنابراین، سرعت نور به صورت دقیق

$$c = ۲۹۹۷۹۲۴۵۸ \text{ m/s}$$

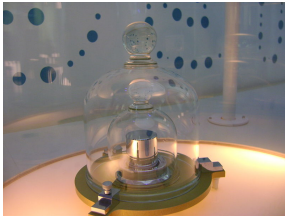
تعریف شد. با استفاده از این تعریف، متر استاندارد به صورت فاصله ای تعریف شد که نور در خلاء در زمان $\frac{1}{۲۹۹۷۹۲۴۵۸}$ می پیماید.

شکل ها از ویکی، فیزیک هالیدی، ویرایش دهم و <https://www.iqo.uni-hannover.de/>

Measurement	Length in Meters
Distance to the first galaxies formed	2×10^{26}
Distance to the Andromeda galaxy	2×10^{22}
Distance to the nearby star Proxima Centauri	4×10^{16}
Distance to Pluto	6×10^{12}
Radius of Earth	6×10^6
Height of Mt. Everest	9×10^3
Thickness of this page	1×10^{-4}
Length of a typical virus	1×10^{-8}
Radius of a hydrogen atom	5×10^{-11}
Radius of a proton	1×10^{-15}



کیلوگرم: یکای جرم



جرم و وزن نیز در فرهنگ های مختلف با آحاد گوناگونی اندازه گیری می شده اند.

برخی واحدهای جرم و وزن در ایران باستان: سوت، قیراط، سیر، پانزده، سیه، هفت درم، چارک، صدی، خوار، نخود، مثقال، من (تبریز، اصفهان و ...). آیا شما واحد دیگری می شناسید؟

واحد SI جرم استوانه ای از جنس پلاتین-ایریدیم می باشد (شکل مقابل، بالا) که در موزه سور در نزدیکی پاریس نگهداری می شود.

واحد اتمی جرم (u) برابر است با $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن- 12 :

$$1u = 1.66053886 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

شکل ها از فیزیک هالیدی، ویرایش دهم.

Object	Mass in Kilograms
Known universe	1×10^{53}
Our galaxy	2×10^{41}
Sun	2×10^{30}
Moon	7×10^{22}
Asteroid Eros	5×10^{15}
Small mountain	1×10^{12}
Ocean liner	7×10^7
Elephant	5×10^3
Grape	3×10^{-3}
Speck of dust	7×10^{-10}
Penicillin molecule	5×10^{-17}
Uranium atom	4×10^{-25}
Proton	2×10^{-27}
Electron	9×10^{-31}

تغییرات جدید در سیستم یکاها

اگر مایل هستید با تغییرات اخیر در سیستم بین المللی یکاها آشنا شوید، به سخنرانی آقای دکتر اجتهادی، عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شریف و رئیس انجمن فیزیک ایران، در آپارات رجوع کنید.

عنوان سخنرانی: یک کیلوگرم چقدر است؟ لزوم تغییر کتابهای درسی.

لینک آپارات:

<https://www.aparat.com/v/XOERI?playlist=416829>

جستجوی ویدئوهای رویدادهای شخصیتها و ...

آپارات

بارگذاری ویدئو +

باشگاه فیزیک تهران
انجمن فیزیک ایران - physics Society of Iran ... ۳/۱

یک کیلوگرم چقدر است؟ لزوم تغییر کتابهای درسی - باشگاه فیزیک تهران - انجمن فیزیک ایران - Society of Iran ... ۱:۳۳:۲۵

نود و نه درصد نامرئی - باشگاه فیزیک تهران - جلسه IYA - انجمن فیزیک ایران - Society of Iran ... ۱:۴۱:۱۳

باشگاه فیزیک تهران - جلسه IYV - مدل سازی، پس بینی و پیش بینی پدیده های انجمن فیزیک ایران - Society of Iran ... ۱:۳۰:۵۹

ثابت های فیزیکی

ثابت های فیزیکی	علامت	مقدار	فیزیک
سرعت نور	c	$299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$	$c = f\lambda, c = (\epsilon_0\mu_0)^{-1/2}$
ثابت پلانک	h	$6.62607015 \times 10^{-34}\text{ J s}$	$E = hf, E = mc^2$
ثابت بولتزمن	k_B	$1.380\,649 \times 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$	$E = k_B T$
عدد آوگادرو	N_A	$6.02214076 \times 10^{23}$	$R = k_B N_A$
بار الکترون	e	$1.602176634 \times 10^{-19}\text{ C}$	

یک کیلوگرم چقدر است؟ لزوم تغییر کتابهای درسی - باشگاه فیزیک تهران - جلسه ۱۷۹

پیشوندها و نمادگذاری علمی

Factor	Prefix ^a	Symbol
10^{24}	yotta-	Y
10^{21}	zetta-	Z
10^{18}	exa-	E
10^{15}	peta-	P
10^{12}	tera-	T
10^9	giga-	G
10^6	mega-	M
10^3	kilo-	k
10^2	hecto-	h
10^1	deka-	da
10^{-1}	deci-	d
10^{-2}	centi-	c
10^{-3}	milli-	m
10^{-6}	micro-	μ
10^{-9}	nano-	n
10^{-12}	pico-	p
10^{-15}	femto-	f
10^{-18}	atto-	a
10^{-21}	zepto-	z
10^{-24}	yocto-	y

یکاهای *SI* به صورتی انتخاب شده اند که در محاسبات مربوط به مسائل روزمره، اعداد مورد نظر بسیار بزرگ و یا بسیار کوچک نباشند.

ولی در کاربرد های علمی و فنی، اعداد لزوما از مرتبه یک، ده، صد و غیره نیستند بلکه ممکن است فوق العاده کوچک و یا فوق العاده بزرگ باشند. به عنوان مثال، جدول مقادیر زمان، طول و جرم را در بالا ببینید.

برای کارکردن با این نوع عددها دو راه داریم. نخست، استفاده از پیشوندهاست (جدول مقابل را ملاحظه کنید).

راه دوم استفاده از واحدهای غیر *SI* ولی هماهنگ با فیزیک مساله است. به عنوان مثال، اسلاید مربوط به واحدهای نجومی را ببینید (بعدا با یکاهای اتمی آشنا خواهید شد).

واحدهای زاویه

degrees	radians	revolutions
0	0	0
30	$\pi/6$	1/12
45	$\pi/4$	1/8
60	$\pi/3$	1/6
90	$\pi/2$	1/4
120	$2\pi/3$	1/3
135	$3\pi/4$	3/8
180	π	1/2
225	$5\pi/4$	5/8
270	$3\pi/2$	3/4
315	$7\pi/4$	7/8
360	2π	1

ناکنون یکاهای مختلفی برای اندازه گیری زاویه معرفی شده اند:

دور.

درجه: هر دور برابر 360° درجه است.

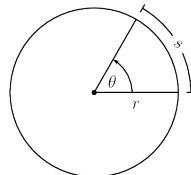
گرادیان: هر دور برابر 400° گرادیان است.

رادیان: هر دور برابر 2π رادیان است. واحد رادیان اهمیت هندسی و فیزیکی فوق العاده ای دارد زیرا روابط فیزیک و ریاضی در این واحد به ساده ترین صورت (بدون ثوابت اضافی) نوشته می شوند.

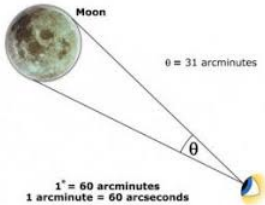
رابطه اساسی

$$s = r\theta$$

برای طول کمانی از دایره به شعاع r را به خاطر بسپارید. این رابطه فقط و فقط در صورتی درست است که زاویه θ بر حسب رادیان باشد.



زوایای بسیار کوچک



برای زوایای بسیار کوچک، مخصوصاً در نجوم و کیهان شناسی، از دقیقه قوسی و ثانیه قوسی استفاده می شود.

یک درجه برابر با 60 دقیقه قوسی است:

$$1^\circ = 60'$$

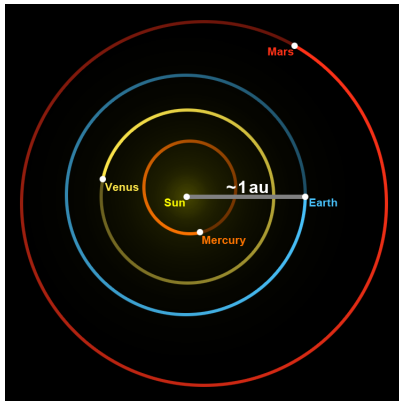
یک دقیقه قوسی برابر با 60 ثانیه قوسی است:

$$1' = 60''$$

شکل ها از کتاب



واحدهای نجومی برای منظومه شمسی



شکل ها از ویکی.

واحدهای SI برای اندازه گیری ابعاد منظومه شمسی بسیار کوچکند. بنابراین، در ابعاد منظومه شمسی، از واحد های زیر استفاده می شود:

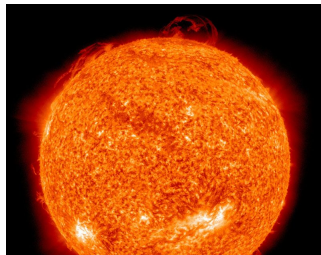
سال به عنوان واحد زمان.

واحد نجومی ($AU = \text{Astronomical Unit}$) به عنوان واحد طول که برابر فاصله میانگین زمین تا خورشید است:

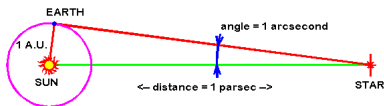
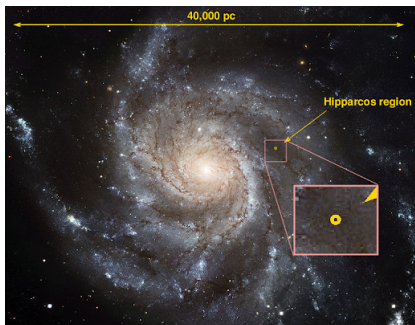
$$AU = 149597870700 \text{ m}$$

جرم خورشید ($M_{\odot}$) به عنوان واحد جرم:

$$M_{\odot} = (1.98847 \pm 0.000007) \times 10^{30} \text{ kg}$$



واحدهای نجومی برای کهکشان و ابعاد بزرگتر



در ابعاد کهکشانی، حتی واحدهای نجومی بالا هم چندان مفید نیستند. بنابراین معمولاً از واحدهای دیگری استفاده می‌شود.

واحد زمان: یکی از واحدهای زمانی استفاده شده، طول عمر کیهان است که برابر $13,7$ میلیارد سال برآورد شده است. همچنین، از عکس ثابت هابل $\frac{1}{H_0}$ به عنوان یک واحد زمانی استفاده می‌شود (به مساله مربوطه در انتهای درس رجوع کنید).

پارسک (pc) به عنوان واحد طول: زاویه یک ثانیه قوسی $1''$ رویه رو به قطاعی به طول یک واحد نجومی AU را در نظر بگیرید. شعاع چنین دایره ای برابر یک پارسک است:

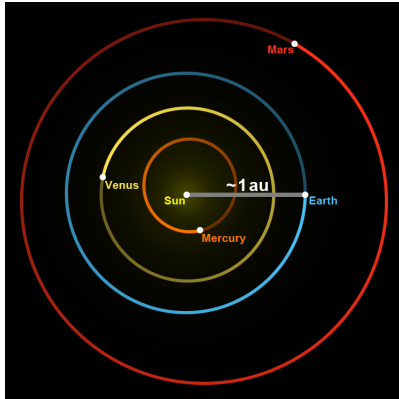
$$pc = 3,085677581 \times 10^{16} m$$

معمولاً از $(10^1 M_{\odot})$ به عنوان واحد جرم استفاده می‌شود.

لطفاً دقت کنید که لازم نیست این یکاها را به خاطر بسپارید. فقط کافی است با این مفهوم آشنا شوید که در هر مساله فیزیکی ممکن است که یکاهای متناسب با آن مساله را تعریف کنیم و باید بدانیم چطور یکاهای مورد استفاده در یک مساله خاص را به یکاهای بین المللی SI تبدیل کنیم.

شکل‌ها از ویکی و <http://spiff.rit.edu/>

تبدیل واحدها



از قاعده تبدیل زنجیره ای برای تبدیل واحدها استفاده می کنیم.

مثال: سرعت حرکت زمین به دور خورشید، بنا به تعریف، برابر $2\pi \frac{AU}{year}$ می باشد. این سرعت را بر حسب km/s به دست آورید.

پاسخ:

$$v = 2\pi \frac{AU}{year} = 2\pi \frac{149597870700 \text{ m}}{365/25 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ s}}$$

$$v = 29785/25 \text{ m/s}$$

بنابراین:

$$v \approx 30 \text{ km/s}$$

تمرین: سرعت حرکت خورشید به دور مرکز کهکشان تقریباً برابر 200 km/s می باشد. این سرعت را بر حسب $k \text{ pc/year}$ به دست آورید.

شکل از ویکی.

فرمول های فیزیکی باید از لحاظ ابعادی صحیح باشند.

● به لحاظ منطقی انتظار داریم که همه جملاتی که در یک رابطه ریاضیاتی با هم جمع می شوند همجنس باشند (زیرا مقایسه کردن سیب و پرتقال بی معنی است!).
یعنی در رابطه

$$a + b + \dots = c + d + \dots$$

باید جنس کمیت های a, b, c و ... یکی باشد. برای درک این نکته باید تحلیل ابعادی بدانیم.

● بُعد جرم را با M ، بُعد زمان را با T و بُعد طول را با L نشان می دهیم (در این درس با بعد چهار کمیت اصلی دیگر سروکار نخواهیم داشت). در این صورت می توان به راحتی ابعاد مربوط به هر کمیت دیگر را با استفاده از فرمول مربوطه به دست آورد.

● مثلاً با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow [v] = \frac{[x]}{[t]} = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

نماد $[]$ نشان دهنده بُعد است.

● و یا با توجه به تعریف شتاب متوسط داریم:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow [a] = \frac{[v]}{[t]} = \frac{LT^{-1}}{T} = LT^{-2}$$

دقت کنید که بعد یک کمیت را می توانید از هر فرمول درست دیگر، که شامل آن کمیت است، نیز به دست آورید.

● بعد نیرو:

$$F = ma \Rightarrow [F] = [m][a]$$

$$[F] = MLT^{-2}$$

● ثابت های ریاضیاتی (مثل، π ، e و ... بعدی برابر یک دارند:

$$[2] = [55] = [\pi] = [e] = 1$$

اکثر ثوابت فیزیکی مثل ثابت گرانش نیوتن G ، ثابت کولن K و ... بعد دارند.

● بعد انرژی:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow [K] = \left[\frac{1}{2}mv^2 \right]$$

$$[K] = \left[\frac{1}{2} \right] [m] [v^2]$$

$$[K] = 1 \times M (LT^{-1})^2 = ML^2T^{-2}$$

نشان دهید که بعد انرژی پتانسیل

$$U = mgh$$

هم به همین صورت است.

مثال هایی از تحلیل ابعادی

مثال: نیروی کولن بین دو بار الکتریکی q_1 و q_2 از رابطه

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

به دست می آید. اگر بعد بار الکتریکی را با C نشان دهیم،

$$[q] = C$$

بعد ثابت کولن K را بیابید.

پاسخ:

$$[F] = \left[K \frac{q_1 q_2}{r^2} \right] \Rightarrow [K] = \frac{[F] [r^2]}{[q_1] [q_2]}$$

بنابراین:

$$[K] = \frac{MLT^{-2}L^2}{C^2} = ML^3T^{-2}C^{-2}$$

مثال: نیروی گرانش جهانی نیوتن بین دو جرم m_1 و m_2 از رابطه

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

به دست می آید. بعد ثابت نیوتن G را بیابید.

پاسخ:

$$[F] = \left[G \frac{m_1 m_2}{r^2} \right] \Rightarrow [G] = \frac{[F] [r^2]}{[m_1] [m_2]}$$

بنابراین:

$$[G] = \frac{MLT^{-2}L^2}{M^2} = L^3M^{-1}T^{-2}$$

تمرین: اگر شتاب مرکزگرا فقط به سرعت جسم v و فاصله تا مرکز r وابسته باشد، با استفاده از تحلیل ابعادی نشان دهید که این شتاب باید متناسب با

$$a \propto v^2/r$$

باشد. در فصل چهارم رابطه دقیق را به دست خواهیم آورد.

انواع چگالی و چگالی های موضعی

چگالی حجمی متوسط:

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

در اینجا V حجم کل و M جرم کل جسم است.
چگالی حجمی موضعی:

$$\rho = \frac{dM}{dV}$$

در اینجا dV المان حجم و dM المان جرم است.

چگالی سطحی متوسط:

$$\bar{\sigma} = \frac{M}{A}$$

در اینجا A مساحت کل و M جرم کل جسم است.
چگالی سطحی موضعی:

$$\sigma = \frac{dM}{dA}$$

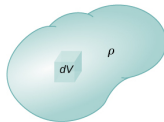
در اینجا dA المان سطح و dM المان جرم است.



(a)



(b)



(c)

چگالی طولی متوسط:

$$\bar{\lambda} = \frac{M}{L}$$

در اینجا L طول کل و M جرم کل جسم است.
چگالی طولی موضعی:

$$\lambda = \frac{dM}{dl}$$

در اینجا dl المان طول و dM المان جرم است.

در فصل های انتهایی کتاب از این مفاهیم استفاده خواهیم کرد.

نکات مهم این درس

انتظار این است که در انتهای این درس شما بتوانید نکات اساسی واحدهای اندازه گیری و تحلیل ابعادی را بیان کنید. برای اینکار لازم است بتوانید به سوال های زیر پاسخ دهید:

- ۱ چرا اندازه گیری در فیزیک مهم است؟
- ۲ واحدهای SI را نام ببرید و اهمیت آنها را توضیح دهید.
- ۳ تبدیل یکاها چگونه انجام می شود؟
- ۴ نکات اساسی تحلیل ابعادی را بیان کنید.
- ۵ انواع چگالی متوسط و موضعی (و روابط معرف آنها) را بیان کنید.

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

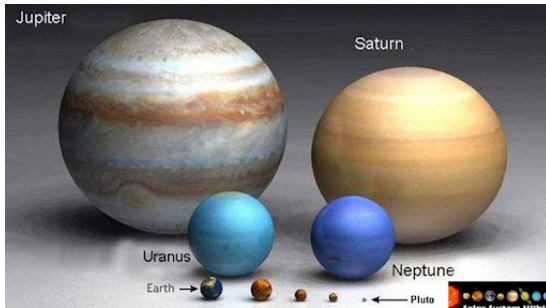
فراموش نکنیم که بهترین راه برای درک و ”درونی سازی“ مفاهیم ریاضی و فیزیک، حل مساله است. به همین دلیل سعی کنید دانسته های خود را با حل سوالات زیر محک زده و تقویت کنید.



تمرین

یکاهای:

جرم سیاره مشتری ۹۵/۱ برابر جرم زمین و شعاع آن 120000 کیلومتر است. اگر جرم زمین $6 \times 10^{24} \text{ kg}$ باشد چگالی مشتری را بیابید.

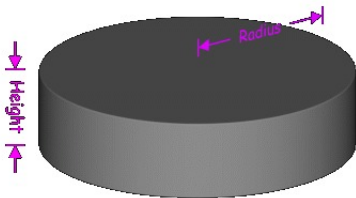


thetimenow.com

تمرین

یکاهها:

جرم کهکشان راه شیری، که یک کهکشان دیسکی (قرصی) است، تقریباً 10^{11} برابر جرم خورشید، شعاع آن تقریباً 10^5 کیلوپارسک، و ضخامت آن تقریباً یک کیلوپارسک است. جرم خورشید برابر $M_{\odot} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$ و هر کیلوپارسک برابر $1 \text{ kpc} = 3.1 \times 10^{19} \text{ m}$ می باشد. چگالی قرص کهکشان را بر حسب kg/m^3 بیابید.



تمرین

یکاهای:

کهکشان کروی مقابل، جرمی تقریباً برابر با 10^{10} برابر جرم خورشید دارد و شعاع آن تقریباً ۵ کیلوپارسک است. جرم خورشید برابر $M_{\odot} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$ و هر کیلوپارسک برابر $1 \text{ kpc} = 3.1 \times 10^{19} \text{ m}$ می باشد. چگالی این کهکشان را بر حسب kg/m^3 بیابید.



ویکی

تمرین

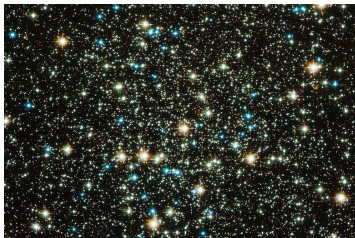
یکاهای:

الف) فرض کنید که 10^{23} ستاره هم جرم خورشید در کیهان وجود دارد. جرم کل کیهان را بر حسب کیلوگرم بیابید.

ب) همچنین فرض کنید که کیهان کره ای به شعاع $3000 M pc$ (مگا پارسک) می باشد. حجم کل کیهان را بر حسب m^3 بیابید.

پ) چگالی این کره (کیهان) را بر حسب kg/m^3 بیابید.

راهنمایی: جرم خورشید برابر $10^{30} kg$ و هر پارسک برابر $pc = 3.08 \times 10^{16} m$ می باشد.



new scientist

تمرین

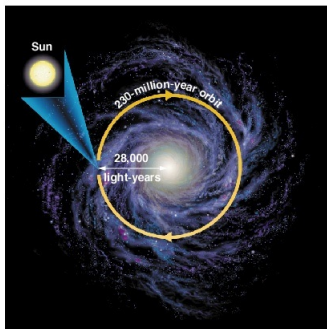
یکاهای:

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 ۲۸۰۰۰ سال نوری است.
این فاصله چند متر است؟

پ) اگر ۲۳۰ 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

نت

تمرین های تحلیل ابعادی

● تحلیل ابعادی: در قانون کیپلر که به صورت $\frac{R^3}{T^2} = CM$ نوشته می شود پارامتر T دوره زمانی حرکت سیاره، R فاصله سیاره تا خورشید و M جرم خورشید است. اگر بُعد طول را با L ، بُعد زمان را با T ، و بُعد جرم را با M نشان دهیم، بُعد C را بیابید.

● تحلیل ابعادی: بعد چگالی های حجمی، سطحی و طولی را بیابید.

● تحلیل ابعادی: بنا به قانون هابل که به صورت $v = Hr$ نوشته می شود، سرعت کهکشان های بسیار دور دست (v) با فاصله ی آنها از ما (r) متناسب است. اگر بُعد طول را با L ، بُعد زمان را با T ، و بُعد جرم را با M ، نشان دهیم، الف) ابعاد سرعت (v) و فاصله (r) را بنویسید. ب) بعد ثابت H را بیابید.

● یکاها: مقدار ثابت هابل تقریباً برابر

$$H_0 \simeq 70 \frac{km/s}{Mpc}$$

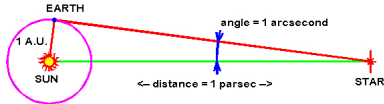
برآورد شده است. در اینجا داریم $10^6 pc = Mpc$.
الف) مقدار این ثابت را برحسب $1/s$ بیابید.
ب) مقدار $\frac{1}{H_0}$ تخمینی از عمر کیهان است. این مقدار را بر حسب سال بیابید.

● تحلیل ابعادی: اگر یک ستاره به جرم M به شعاع $r = \sqrt[3]{\frac{2GM}{c^2}}$ برسد رمیش کرده و به یک سیاهچاله تبدیل می شود! در اینجا c سرعت نور است. اگر بُعد طول را با L ، بُعد زمان را با T ، و بُعد جرم را با M نشان دهیم، الف) بُعد c را بیابید. ب) بُعد G را بیابید.

● تحلیل ابعادی: نیروی پسار D (نوعی نیرویی اصطکاکی) در سیالی که چگالی ρ دارد، به جسمی که با سرعت v و با مساحت مقطع A در سیال حرکت می کند برابر $D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$ می باشد. در این رابطه C یک ضریب تناسب است. اگر بُعد طول را با L ، بُعد زمان را با T ، و بُعد جرم را با M ، نشان دهیم، بُعد C را بیابید. راهنمایی: در ابتدا بُعد نیرو D ، چگالی ρ ، سرعت v و مساحت A را بیابید.

● تحلیل ابعادی: انرژی پتانسیل U یک مولکول دو اتمی که در فاصله r از هم قرار دارند به صورت $U = \frac{A}{r^{12}} - \frac{B}{r^6}$ می باشد. اگر بُعد طول را با L ، بُعد زمان را با T ، و بُعد جرم را با M ، نشان دهیم، بُعد ثابت های A و B را بیابید. راهنمایی: در ابتدا بُعد انرژی U را بیابید.

شناخت دقیق تر پارسک



الف) یک ثانیه قوسی را برحسب رادیان بیابید.

ب) در شکل مقابل، زاویه یک ثانیه قوسی $1''$ روبه رو به قطاعی به طول یک واحد نجومی AU را در نظر بگیرید. شعاع چنین دایره ای برابر یک پارسک است. با استفاده از رابطه $s = r\theta$ نشان دهید که

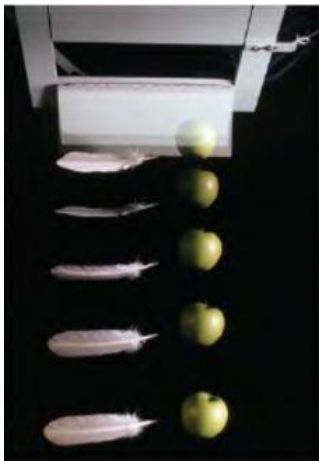
$$pc = 3,085677581 \times 10^{16} m$$

پ) یک پارسک چند سال نوری است؟

شکل از ویکی.

مبحث بعدی: حرکت در راستای خط راست

در فصل بعدی، حرکت در راستای خط راست (حرکت یک بعدی) را بررسی خواهیم کرد. شناخت این حرکت پایه اساسی شناخت حرکت های کلی است زیرا، همانطور که بعدا نشان خواهیم داد، حرکت های چند بعدی ترکیبی از چند حرکت یک بعدی هستند.



مراجع

- ❶ Halliday, David, Robert Resnick, and Jearl Walker; Fundamentals of physics, 10th edn. John Wiley & Sons, 2014.
- ❷ Halliday, D., R. Resnick, and K. S. Krane. "Physics, 5th edn." (2002).
- ❸ Ohanian, Hans C., and John T. Markert. Physics for engineers and scientists, 3th edn. 2007.
- ❹ Young, Hugh D., Roger A. Freedman, and Albert Lewis Ford. Sears and Zeman-sky's university physics, 13th edn. Pearson education, 2006.

کلاس های درس فیزیک یک دانشگاه صنعتی شریف (مثلا
کلاس درس دکتر محمد رضا اجتهادی و یا دکتر محمود بهمن
آبادی) را می توانید از مرکز آموزش های الکترونیک دانشگاه
صنعتی شریف (و یا حتی از سایت مکتب خونه) دریافت کنید.
<http://ocw.sharif.edu/>

کلاس درس دکتر والتر لوین از دانشگاه MIT در مرکز
آموزش های الکترونیک این دانشگاه و یوتیوب:
<https://ocw.mit.edu/index.htm>
<https://www.youtube.com/watch?v=X9c0MRooBzQ>

Lec 01: Units, Dimensions, and Scaling Arguments | 8.01 Classical Mechanics (Walter Lewin)

387,915 views • Dec 9, 2014

با سپاس از توجه شما،
مراقب سلامت خود و اطرافیان خود
باشید.

