

INTRODUCTION TO STATIC

مقدمه ای بر استاتیک

20/11/1394

حرف اول

○ حضور سر کلاس اجباری است.

○ نمره دهی:

1. میان ترمها + پایان ترم 16 نمره

2. تمرینها 4 نمره. به تمرینهای ناقص و یا دیر تحویل داده شده نمره تعلق نمیگیرد.

○ مرجع اصلی:

- Engineering Mechanics_Statics, J.L. Meriam, L.G. Kariage-9th edition
- Engineering Mechanics_Statics-R.C.Hibbeler-2010

سر فصلها

کل کتاب مریام منهای بخش کوچکی از کابل و استاتیک سیالات تدریس میشود.

- 1- مقدمه (1 جلسه)
- 2- سیستمهای نیرو (4 جلسه)
- 3- تعادل (4 جلسه)
- 4- سازه ها (4 جلسه)
- 5- نیروهای گسترده و محاسبه نیروهای داخلی در تیرها (4 جلسه)
- 6- اصطکاک (4 جلسه)
- 7- کار مجازی (2 جلسه)
- 8- ممان سطح (1 جلسه)

تمرینها فقط از روی کتاب مریام انگلیسی ویرایش نهم نوشته شود.

در کل 24 جلسه برگزار خواهد شد.

- سوالات امتحان از تلفیقی از سوالات کتاب مریام و کتابهای معرفی شده است.
- خود را به خواندن کتاب انگلیسی عادت دهید.

تاریخچه

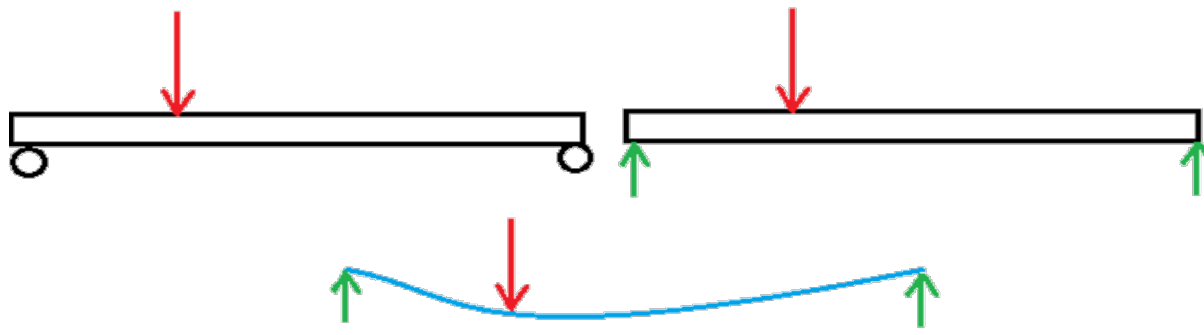
- **مکانیک**: شاخه‌ای از علم فیزیک که مربوط به بررسی حالت حرکت یا سکون اجسام تحت اثر نیروها است.
- قدیمی‌ترین، وسیع‌ترین و اصلی‌ترین شاخه علم فیزیک است.
- مکانیک یکی از رشته‌های مادر در علوم مهندسی است. بسیاری از رشته‌های دیگر مهندسی نظیر عمران، مهندسی شیمی، مواد، هوافضا و ... زیر مجموعه رشته مکانیک می‌باشند.
- اولین نوشته‌ها مربوط به 300 سال قبل از میلاد مسیح و مربوط به **ارشمیدث** است.
- ارشمیدث بر روی قانون اهرمها و نیروی شناوری مطالعه کرده است.
- بیشتر اصول استاتیک بعد از بیان اصل جمع برداری نیرو توسط **استوینوس** (Stevinus) در سال 1600 تدوین شده است. وی بیشتر قوانین استاتیک را فرمول بندی کرد.

- در همین ایام اولین مسایل دینامیک توسط **گالیله** (Galileo) در سالهای 1600 در ارتباط با بررسی سقوط اجسام صورت پذیرفت.
- از دانشمندان بزرگ اولیه مکانیک می‌توان به داوینچی، واریگون، دالامبر، لاگرانژ و لاپلاس اشاره کرد.
- هنر مهندس مکانیک، **بکارگیری اصول مکانیک، در حل مسائل کاربردی** می‌باشد. تعداد این اصول کم ولی کاربردهای بسیار زیاد است.
- تمامی اصول مکانیک به زبان ریاضی بیان می‌شود و ریاضی نقش کلیدی در مهندسی مکانیک دارد.
- مکانیک به دو شاخه کلی تقسیم میشود:
 1. **استاتیک**: بررسی تعادل اجسام تحت عملکرد بارهای مختلف
 2. **دینامیک**: بررسی حرکت اجسام تحت تاثیر بارهای مختلف

تعاریف اولیه

- **فضا:** یک منطقه هندسی که توسط اجسام پر میشود. موقعیات اجسام توسط اندازه‌گیری خطی یا زاویه ای نسبت به مرجع خاص تعیین می‌گردد.
- انواع مختصات: کارتزین متعامد، قطبی، استوانه‌ای و کروی
- **زمان:** معیاری برای اندازه‌گیری توالی رویداد حوادث و یک کمیت اساسی در دینامیک است. در استاتیک زمان در تحلیل مسائل نقشی ندارد.
- **جرم:** معیاری برای اندازه‌گیری اینرسی جسم است. اینرسی میزان مقاومت جسم در برابر تغییرات سرعت است.
- **نیرو:** ناشی از تاثیر جسمی بر جسم دیگر است (غیر دقیق-نیروی مغناطیسی یا الکتریکی). نیرو تمایل دارد یک جسم را در راستای خود حرکت دهد.
- عملکرد نیرو توسط سه مشخصه اندازه، جهت و نقطه اثر مشخص میگردد. در واقع نیرو کمیت برداری است.

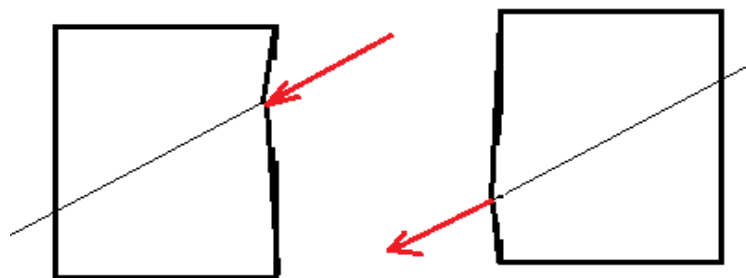
- **ذره (particle):** یک جسم با ابعاد ناچیز را ذره گویند. از نظر ریاضی ابعاد هندسی ذره در حد صفر است. لذا به آن جرم نقطه‌ای (point mass) گویند.
- وقتی ابعاد جسم تاثیری در بررسی موقعیت آن یا تاثیر نیرو بر آن ندارد، آنرا ذره در نظر می‌گیرند. مثلا بررسی اولیه مسیر پرتاب موشک یا ماهواره
- **جسم صلب (rigid body):** به یک جسم صلب گویند اگر حرکت اجزای آن نسبت به یکدیگر قابل صرف نظر کردن باشد.
- در استاتیک معمولا اجسام صلب در نظر گرفته می‌شوند. در بررسی اجسام صلب، جنس ماده تاثیری ندارد.
- مثلا در محاسبه نیروهای تکیه‌گاهی یک تیر، تیر صلب در نظر گرفته می‌شود.
- اما در محاسبه تغییر شکل، جسم را غیر صلب در نظر می‌گیرند. این مقوله مربوط به **مقاومت مصالح** است.



اسکالر و بردار

- در استاتیک کمیتها دو گونه اند: **عددی** و **برداری** (در حالت کلی عددی و غیر عددی)
- کمیت‌های عددی (scalar) صرفاً توسط اندازه مشخص میشوند. مثل وزن، طول، انرژی
- کمیت‌های برداری علاوه بر اندازه دارای جهت بوده و از قوانین جمع برداری (متوازی الاضلاع) تبعیت میکنند.
- **توجه:** امکان دارد کمیتی جهت دار باشد ولی برداری نباشد، مثل دوران.
- **انواع بردارها:**
 - آزاد (free)-لغزنده (sliding)-ثابت (fixed)
 - **بردار آزاد:** برداری که عملکرد آن منحصر به یک نقطه در فضا نمی‌شود. مثلاً حرکت ماه نسبت به شما
 - **بردار لغزنده:** برداری که تاثیر آن با جابجایی آن بر روی یک خط معین در فضا عوض نمی‌شود.

- **بردار ثابت:** نقطه اثر بکارگیری این بردار ثابت است و امکان تغییر آن وجود ندارد. در مقاومت مصالح، نقطه اثر نیروها بر اجسام شکل پذیر ثابت است.

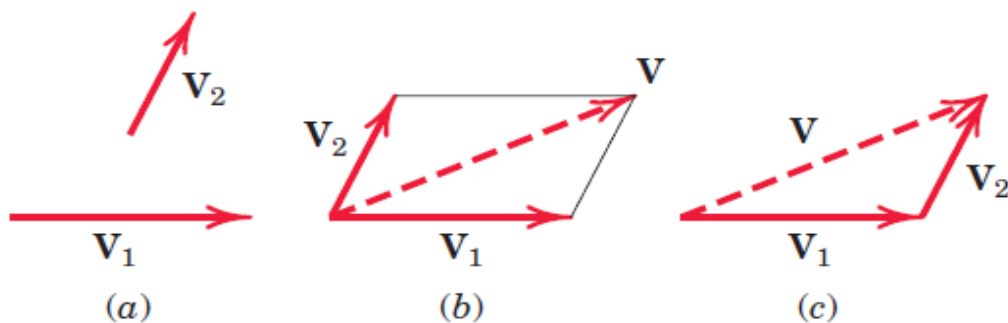


- بردار را با بصورت توپر $\mathbf{V}$ و اندازه آنرا بصورت مورب و نازک V نشان میدهند.

$$\vec{V}, |V|$$

- بصورت نوشتاری:

- بردارها علاوه بر داشتن اندازه و جهت (شرط لازم) باید از قانون **جمع متوازی الاضلاع** تبعیت کند (شرط کافی). طبق این قانون دو بردار آزاد را میتوان با یک بردار معادل (برآیند) جایگزین کرد.



$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_1 + \mathbf{V}_2$$

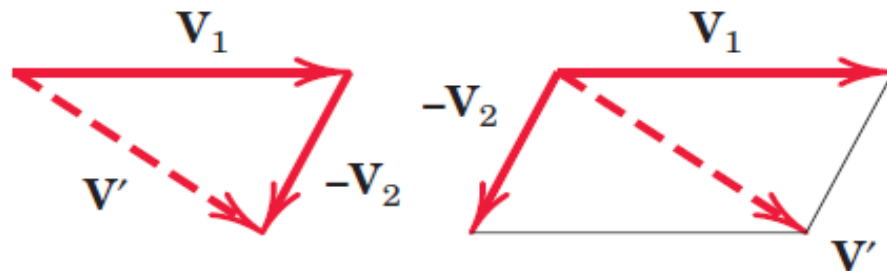
$$V \neq V_1 + V_2$$

○ این قانون برای دو بردار ثابت برقرار نیست. چرا؟

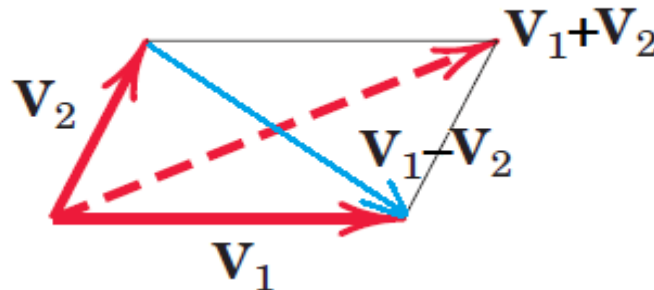
○ در حالت **دوبعدی** قانون جمع برداری برای بردارهای لغزنده نیز برقرار است. اما در حالت **سه بعدی** فقط بردار آزاد از قانون جمع متوازی الاضلاع تبعیت می کند.

قانون مثلث نیز بیان دیگری از قانون متوازی الاضلاع است.

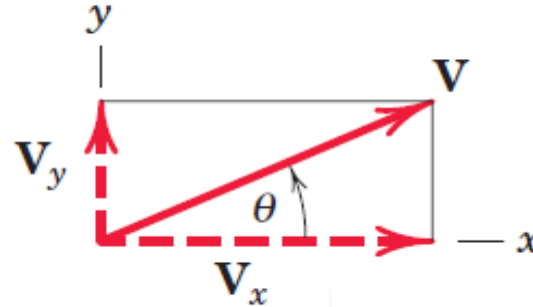
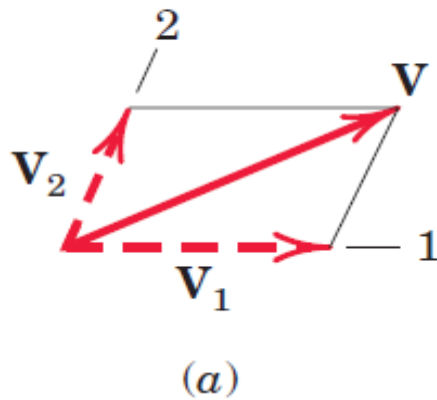
○ تفریق دو بردار توسط قانون جمع بدست می آید:



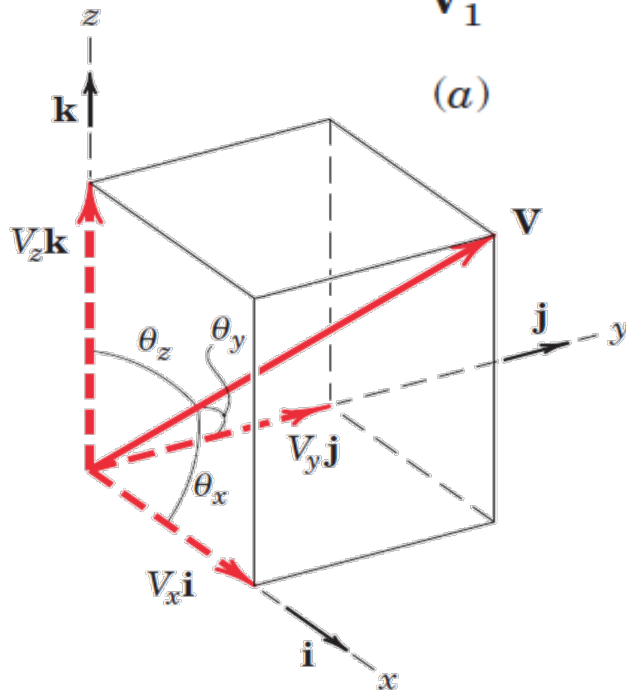
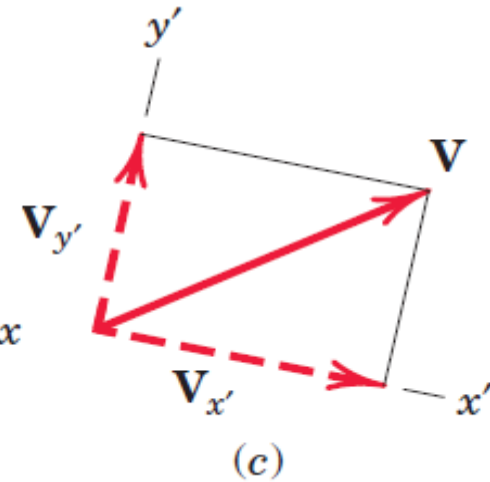
$$\mathbf{V}' = \mathbf{V}_1 - \mathbf{V}_2 = \mathbf{V}_1 + (-\mathbf{V}_2)$$



- به هر دو بردار V_1, V_2 که جمعشان برابر بردار V شود، مولفه های بردار V گویند.
- لذا بردار V را می توان به مولفه های دلخواه تجزیه کرد. راحت تر و بهتر آن است که بردار V در دو راستای عمود بر هم تجزیه شود (چرا؟-مستقل بودن مولفه ها)



$$\theta = \tan^{-1} \frac{V_y}{V_x}$$



$$\mathbf{V} = V_x \mathbf{i} + V_y \mathbf{j} + V_z \mathbf{k}$$

- در مختصات سه بعدی میتوان هر بردار V را بر حسب بردارهای واحد $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ در سه راستای عمود بر هم تجزیه کرد.

- چنانچه زوایای راستای بردار $\mathbf{V}$ با مختصات x, y, z به ترتیب $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ باشد، می‌توان تجزیه را بصورت زیر انجام داد.

$$V_x = lV \quad V_y = mV \quad V_z = nV$$

$$l = \cos \theta_x \quad m = \cos \theta_y \quad n = \cos \theta_z$$

- به l, m, n کسینوسهای هادی (direction cosines) گویند.

$$V^2 = V_x^2 + V_y^2 + V_z^2$$

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1$$

- استفاده از کسینوسهای هادی در حالت دوبعدی نیز امکان پذیر است.
- با مشخص شدن کسینوسهای هادی فقط جهت بردار مشخص می‌شود، نه اندازه آن.

قوانین نیوتن

- اولین نفری که بر روی حرکت اجسام مطالعه نمود، گالیله بود. وی سقوط آزاد اجرام را بررسی نمود.
- ولی اولین نفری که بطور جامع قوانین حرکت را بیان و با آزمایش اثبات نمود، **نیوتن** بود. این قوانین شامل سه قانون بصورت زیر است:
- **قانون اول:** چنانچه برایندهای نیروهای خارجی وارد بر جسم صفر باشد، جسم چنانچه ساکن باشد، ساکن مانده و چنانچه در حال حرکت باشد، با سرعت ثابت در امتداد خط راست به حرکت خود ادامه میدهد.
- **قانون دوم:** شتاب حرکت هر ذره متناسب با نیروی اعمالی به آن و در راستای نیرو می باشد.
- **نکته:** ابتدا تصور می شد که نیرو با سرعت متناسب است.

○ اما ضریب تناسب در قانون دوم نیوتن چیست؟

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

○ **قانون سوم:** نیروی عمل و عکس‌العمل در دو جسم که با هم کنش دارند، برابر، در جهت مخالف هم و در یک راستا می‌باشد.

○ قانون اول بیانگر تعادل نیروها است که در استاتیک با آن سروکار داریم.

○ قانون سوم بیانگر فهم نیرو است. طبق این قانون نیروها همیشه بصورت زوج و در جهت عکس هم عمل می‌کنند. یعنی امکان ندارد نیرویی بوجود آید مگر آنکه عکس‌العمل آن نیز تولید شود.

○ قانون دوم نیز در حوزه دینامیک کاربرد دارد.

واحدها

- کمیت‌های اصلی فیزیکی مثل جرم، طول، نیرو و ... برای اندازه‌گیری نیاز به واحد دارند. سیستم اندازه‌گیری بین‌المللی SI (system international) است.
- این سیستم بر مبنای کمیت‌های اصلی **طول** (متر m)، **زمان** (ثانیه s) و **جرم** (کیلوگرم kg) می‌باشد. واحد نیرو از قانون دوم نیوتون بدست می‌آید.

$$N = kg \cdot m/s^2$$

- لذا به آن سیستم MKS (meter-kilogram-second) گویند.
- در استاتیک معمولاً با طول و نیرو سروکار داریم و جرم تنها برای محاسبه نیروی جاذبه کاربرد دارد.
- سیستم اندازه‌گیری دیگر، سیستم US یا British است که کمیت‌های اصلی آن **طول** (فوت ft)، **نیرو** (پوند lb) و **زمان** (ثانیه s) است. لذا به آن FPS نیز گویند.

○ در سیستم US واحد جرم (اسلاگ) بر حسب نیرو بدست می آید:

$$\text{slug} = \frac{\text{lb} \cdot \text{sec}^2}{\text{ft}}$$

○ در واحد FPS از پوند برای واحد جرم نیز استفاده می شود. برای جلوگیری از اشتباه پوند نیرو را با lbf و پوند جرم را با lbm نمایش میدهند.

QUANTITY	DIMENSIONAL SYMBOL	SI UNITS		U.S. CUSTOMARY UNITS	
		UNIT	SYMBOL	UNIT	SYMBOL
Mass	M	Base units	kilogram	slug	—
Length	L		meter	foot	ft
Time	T		second	second	sec
Force	F		newton	pound	lb



○ واحدهای استاندارد:

○ **کیلوگرم:** وزن یک استوانه معین از جنس پلاتینیوم-ایریدیوم که در موزه بین المللی استاندارد در فرانسه نگهداری میشود.

توجه: وزن از جنس نیرو است ($W=mg$) و به اشتباه واحد آن به کیلوگرم بیان میشود.

○ **متر:** برابر یک ده میلیونیم فاصله قطب تا استوانه در طول نصف النهار مبدا که از شهر پاریس میگذرد (اهمیت شهر پاریس در استانداردها).

○ برای راحتی اندازه گیری طول معینی از میله با جنس پلاتینیوم-ایریدیوم که در موزه بین المللی استاندارد در پاریس نگهداری میشود.

○ برای راحتی بیشتر در تولید نمونه ها امروزه برابر $1/1,650,763.73$ طول موج تابش کریپتون 86 میباشد.

- **ثانیه:** ابتدا برابر $1/86,400$ طول متوسط روز خورشیدی تعریف شد. امروزه برابر $1/9,192,631.770$ پریود زمانی تابش اتم سزیم 133 میباشد.
- **نیوتن:** نیرویی که لازم است تا به جرم 1 kg شتاب 1 m/s^2 بدهد. شتاب جاذبه در سطح دریا و در مدار 45° برابر مقادیر زیر است:

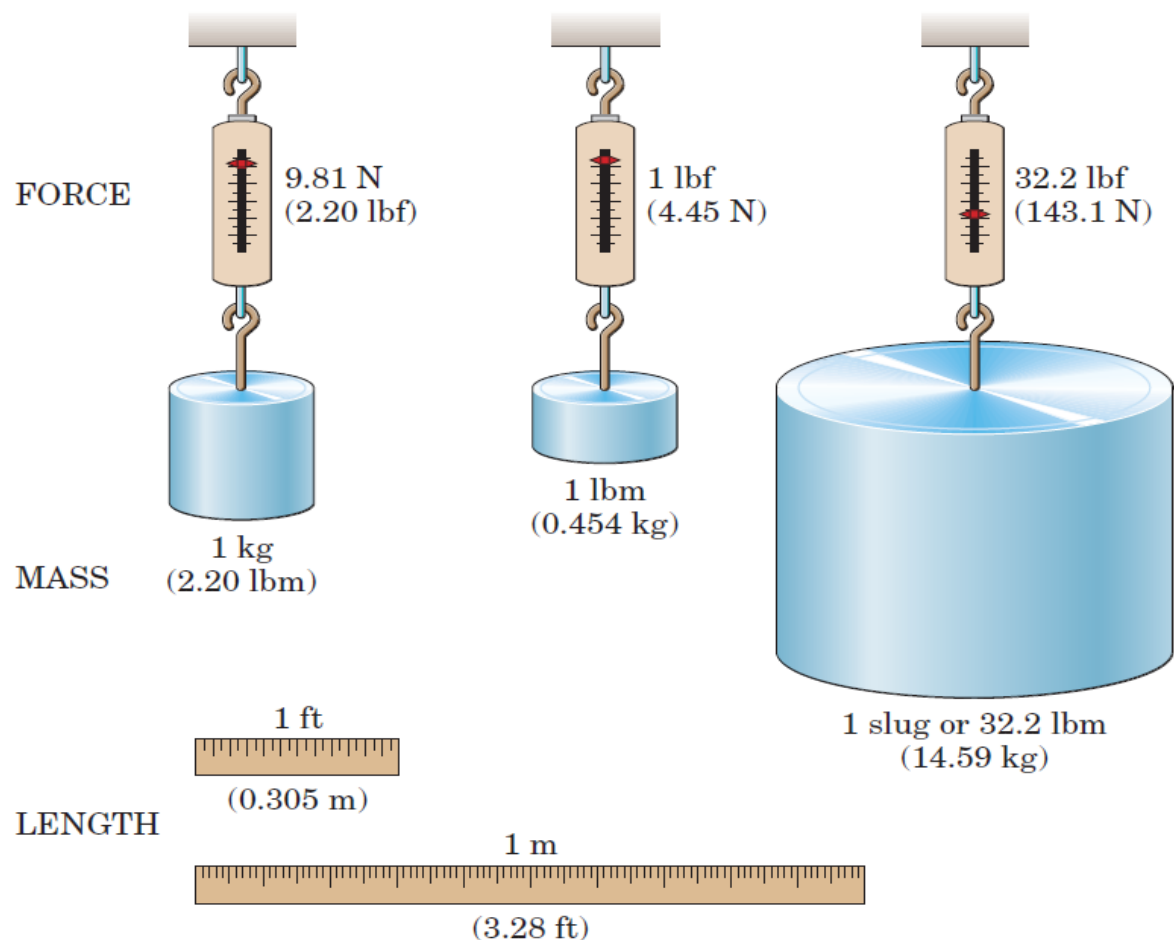
SI units $g = 9.806 \ 65 \text{ m/s}^2$

U.S. units $g = 32.1740 \text{ ft/sec}^2$

تبدیل واحد ها از سیستم SI به US

○ شکل زیر تبدیل واحدهای اصلی را نشان میدهد.

○ جدول کامل در کتاب



$$1 \text{ ft} = 12 \text{ inch} \quad 1' = 12''$$

$$1 \text{ inch} = 2.54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ lbf} = 454 \text{ g}$$

Conversion Factors

U.S. Customary Units to SI Units

To convert from	To	Multiply by
<i>(Acceleration)</i>		
foot/second ² (ft/sec ²)	meter/second ² (m/s ²)	$3.048 \times 10^{-1*}$
inch/second ² (in./sec ²)	meter/second ² (m/s ²)	$2.54 \times 10^{-2*}$
<i>(Area)</i>		
foot ² (ft ²)	meter ² (m ²)	9.2903×10^{-2}
inch ² (in. ²)	meter ² (m ²)	$6.4516 \times 10^{-4*}$
<i>(Density)</i>		
pound mass/inch ³ (lbm/in. ³)	kilogram/meter ³ (kg/m ³)	2.7680×10^4
pound mass/foot ³ (lbm/ft ³)	kilogram/meter ³ (kg/m ³)	1.6018×10
<i>(Force)</i>		
kip (1000 lb)	newton (N)	4.4482×10^3
pound force (lb)	newton (N)	4.4482
<i>(Length)</i>		
foot (ft)	meter (m)	$3.048 \times 10^{-1*}$
inch (in.)	meter (m)	$2.54 \times 10^{-2*}$
mile (mi), (U.S. statute)	meter (m)	1.6093×10^3
mile (mi), (international nautical)	meter (m)	$1.852 \times 10^3*$
<i>(Mass)</i>		
pound mass (lbm)	kilogram (kg)	4.5359×10^{-1}
slug (lb-sec ² /ft)	kilogram (kg)	1.4594×10
ton (2000 lbm)	kilogram (kg)	9.0718×10^2

مثال

○ هر اسلاگ چند پوند جرم است؟

$$1 \text{ slug} = \frac{1 \text{ lbf}}{1 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}} = \frac{1 \text{ lbm} \times 32.2 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}}{1 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}} = 32.2 \text{ lbm}$$

○ هر پوند نیرو چند نیوتون است؟

$$1 \text{ lbf} = 1 \text{ lbm} \times 32.2 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2} = 0.458 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4.448 \text{ N}$$

پیشوند واحدها

- گاه یک کمیت بسته به بزرگی مقیاس آن نیاز است تا با واحد مناسب بیان شود. مثلا بیان فاصله بین شهرها بر حسب متر کاری دشوار است.
- لذا احتیاج است تا بتوان واحدها را بسته به بزرگی یا کوچکی نمونه مورد اندازه گیری، مقیاس کرد. برای این کار از پیشوند واحدها استفاده میشود.

SI Unit Prefixes

Multiplication Factor	Prefix	Symbol
1 000 000 000 000 = 10^{12}	tera	T
1 000 000 000 = 10^9	giga	G
1 000 000 = 10^6	mega	M
1 000 = 10^3	kilo	k
100 = 10^2	hecto	h
10 = 10^1	deka	da
0.1 = 10^{-1}	deci	d
0.01 = 10^{-2}	centi	c
0.001 = 10^{-3}	milli	m
0.000 001 = 10^{-6}	micro	μ
0.000 000 001 = 10^{-9}	nano	n
0.000 000 000 001 = 10^{-12}	pico	p

مثل کیلوگرم، میلی گرم

مگابایت، ترابایت

دکانیتون، کیلونیتون

نانومتر، میکرومتر

نکاتی در محاسبات

تمامی واحدهای استفاده شده برای کمیتها در یک فرمول باید از یک سیستم واحد انتخاب شده باشند.

$$d[m] = V \left[\frac{m}{s} \right] t[s] + \frac{1}{2} a \left[\frac{m}{s^2} \right] t^2[s^2]$$

رابطه بالا از لحاظ دیمانسیون (واحد) همگن است.

بسیاری از روابط مهندسی مکانیک، روابط مهندسی است که به یک رفتار تجربی خورانده شده است و لذا از لحاظ واحد همگن نیست.

رقمهای معنی دار:

طول خطی 10.0 m است. آنرا به سه قسمت تقسیم کردیم. مقدار نهایی را تا چند رقم بنویسم؟ 3.333333... m

مقدار فاصله دو شهر برابر 1,648,234.56879 km اندازه گیری شده است. آیا این ارقام معنی دار است.

- در واقع تمامی این ارقام معنی دار نیستند. معمولاً در مهندسی به سه رقم معنی دار احتیاج است. اما این سه رقم را چگونه بیابیم.
- مثلاً آیا سه رقم معنی دار 0.000112 ارقام صفر هستند. یا ارقام 112 هستند. چگونه این موضوع تشخیص داده شود.
- برای این کار از نوشتار مهندسی با توانهای 10 با مضرب 3 استفاده میشود. مثلاً:

$$0.000112 = 112 \times 10^{-6}$$

$$1.5625 = 1.56 \times 10^0$$

$$1,645,846.5689 = 1.65 \times 10^6$$

$$400 = 0.4 \times 10^3$$

$$2500 = 2.5 \times 10^3$$

○ دقت:

○ آیا مساحت مربعی به اضلاع 1.25 cm برابر 1.5625 cm معنی دار است. یعنی دقت مساحت از دقت ابعاد اندازه گیری شده بیشتر میشود.

○ دقت نتایج حاصله از یک بررسی هیچ گاه بیشتر از دقت داده های ورودی نمی شود. فرض کنید که ضلع یک مربع به ابعاد 5 m با 0.1 m دقت اندازه گیری شده باشد. داریم:

$$5.0 \times 5.0 = 25.0 \text{ m}^2$$

$$5.1 \times 5.1 = 26.0 \text{ m}^2$$

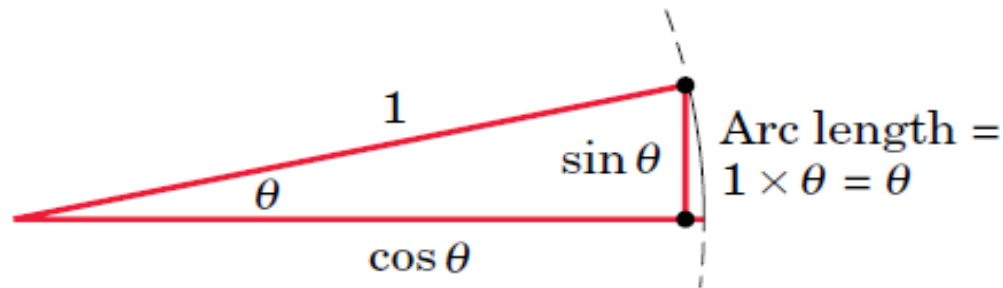
$$4.9 \times 4.9 = 24.0 \text{ m}^2$$

○ ملاحظه میشود که تلورانس خطا ± 1 یعنی 2 m^2 است.

○ تقریب:

در مهندسی تقریب بصورت مطلق معنا ندارد. یک متر ممکن است در بررسی ابعاد میکرومتری بصورت بینهایت و در بررسی ابعاد کیلومتری بصورت ناچیز عمل کند.

معمولا در مهندسی تقریب با خطای کمتر از 6% قابل قبول است. مثلا در تقریب زوایای کوچک انتظار داریم که:



$$\sin \theta \cong \tan \theta \cong \theta \quad \cos \theta \cong 1$$

○ تعبیر شما از زاویه کوچک چه عددی است.

θ	$\sin \theta$	$\tan \theta$	$\cos \theta$
$\frac{\pi}{6} = 0.52$	0.5	0.58	0.87
Error	-4%	10%	13%

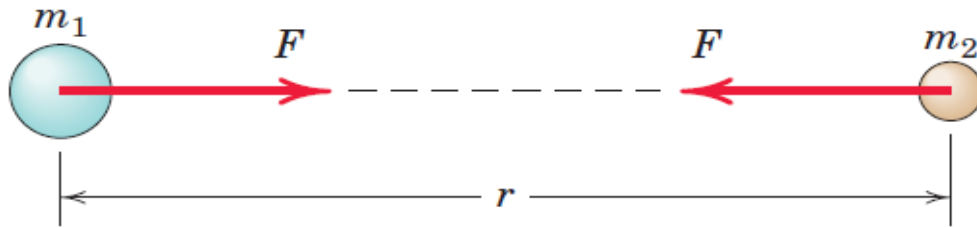
$$\sin \theta \cong \theta - \theta^3/6$$

$$\tan \theta \cong \theta + \theta^3/3$$

$$\cos \theta \cong 1 - \theta^2/2$$

قانون جاذبه عمومی نیوتون

○ هر دو جسم دارای جرم m_1, m_2 یکدیگر را با نیروی جاذبه مطابق رابطه زیر جذب میکنند:



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

$$G = 6.673(10^{-11}) \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2).$$

○ در روی زمین جاذبه ناشی از زمین آنقدر زیاد است که از جاذبه دیگر اجسام نسبت به یکدیگر میتوان صرف نظر کرد.

○ شتاب جاذبه زمین:

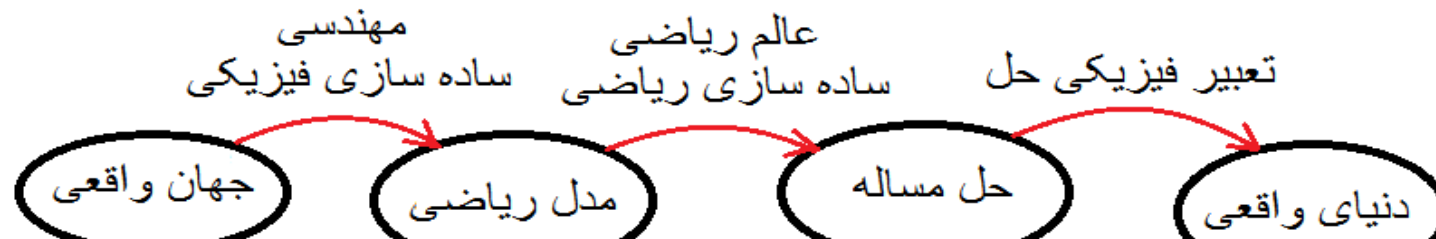
$$W = G \frac{Mm}{(R+h)^2} \approx \frac{GM}{R^2} m = mg$$

$$M = 5.976 \times 10^{24} \text{ kg} , R = 6731 \times 10^3 \text{ m}$$

- هرچه جرم بیشتر، جاذبه آن بیشتر است. سیاه چاله ها که چگالتین ماده جهان هستی هستند، حتی قادر به جذب نور هستند.
- اثر دیگر جرم، کند شدن زمان در نزدیکی آن است. لذا اگر میخواهید بیشتر عمر کنید به داخل اهرام مصر بروید.

مسائل استاتیکی مورد مطالعه

- در استاتیک به مطالعه نیروهای وارده به یک جسم یا سازه صلب در حال تعادل میپردازیم. این بررسی کلی است و نیازی به دانستن جنس ماده نیست.
- در این راستا فیزیک مساله با استفاده از قوانین موجود بصورت ریاضی بیان شده و سپس حل میگردد.
- در ساختن مدل ریاضی از مسائل مهندسی واقعی، ساده سازیهایی صورت میگیرد. برخی از این ساده سازیها ریاضی و برخی دیگر فیزیکی است.
- این فرضیات ساده کننده بستگی به اطلاعات مساله و پارامترهای مورد نظر برای محاسبه دارد.



وظیفه مهندس مکانیک:

توانایی فهم و انجام فرضیات درست در فرمول بندی مساله و حل آن

دیاگرام آزاد

○ یکی از ابزارهای مهم مهندسی، ابزار گرافیکی است. به سه دلیل:

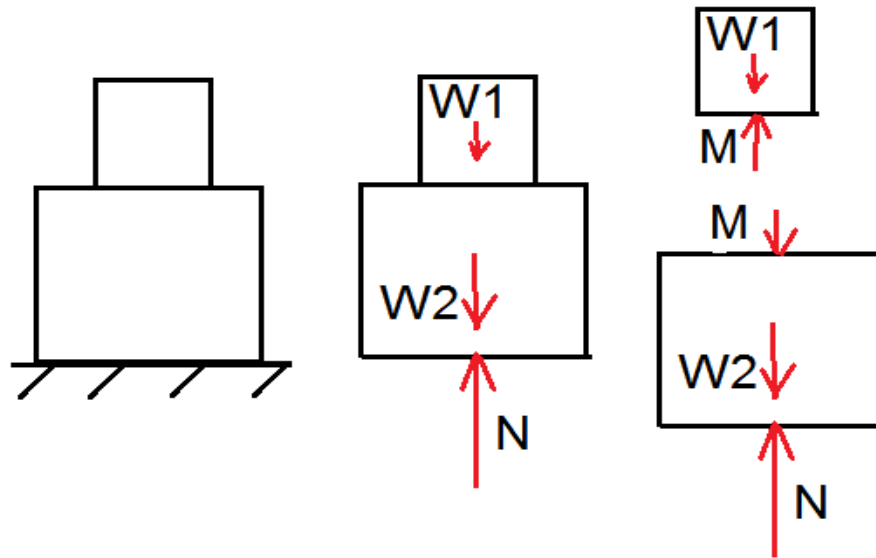
1. منجر به درک بهتر فیزیک مساله به همراه قیود ریاضی میشود. اولین گام برای به روی کاغذ آوردن مساله، ترسیم گرافیکی آن است.

2. معمولا ترسیم مساله، ایده هایی برای حل مساله میدهد. این ایده ها در فرمول بندی ریاضی نمایان نیست.

3. ترسیم گرافیکی نتایج به فهم آنها بسیار کمک میکند.

نکته: نتایج حل بی دقت که براحتی توسط دیگران خوانده نشود، هیچ ارزشی ندارد.

○ یکی از مهمترین ابزارهای گرافیکی مهندسی مکانیک، ترسیم **دیاگرام آزاد** است. برای ترسیم دیاگرام آزاد، آنرا از محیط ایزوله کرده و اندرکنش محیط بر روی جسم (نیروهای خارجی) را بر روی جسم ترسیم میکنیم.



○ در مدل ریاضی و انجام حل بهتر است از سمبولهای جبری استفاده شود و در انتها عددگذاری شود. زیرا:

1. ارتباط بین پارامترهای فیزیکی مشخص شود.
2. واحد حل بدست آمده مشخص شده و درستی حل قابل چک کردن است.
3. حل جبری برای مسائل مشابه براحتی میتوان تعمیم داد.

تمرین

○ تمامی 12 تمرین فصل 1