www.salampnu.com

سایت مرجع دانشجوی پیام نور

- ✓ نمونه سوالات پیام نور : بیش از ۱۱۰ هزار نمونه سوال همراه با پاسخنامه تستی و تشریحی
- ✓ کتاب ، جزوه و خلاصه دروس
- ✓ برنامه امتحانات
- ✓ منابع و لیست دروس هر ترم
- ✓ دانلود کاملا رایگان بیش از ۱۴۰ هزار فایل مختص دانشجویان پیام نور

www.salampnu.com

بسم الله الرحمن الرحیم

درس:
فیزیک پایه ۱
(رشته های شیمی و ریاضی)

۴ واحد درسی

علی‌اصغر شکری — استادیار گروه فیزیک — دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

جایگاه این درس:

گذراندن این درس برای تمام گرایشهای رشته های شیمی و ریاضی دوره کارشناسی الزامی می باشد.

همچنین به عنوان چهار (۴) واحد درسی تدریس می شود.

درس: فیزیک پایه ۱

منبع درس: فیزیک پایه ۱

نویسنده: محمد رضا بهاری (انتشارات پیام نور) ۱۳۸۲

منابع کمکی دیگر: فیزیک هالیدی

فهرست

- فصل ۱ (مقدمات)
  - فیزیک چیست؟
  - اندازه گیریها
  - واحدها و ابعادها
  - نمایش اعداد با معنی
- فصل ۲ (مروری بر ریاضیات- بردارها)
  - چارچوب و دستگاها
  - کمیتهای اسکالر و برداری
  - نمایش بردارها
  - خواص بردارها (جمع، تفریق، ضرب و تقسیم)
  - مولفه های یک بردار
  - خواص جبری بردارها

فهرست

- فصل ۳ (حرکت یک بعدی)
  - سینماتیک ذره
  - جابجایی و سرعت
  - سرعت لحظه ای و سرعت متوسط
  - شتاب لحظه ای و شتاب متوسط
  - معادلات سینماتیکی حرکت با شتاب ثابت
  - سقوط آزاد در راستای قائم
- فصل ٤ (لختی و حرکت دو بعدی)
  - حرکت دو بعدی
  - جابجایی، سرعت و شتاب در حرکت دو بعدی
  - پرتابه ها
  - قوانین حاکم بر حرکت پرتابه ها

فهرست

- فصل ۵ (قوانین حرکت – دینامیک ذره ۱)
  - نیرو و جرم
  - نیروها
  - قانون اول نیوتن
  - جرم و لختی
  - قانون دوم نیوتن
  - انواع نیروها
  - نیروی جاذبه و وزن
  - قانون سوم نیوتن
  - کاربرد قوانین نیوتن
  - مسایل قانون دوم نیوتن
- فصل ٦ (قوانین حرکت – دینامیک ذره ۲)
  - اصطکاک
  - اصطکاک
  - انواع نیروی اصطکاک
  - سطح شیبدار
  - اجسام متصل بهم
  - سرعت نهایی (سرعت حدی)

فهرست

- فصل ۷ (کار و انرژی)
  - مقدمه
  - کار نیروی ثابت
  - بیشتر درباره کار
  - مثال
  - نمایش هندسی کار
  - کار متغیر
  - توان (قدرت)
- فصل ۸ (پایستگی انرژی)
  - انرژی جنبشی
  - قضیه کار و انرژی جنبشی
  - انرژی پتانسیل
  - انرژی پتانسیل گرانشی
  - سطح مرجع انرژی پتانسیل
  - نیروهای پایستار
  - نیروهای غیر پایستار
  - بقای انرژی مکانیکی
  - حل مساله با قضیه بقای انرژی

فهرست

- فصل ۹ (اندازه حرکت خطی و برخوردها)
  - اندازه حرکت خطی
  - ضربه و نمایش هندسی آن
  - بقای اندازه حرکت خطی
  - برخورد و انواع آن
  - برخورد غیر الاستیک کامل
  - برخورد الاستیک
  - نمایش هندسی برخوردها
- فصل ۱۰ (سینماتیک حرکت دورانی)
  - جابجایی، سرعت و شتاب زاویه ای
  - مقایسه حرکتهای خطی و زاویه ای
  - شتاب چانب مرکز
  - مثالها
  - حرکت دایره ای

فهرست

- فصل ۱۱ (تعادل دورانی و تعادل دینامیکی)
  - گشتاور
  - راستای گشتاور
  - تعادل دورانی
  - مرکز جرم
  - محاسبه مرکز جرم
  - گشتاور و شتاب زاویه ای
  - ممان لختی دوران
  - قانون دوم برای یک جسم دوار
  - اندازه حرکت زاویه ای
- فصل ۱۲ (گرانش)
  - قانون جهانی گرانش نیوتن
  - ثابت جهانی گرانش
  - کاربرد قانون گرانش
  - انرژی پتانسیل گرانشی
  - سرعت فرار
  - قوانین کپلر
  - کاربرد قوانین کپلر

فصل اول

مقدمات (اندازه گیری)

فصل ۱ (مقدمات)

- فیزیک چیست؟
- سیستمهای اندازه گیری
- واحدها و ابعادها
- نمایش اعداد با معنی

فیزیک: مقدمه

- علم بنیادی
  - اساس علوم فیزیکی دیگر
- تقسیم بندی به پنج شاخه
  - مکانیک
  - ترمودینامیک
  - الکترومغناطیس
  - نسبیت
  - مکانیک کوانتمی

۱. اندازه گیری

- پایه نظریه های آزمون در علوم
- نیاز به داشتن سیستمهای خودسازگار از واحدها برای اندازه گیری
- عدم قطعیتها ذاتی هستند
- نیاز به قواعدی برای ارتباط با عدم قطعیتها

سیستمهای اندازه گیری

سیستمهای استاندارد

- توافق با کشورهای مختلف
- سیستم بین المللی -- SI
- توافق در یک کمیته بین المللی در سال ۱۹۶۰
- در این درس سیستم اصلی استفاده می شود
- یک سیستم مهندسی mks که حروف آن واحدهایی برای کمیتهای اصلی به حساب می آید
- یک سیستم گاوسین cgs که حروف آن واحدهایی برای کمیتهای اصلی به حساب می آید
- سیستم مرسوم آمریکایی

اغلب از وزن برحسب پوند به جای جرم در واحدهای اصلی به کار می برند

کمیتهای اصلی و ابعاد (دیمانسیون) شان

- طول [L]
- جرم [M]
- زمان [T]

چرا به یک استاندارد نیاز است؟

طول

- واحدها
  - در سیستم SI متر (m)
  - در سیستم cgs سانتیمتر (cm)
  - در سیستم US مرسوم فوت (ft)
- تعریف متر:

فاصله ای که نور در خلا در زمان (1/299 792 458 s) طی می کند

جرم

- واحدها
  - در سیستم SI کیلوگرم (kg)
  - در سیستم cgs گرم (g)
  - در سیستم US مرسوم اسلاگ (slug)
- تعریف کیلوگرم:

جرم یک استوانه مخصوص از جنس پلاتین-ایریدیوم که در اداره بین المللی استاندارد نگهداری می شود

استاندارد کیلوگرم

چرا جرم را درداخل یک محفظه شیشه ای قرار داده می شود؟

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

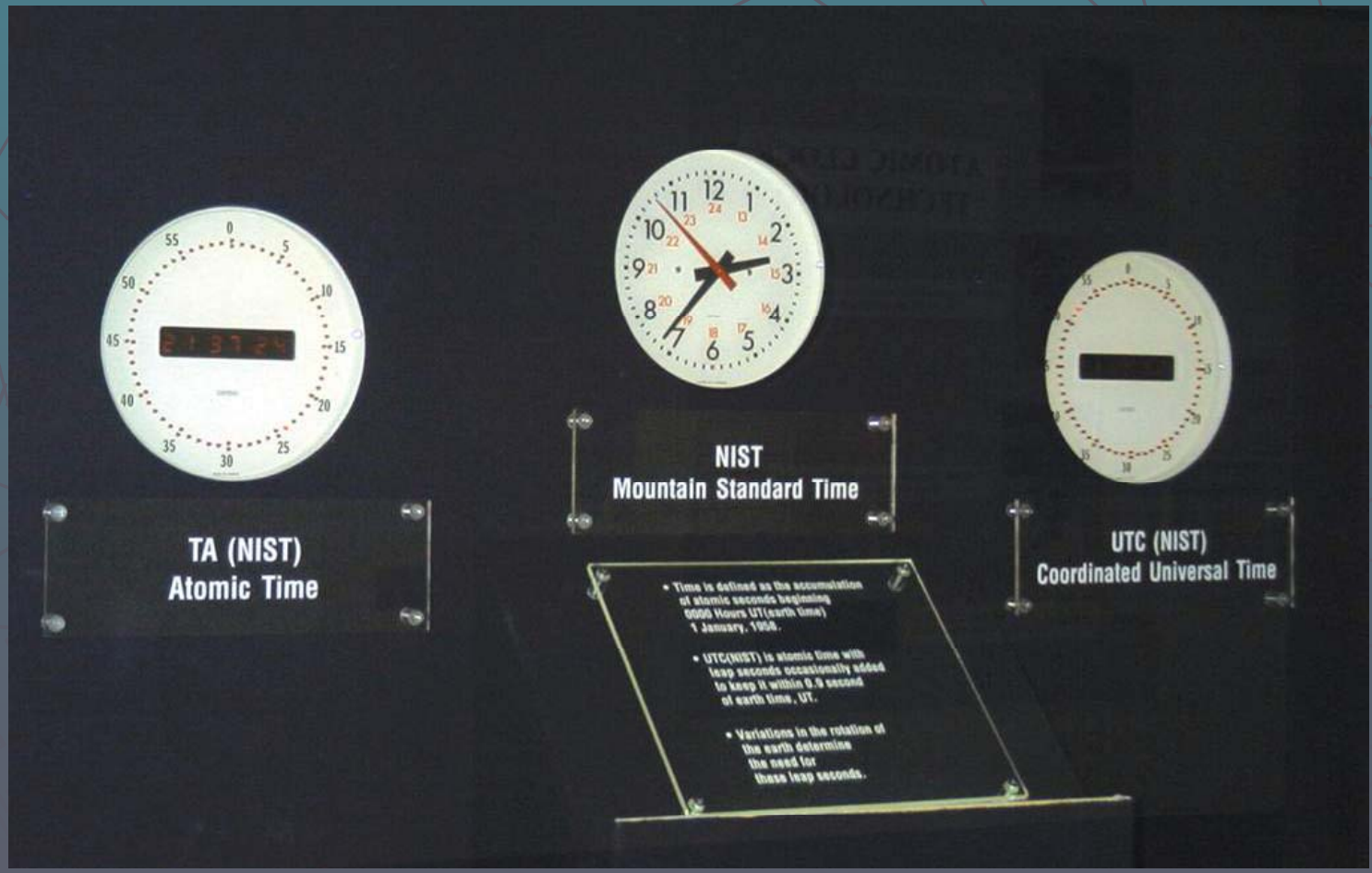
زمان

- واحدها
  - در هر سه سیستم ثانیه (s)
- تعریف ثانیه:

زمان نوسان یک تشعشعی از یک اتم سزیم

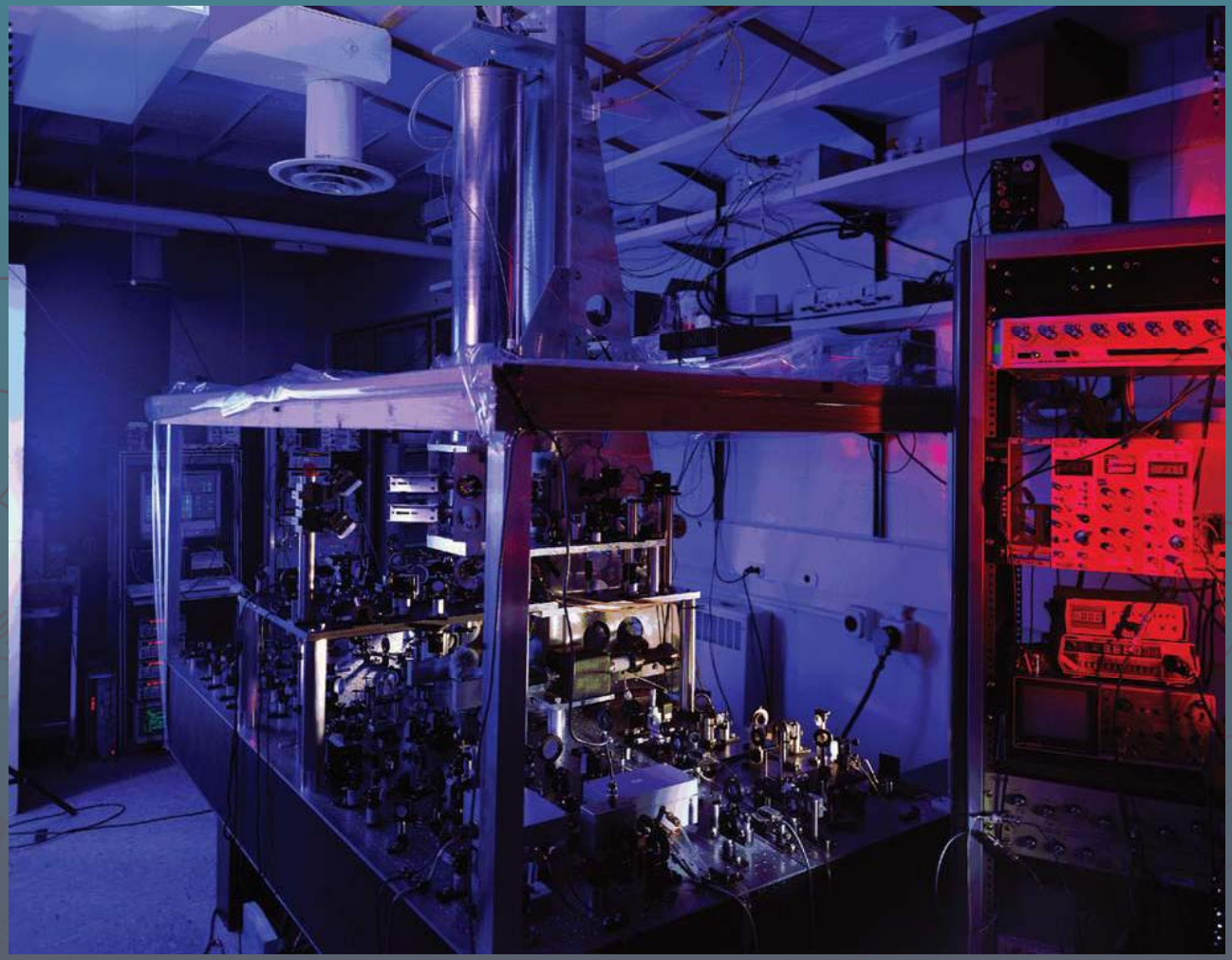
(فرکانس نور گسیل شده برابر است با ۹۱۹۲۶۳۱۷۰۰ بار)

اندازه گیری زمان



علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

ساعت اتمی "رسمی" آمریکایی



علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

۲. تحلیل ابعادی

- بعد جزء خصلت طبیعی یک کمیت فیزیکی است
- تکنیکی برای صحت یک معادله فیزیکی
- ابعاد (طول، جرم، زمان، ترکیب آنها) می تواند به صورت کمیتهای جبری رفتاز کند
  - جمع، تفریق، ضرب و تقسیم
  - کمیتهایی که واحدهای یکسان دارند خاصیت جمع پذیری (جمع و تفریق) دارند
- هر دو طرف معادله باید از نظر ابعادی، یکسان باشد

تحلیل ابعادی

- ابعاد برای کمیتهای مرسوم استفاده شده

طول	L	m (SI)
مساحت	L^2	m^2 (SI)
حجم	L^3	m^3 (SI)
سرعت	L/T	m/s (SI)
شتاب	L/T^2	m/s^2 (SI)

- مثال تحلیل ابعادی

فاصله = سرعت · زمان

$$L = (L/T) \cdot T$$

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

تبدیلها

- وقتی واحدها سازگار نباشند نیاز است که به شکل مناسبی تبدیل شوند

- واحدها نیز می توانند به صورت جبری رفتار کنند یعنی همدیگر را حذف نمایند

1 mile = 1609 m = 1.609 km	1 ft = 0.3048 m = 30.48 cm
1m = 39.37 in = 3.281 ft	1 in = 0.0254 m = 2.54 cm

مثال: اگر سرعت در بزرگراهها 100 km/h باشد، آن را برحسب miles/h تعیین کنید

$$100\frac{km}{h} = 100\frac{\cancel{km}}{h}\cdot\frac{1\,mile}{1.609\,\cancel{km}} \approx 62\frac{miles}{h}$$

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

پیشوندها (ی واحدها)

- پیشوندها متناظر با توانی از ۱۰ هستند
- هر پیشوند یک اسم یا علامت مخصوصی دارد

توان	پیشوند	علامت
10^{15}	پتا	P
10^{9}	گیگیا	G
10^{6}	مگا	M
10^{3}	کیلو	k
10^{-2}	سانتی	P
10^{-3}	میلی	m
10^{-6}	میکرو	μ
10^{-9}	نانو	n

فاصله زمین تا نزدیکترین ستاره	40 Pm
متوسط شعاع زمین	6 Mm
طول یک مگس	5 mm
اندازه سلولهای زنده	10 μm
اندازه یک اتم	0.1 nm

خطاها در اندازه گیریها

- امکان خطا در هر اندازه گیری به واسطه محاسبات وجود دارد (خطای ابزار)
  - این خطاها در اندازه گیری بوسیله دقت سنجش ابزارها قابل تعیین است
- با استفاده از قواعدی برای اعداد با عدد با معنی می توان خطا را در نتایج محاسبات مشاهده کرد

اعداد با معنی

- یک عدد با معنی از نتیجه اندازه گیری قابل اطمینان می باشد
- تمام اعداد غیر صفر با معنی هستند
- وقتی صفرها با معنی می شوند که
  - بین اعداد غیر صفر باشند
  - بعد از ممیز اعشاری باشند
  - به صورت نوتاسیون علمی بیان شوند

۳ شکل با معنی	$17400 = 1.74 \times 10^4$
۵ شکل با معنی	$17400 = 1.7400 \times 10^4$
۶ شکل با معنی	$174000 = 1.74000 \times 10^4$

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

کار کردن با اعداد با معنی

- دقت: تعداد رقم های با معنی

مثال: **متر:** $\pm 0.1\,cm$

- در ضرب و تقسیم، گرد کردن نتیجه باید تا حداقل دقت اندازه گیری در هر عامل انجام شود

مثال: **مساحت مستطیل:** $4.5\,cm * 7.3\,cm$

مساحت: ~~$32.85\,cm^2$~~ $33\,cm^2$

- در جمع یا تفریق، گرد کردن نتیجه باید تا عددی که کوچکترین رقم ممیز اعشار را در هر جمله جمع دارد، انجام شود

مثال: 135 m + 6.213 m = 141 m

فصل دوم

مروری بر ریاضیات (بردارها)

مروری بر ریاضیات

فصل ۲ (مروری بر ریاضیات- بردارها)

- چارچوب و دستگاها
- کمیتهای اسکالر و برداری
- نمایش بردارها
- خواص بردارها (جمع، تفریق، ضرب و تقسیم)
- مولفه های یک بردار
- خواص جبری بردارها

سیستمهای مختصات

- برای توصیف مکان یک نقطه در فضا بکار می رود

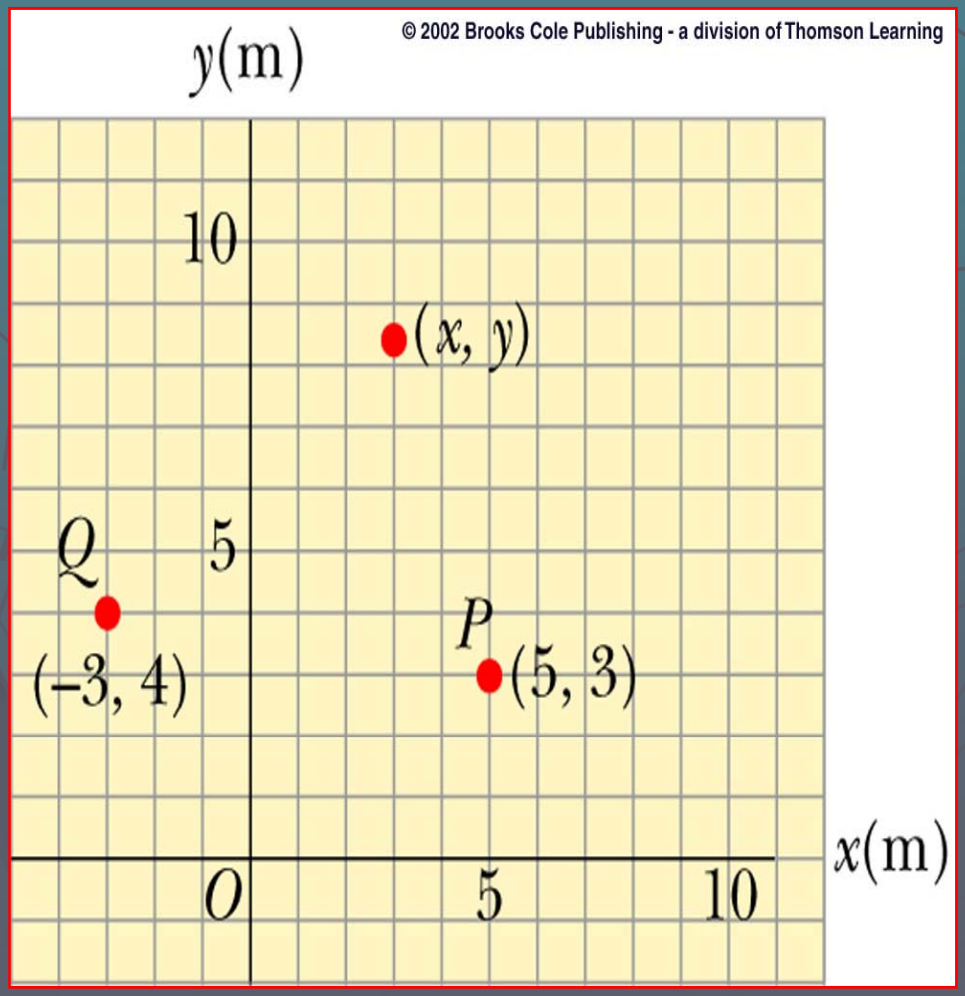
- سیستم (دستگاه) مختصات شامل
  - یک نقطه مرجع بنام مبدا
  - محورهایی با مقیاس و برچسب مناسب
  - برچسب یک نقطه وابسته به مبدا و محورها می باشد

انواع دستگاهای مختصات:

- **کارتزین یا دکارتی**
- **قطبی**

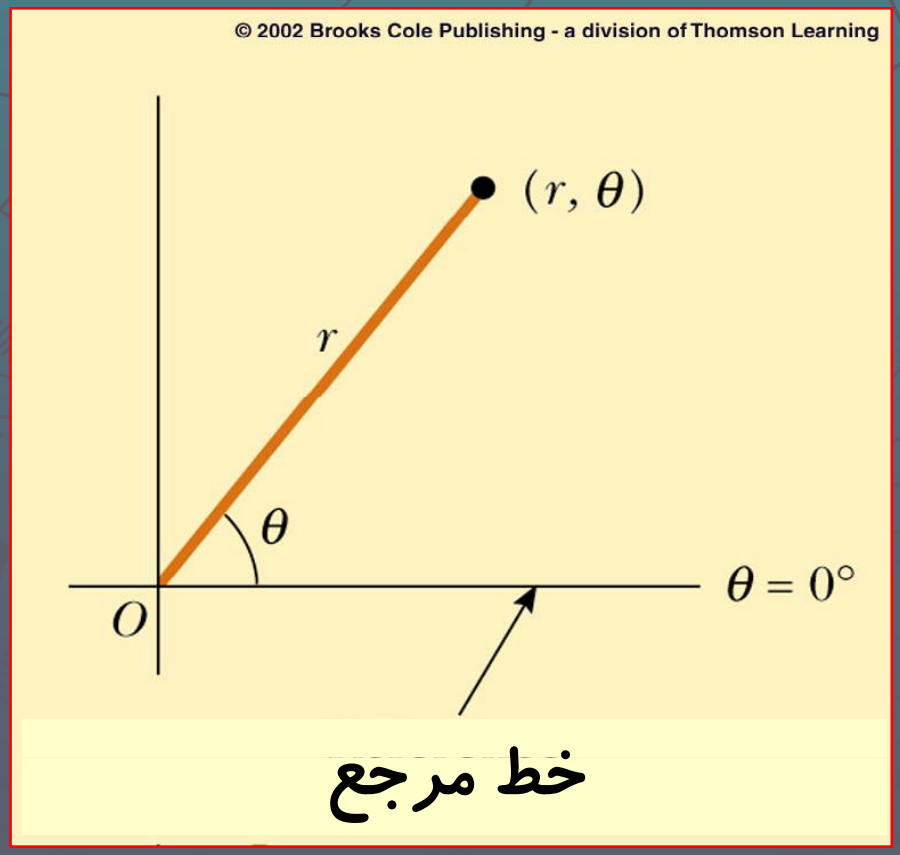
سیستم مختصات کارتزین

- سیستم مختصات راست گوشه نیز نامیده می شود
- محورهای x- و y-
- نقاط با (x,y) برچسب زده می شوند



سیستم مختصات قطبی

- مبدا و خط مرجع باید مشخص شود
- فاصله نقطه از مبدا با r و جهت گیری زاویه ای آن نسبت به خط مرجع درراستای مثلثاتی با θ نشان داده می شود
- نقاط با (r,θ) برچسب زده می شوند

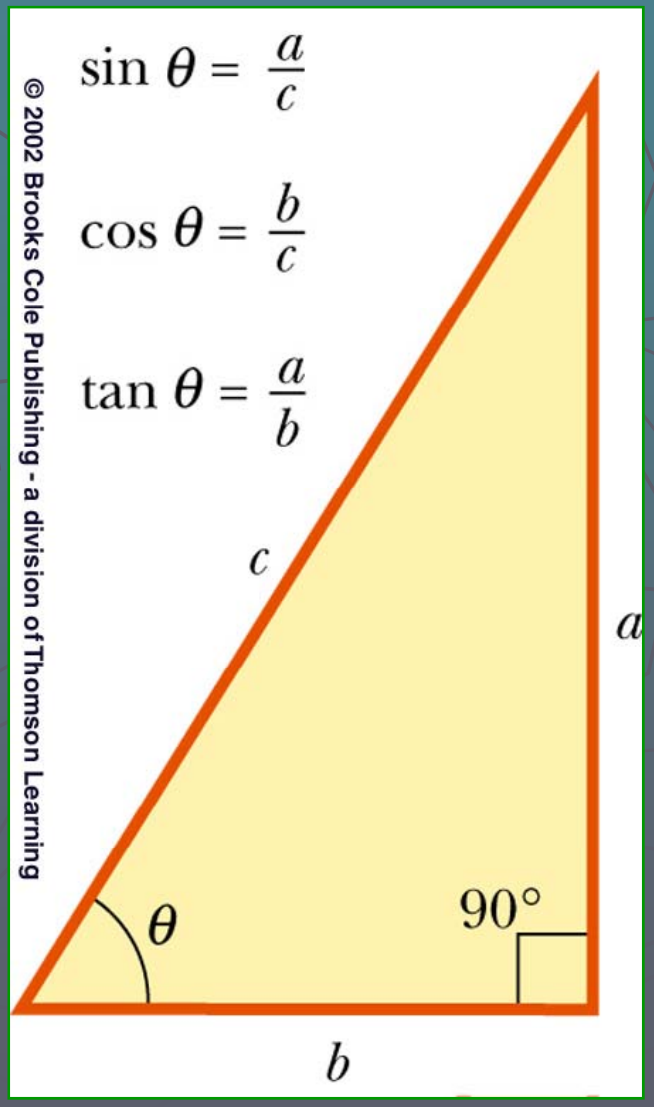


مثلثات

$$\sin\theta = \frac{\text{ضلع روبرو}}{\text{وتر}}$$

$$\cos\theta = \frac{\text{ضلع کناری}}{\text{وتر}}$$

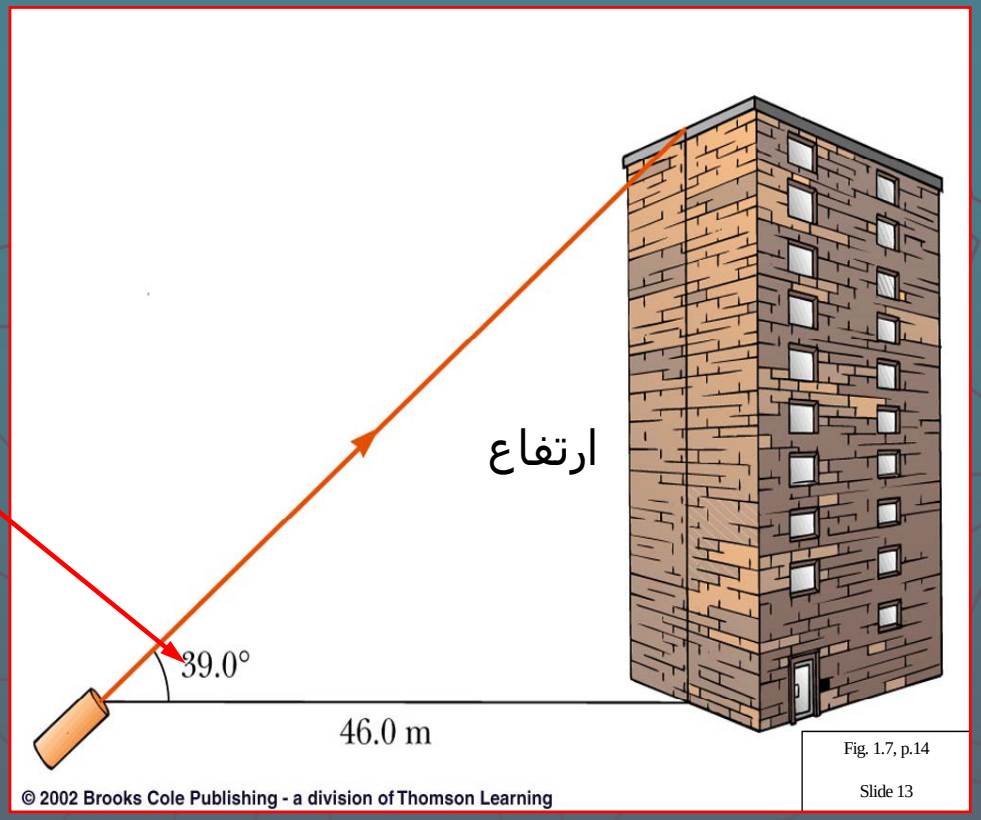
$$\tan\theta = \frac{\text{ضلع روبرو}}{\text{ضلع کناری}}$$



قضیه فیثاغوریث

$$c^2 = a^2 + b^2$$

مثال: ارتفاع یک ساختمان



$$\tan\alpha = \frac{\text{ارتفاع ساختمان}}{\text{فاصله}},$$

$$\text{ارتفاع=فاصله} \times \tan\alpha = (\tan 39.0^{\circ})(46.0\ m) = 37.3\ m$$

کمیتهای اسکالر و برداری

- کمیتهای **اسکالر** فقط با مقدار مشخص می شوند
(دما، طول،...)
- کمیتهای **برداری** با مقدار (اندازه) و راستا مشخص می شوند
(نیرو، جابجایی، سرعت، ...)

- کمیتهای برداری را با یک بردار که مقدارش متناسب با طول است نشان می دهند
- راستای پیکان جهت بردار را نشان می دهد

خواص بردارها

نماد بردارها:

بردار : $\vec{A} \equiv \mathbf{A}$

مقدار بردار : A

- تساوی دو بردار
  - دو بردار وقتی با مساوی هستند که مقادیر و راستای یکسانی داشته باشند
- حرکت بردارها در یک دیاگرام
  - هر بردار می تواند موازی با خودش بدون اینکه مشکلی ایجاد شود حرکت کند (همسنگ)

خواص بیشتری از بردارها

- بردارهای منفی
  - وقتی دو بردار هم طول جهتشان با هم ۱۸۰ اختلاف داشته باشند (راستاهای مخالف) دو بردار منفی می گویند

$$\mathbf{A} = -\mathbf{B}$$

- بردار برایند
  - مجموع بردارهای داده شده را بردار **منتجه** یا **برایند** می گویند

جمع برداری

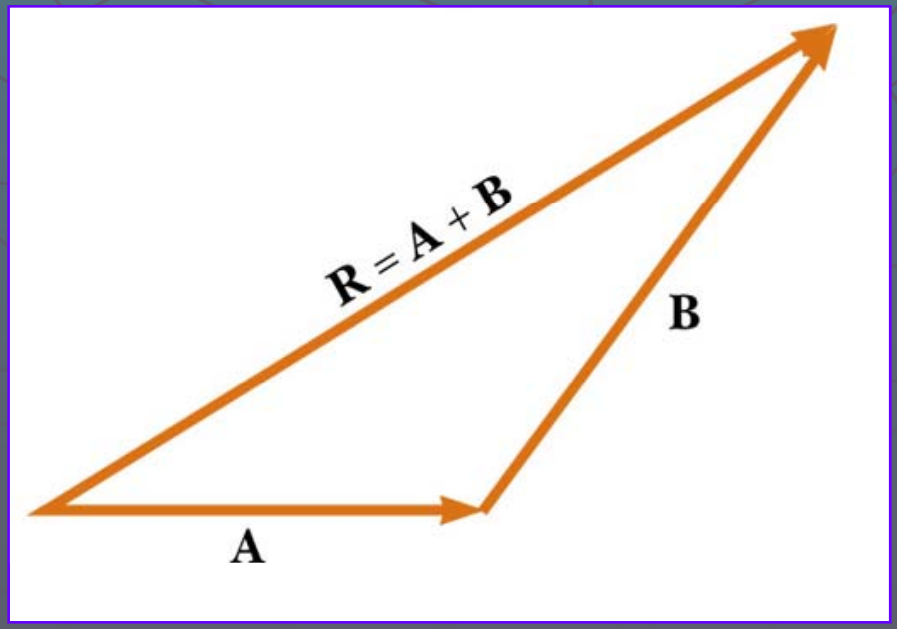
- وقتی بردارها با هم جمع می شوند، راستاهایشان باید به حساب بیاید
- واحدها باید یکسان باشد
- روشهای هندسی
  - استفاده از رسم با مقیاس مناسب
- روشهای جبری
  - قراردادهای بیشتر

جمع برداری به روش هندسی (روش مثلثی یا متوازی الاضلاع)

- انتخاب یک مقیاس
- رسم اولین بردارباً طول مناسب در جهت مشخص شده، نسبت به سیستم مختصات
- رسم بردار بعدی با طول و جهت مشخص شده، نسبت به سیستم مختصاتی که مبدا آن انتهای بردار **A** و موازی با سیستم مختصات استفاده شده برای **A**

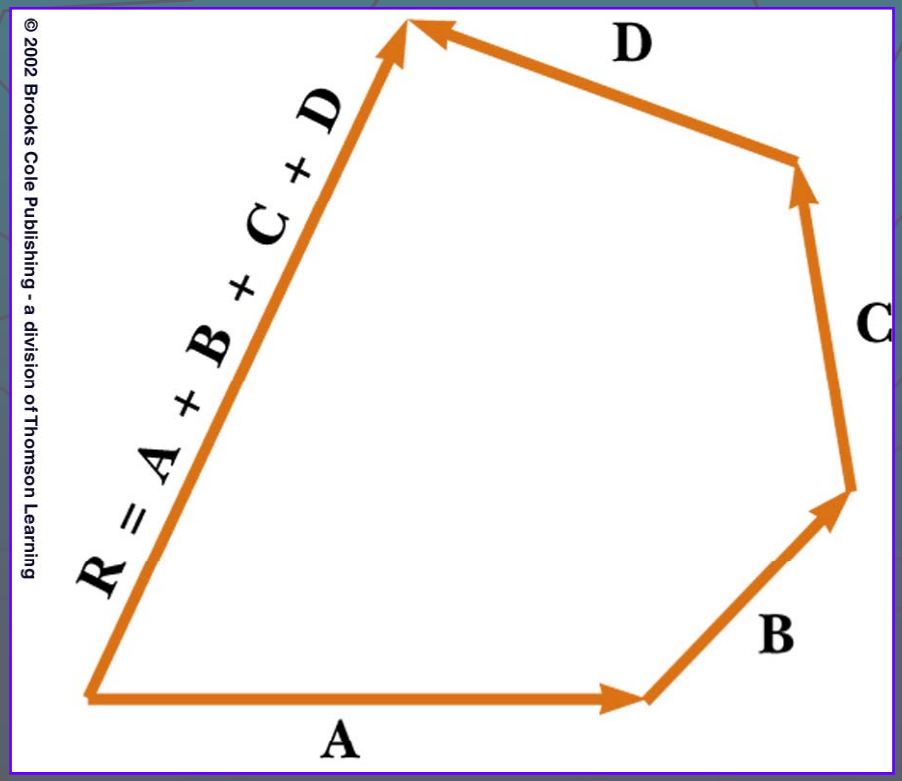
جمع هندسی بردارها

- رسم پیوسته بردارها
- برایند بردارها از ابتدای بردار **A** تا انتهای بردار دیگر رسم می شود
- طول و زاویه بردار برایند اندازه گیری می شود
  - از عامل مقیاس برای تبدیل طول به مقدار واقعی اش استفاده می شود



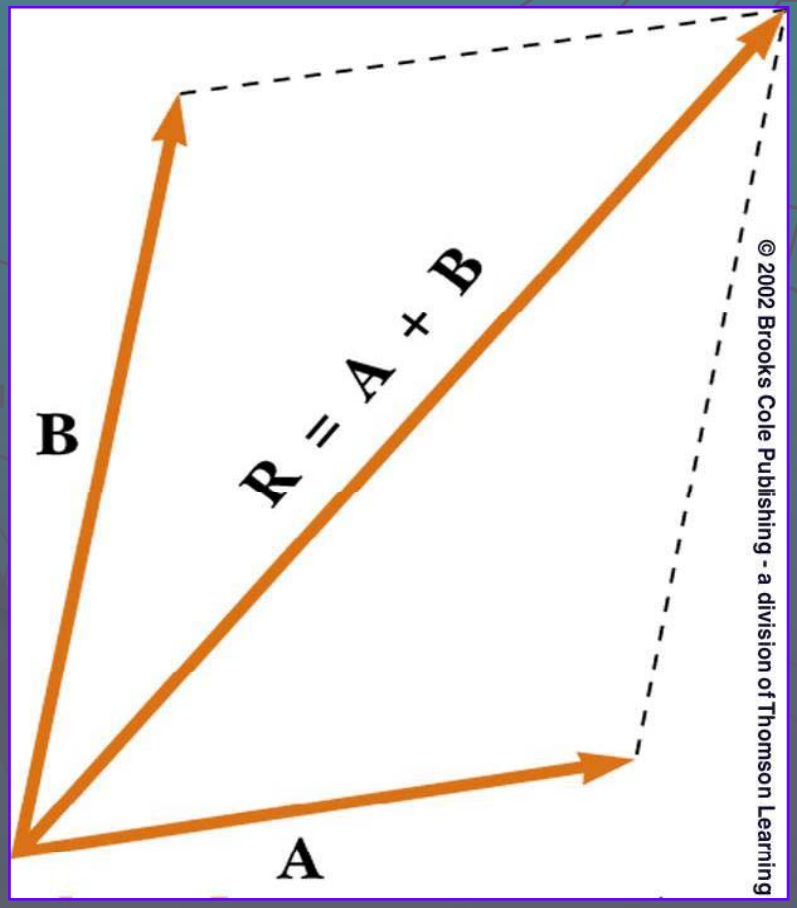
جمع هندسی بردارها

- در مورد برایند تعداد زیادی بردار، روش کار مشابه قبل است
- برایند از ابتدای اولین بردار تا انتهای آخرین بردار رسم می شود



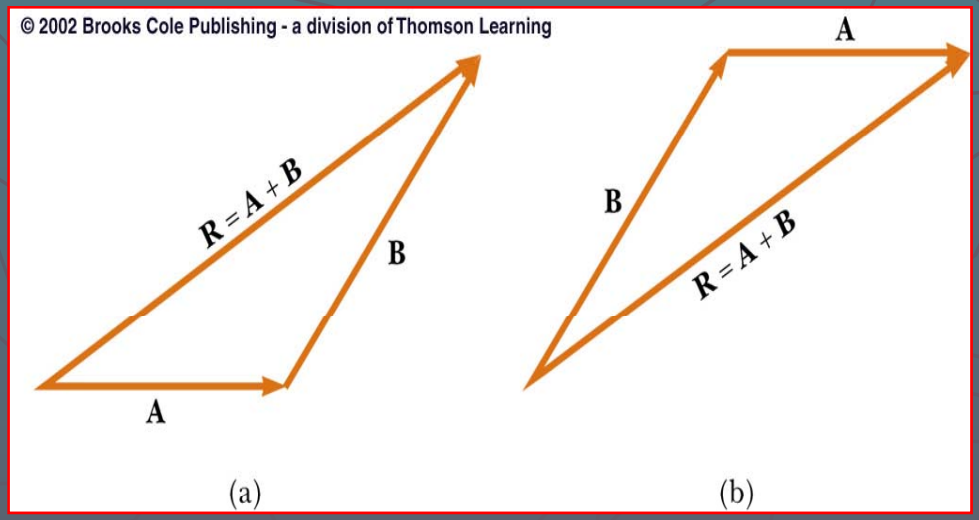
روش هندسی دیگر

- در مورد برایند دو بردار، برایند از روش متوازی الاضلاع بدست می آید
- تمام بردارها، نتیجه برایند، از یک نقطه مشترک شروع می شوند
  - با رسم اضلاعهای دیگر موازی با دو بردار، قطر متوازی الاضلاع **R** را تعیین می کنند



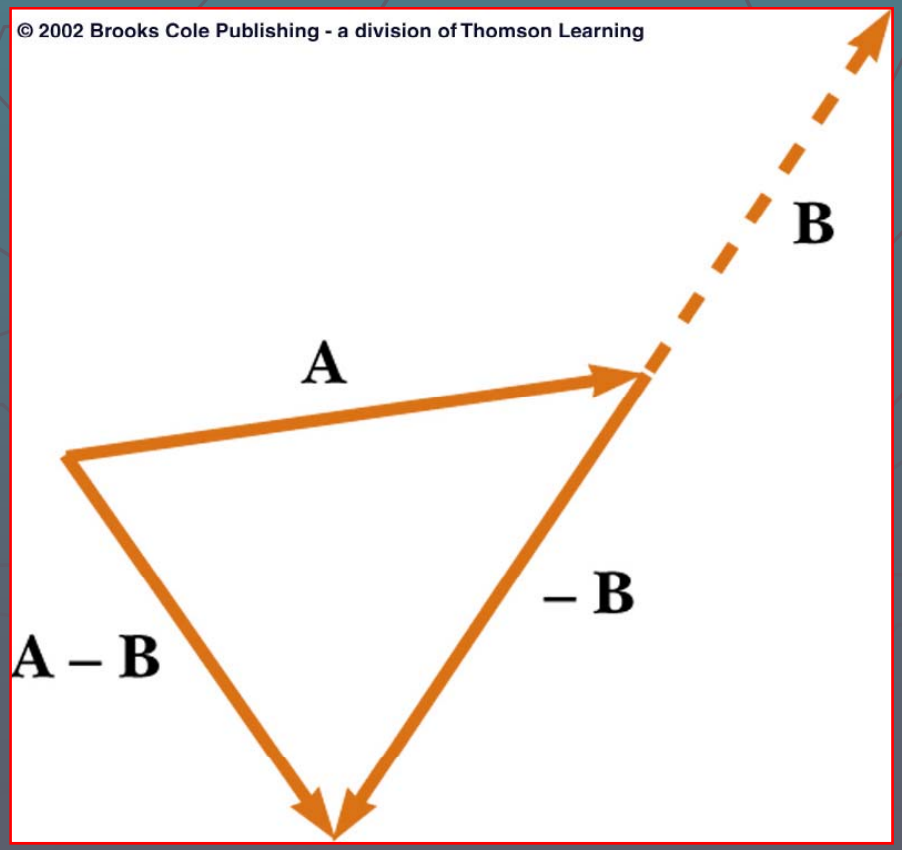
نکاتی درباره جمع برداری

- **قوانین جابجایی جمع در مورد بردارها برقرار است**
  - ترتیب جمع بردارها تاثیری در نتیجه بردار برایند ندارد



تفاضل بردارها

- حالت خاص جمع برداری
- حاصل **A – B**، را می توان به صورت **A+(-B)** نیز در نظر گرفت
- در ادامه فرایند جمع برداری استاندارد است

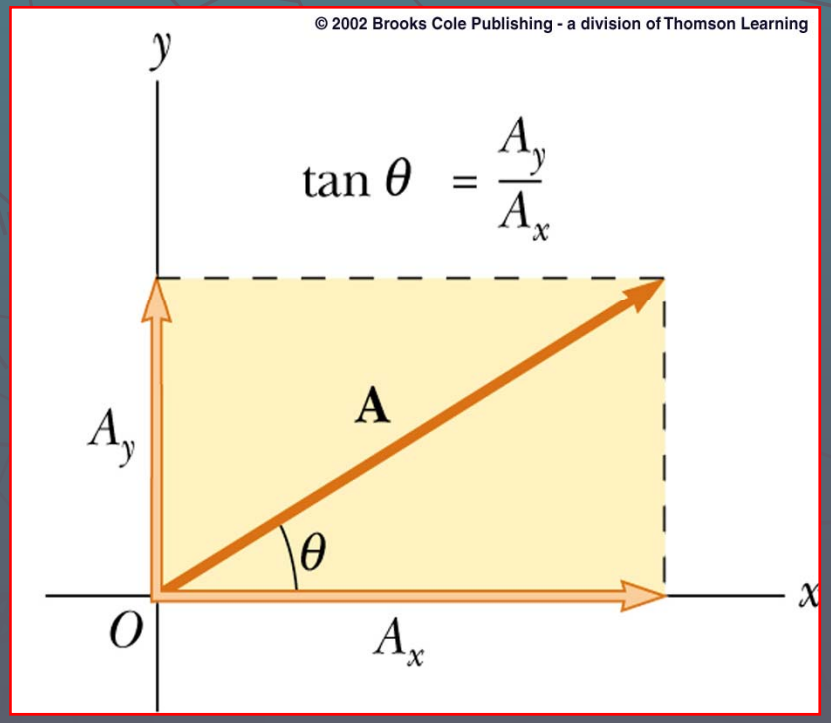


ضرب یا تقسیم یک بردار با یک اسکالر

- نتیجه ضرب یا تقسیم یک بردار با یک اسکالر (عدد)، بردار است
- مقدار یک بردار می تواند در (بر) اسکالر یا عدد ضرب (تقسیم) شود
- اگر عدد مثبت باشد، راستای بردار نتیجه با بردار اصلی یکسان خواهد شد
- اگر عدد منفی باشد، راستای بردار نتیجه در جهت مخالف بردار اصلی خواهد شد

مولفه های یک بردار

- اجزاء یک بردار **مولفه** های آن هستند
- معمولا از مولفه های دکارتی استفاده می شود
  - تصاویر یک بردار را در راستای محورهای x- و y-، مولفه های بردار می خوانند



$$A_x = A\cos\theta$$
$$A_y = A\sin\theta$$
$$\mathbf{A} = A_x + A_y$$

بیشتر درباره مولفه های یک بردار

- معادلات قبل وقتی برقرارند که **زاویه θ نسبت به محور-x اندازه گیری** شود
- مولفه های یک می توانند مثبت یا منفی باشند همچنین واحدهای آنها با بردار اصلی یکسان هستند
- مولفه ها، پایه های راست گوشه مثلث قائم ازاویه با وتر **A** (بردار اصلی) هستند

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{A_y}{A_x}$$

جمع جبری بردارها

- انتخاب یک سیستم مختصات و رسم بردارها
- یافتن مولفه های x- و y- تمام بردارها
- جمع تمام مولفه های x-
  - نتیجه این کار مولفه x- بردار برایند R_x را می دهد:

$$R_x = \sum v_x$$

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

جمع جبری بردارها

- جمع تمام مولفه های y-
  - نتیجه این کار مولفه y- بردار برایند R_y:

$$R_y = \sum v_y$$

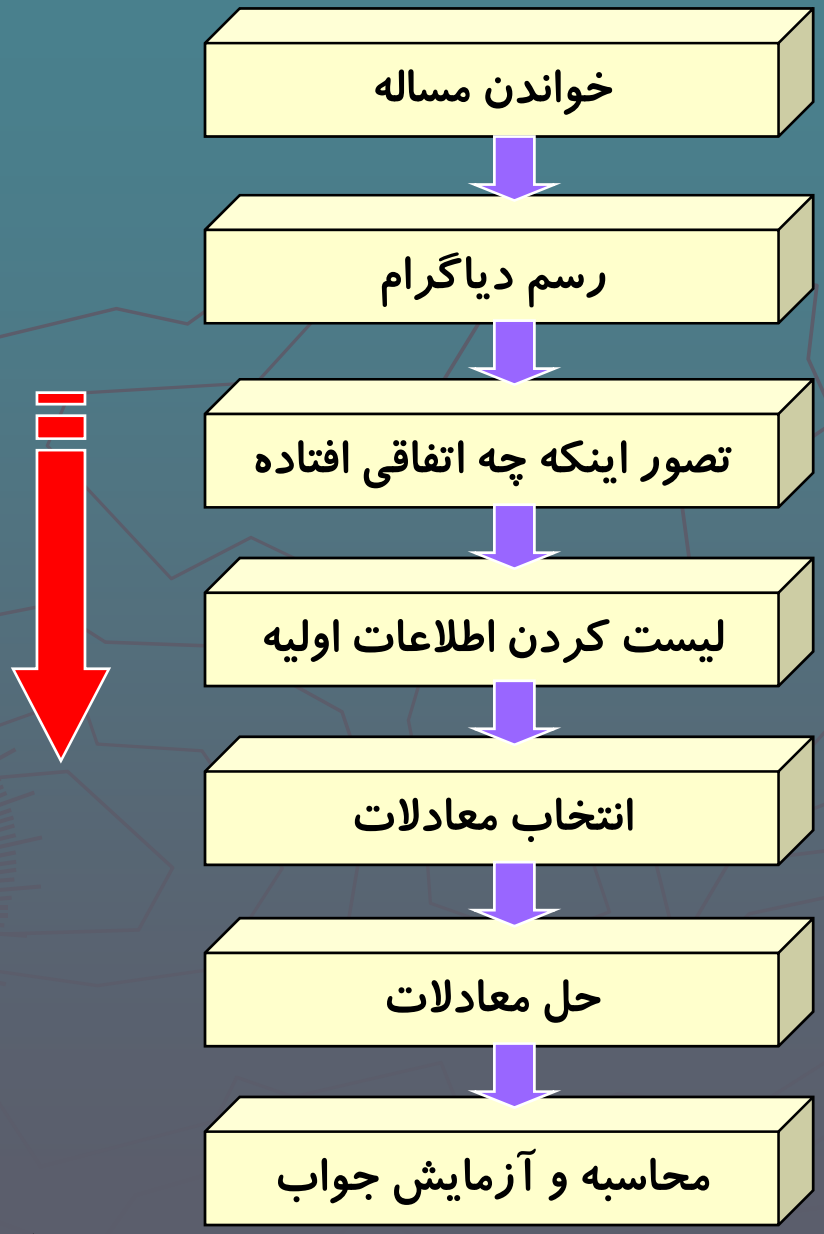
- با استفاده از قضیه فیثاغوریث، مقدار بردار برایند تعیین می شود:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

- با استفاده از رابطه زیر راستای بردار برایند نسبت به محور x- محاسبه می شود:

$$\theta = \tan^{-1}\frac{R_y}{R_x}$$

۳. تکنیک حل مساله

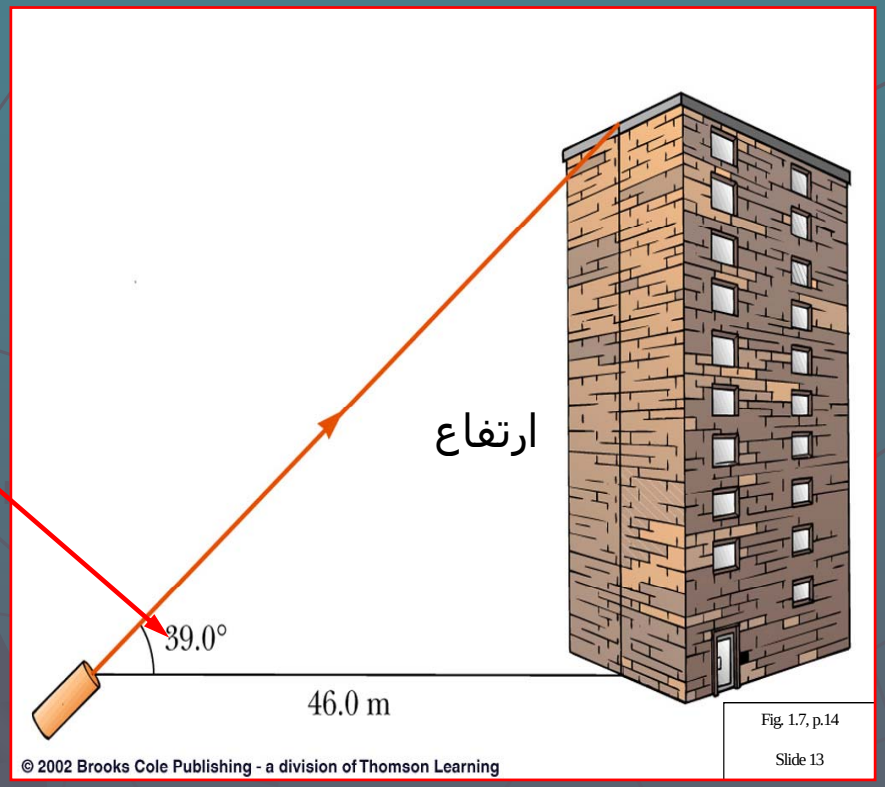


مثال

مفروضات: زاویه و یک ضلع

حکم: ضلع دیگر

کلید حل: با تعریف تانژانت زاویه که دو ضلع را به ربط می دهد!



$$\tan\alpha = \frac{\text{ارتفاع ساختمان}}{\text{فاصله}},$$

$$\text{ارتفاع=فاصله} \times \tan\alpha = (\tan 39.0^{\circ})(46.0\ m) = 37.3\ m$$

فصل سوم

حرکت در یک بعد

حرکت در یک بعد

فصل ۳ (حرکت یک بعدی)

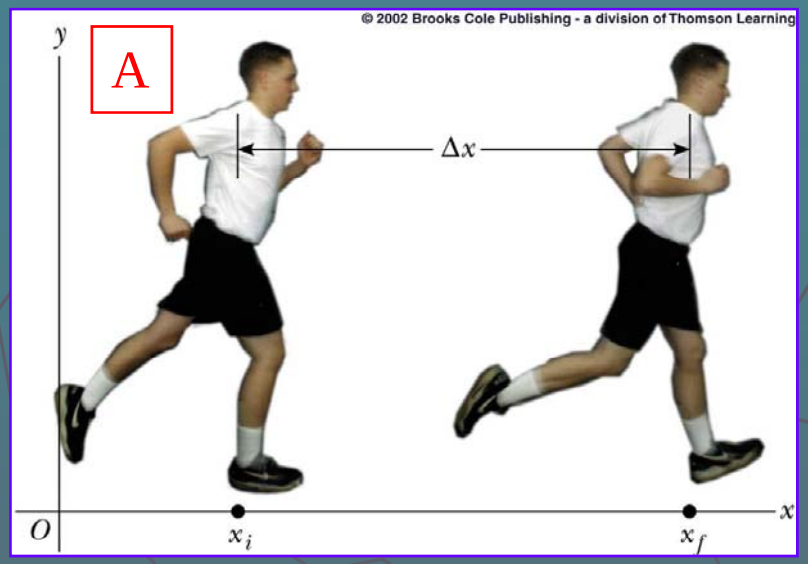
- سینماتیک ذره
- جابجایی و سرعت
- سرعت لحظه ای و سرعت متوسط
- شتاب لحظه ای و شتاب متوسط
- معادلات سینماتیکی حرکت با شتاب ثابت
- سقوط آزاد در راستای قائم

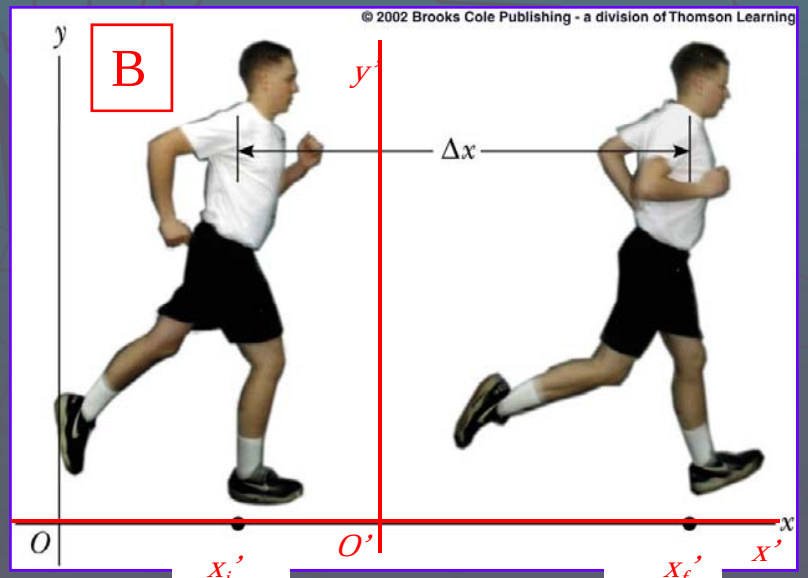
دینامیک

- شاخه ای از فیزیک که در آن حرکت اجسام و روابط بین حرکت و مفاهیم فیزیکی (عامل حرکت) بحث می شود

- سینماتیک قسمتی از دینامیک است
  - در سینماتیک، حرکت اجسام توصیف می شود
  - از عامل حرکت صحبتی به میان آورده نمی شود

مکان و جابجایی





- مکان برحسب یک دستگاه مختصات تعریف می شود

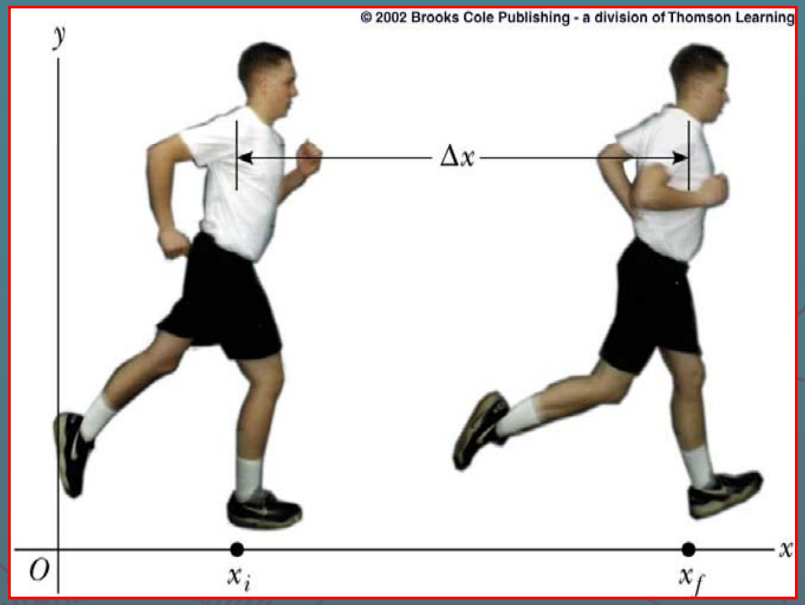
دستگاه **A**: $x_i>0$ و $x_f>0$

دستگاه **B**: $x'_i<0$ اما $x'_f>0$

- در حرکت یک بعدی، معمولا محور x- یا y- فرض می شود

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

مکان و جابجایی

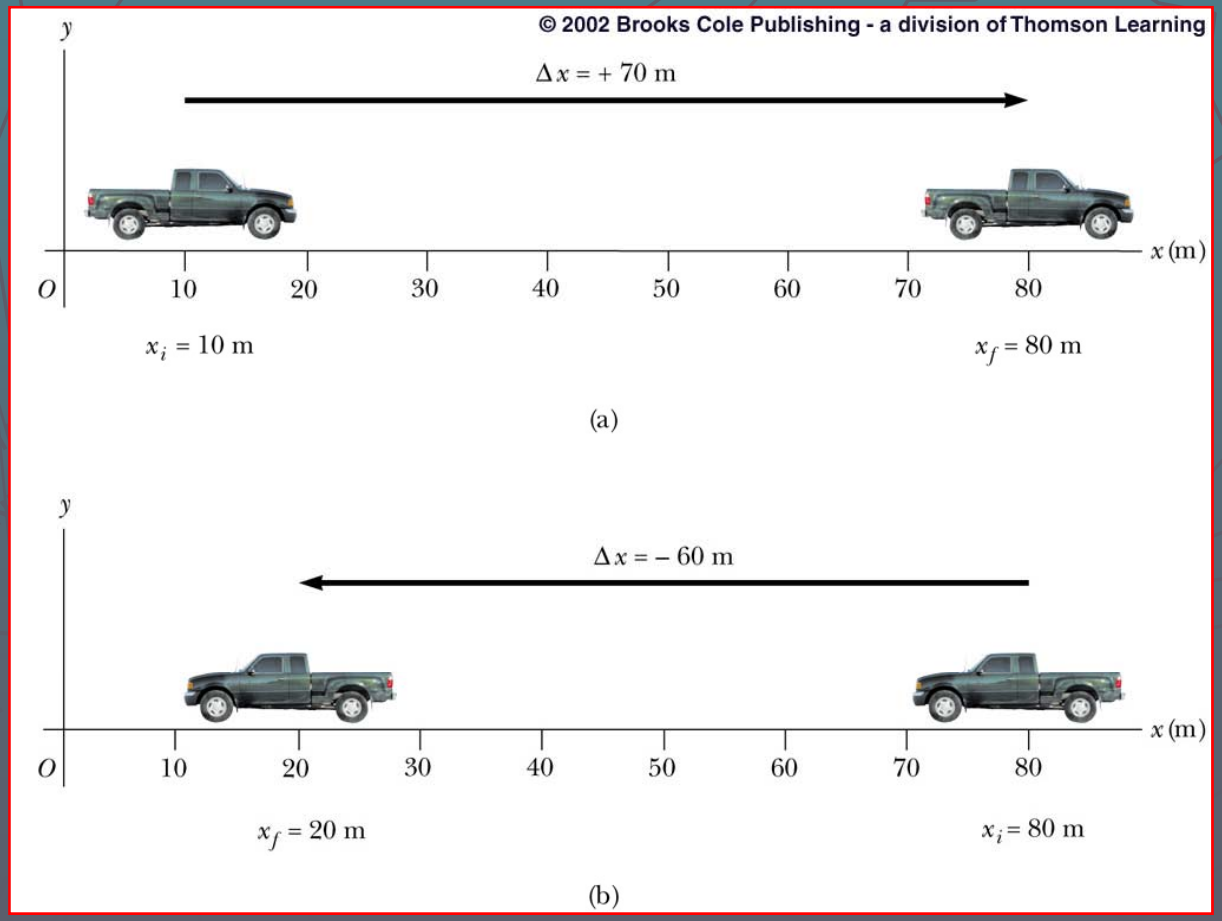


- مکان برحسب یک دستگاه مختصات تعریف می شود
  - در حرکت یک بعدی، معمولا محور x- یا y- فرض می شود
- جابجایی، تغییر مکان را اندازه گیری می کند
  - به صورت Δx (افقی) و Δy (عمودی) نمایش داده می شود
  - کمیت برداری است
  - برای نمایش جهت آن در حرکت یک بعدی + یا – کافیست

واحدها	
SI	متر (m)
CGS	سانتیمتر (cm)
US Cust	فوت (پا) (ft)

جابجایی (مثال)

- تغییر مکان یک جسم را جابجایی می گویند
- با Δx یا Δy نمایش داده می شود



$$\Delta x_1 = x_f - x_i$$
$$= 80\,m - 10\,m$$
$$= +70\,m$$

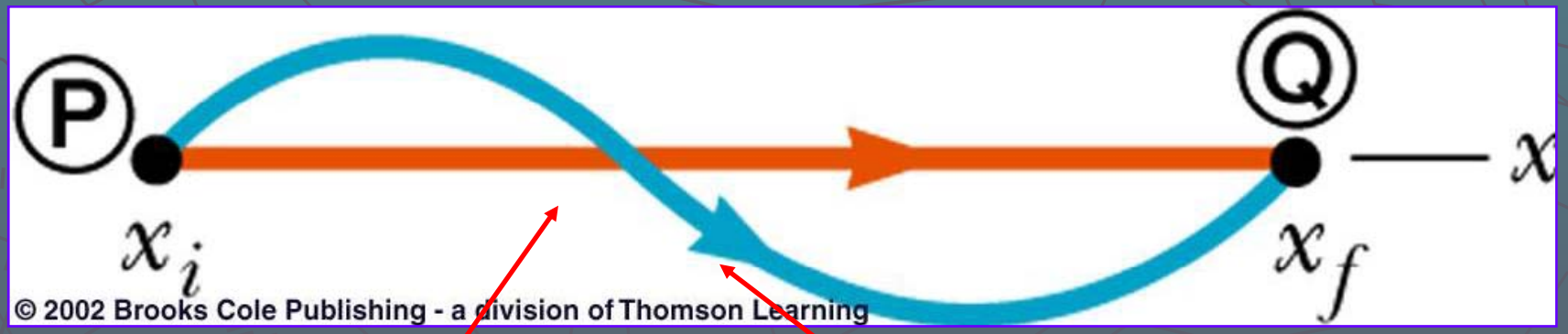
✓

$$\Delta x_2 = x_f - x_i$$
$$= 20\,m - 80\,m$$
$$= -60\,m$$

✓

مسافت یا جابجایی

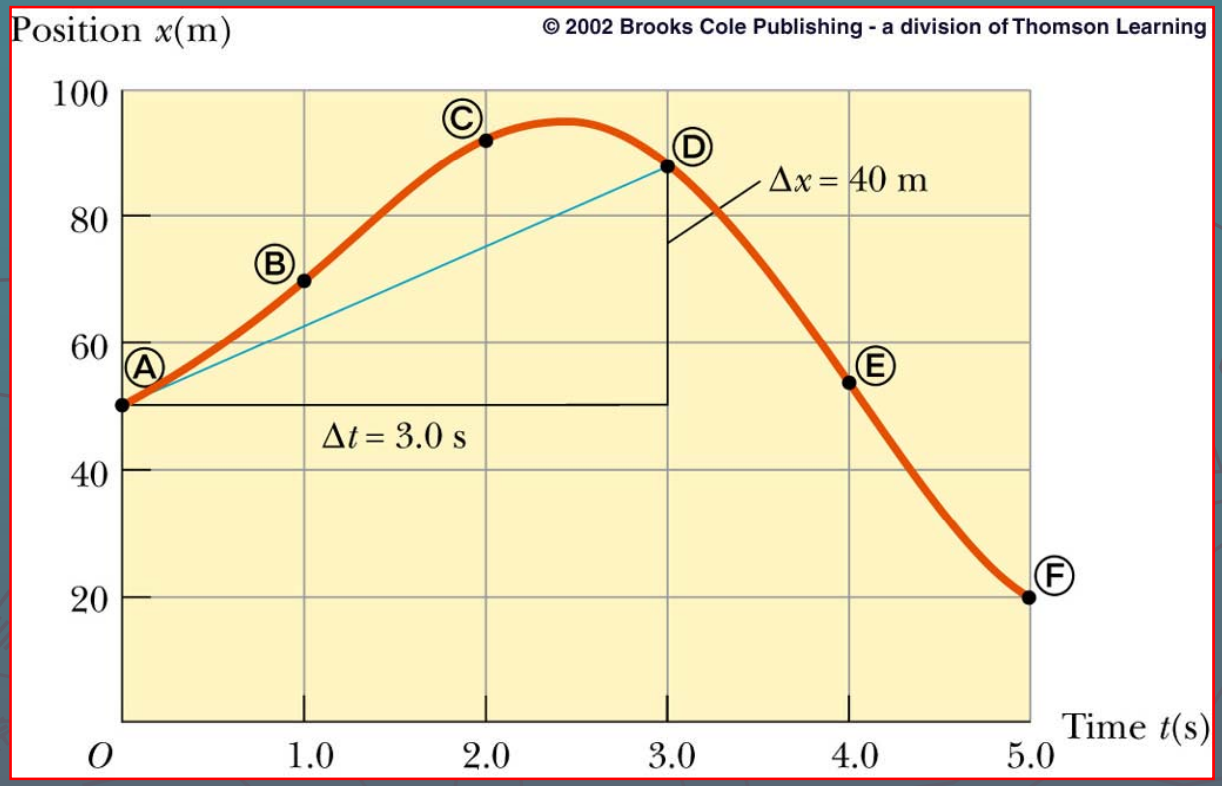
- فاصله لزومی ندارد با جابجایی یکسان باشد



جابجایی
(خط نارنجی)

فاصله (مسافت)
(خط آبی)

نمودار مکان – زمان



توجه:

نمودار مکان–زمان الزاما یک خط راست نیست، حتی اگر حرکت در امتداد محور-X باشد

سرعت متوسط

- مدت زمانی طول می کشد تا جسم از یک نقطه به نقطه دیگر جابجا شود
- آهنگ زمانی که این جابجایی رخ می دهد را سرعت متوسط گویند

$$\vec{v}_{average} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} = \frac{\vec{x}_f - \vec{x}_i}{\Delta t}$$

- سرعت متوسط برداری است که جهتش با جهت جابجایی یکسان است (Δt همواره مثبت است)
  - برای نمایش جهت آن در حرکت یک بعدی + یا – کافیست

بیشتر درباره سرعت متوسط

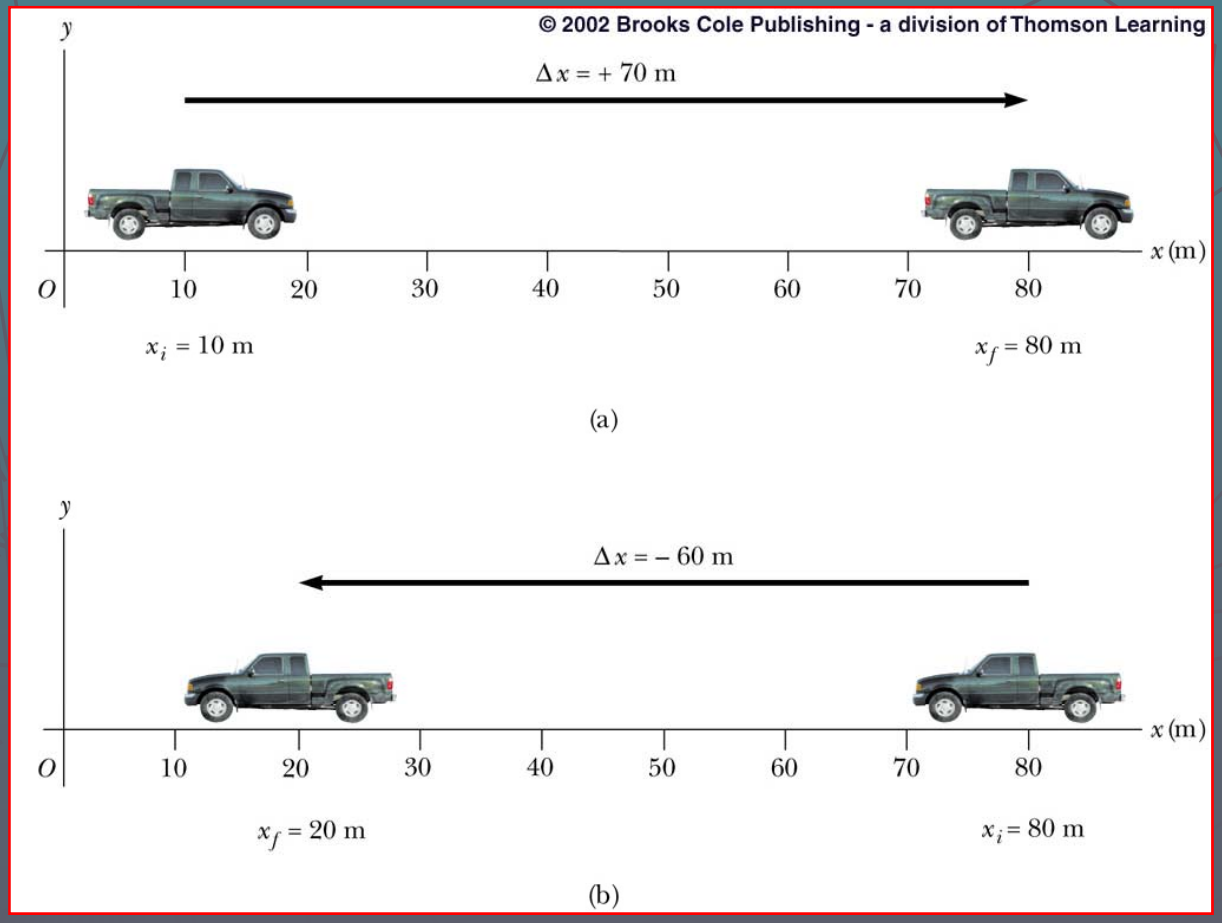
- واحدهای سرعت:

واحدها	
SI	متر بر ثانیه(m/s)
CGS	سانتیمتر بر ثانیه(cm/s)
US مرسوم	فوت بر ثانیه(ft/s)

- توجه: اگر برحسب واحدهای دیگری در مساله داده شود، معمولا باید به این واحدها تبدیل شوند

مثال:

فرض کنید در هر دو مورد، کامیونها فاصله مورد نظر را در ۱۰ ثانیه طی می کنند:



$$\vec{v}_{1\,average} = \frac{\Delta \vec{x}_1}{\Delta t} = \frac{+70m}{10s} = \underline{+7\,m/s}$$

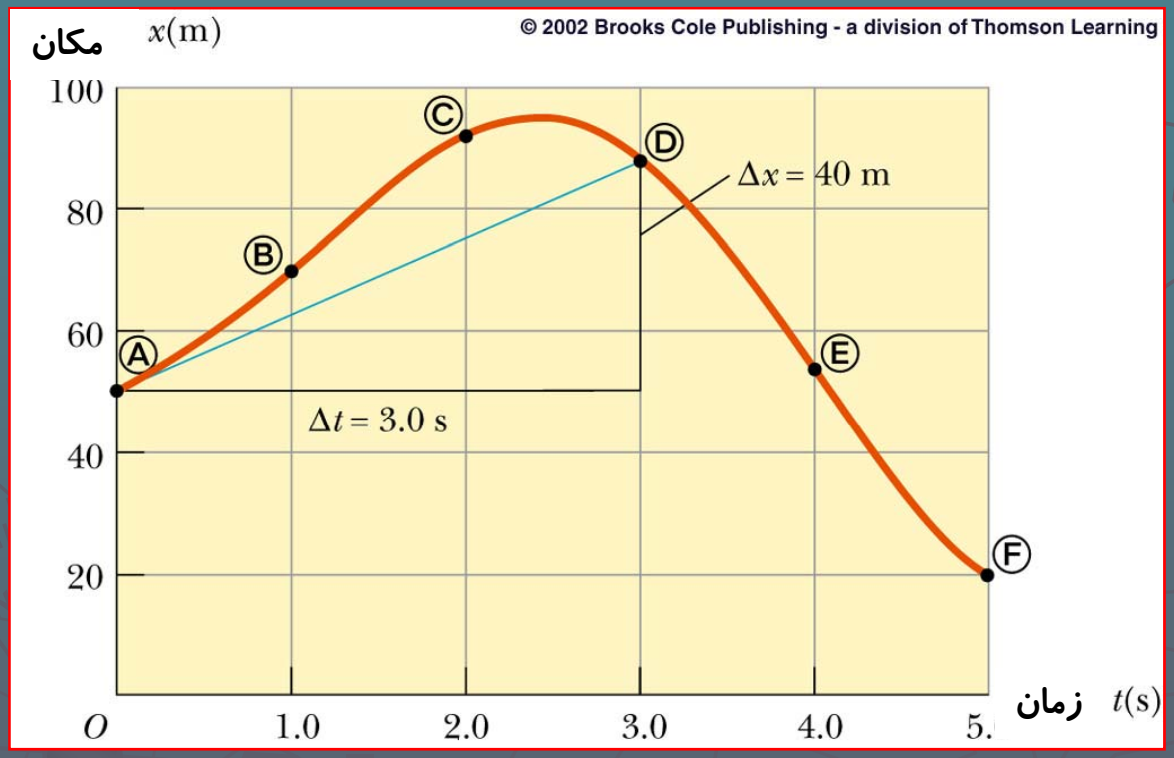
$$\vec{v}_{2\,average} = \frac{\Delta \vec{x}_2}{\Delta t} = \frac{-60m}{10s} = \underline{-6\,m/s}$$

تندی (Speed)

- تندی (Speed) یک کمیت اسکالر است
  - واحدهای آن مشابه سرعت (velocity) است
  - تندی برابر است با کل مسافت تقسیم بر مدت زمان کل
  - الزامی نیست که تندی با مقدار سرعت یکی شود

تعبیر هندسی سرعت متوسط

- سرعت می تواند از نمودار مکان–زمان تعیین شود



$$v_{average} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{+40m}{3.0s} = \underline{+13m/s}$$

- سرعت متوسط برابر است با شیب خطی که مکانهای اولیه و نهایی را بهم متصل می کند

سرعت لحظه ای

- حد سرعت متوسط وقتی بازه زمانی بی نهایت کوچک باشد و یا به صفر میل کند را سرعت لحظه ای می خوانند

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\vec{x}_f - \vec{x}_i}{\Delta t}$$

- سرعت لحظه ای نشان می دهد که چه اتفاقی در هر لحظه می افتد

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

سرعت یکنواخت

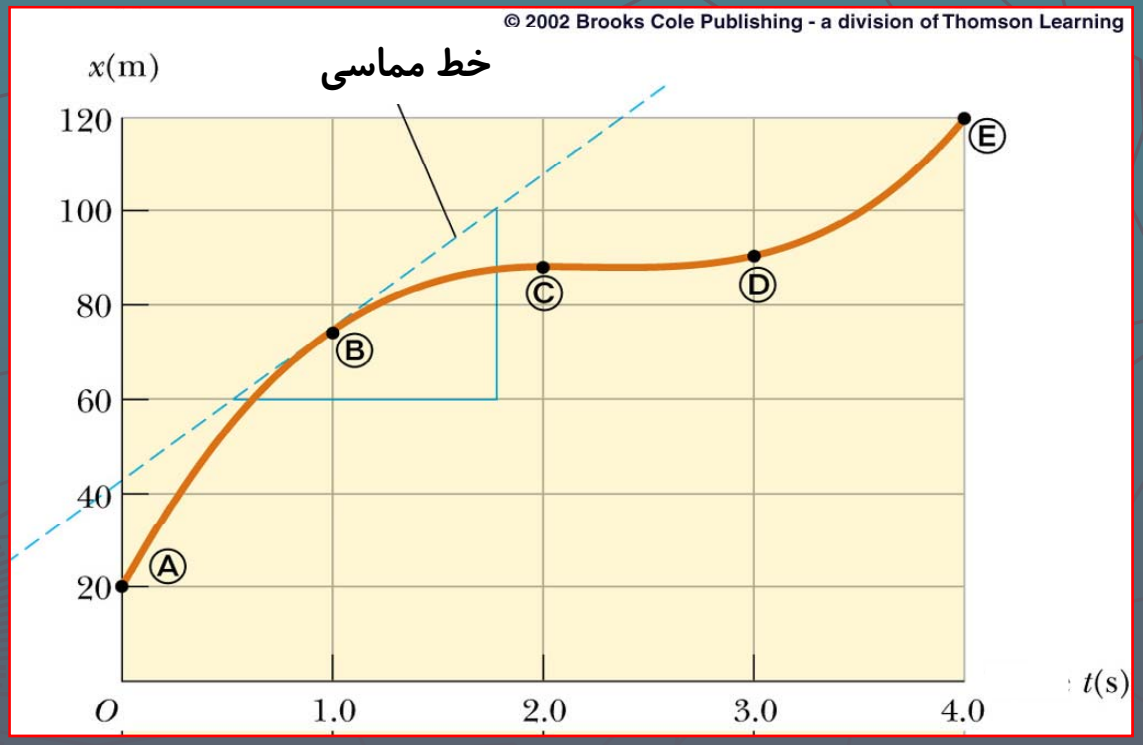
- به حرکتی که در هر لحظه، سرعت ثابت باشد، حرکت با سرعت یکنواخت می گویند

- در این حرکت، سرعت لحظه ای در تمام زمانها ثابت است
  - سرعت لحظه ای با سرعت متوسط برابر است

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

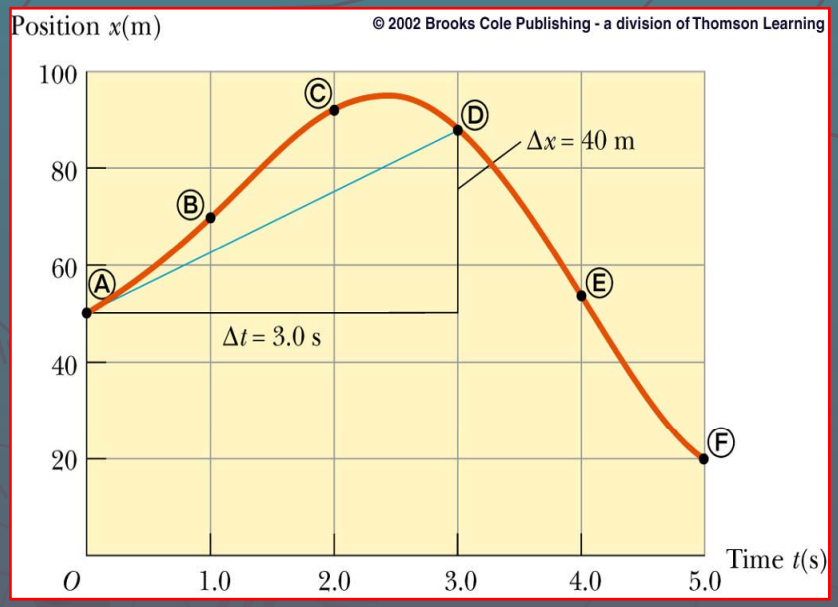
تعبیر هندسی سرعت لحظه ای

- سرعت لحظه ای برابر است با شیب منحنی در هر زمان دلخواه

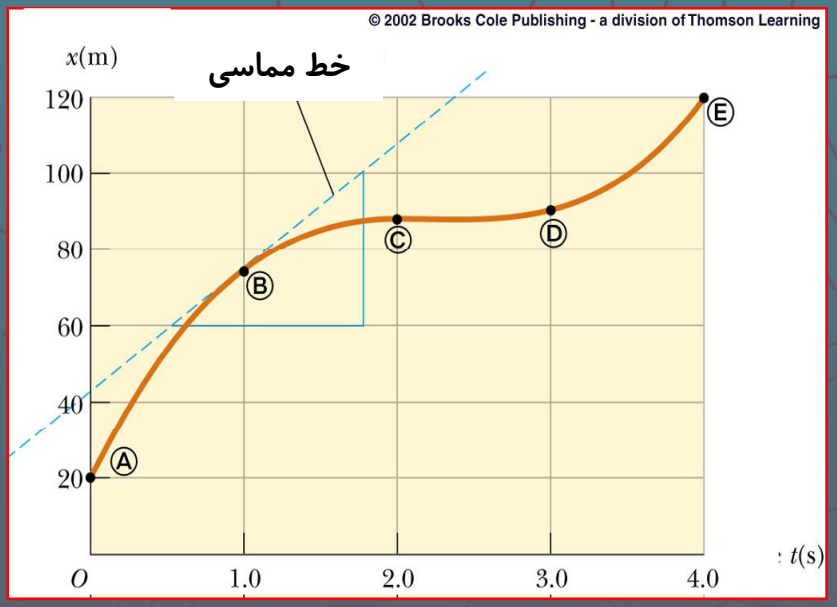


- مقدار سرعت لحظه ای را تندی لحظه ای می نامند

سرعت متوسط برحسب سرعت لحظه ای



سرعت متوسط



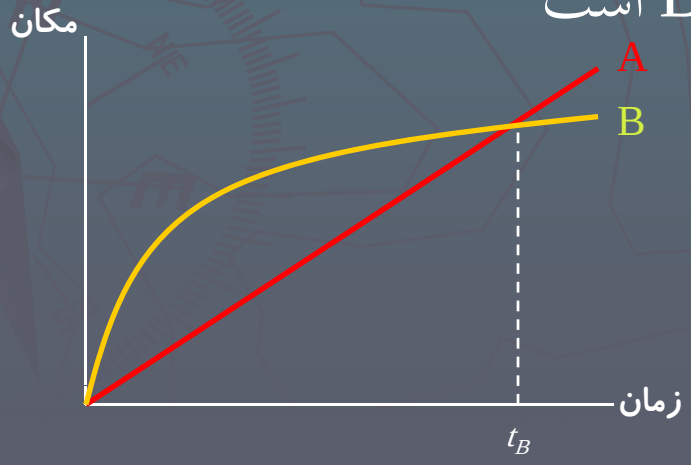
سرعت لحظه ای

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

مثال

دو منحنی در نمودار مکان–زمان زیر برای دو کامیون است که در یک مسیر موازی حرکت می کنند. کدام گزینه در مورد آنها صحیح می باشد:

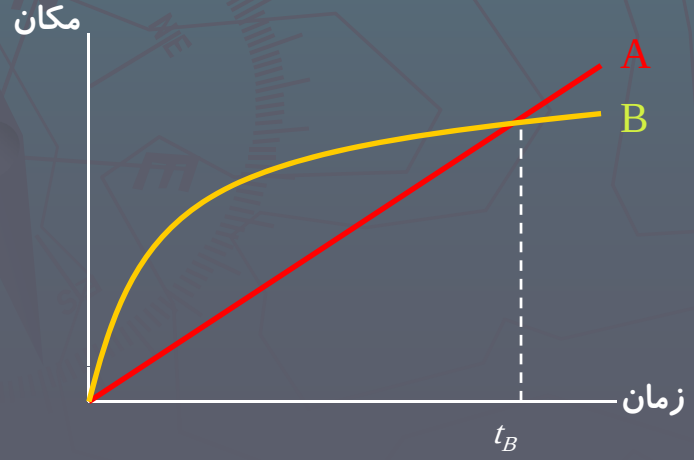
۱. در زمان t_B، هر دو کامیون سرعتهای برابر دارند
۲. سرعت هر دو کامیون برحسب زمان مدام زیاد می شود
۳. هر دو کامیون در زمانهایی قبل از t_B، سرعت برابر داشته اند
۴. سرعت متوسط کامیون A بیشتر از کامیون B است



حل

دو منحنی در نمودار مکان–زمان زیر برای دو کامیون است که در یک مسیر موازی حرکت می کنند. کدام گزینه در مورد آنها صحیح می باشد:

۱. در زمان t_B، هر دو کامیون سرعتهای برابر دارند
۲. سرعت هر دو کامیون برحسب زمان مدام زیاد می شود
۳. هر دو کامیون در زمانهایی قبل از t_B، سرعت برابر داشته اند
۴. سرعت متوسط کامیون A بیشتر از کامیون B است



توجه: شیب منحنی B موازی خط A در یک نقطه ای در $t < t_B$ می شود

شتاب متوسط

- تغییرات سرعت نسبت به زمان (غیر یکنواخت) شتاب ایجاد می کند
- آهنگ زمانی تغییرات سرعت را شتاب متوسط می گویند

$$\vec{a}_{average} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{\Delta t}$$

شتاب متوسط یک کمیت برداری است

شتاب متوسط

- وقتی علامت سرعت و شتاب یکی شوند (هر دو مثبت یا منفی) تندی زیاد می شود. به این حرکت تندشونده گویند.

- وقتی علامت سرعت و شتاب مخالف هم شوند (یکی مثبت و دیگری منفی) تندی کاهش می یابد. به این حرکت کندشونده گویند.

واحدها	
متر بر مجذور ثانیه (m/s^2)	SI
سانتیمتر بر مجذور ثانیه (cm/s^2)	CGS
بر مجذور ثانیه فوت (ft/s^2)	US مرسوم

شتاب لحظه ای و یکنواخت

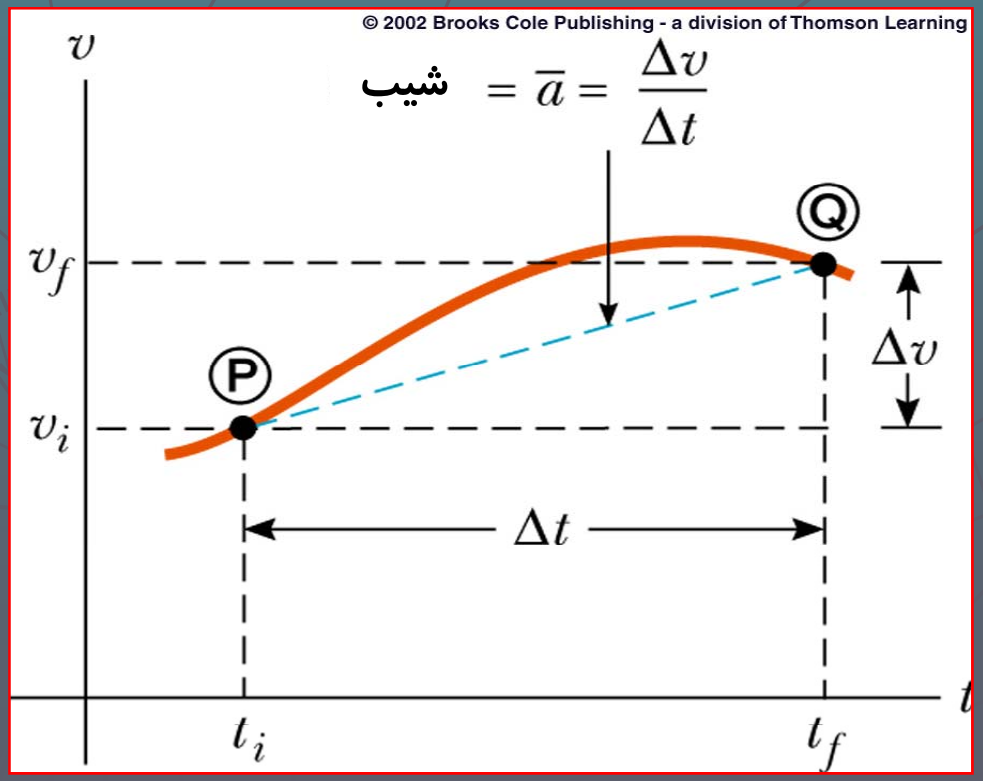
- حد شتاب متوسط وقتی بازه زمانی بی نهایت کوچک باشد و یا به صفر میل کند را شتاب لحظه ای می خوانند.

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{\Delta t}$$

- وقتی شتاب لحظه ای در تمام مدت زمان یکی شود، حرکت با شتاب ثابت می گویند.
  - در این وضعیت، شتاب لحظه ای همواره مساوی شتاب متوسط است.

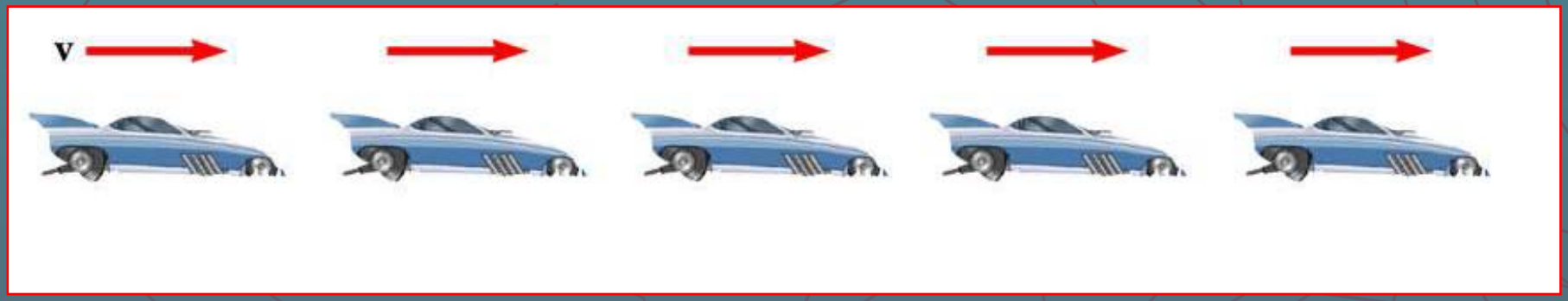
تعبیر هندسی شتاب متوسط و لحظه ای

- شتاب متوسط برابر است با شیب خطی که سرعتهای اولیه و نهایی را در نمودار سرعت–زمان بهم وصل می کند



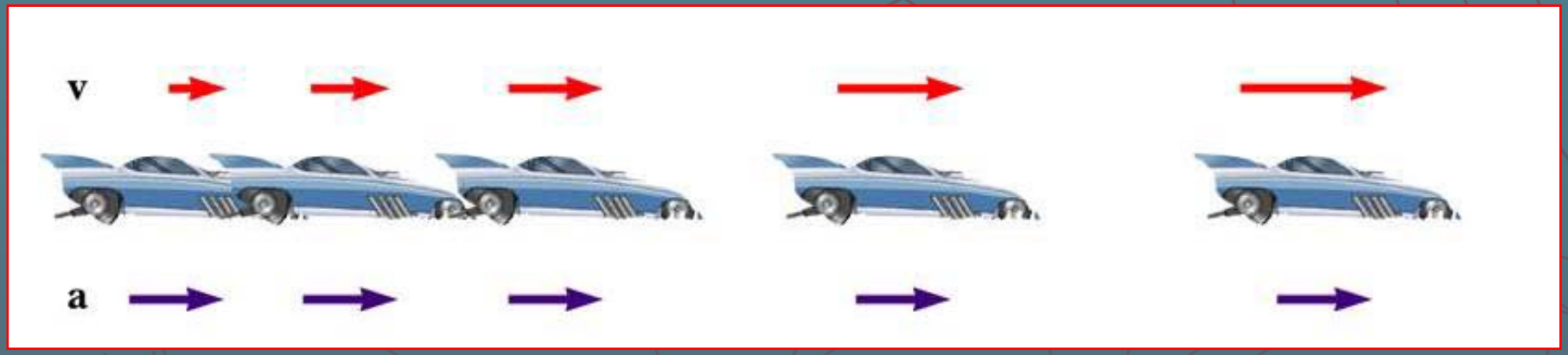
- شتاب لحظه ای برابر است با شیب خط مماس بر منحنی سرعت–زمان در هر لحظه

مثال ۱: دیاگرام حرکت



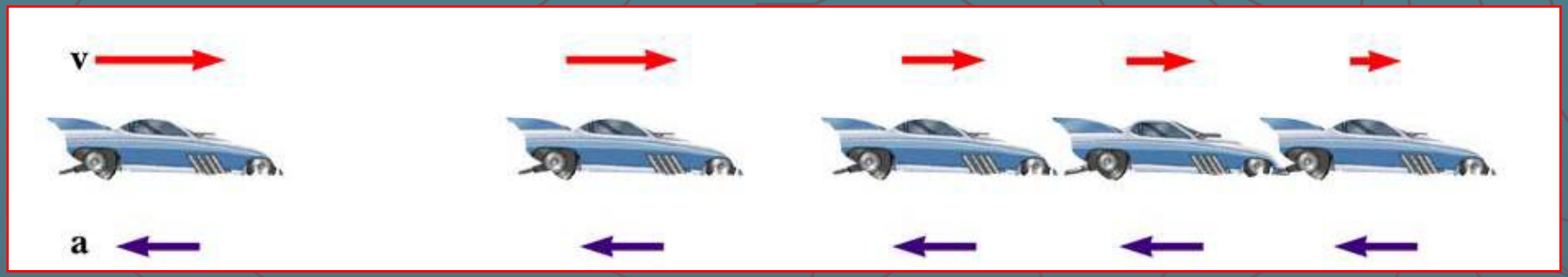
- سرعت یکنواخت (با فلشهای قرمز هم طول نشان داده شده است)
- شتاب برابر است با صفر

مثال ۲:



- سرعت و شتاب هم جهت هستند
- شتاب یکنواخت است (فلشهای آبی هم طول)
- سرعت در حال زیاد شدن است (فلشهای قرمز بلندتر شده اند)

مثال ۳:

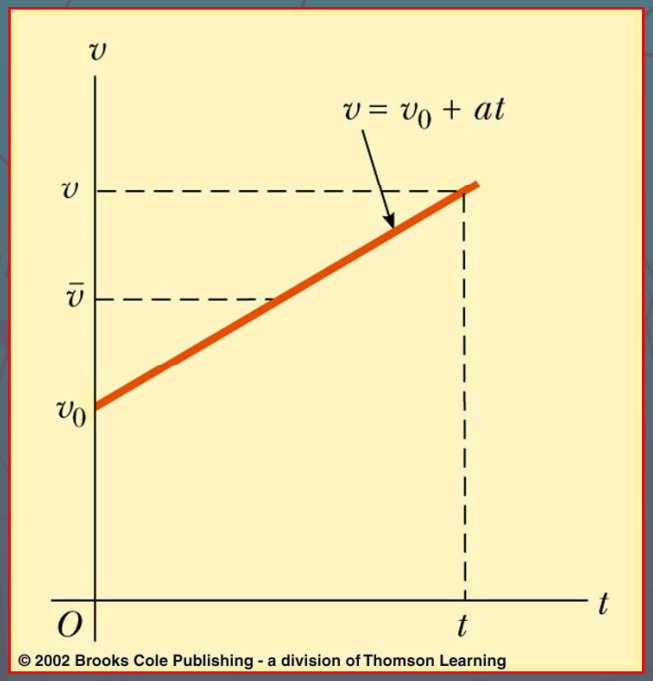


- سرعت و شتاب مخالف هم هستند
- شتاب یکنواخت است (فلشهای آبی هم طول)
- سرعت در حال کم شدن است (فلشهای قرمز کوتاهتر شده اند)

حرکت یک بعدی با شتاب ثابت

- اگر شتاب یکنواخت باشد، یعنی ($\bar{a} = a$):

بنابر این:



© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning

$$a = \frac{v_f - v_o}{t_f - t_0} = \frac{v_f - v_o}{t}$$

$$v_f = v_o + at$$

سرعت را به عنوان تابعی از شتاب و زمان نشان می دهد.

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

حرکت یک بعدی با شتاب ثابت

- با استفاده از حالتی که شتاب ثابت باشد

$$v_f = v_o + at$$

$$\Delta x = v_{average} t = \left(\frac{v_o + v_f}{2} \right) t$$

تغییرات سرعت بطور یکنواخت !!!

$$\Delta x = v_o t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v_f^2 = v_o^2 + 2a\Delta x$$

معادلات سینماتیک

$$\Delta x = v_{average}\ t = \left(\frac{v_o + v_f}{2}\right) t$$

- جابجایی به صورت تابعی از سرعت و زمان

$$\Delta x = v_o t + \frac{1}{2} a t^2$$

- جابجایی به صورت تابعی از سرعت و شتاب

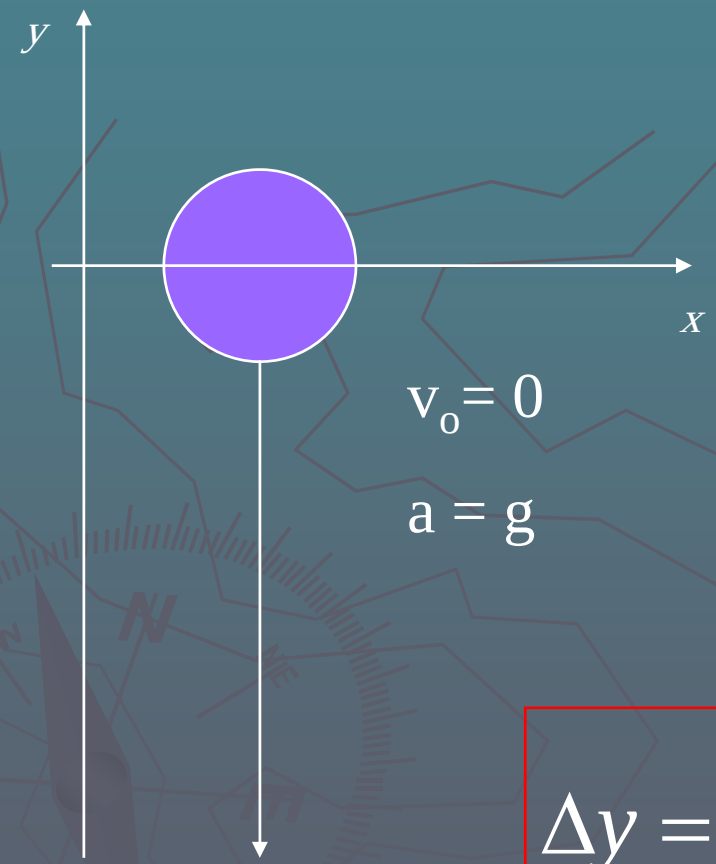
$$v_f^2 = v_o^2 + 2a\Delta x$$

- سرعت به صورت تابعی از شتاب و جابجایی (**رابطه مستقل از زمان**)

سقوط آزاد

- به حرکت تمام اجسام تحت تاثیر فقط جاذبه را حرکت سقوط آزاد می گویند
- تمام اجسام نزدیک سطح زمین با شتاب ثابتی می افتند
- به این شتاب، شتاب جاذبه زمین می گویند و با g نمایش داده می شود
- $g = 9.8\ m/s^2$ (برای سهولت در محاسبات $g = 10\ m/s^2$)
- جهت g همواره به سمت پایین است
  - به سمت مرکز زمین

سقوط آزاد: جسم رها شده

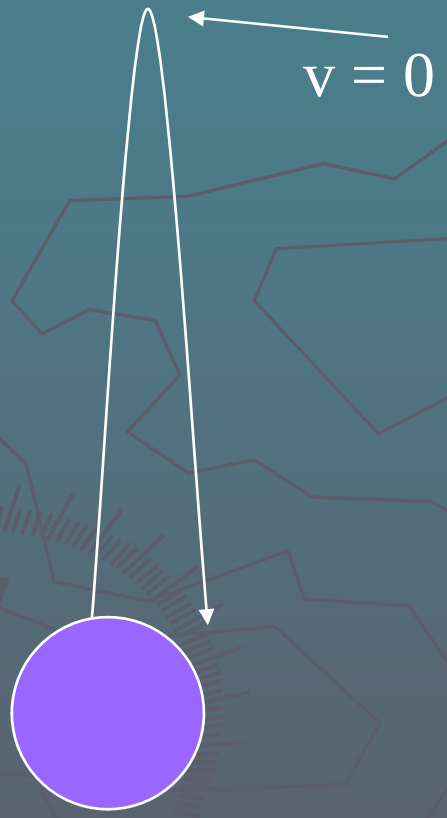


- سرعت اولیه صفر است
- **قرارداد**: جهت حرکت را مثبت اختیار کرده، اگر شتاب موافق با آن باشد آن را با "+" در غیر اینصورت "-" در نظر می گیریم
- از معادلات سینماتیک استفاده می شود
  - معمولا به جای x از y استفاده می کنیم

$$\Delta y = \frac{1}{2} a t^2$$

$$a = g = +9.8\, m/s^2$$

سقوط آزاد: پرتاب به بالا



- جهت سرعت اولیه به سمت بالا (مثبت)
- سرعت لحظه ای در نقطه اوج (ماکزیمم مسیر) صفر است.
- در طول حرکت همواره a = g
  - جهت g رو به پایین (مخالف حرکت)، پس علامتش منفی است.

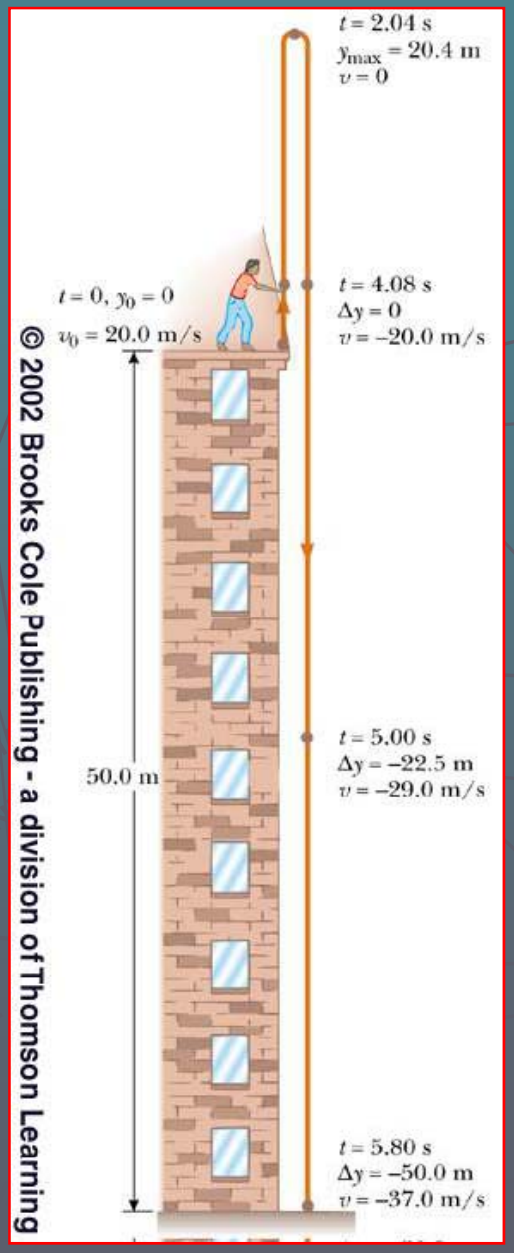
$$\Delta y = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t$$

$$a = -g = -9.8\,m/s^2$$

پرتاب با بالا

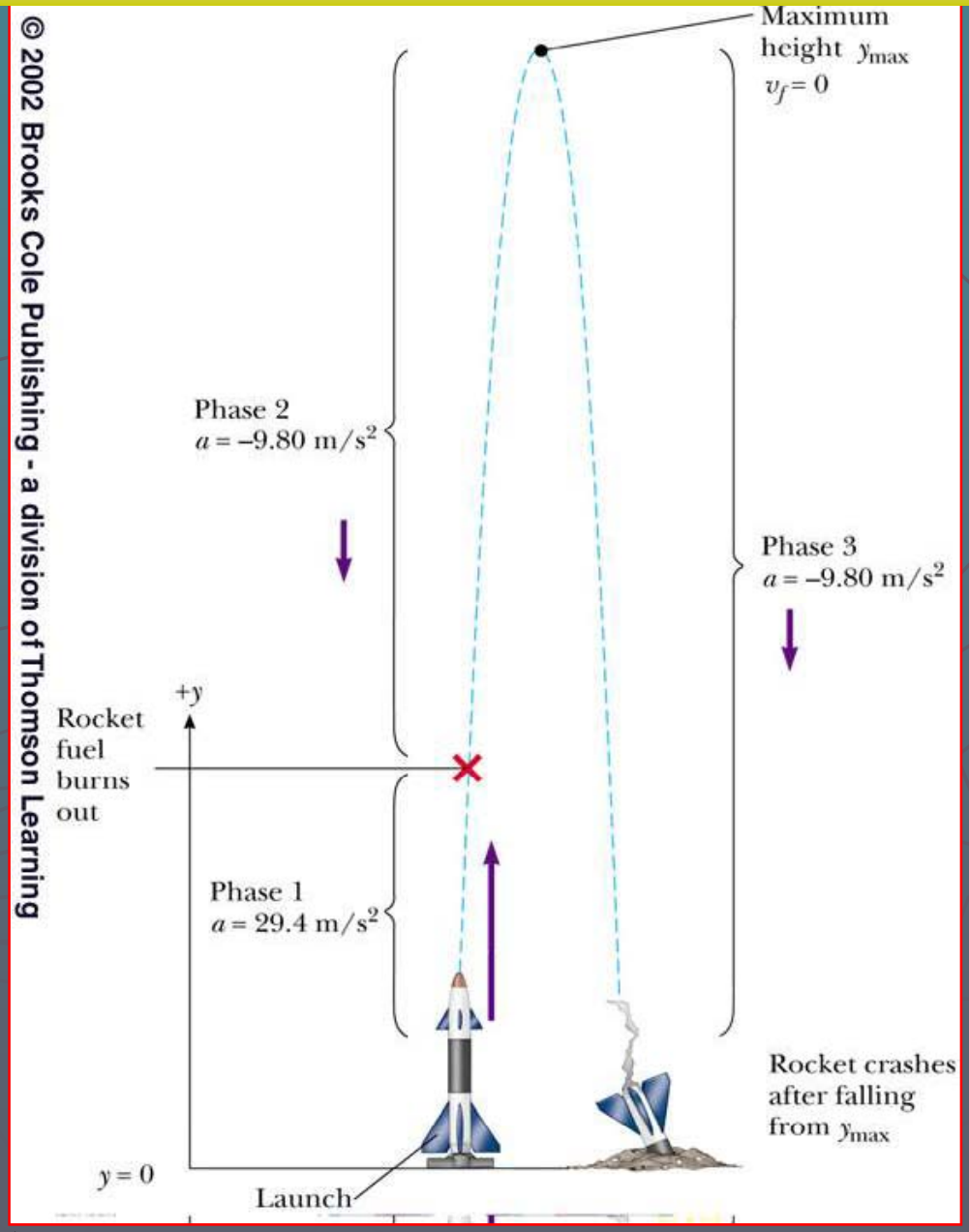
- حرکت سقوط آزاد وقتی متقارن است که:
  - $t_{up} = t_{down}$
  - $v_f = -v_o$
- حرکت سقوط آزاد وقتی نامتقارن است که:
  - حرکت در قسمتهای مختلفی انجام گیرد
  - حرکت فقط رو به بالا باشد و یا فقط رو به پایین

سقوط آزاد نامتقارن



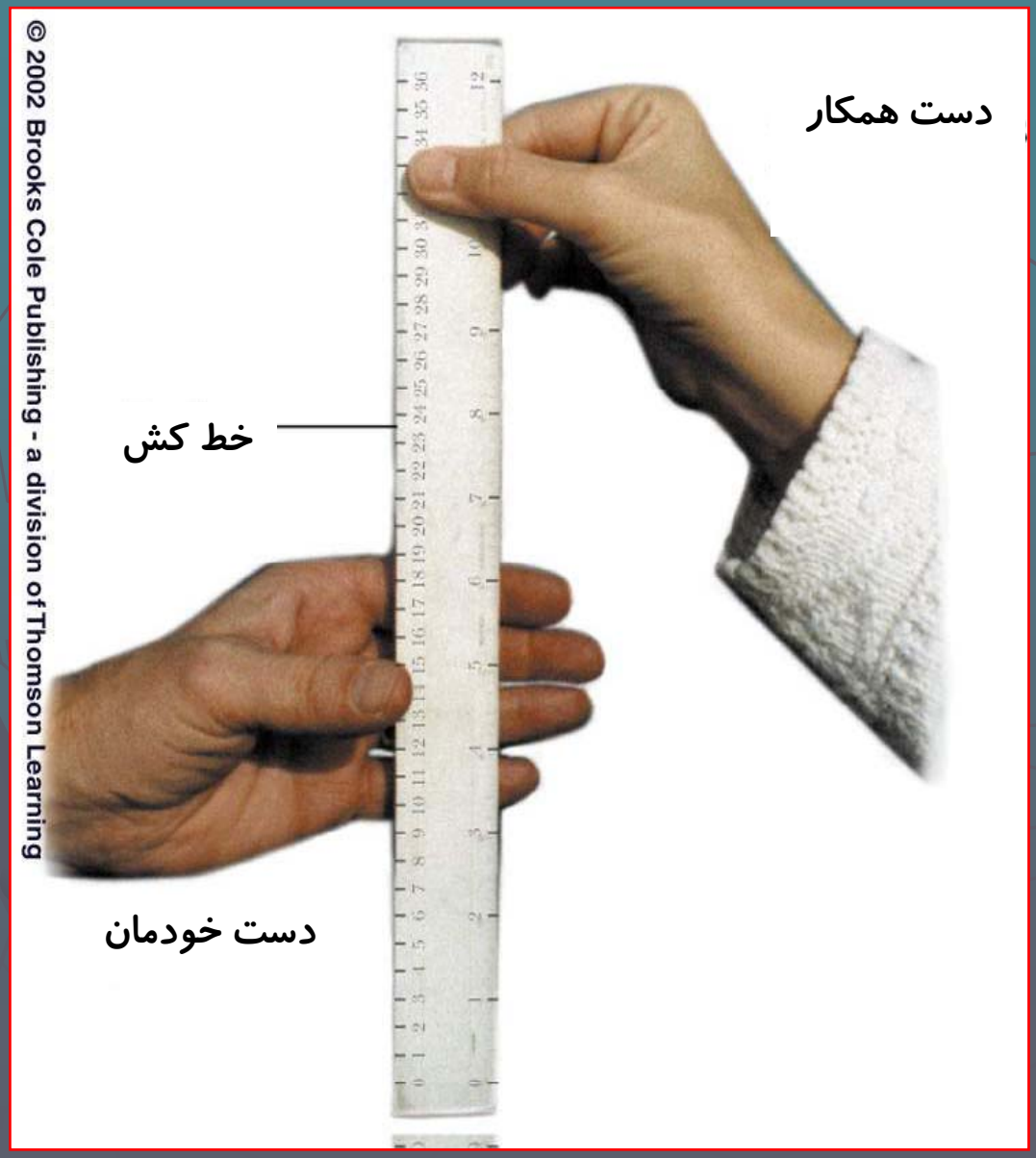
- نیاز به تقسیم بندی حرکت به قسمتهای مختلف است.
- نتایج ممکنه
  - قسمتهایی رو به بالا
  - قسمتهایی رو به پایین
  - حرکت رو به بالا و پایین که بخشی از آن متقارن و بخشی دیگر نامتقارن می باشد

حرکتهای ترکیبی



علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

آزمایش سرعت: زمان عکس العمل



$$d = \frac{1}{2} g t^2, \; g = 9.8 \, m/s^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2d}{g}}$$

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

فصل چهارم

حرکت در دو بعد

فهرست

فصل ٤ (حرکت دو بعدی- پرتابه ها)

- حرکت دو بعدی
- جابجایی، سرعت و شتاب در حرکت دو بعدی
- پرتابه ها
- قوانین حاکم بر حرکت پرتابه ها

حرکت در دو بعد

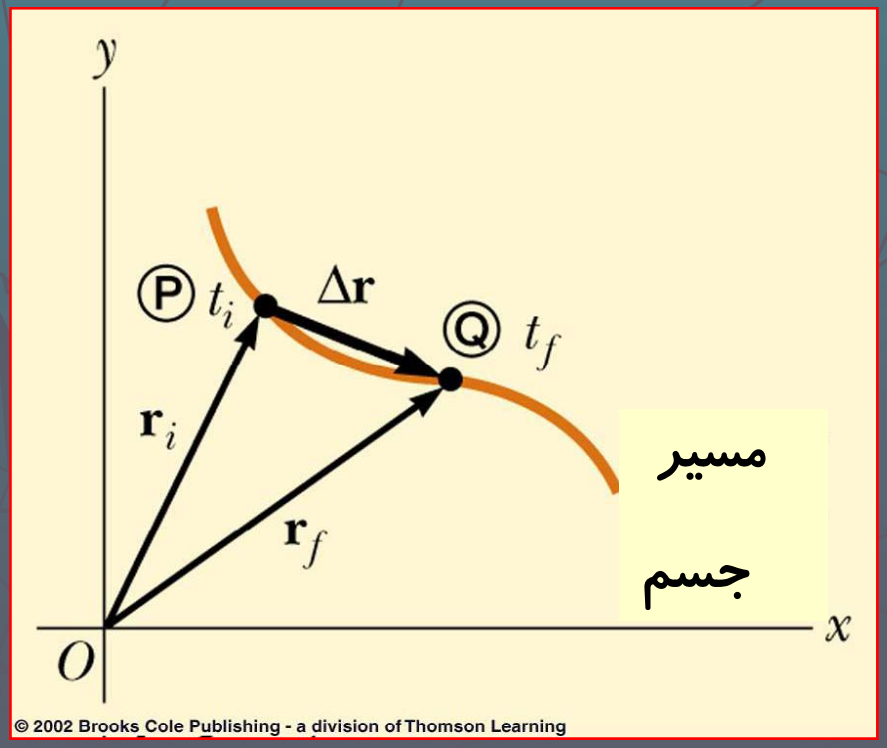
- همواره با علامتهای + یا – حرکت بطور کامل توصیف نمی شود
  - از بردارها برای توصیف حرکت می توان استفاده کرد
- هنوز به جابجایی، سرعت و شتاب برای توصیف علاقمندیم

جابجایی

- مکان یک جسم با یک بردار مکان توصیف می شود، $\mathbf{r}$

- جابجایی یک جسم به صورت تغییرات مکانی تعریف می شود

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_f - \mathbf{r}_i$$



سرعت

- سرعت متوسط:

آهنگ جابجایی به بازه زمانی لازم برای جابجایی

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

- سرعت لحظه ای:

حد سرعت متوسط وقتی Δt که به صفر میل می کند

- جهت سرعت لحظه ای در راستای خط مماس بر مسیر حرکت جسم (راستای حرکت) است.

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

شتاب

- شتاب متوسط:

آهنگ تغییرات سرعت به زمان

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

- شتاب لحظه ای:

حد شتاب متوسط وقتی Δt به سمت صفر میل می کند

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

راههای ممکنه برای شتاب دادن جسم

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

- مقدار سرعت (تندی) تغییر کند
- راستای سرعت تغییر کند
  - حتی اگر مقدارش ثابت بماند
- هم مقدار و هم راستای سرعت تغییر کند

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

معادلات سینماتیک (از فصل قبل)

$$\Delta x = v_{average}\ t = \left(\frac{v_o + v_f}{2}\right) t$$

- جابجایی به صورت تابعی از سرعت و زمان

$$\Delta x = v_o t + \frac{1}{2} a t^2$$

- جابجایی به صورت تابعی از سرعت و شتاب

$$v_f^2 = v_o^2 + 2a\Delta x$$

- سرعت به صورت تابعی از شتاب و جابجایی (**رابطه مستقل از زمان**)

مثال: حرکت پرتابه (Projectile)

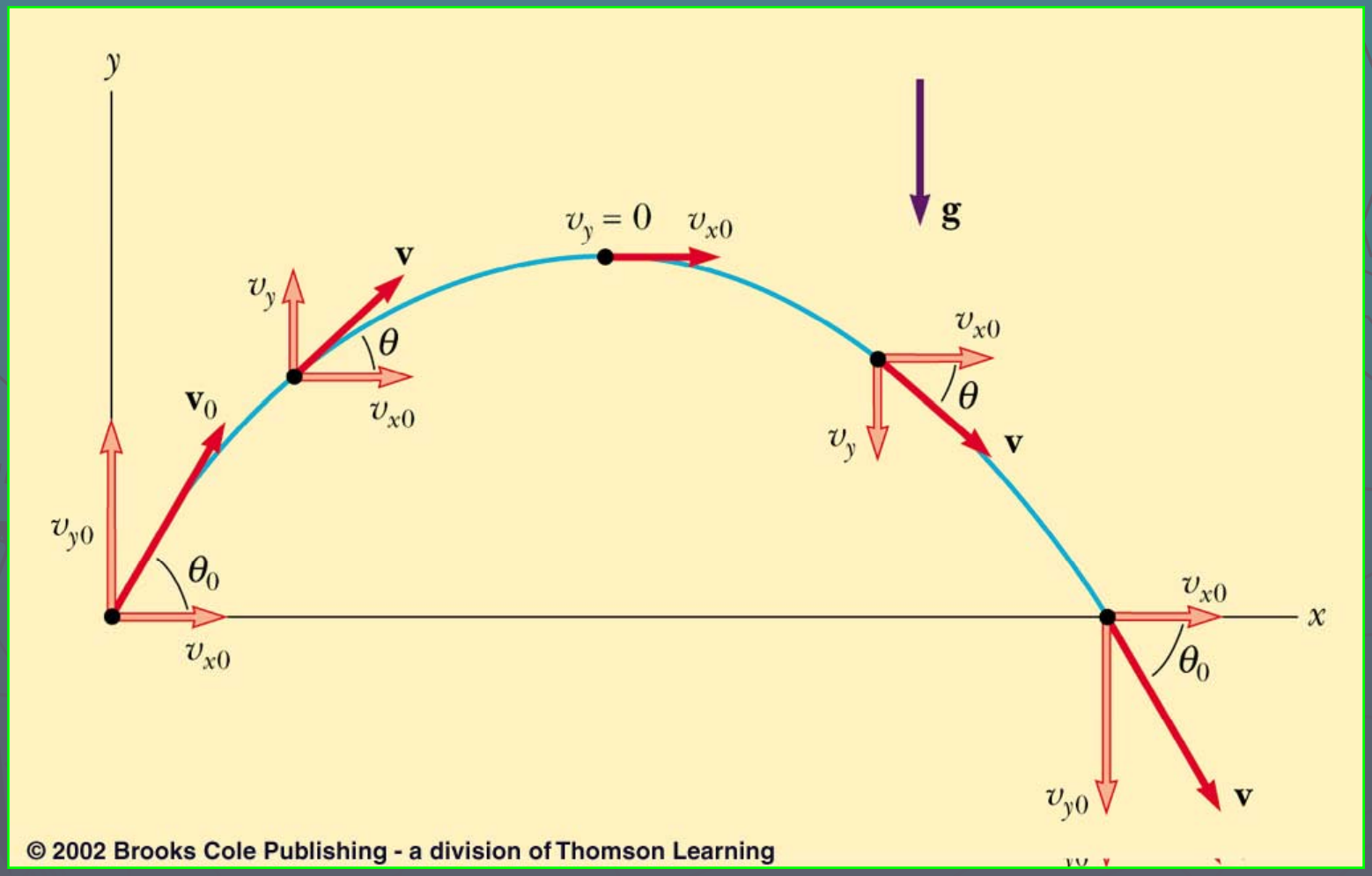
- یک جسم می تواند همزمان در دو راستای x و y حرکت کند (یعنی دو بعدی).
- شکل حرکت دو بعدی مورد بحث را حرکت پرتابه گویند
- برای سهولت در محاسبات می توان:
  - از اصطکاک هوا صرفنظر کرد
  - از چرخش زمین صرفنظر کرد
- با این مفروضات، یک جسم در حرکت پرتابه یک مسیر سهمی را دنبال می کند.

نکاتی بر حرکت پرتابه

- اگر جسم پرتاب شود نیروی جاذبه جسم را به طرف خودش می کشد، مانند حرکت به رو به پایین و بالا

- چون نیروی جاذبه جسم را به طرف خودش می کشد:
  - ✓شتاب عمودی به سمت پایین
  - ✓در راستای افقی هیچ شتابی وجود ندارد

حرکت پرتابه


y
x
g
$v_y = 0$
v_{x0}
v
v_y
θ
v_{x0}
$\mathbf{v}_0$
v_{y0}
θ_0
v_{x0}
v_{x0}
θ
v_y
v
v_{x0}
θ_0
v_{y0}
v
© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning

قوانین حرکت پرتابه

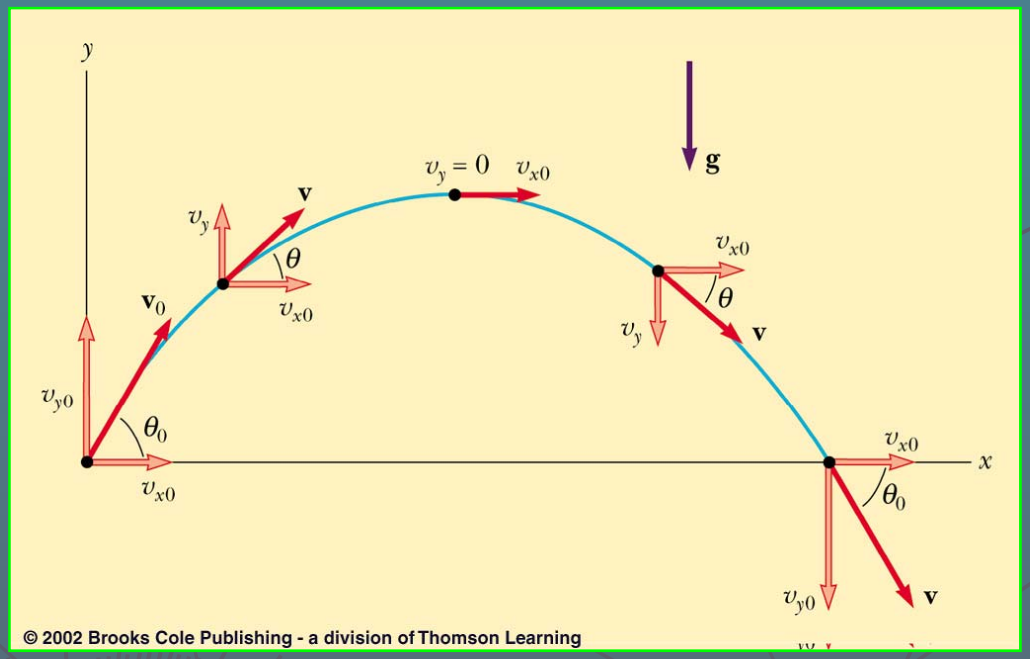
- با در نظر گرفتن یک چارچوب مختصات دو بعدی
- مولفه های x- و y- حرکت می توانند بطور مستقل رفتار کنند
- سرعتها (سرعت اولیه) می توانند به دو مولفه x- و y- تجزیه شوند
- حرکت در راستای x- یکنواخت است

$$a_x = 0$$

- حرکت در راستای y- سقوط آزاد است

$$|a_y| = g$$

جزئیات قوانین

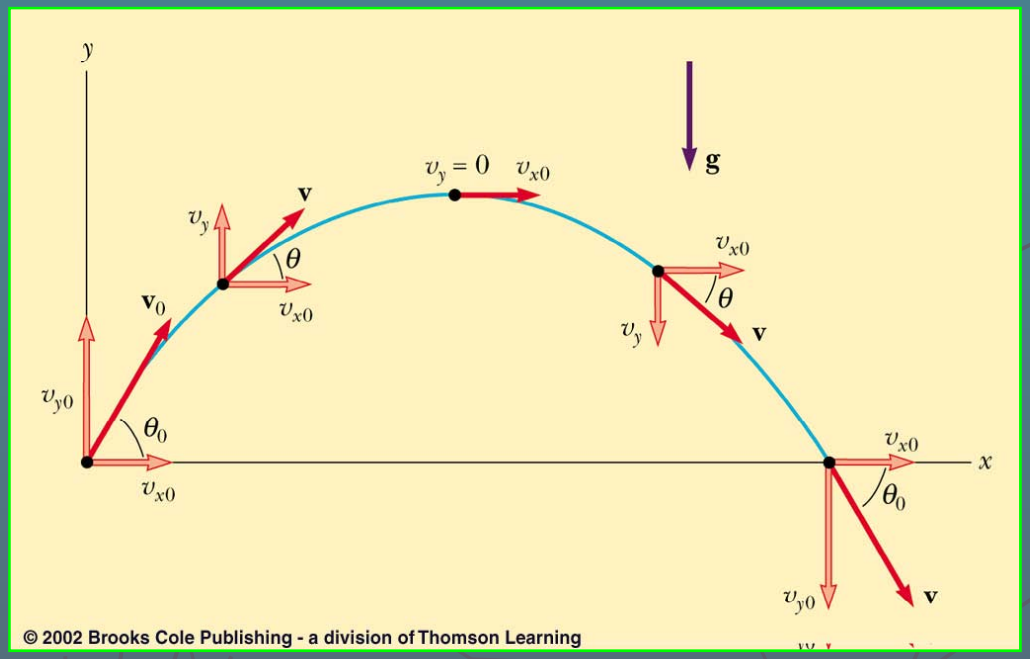


- راستای X-
  - $a_x = 0$
  - ثابت $= v_x = v_o \cos\theta_o = v_{xo}$
  - $x = v_{xo}t$

- این اولین معادله موثر در راستای X- حرکت است، زیرا در آن راستا سرعت یکنواخت است

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

جزئیات قوانین



راستای y-

- $v_{yo} = v_o \sin\theta_o$
- راستای مانند حرکت سقوط آزاد می ماند یعنی جهت حرکت را مثبت فرض می کنیم
- علامت شتاب در راستای حرکت مثبت و بالعکس منفی می باشد

$a_y = -g$ (in general, $|a_y| = g$)

- در راستای y- حرکت شتابدار با شتاب ثابت می باشد، بنابر این معادلات حرکت مانند سابق می باشد

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

سرعت پرتابه

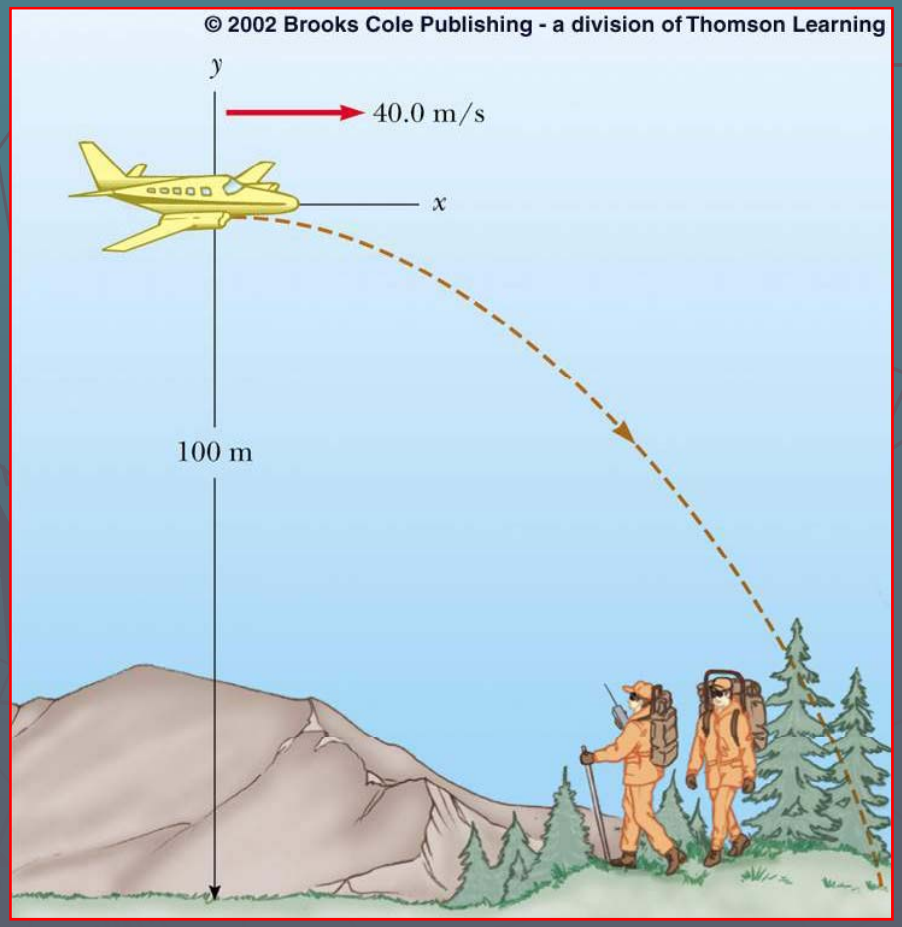
- سرعت پرتابه در هر نقطه ای از حرکتش، مجموع برداری مولفه های x و y در آن نقطه می باشد

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \qquad \text{و} \qquad \theta = \tan^{-1}\frac{v_y}{v_x}$$

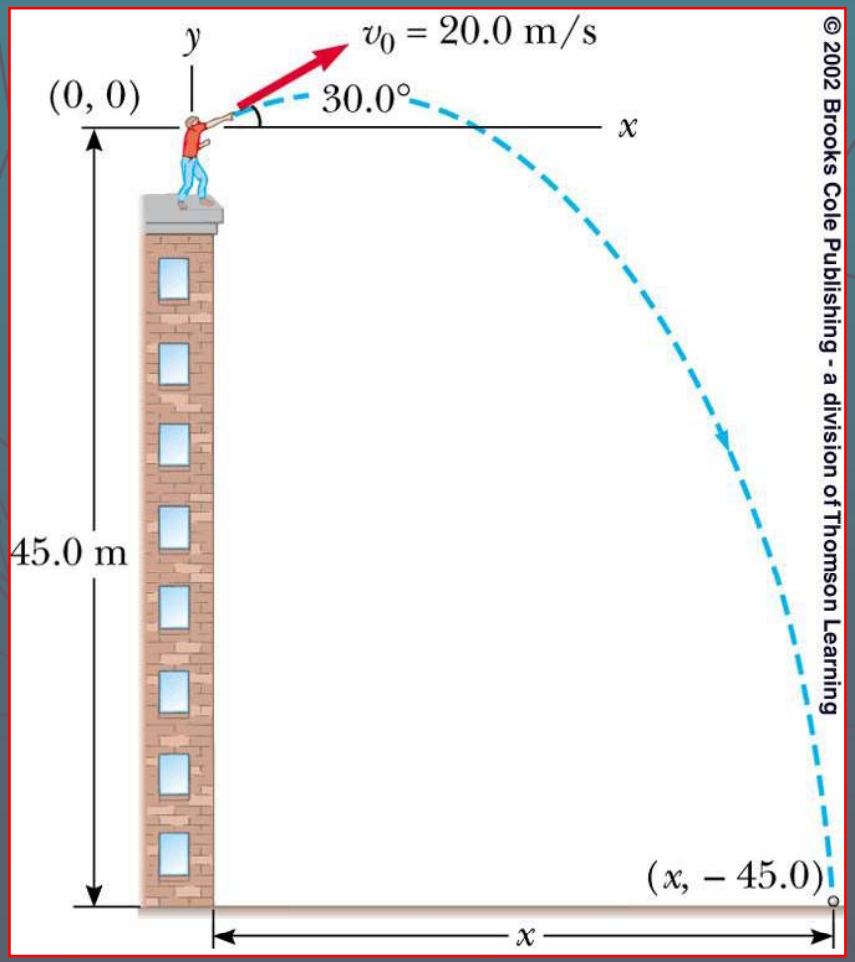
علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

مثال حرکت پرتابه

- یک جسم ممکن است بطور افقی رها شود
- سرعت اولیه، فقط در جهت X- می باشد
  - $v_y = 0$ و $v_o = v_x$
- تمام قواعد کلی حرکت پرتابه برقرار است

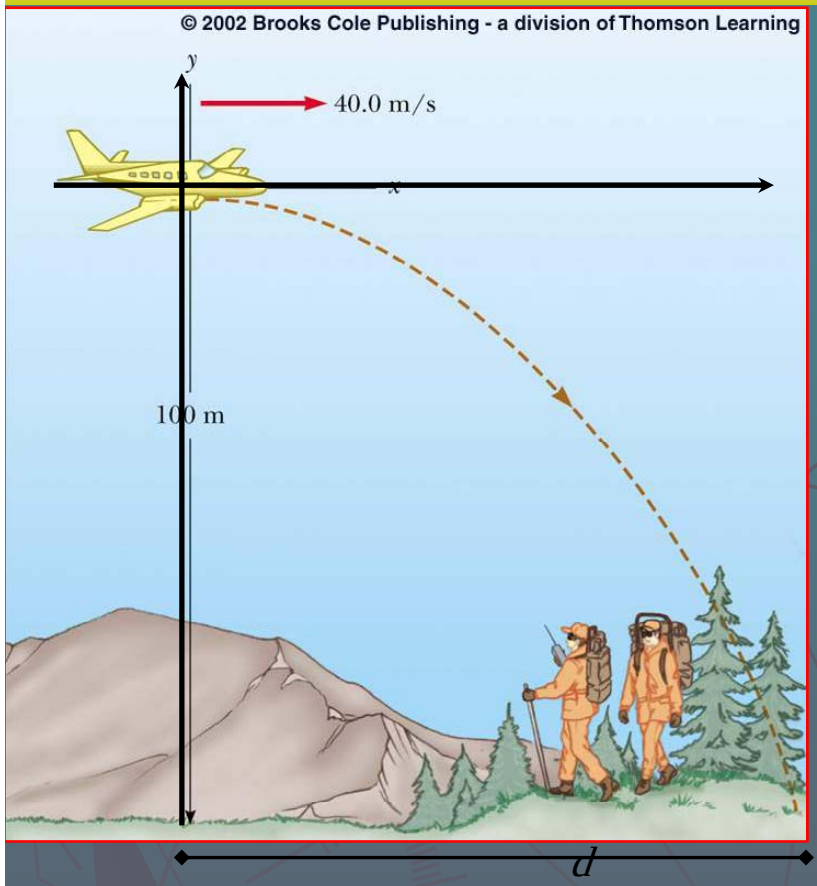


حرکت نامتقارن پرتابه



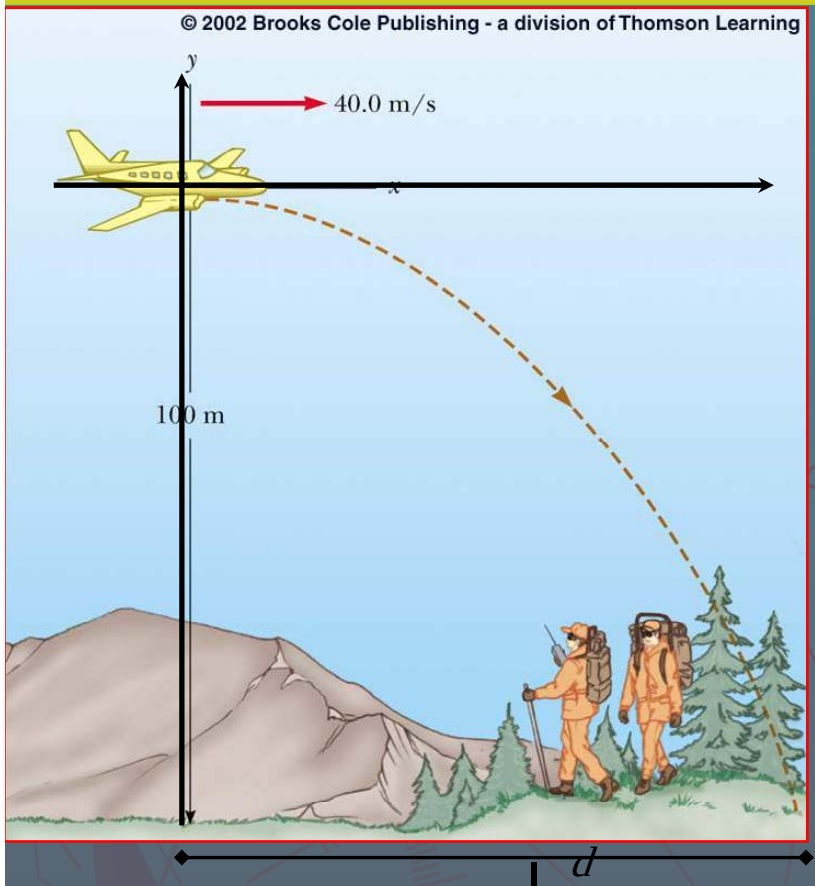
- درک قواعد کلی برای حرکت پرتابه
- تقسیم حرکت-y در راستای به دو بخش
  - بالا و پایین
  - حرکت متقارن نسبت به نقطه پرتاب (شروع حرکت)

مساله



یک هواپیما قصد دارد بسته ای را برای سیاحانی مطابق شکل بفرستد. هواپیما بطور افقی با سرعت ۰/٤۰ m/s در یک ارتفاع ۱۰۰ متری بالای زمین در حرکت است. حساب کنید در چنین وضعیتی، بسته نسبت به نقطه ای که رها می شود در کجا فرود می آید؟

حل



یک هواپیما قصد دارد بسته ای را برای سیاحانی مطابق شکل بفرستد. هواپیما بطور افقی با سرعت ۰/٤۰ m/s در یک ارتفاع ۱۰۰ متری بالای زمین در حرکت است. حساب کنید در چنین وضعیتی، بسته نسبت به نقطه ای که رها می شود در کجا فرود می آید؟

داده ها:

سرعت: $v = 40.0\ m/s$

ارتفاع: $h = 100\ m$

$v_{ox} = v = +40\ m/s$

$v_{oy} = 0\ m/s$

$$\underline{Oy}: y = \frac{1}{2}gt^2,\ so \quad t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

$$or: \quad t = \sqrt{\frac{2(-100\,m)}{-9.8\,m/s^2}} = 4.51s$$

یافته ها:

فاصله $d = ?$

$$\underline{Ox}: x = v_{x0}t,\ so \quad x = (40\,m/s)(4.51s) = \underline{180\,m}$$ ✓

فصل پنجم

قوانین حرکت (دینامیک ذره ۱)

فهرست

فصل ۵ (دینامیک ذره ۱)

- نیروها
- قانون اول نیوتن
- جرم و لختی
- قانون دوم نیوتن
- انواع نیروها
- نیروی جاذبه و وزن
- قانون سوم نیوتن
- کاربرد قوانین نیوتن
- مسایل قانون دوم نیوتن

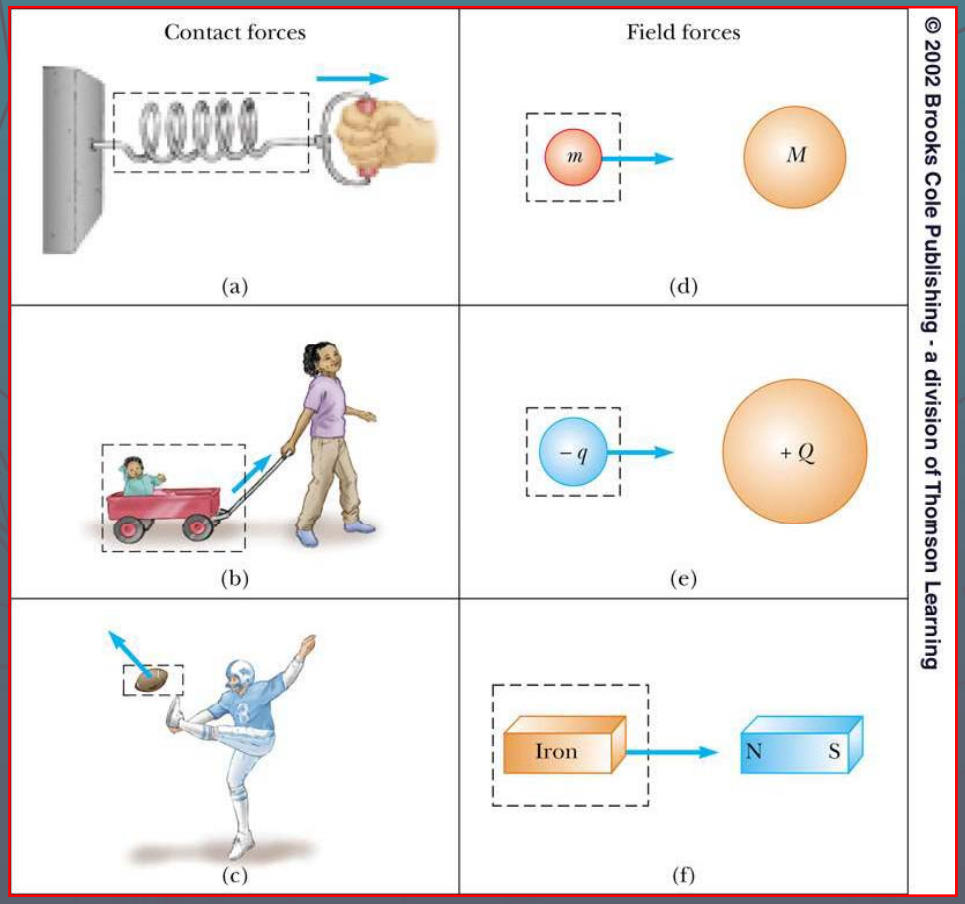
مکانیک کلاسیک

- توصیف رابطه بین حرکت اجسام در فضای اطرافمان و نیروهای اعمالی روی آنها
- جاهایی که قوانین کلاسیک کار نمی کند:
  - برای اجسام خیلی ریز (اندازه های اتمی)
  - اجسامی که با سرعت نور حرکت می کنند

نیروها

- معمولا تصور نیرو به عنوان یک فشار یا کشش است
- یک کمیت برداری است

- ممکن است نیروی تماسی
یا
تحت یک نیروی میدانی



نیروهای بنیادی

- **انواع نیروها**
  - نیروی هسته ای قوی
  - نیروی الکترومغناطیسی
  - نیروی هسته ای قوی
  - نیروی جاذبه
- **مشخصات**
  - همگی نیروهای تحت میدان هستند
  - ترتیب آنها بر اساس کاهش شدت آنها می باشد
  - تنها نیروی جاذبه و الکترومغناطیسی در مکانیک کاربرد دارد

قانون اول نیوتن

قانون اول نیوتن:

- اگر به جسمی نیرو وارد نشود، حالت اولیه حرکتش را حفظ می کند: یعنی، اگر ساکن است، ساکن می ماند و اگر با سرعت ثابت در حرکت است، حرکت یکنواختش را ادامه می دهد.

قانون اول نیوتن

- نیروی خارجی
  - هر نیرویی که از برهمکنش بین جسم و محیط نتیجه شود

- **بیان دیگری از قانون اول نیوتن**
  - وقتی هیچ نیروی خارجی روی جسم اثر نکند، شتاب جسم صفر است (حرکتش یکنواحت می باشد)

جرم و لختی

- تمایل یک جسم به حفظ حرکت اولیه اش را لختی (اینرسی) گویند.
- اندازه لختی را جرم می گویند، یعنی مقاومتی که یک جسم در برابر تغییرات در حرکتش بواسطه یک نیرو از خود نشان می دهد.
- جرم یک کمیت اسکالر است

واحدهای جرم	
SI	کیلوگرم (kg)
CGS	گرم (g)
US مرسوم	اسلاگ (slug)

جرم و لختی: مثال

- تمایل یک جسم به حفظ حرکت اولیه اش را لختی (اینرسی) گویند.
- اندازه لختی را جرم می گویند، یعنی مقاومتی که یک جسم در برابر تغییرات در حرکتش بواسطه یک نیرو از خود نشان می دهد.

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

قانون دوم نیوتن

- اگر نیروی برایند وارد بر جسمی صفر نباشد، جسم شتاب پیدا می کند.
- شتاب یک جسم متناسب با نیروی خالص عمل کننده روی آن و با جرم نسبت عکس دارد:

$$\vec{a} \propto \frac{\sum \vec{F}}{m} \quad \text{یا} \quad \sum \vec{F} = m\vec{a}$$

- F و a هر دو برداری هستند
- به سه بعد نیز قابل اعمال است
- تغییرات سرعت نیز می تواند منجر به شتاب شود.

قانون دوم نیوتن

- نکته: $\sum \vec{F}$ مجموع برداری تمام نیروهای خارجی اثر کننده روی جسم را نشان می دهد.
- از آنجایی که قانون دوم نیوتن یک معادله برداری است، ما می توانیم همواره آن را بر حسب مولفه هایش نیز بنویسیم:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} : \Rightarrow \begin{cases} F_x = ma_x \\ F_y = ma_y \\ F_z = ma_z \end{cases}$$

واحدهای نیرو

- واحد نیرو در دستگاه SI نیوتن (N) است.

$$1\,N \equiv 1\,\frac{kg\,m}{s^2}$$

واحدهای نیرو	
SI	نیوتن $(N = kg\ m/\ s^2)$
CGS	دین $(dyne = g\ cm/s^2)$
US مرسوم	پوند $(lb = slug\ ft/s^2)$

- $1\ N = 10^5$ دین $= 0.225\ lb$

سوال

اتومبیلی با یک سرعت ثابت روی یک مسیر دایره ای در حرکت است.
آیا نیروی خالصی به اتومبیل برای حرکت در این مسیر وجود دارد؟

۱- خیر- سرعتش ثابت است.
۲- بلی
۳- بستگی به شعاع و سرعت اتومبیل انحنا دارد.
٤- به تجربه راننده در راندن دارد.

حل

اتومبیلی با یک سرعت ثابت روی یک مسیر دایره ای در حرکت است.
آیا نیروی خالصی به اتومبیل برای حرکت در این مسیر وجود دارد؟

۱- خیر- سرعتش ثابت است.
۲- بلی ✓
۳- بستگی به شعاع و سرعت اتومبیل انحنا دارد.
٤- به تجربه راننده در راندن دارد.

توجه: شتاب در اثر تغییر مقدار سرعت و یا تغییر راستای سرعت یک جسم حاصل می شود.
بنابراین، بخاطر تغییر جهت سرعت، اتومبیل شتاب می گیرد، یعنی باید نیروی برایند روی اتومبیل مخالف صفر باشد.

انواع نیروها

- نیروی گرانشی
- نیروی تکیه گاه (عکس العمل)
- نیروی کشش نخ
- نیروی فنر
- نیروی اصطکاک

نیروی جاذبه

- نیروی متقابل جاذبه ای بین دو جسم را نیروی گرانشی (جاذبه ای) می گویند.
- معروف به قانون جهانی گرانش نیوتن است
- شکل این نیرو به صورت زیر می باشد:

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

وزن

- مقدار نیروی گرانشی که روی یک جسمی به جرم m نزدیک سطح زمین اثر می کند، را وزن جسم w گویند.
  - $w = m g$ یک مورد خاصی از قانون دوم نیوتن است.
- g را می توان از قانون جهانی گرانش بدست آورد

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

$$m_1 = M_e,\ m_2 = m,\ r = R_e + h$$

نزدیک سطح زمین : $h << R_e$

$$F_g = m\left(G\frac{M_e}{R_e^2}\right) = mg$$

بیشتر درباره وزن

- وزن یک خاصیت ذاتی جسم نیست
  - جرم یک خاصیت ذاتی جسم است
- وزن وابسته به موقعیت جسم می باشد

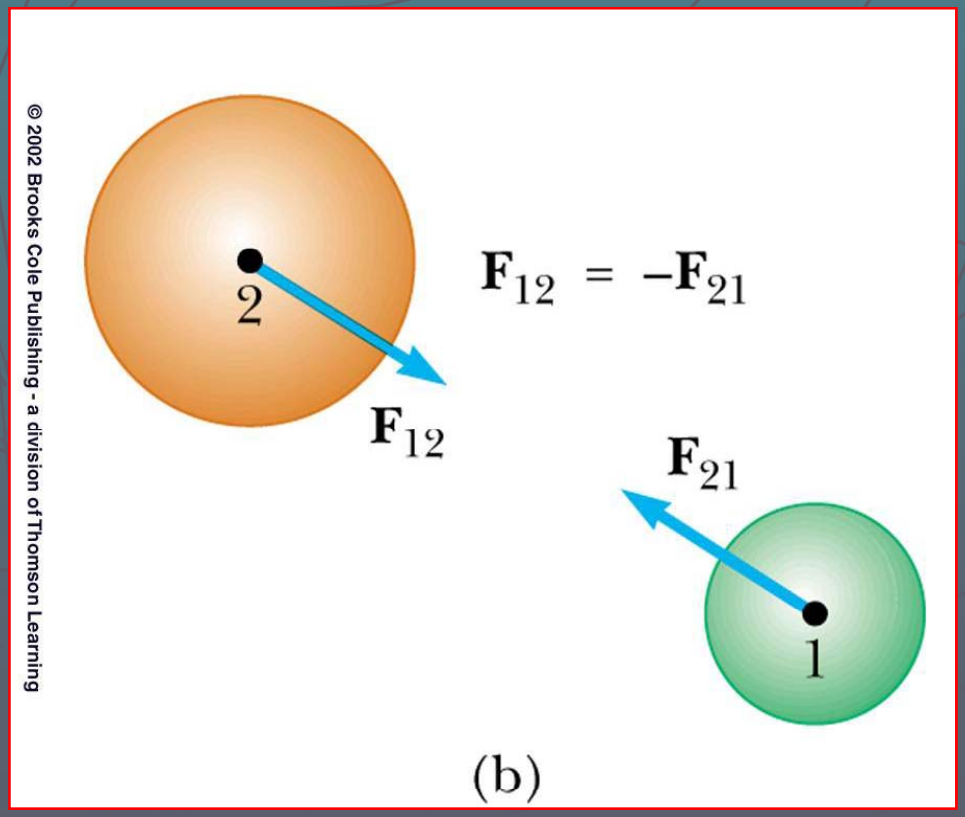
علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

قانون سوم نیوتن

- اگر دو جسم با هم برهمکنش داشته باشند، نیروی وارد بر جسم اولی از طرف جسم دومی (F_{12}) برابر است با مقدار نیروی وارد بر جسم دومی از طرف جسم اولی (F_{21}) اما در جهت مخالف نیروی قبلی است
  - هم ارز اینکه فقط یک نیروی مجزا گفته شود، وجود ندارد

مثال: قانون سوم نیوتن

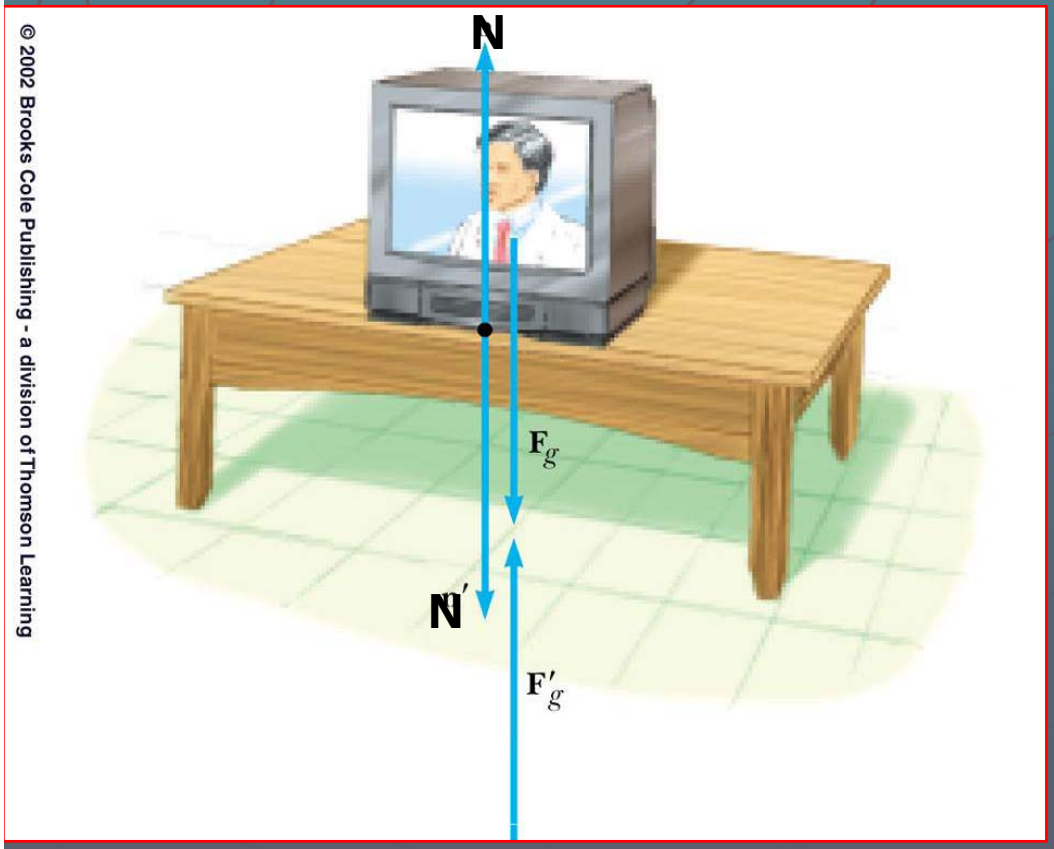
برخورد دو کره را در نظر بگیرید



- به F_{12} نیروی کنش (عمل) و F_{21} نیروی واکنش (عکس العمل) گفته می شود.
  - هر دو نیرو می توانند نیروی کنش یا واکنش باشند.
- نیروهای کنش و واکنش همواره بر اجسام **مختلف** وارد می شود.

مثال ۱: کنش و واکنش

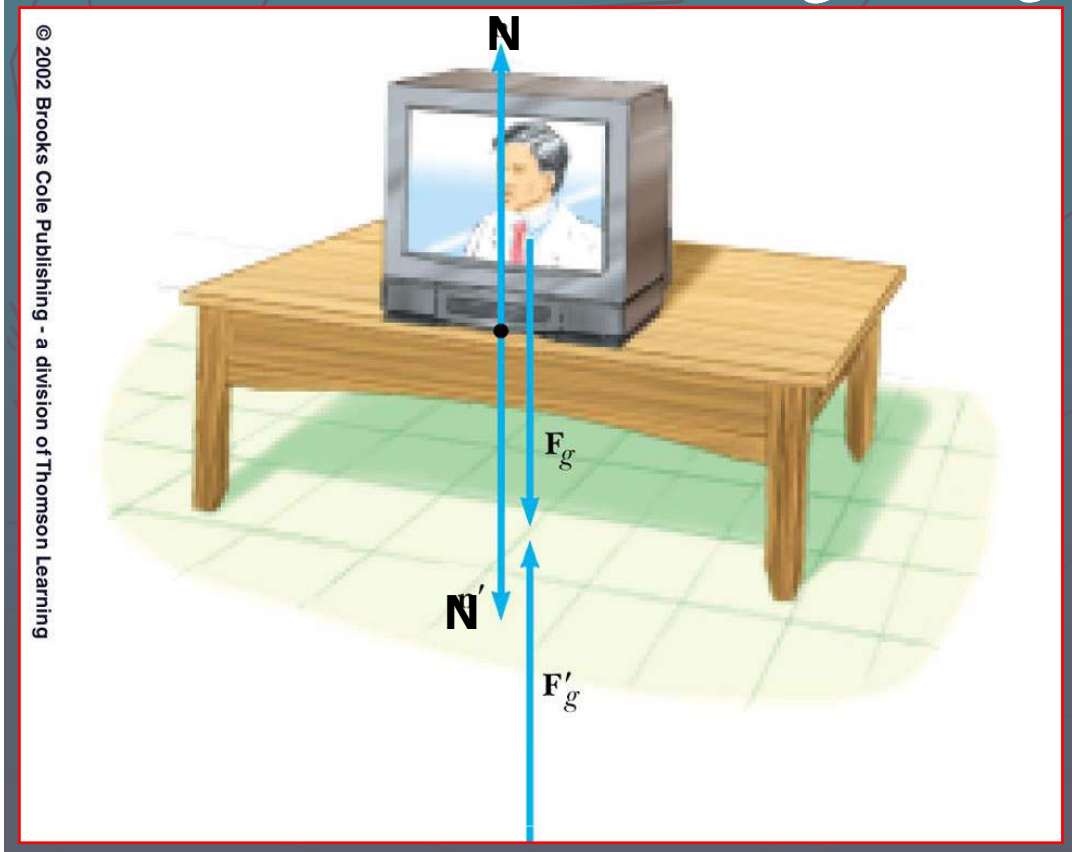
- N و N’ نیروی کنش و واکنش هستند.
  - N نیروی عمودی است، که میز به تلویزیون وارد می کند.
  - N همواره بر سطح عمود است.
  - N’ نیروی عکس العمل است که تلویزیون به میز وارد می کند.
  - N = - N’



© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning

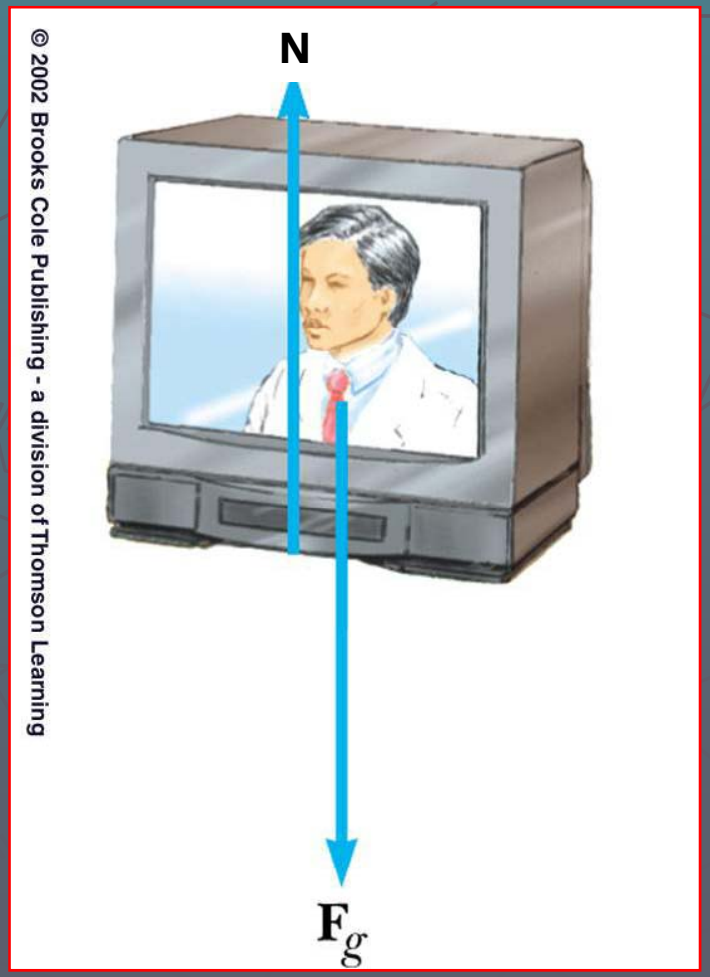
مثال ۲: کنش و واکنش

- F_g و F_g'
  - F_g نیرویی که زمین بر جسم وارد می کند.
  - F_g' نیرویی که جسم بر زمین وارد می کند.
  - $F_g = -F_g'$



نیروهای اثر کننده روی یک جسم

- در استفاده از قانون نیوتن، باید نیروهایی که بر جسم اعمال می شود به حساب آیند.
- N و F_g نیروهایی هستند که **بر** جسم اثر می کنند.
- N' و F_g' نیروهایی هستند که بر اجسام دیگر اثر می کنند.



سوال

شخصی در یک آسانسوری که با شتاب رو به بالا در حرکت است، ایستاده است. نیروی عمودی رو به بالای N وارد بر شخص از طرف طبقه آسانسور

۱- بزرگتر از
۲-برابر با
۳- کوچکتر از
٤- مساوی با صفر است، یعنی ربطی به وزن (رو به پایین) شخص ندارد .

پاسخ

شخصی در یک آسانسوری که با شتاب رو به بالا در حرکت است، ایستاده است. نیروی عمودی رو به بالای N وارد بر شخص از طرف طبقه آسانسور

۱- بزرگتر از ✓
۲-برابر با
۳- کوچکتر از
٤- مساوی با صفر است، یعنی ربطی به وزن (رو به پایین) شخص ندارد .

توجه: چون شخص با شتاب رو به بالا (با شتاب آسانسور) در حرکت است، نیروی عمودی (تکیه گاه) وارد بر شخص از طرف آسانسور باید بیشتر از وزنش باشد.

$$N - mg = ma \Rightarrow N = m(g + a)$$

کاربرد قوانین نیوتن

- مفروضات:
  - اجسام مانند ذرات رفتار می کنند
  - از حرکت دورانی (اکنون) صرفنظر می شود
  - از جرم فنر و طناب چشمپوشی می شود
  - فقط نیروهایی که به جسم اعمال می شود مد نظر هستند
  - نیروهای عکس العمل در نظر گرفته نمی شوند

دیاگرام آزاد نیروها

- باید تمام نیروهایی که به جسم اعمال می شوند در نظر گرفته شوند
- انتخاب یک دستگاه مختصات مناسب
- اگر دیاگرام آزاد نیروها درست نباشند، حل غیر صحیح می شود

نحوه بکار بردن قوانین نیوتن

- نمایش وضعیت توصیف شده در مساله با انتخاب یک چارچوب مختصاتی
- رسم دیاگرام آزاد نیروها برای جسم مورد مطالعه و برچسب تمام نیروهای عمل کننده روی آن
- تجزیه نیروها در راستای x- و y-، با استفاده از دستگاه مختصات مورد نظر
- بکار بردن معادلات (قانون دوم نیوتن) با حفظ جهت نیروها
- حل معادلات برای یافتن مجهولات

تعادل

- وقتی یک جسم در تعادل است که در حال سکون و یا در حال حرکت با سرعت ثابت باشد
- نیروی خالصی که روی جسم اثر می گذارد صفر است

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases}$$

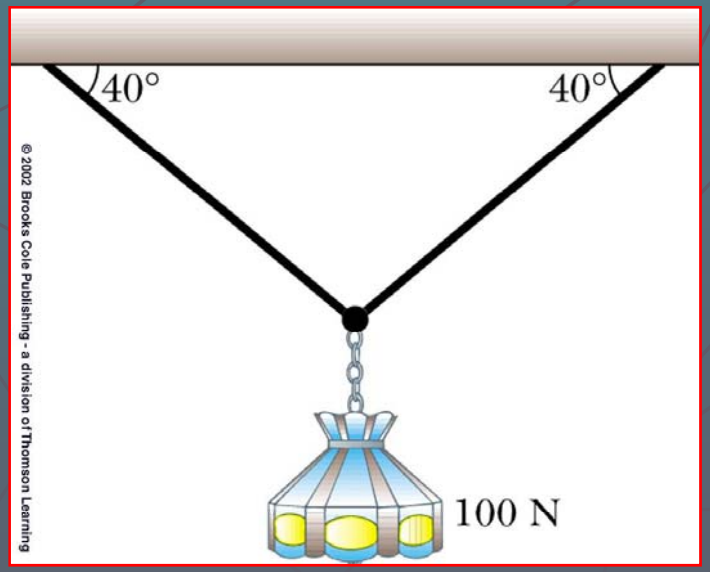
- کارکردن با معادله بر حسب مولفه ها ساده تر است

حل مسائل در حال تعادل

- نمایش وضعیت توصیف شده در مساله با انتخاب یک چارچوب مختصاتی
- رسم دیاگرام آزاد نیروها برای جسم مورد مطالعه و برچسب تمام نیروهای عمل کننده روی آن
- تجزیه نیروها در راستای x- و y-، با استفاده از دستگاه مختصات مورد نظر
- بکار بردن معادلات (قانون دوم نیوتن) با حفظ جهت نیروها
- حل معادلات برای یافتن مجهولات

مثال ۱: مسائل تعادلی

کششهای دو سیم را که یک وزنه ۱۰۰ نیوتنی (مطابق شکل) تحمل می کنند را تعیین کنید.



حل کنید

مسائل قانون دوم نیوتن

- مشابه وضعیت تعادل است فقط

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

- از مولفه ها استفاده شود

$$\begin{cases} \sum F_x = ma_x \\ \sum F_y = ma_y \end{cases}$$

- a_x یا a_y ممکن است صفر باشد

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

حل مسائل قانون دوم نیوتن

- نمایش وضعیت توصیف شده در مساله با انتخاب یک چارچوب مختصاتی
- رسم دیاگرام آزاد نیروها برای جسم مورد مطالعه و برچسب تمام نیروهای عمل کننده روی آن
  - اگر بیش از یک جسم وجود داشته باشد، باید برای هر جسم دیاگرام آزاد نیروها بطور مستقل رسم شود
- تجزیه نیروها در راستای x- و y-، با استفاده از دستگاه مختصات مورد نظر
- بکار بردن معادلات (قانون دوم نیوتن) با حفظ جهت نیروها
- حل معادلات برای یافتن مجهولات

فصل ششم

قوانین حرکت (دینامیک ذره ۲)

فهرست

فصل ٦ (قوانین حرکت – دینامیک ذره ٢)

- اصطکاک
- انواع نیروی اصطکاک
- سطح شیبدار
- اجسام متصل بهم
- سرعت نهایی (سرعت حدی)

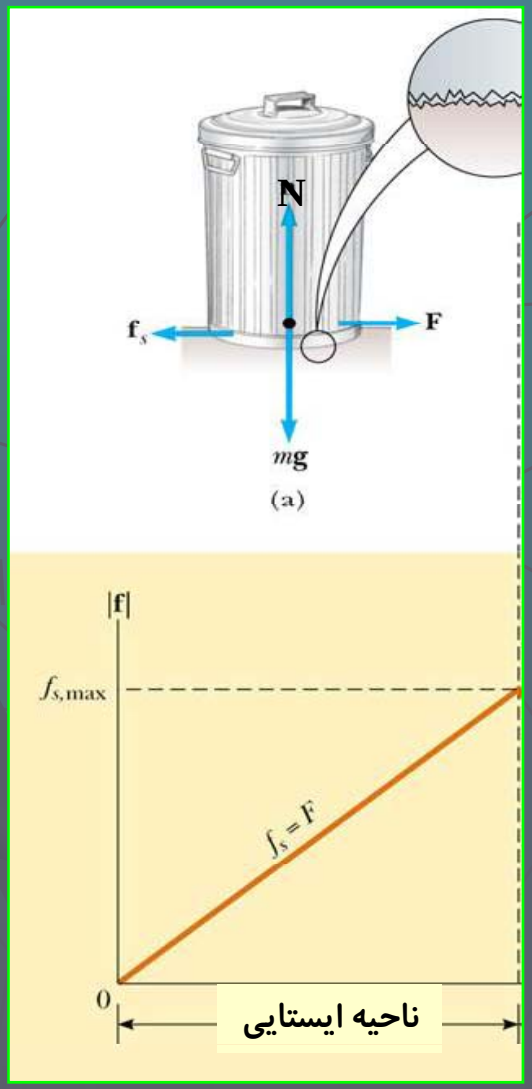
نیروهای اصطکاک

- وقتی یک جسم روی سطحی در حال حرکت باشد، مقاومتی در حرکتش وجود خواهد داشت
  - علت آن به برهمکنش بین جسم و محیط بر می گردد
- به این مقاومت نیروی اصطکاک گویند

بیشتر درباره اصطکاک

- اصطکاک بر نیروی تکیه گاه عمود و یا مماس بر سطح است
- نیروی اصطکاک ایستایی بزرگتر از نیروی اصطکاک حرکتی است
- ضریب اصطکاک (μ) به سطوح واقعی تماس وابسته است
- راستای نیروی اصطکاک مخالف راستای حرکت است
- ضرایب اصطکاک تقریبا مستقل از سطح تماس هستند

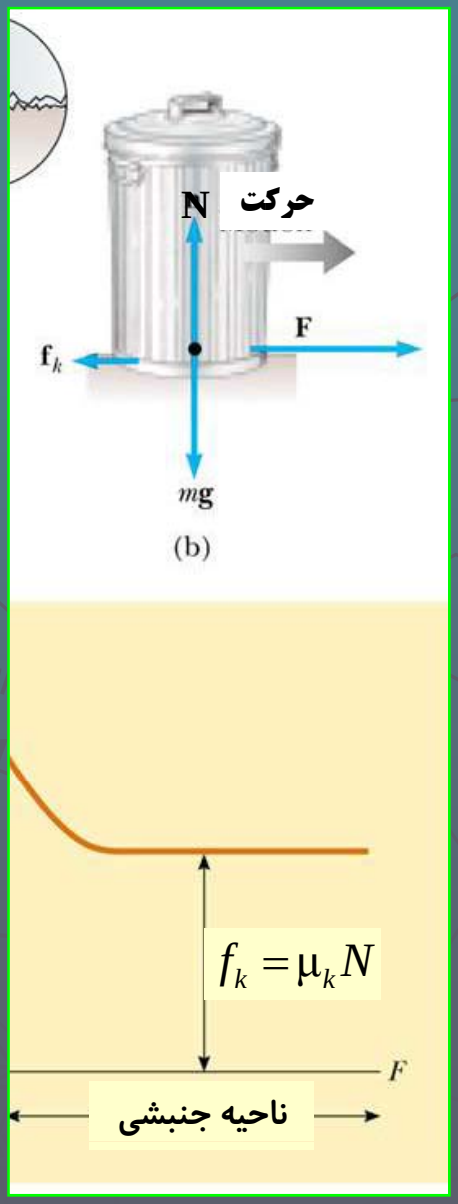
اصطکاک ایستایی f_s



- تا وقتی جسم حرکت نکرده است، اصطکاک ایستایی عمل می کند
- اگر F زیاد شود f_s هم زیاد می کند
- اگر F کم شود f_s کاهش می یابد

$$f_s \leq \mu_s N$$

اصطکاک جنبشی f_k

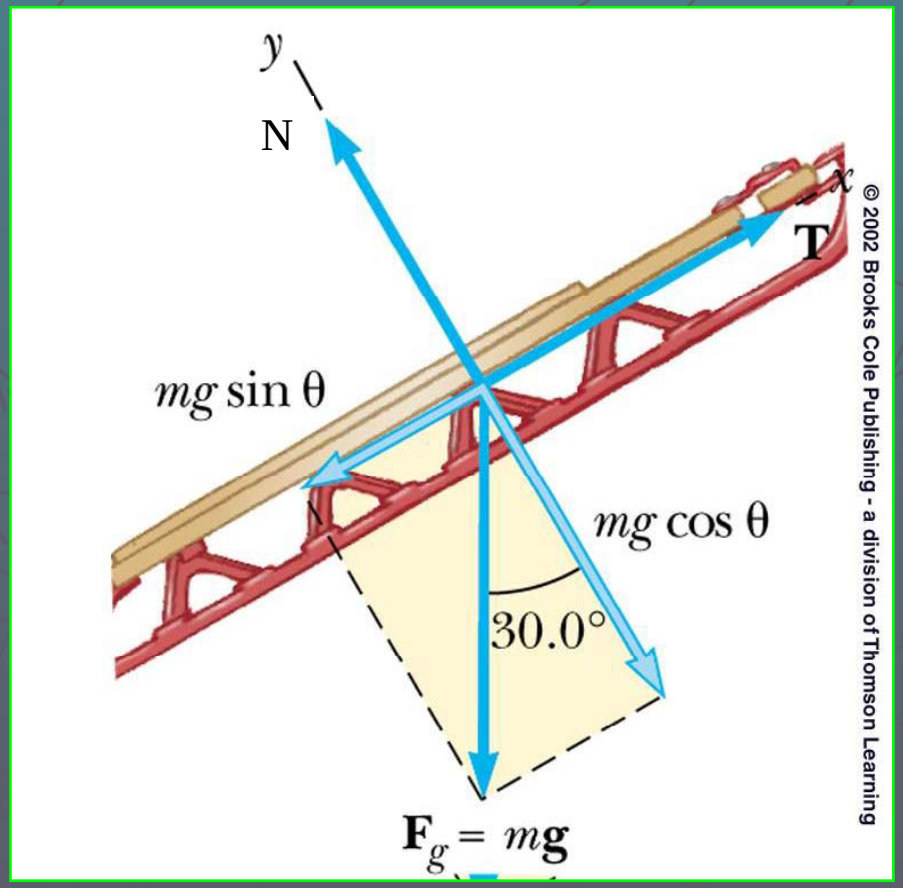


- وقتی جسم در حال حرکت باشد، نیروی اصطکاک جنبشی (حرکتی) عمل می کند

$$f_k = \mu_k N$$

سطح شیبدار

- انتخاب یک دستگاه مختصاتی که محور x- در امتداد سطح شیبدار و محور y- عمود بر آن باشد
- جایگزین کردن نیروی جاذبه (وزن) با مولفه هایش در امتداد محورهای x- و y-



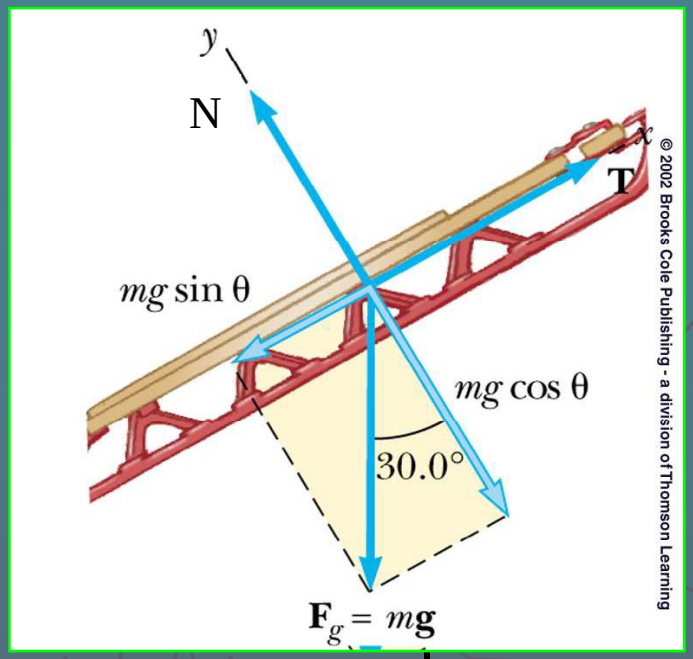
مثال: سطح شیبدار

مساله:

مطابق شکل بچه ای روی سطح شیبدار بدون اصطکاکی، سورتمه را در حالت سکون نگه داشته است. اگر وزن سورتمه ۷۷ نیوتن باشد، نیروی کشش نخ T و نیروی تکیه گاه سورتمه را تعیین کنید

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

مثال: سطح شیبدار



- انتخاب یک دستگاه مختصاتی که محور x- در امتداد سطح شیبدار و محور y- عمود بر آن باشد
- جایگزین کردن نیروی جاذبه (وزن) با مولفه هایش در امتداد محورهای x- و y-

داده ها:

زاویه: $\alpha=30°$

وزن: $w=77.0\ N$

مجهولات:

کشش T=?

نیروی تکیه گاه N=?

توجه: $\sum \vec{F} = 0$

$$Ox: \sum F_x = T - mg\sin\alpha = 0,$$

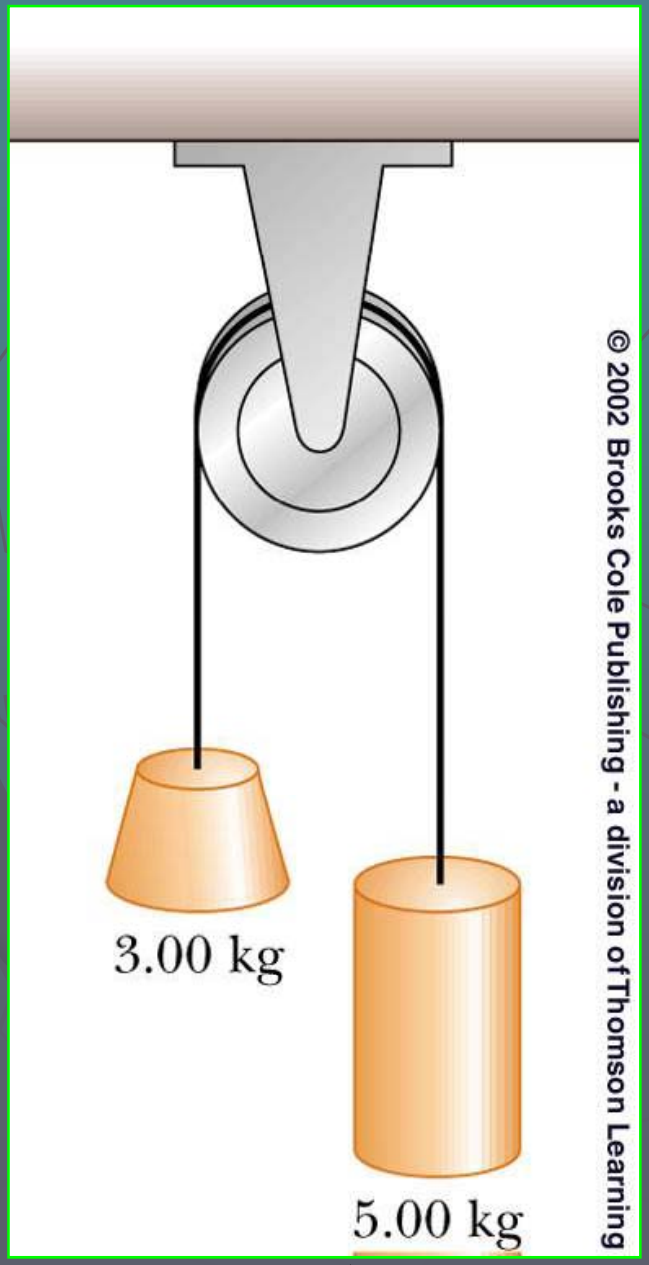
$$T = mg(\sin 30^\circ) = 77.0N(\sin 30^\circ) = \underline{38.5N}$$ ✓

$$Oy: \sum F_y = n - mg\cos\alpha = 0,$$

$$T = mg(\cos 30^\circ) = 77.0N(\cos 30^\circ) = \underline{66.7N}$$ ✓

علی‌اصغر شکری
استادیار گروه فیزیک
دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

اجسام متصل بهم



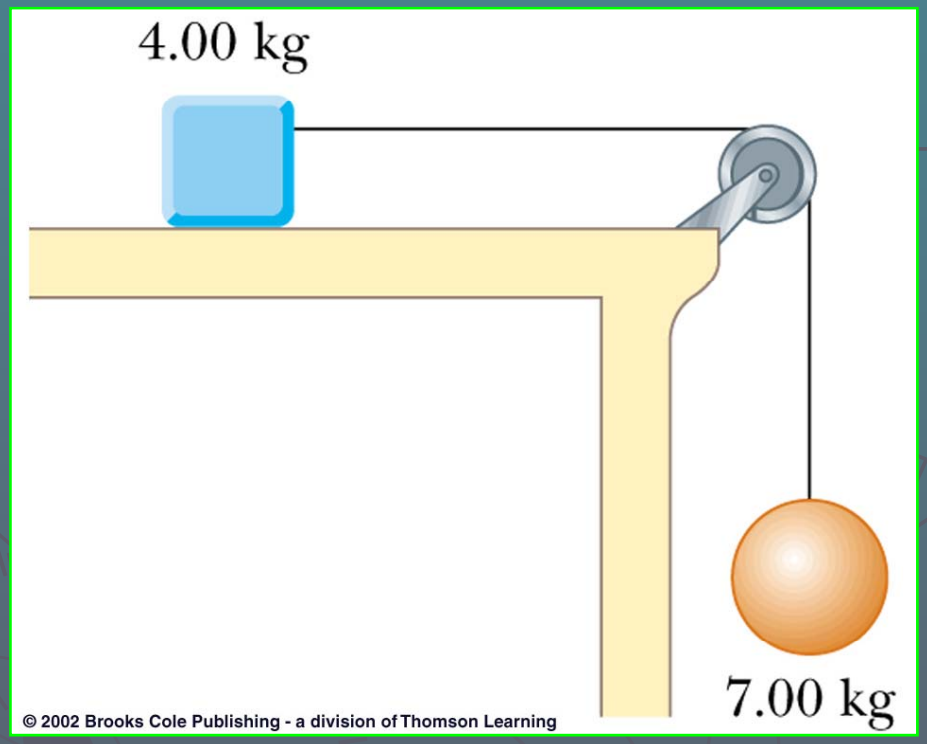
- قوانین نیوتن را بطور جداگانه برای هر جسم بکار ببرید
- چون طول نخ ثابت فرض می شود، شتاب هر دو جسم یکسان می باشد
- کشش نخها در دو دیاگرام برابر فرض می شود
- معادلات مربوط به دو جسم باید همزمان حل شوند

بیشتر درباره اجسام متصل بهم

- روش دیگری برای حرکت جسم این است که سیستم (دو جسم) به عنوان یک جسم فرض شوند
  - فقط نیروهای خارجی استفاده شود
  - نیروی کشش به عنوان نیروی داخلی محسوب می شود
  - جرم، جرم کل سیستم است
- درباره نیروی داخلی لازم نیست چیزی گفته شود

مثال: اجسام متصل بهم

مساله:



دو جسم $m_1=4.00\ kg$ و $m_2=7.00\ kg$ بوسیله نخی مطابق شکل از طریق یک قرقره بدون اصطکاکی بهم متصل شده اند. ضریب اصطکاک بین جسم m_1 و سطح افقی 0.300 است. شتاب حرکت دو جسم و کشش نخ را تعیین کنید.

- قوانین نیوتن را بطور جداگانه برای هر جسم بکار ببرید
- چون طول نخ ثابت فرض می شود، شتاب هر دو جسم یکسان می باشد
- کشش نخها در دو دیاگرام برابر فرض می شود
- معادلات مربوط به دو جسم باید همزمان حل شوند

علی‌اصغر شکری
استادیار گروه فیزیک
دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

مثال: اجسام متصل بهم

داده ها:

جرم ۱: m_1=4.00 kg

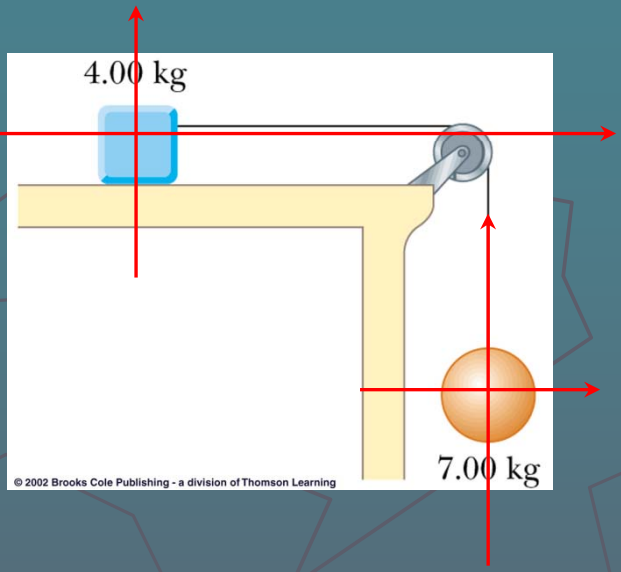
جرم ۲: m_2=7.00 kg

ضریب اصطکاک: μ=0.300

مجهولات:

کشش **T**=?

شتاب **a**=?



۱- با انتخاب دو دستگاههای مختصات مطابق شکل:

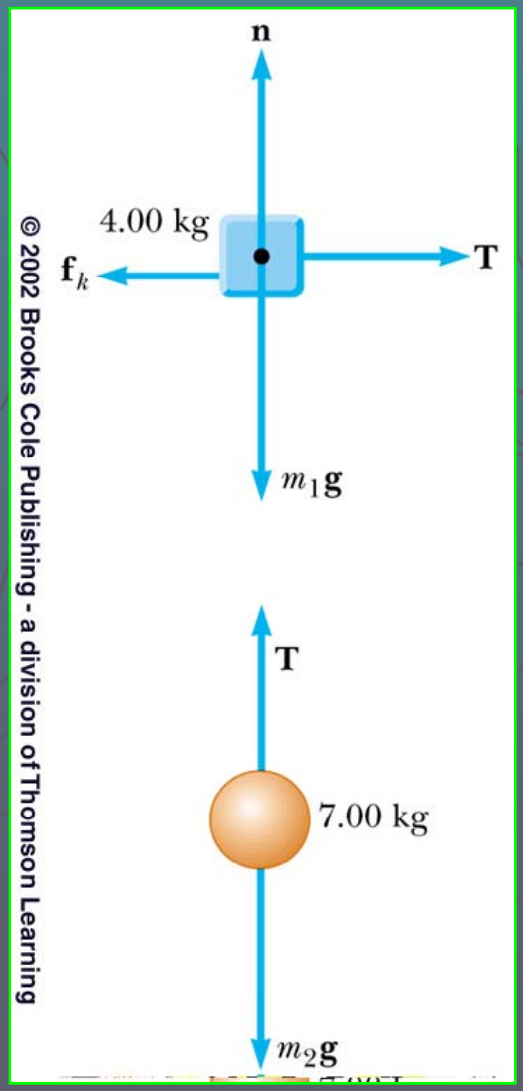
$$\sum \vec{F} = m\vec{a}, \quad and \quad f_k = \mu n$$

$$m_1: \quad Ox_1: \sum F_x = T - f_k = m_1 a,$$
$$Oy_1: \sum F_y = n - m_1 g = 0.$$
$$m_2: \quad Oy_2: \sum F_y = m_2 g - T = m_2 a.$$

با حل معادلات بطور همزمان:

a = 5.16 m/s^2 ✓

T = 32.4 N



علی‌اصغر شکری

استادیار گروه فیزیک

دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

سرعت نهایی (حدی)

- نوع دیگری از اصطکاک، مقاومت هوا است
- مقاومت هوا متناسب با سرعت جسم می باشد
- وقتی نیروی رو به بالای مقاومت هوا با نیروی رو به پایین جاذبه برابر شود، نیروی خالص روی جسم صفر می شود
- در این صورت جسم با سرعت ثابت حرکت می کند که به آن سرعت نهایی (حدی) می گویند

فصل هفتم

کار و انرژی

فهرست

فصل ۷ (کار و انرژی)

- مقدمه
- کار نیروی ثابت
- بیشتر درباره کار
- مثال
- نمایش هندسی کار
- کار متغیر
- توان (قدرت)

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

مقدمه

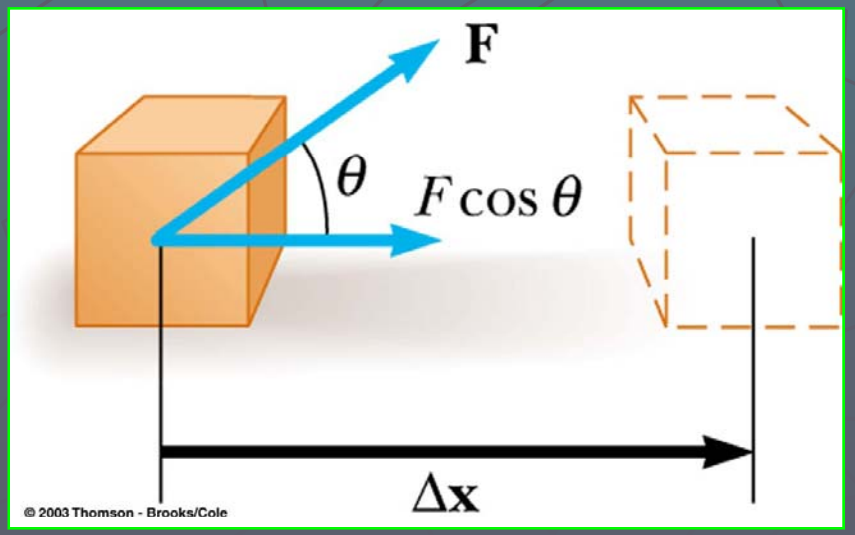
- شکلهای مختلف انرژی:
  - مکانیکی
    - در این درس روی این نوع متمرکز می شویم ✓
  - شیمیایی
  - الکترومغناطیسی
  - هسته ای
- انرژی از شکلی به شکل دیگر می تواند تبدیل شود
- از این کمیت می توان به جای قوانین نیوتن برای حل مسایل معینی استفاده کرد

کار نیروی ثابت

- امکان ارتباط بین نیرو و انرژی
- اگر بر جسمی نیرو وارد شود و باعث جابجایی گردد، می گوییم روی جسم کار انجام شده است
- کار W انجام شده بوسیله یک نیروی ثابت روی جسم به صورت حاصلضرب مولفه نیرو در راستای جابجایی و مقدار جابجایی

$$W \equiv (F\cos\theta)\Delta x$$

- $(F\cos\theta)$ مولفه نیرو در راستای جابجایی است
- Δx جابجایی است

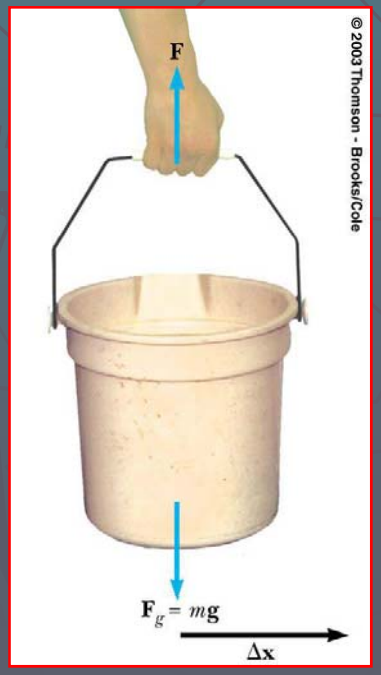


کار نیروی ثابت

- کار هیچ اطلاعاتی نمی دهد درباره
  - مدت زمان لازم برای جابجایی مورد نظر
  - سرعت یا شتاب حرکت جسم
- **توجه:** کار زمانی صفر است که
  - هیچ جابجایی رخ ندهد
  - نیرو جابجایی بر هم عمود باشند

زیرا $\cos 90^\circ = 0$ (در اینجا کار وزن صفر است)

$$W \equiv (F \cos\theta)\Delta x$$



بیشتر درباره کار

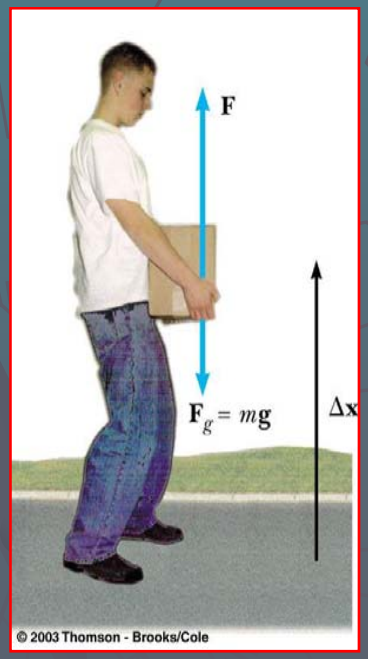
- کمیت اسکالر است

واحدهای کار	
SI	ژول (J=N m)
CGS	ارگ (erg=dyne cm)
US مرسوم	فوت–پوند (foot-pound=ft lb)

- اگر چندین نیرو روی جسمی اثر کنند، کار کل برابر است با جمع جبری مقدار کار انجام شده بوسیله تک تک نیروها

بیشتر درباره کار

- کار می تواند مثبت، صفر و یا منفی باشد
  - مثبت: اگر نیرو و جابجایی در یک راستا باشند
  - منفی: اگر نیرو و جابجایی در راستای مخالف هم باشند
- مثال۱: بلند کردن یک جعبه...
  - کار انجام شده بوسیله شخص:
    - اگر مثبت باشد جعبه بلند می شود
    - اگر منفی باشد جعبه پایین می آید
  - مثال۲: ... سپس حرکت آن بطور افقی
    - کار انجام شده بوسیله نیروی جاذبه:
      - اگر منفی باشد جعبه بلند می شود
      - اگر مثبت باشد جعبه پایین می آید
      - اگر صفر باشد، جعبه افقی حرکت می کند

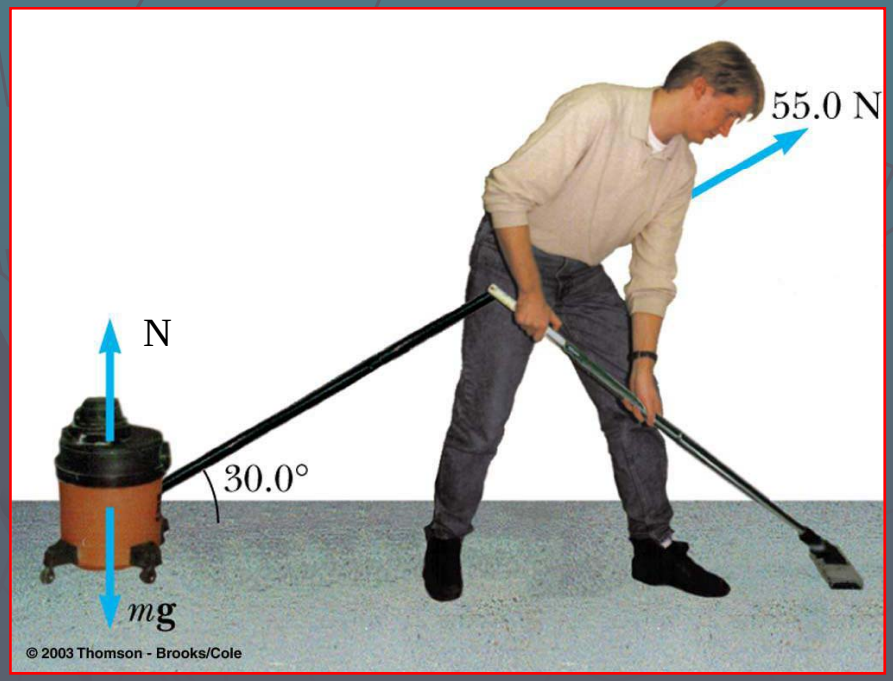


$$:W = W_1 + W_2 + W_3 = \underbrace{-mgh}_{\text{بالا بردن}} + \underbrace{mgh}_{\text{پایین آمدن}} + \underbrace{0}_{\text{حرکت}} = \underbrace{0}_{\text{کل}}$$

علی‌اصغر شکری — استادیار گروه فیزیک — دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

مساله: نظافت اتاق

شخصی قصد دارد اتاق خوابش را تمیز کند. او جارو برقی را با نیروی F=50.0 N و با زاویه 30.0° نسبت به افق می کشد و باعث می شود که جارو برقی 3.00 متر جابجا شود.
کار کل انجام شده روی جارو برقی را محاسبه کنید.



مساله: نظافت اتاق

داده ها:

زاویه: $\alpha=30°$

نیرو: $F=55.0\ N$

مجهولات:

کار $W_T=?$

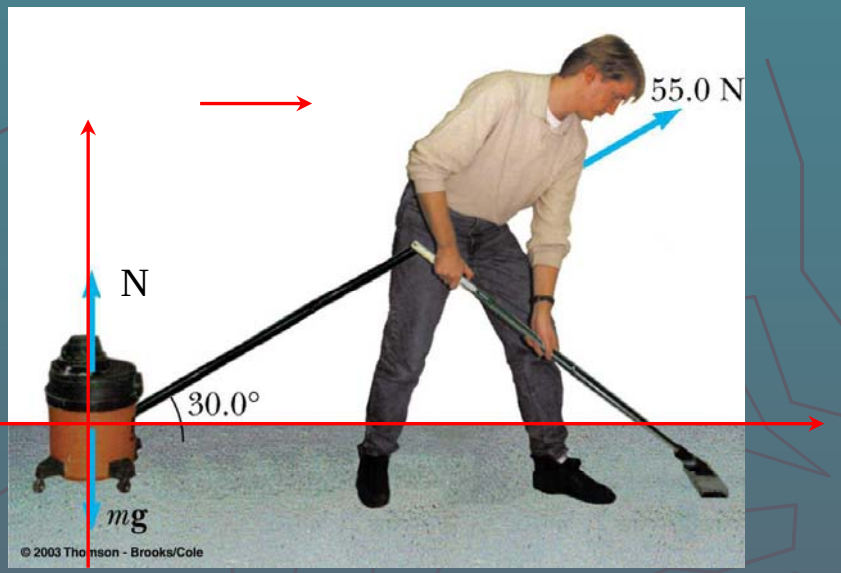
$W_N=?$

$W_{mg}=?$

۱- انتخاب دستگاه

۲- جابجایی افقی است.

کار: $W=(F\cos\theta)\,s$



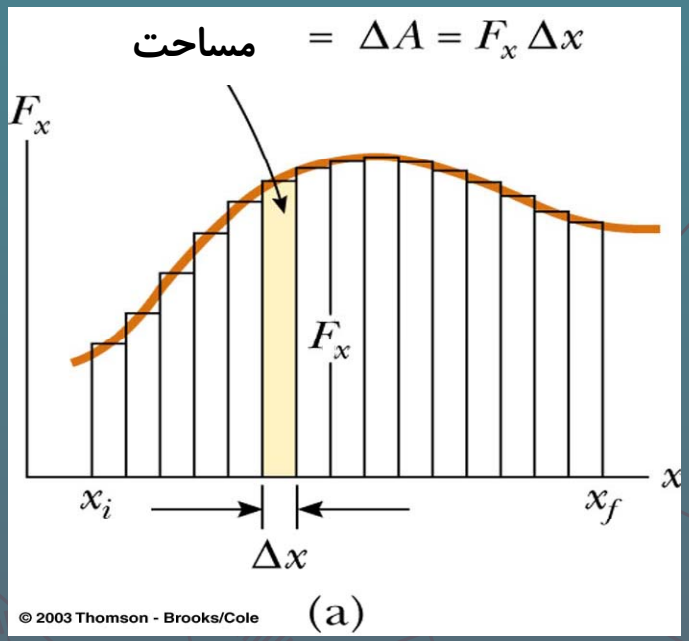
$$W_T=(F\cos\theta)s=(50.0\ N)(\cos 30.0^\circ)(3.00m)=130\ N\cdot m=\underline{130\ J}$$ ✓

$$W_n=(N\cos\theta)s=(N)(\cos 90.0^\circ)(3.00m)=\underline{0\ J}$$

$$W_{mg}=(mg\cos\theta)s=(N)(\cos(-90.0^\circ))(3.00m)=\underline{0\ J}$$

هیچ کاری بوسیله نیروی عمود بر جابجایی انجام نمی شود

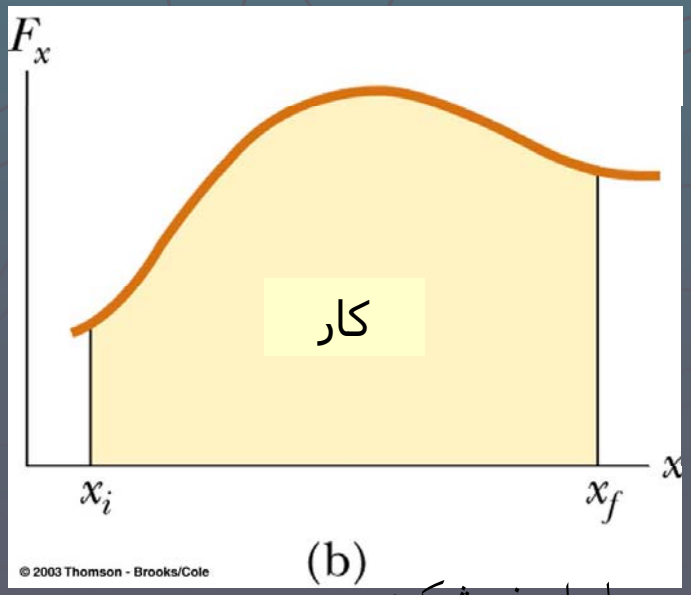
نمایش هندسی کار



- تبدیل فاصله جابجایی کل (x_f-x_i) به تعداد زیادی جابجایی کوچک Δx

- برای هر جابجایی کوچک:

$$W_i = (F\cos\theta)\Delta x_i$$



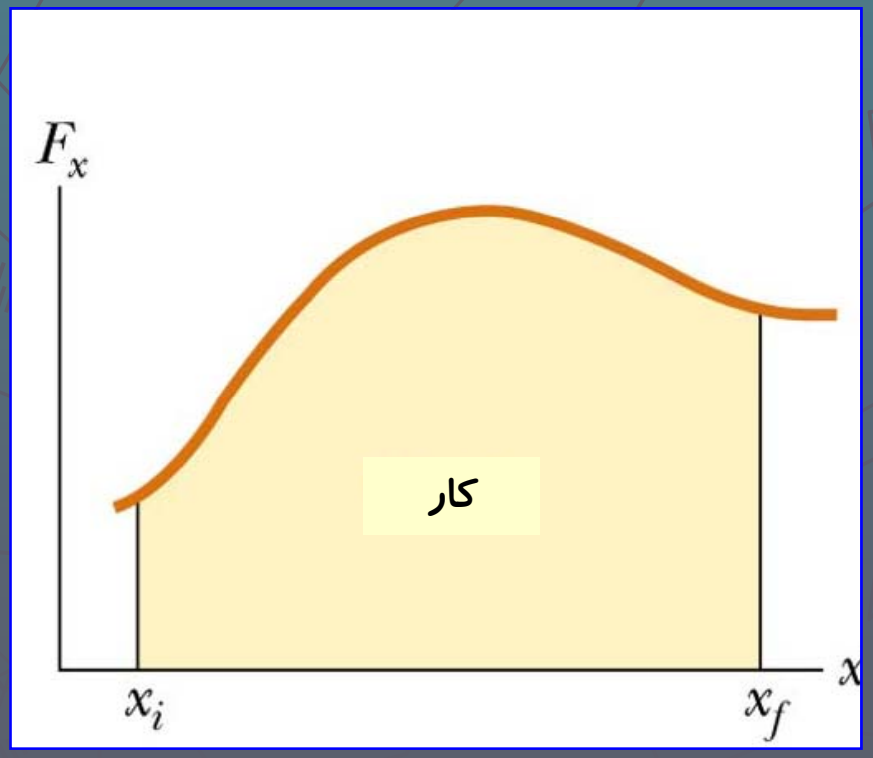
- بنابر این، کار عبارت است از:

$$W_{tot} = \sum_i W_i = \sum_i F_x \cdot \Delta x_i$$

که سطح زیر منحنی F(x) بر حسب x می باشد !

کار انجام شده با نیروهای وابسته به مسیر

- کار انجام شده بوسیله یک نیروی متغیری که روی یک جسم اثر می کند و باعث جابجایی جسم می گردد برابر است با مساحت زیر منحنی نیرو برحسب جابجایی

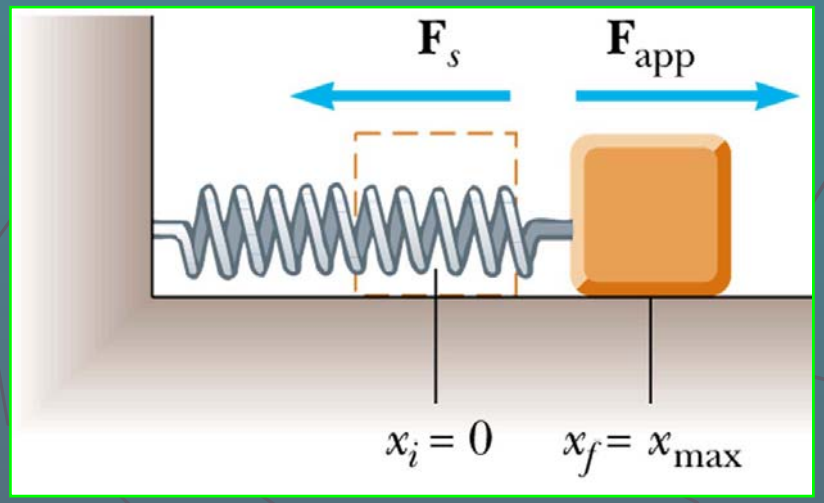


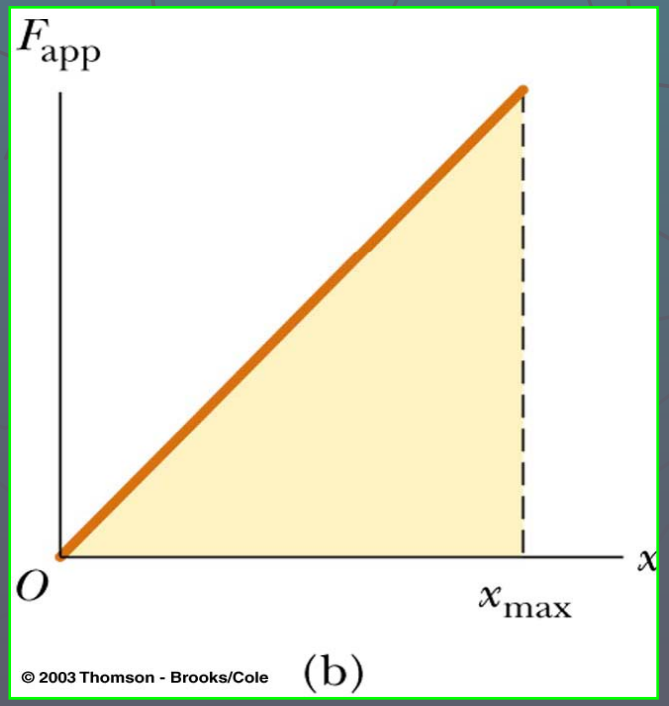
مثال فنر

- فنر به آرامی از نقطه $x = 0$ تا $x = x_{max}$ کشیده می شود
- $F_{applied} = -F_{restoring} = kx$

(نیروی اعمالی) (نیروی بازگرداننده)

- $W = \{\text{مساحت زیر منحنی}\} =$
$= \frac{1}{2}(kx)\, x = \frac{1}{2}kx^2$





علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

توان (قدرت)

- اغلب اوقات، آهنگی که انتقال انرژی رخ می دهد اهمیت دارد
- به عنوان تعریف، به آهنگ زمانی انتقال انرژی توان یا قدرت می گویند

$$\overline{P} = \frac{W}{t} = F\overline{v}$$

- در سیستم SI، واحد توان وات W یا ژول بر ثانیه است

$$W = \frac{J}{s} = \frac{kg \bullet m^2}{s^2}$$

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

توان

- در سیستم US مرسوم، واحدها معمولا اسب بخار hp است
  - نیاز به یک عامل تبدیلی است

$$1\,\text{hp} = 550\,\frac{\text{ft lb}}{\text{s}} = 746\ \text{W}$$

  - واحدهای کار یا انرژی را می توان برحسب واحدهای توان تعریف کرد:
    - اغلب اوقات، درقبض های برق از واحد کیلو وات ساعت (kWh) استفاده می شود

فصل هشتم

پایستگی انرژی

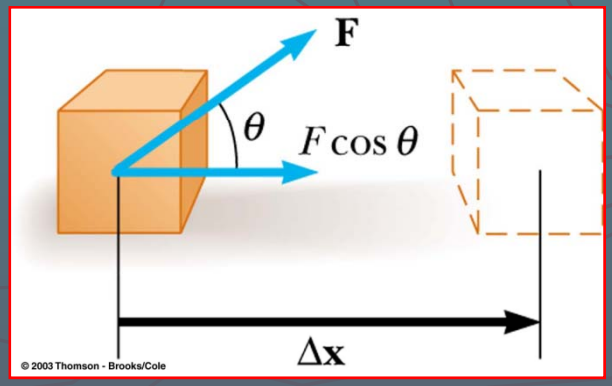
فهرست

فصل ۸ (پایستگی انرژی)

- انرژی جنبشی
- قضیه کار و انرژی جنبشی
- انرژی پتانسیل
- انرژی پتانسیل گرانشی
- سطح مرجع انرژی پتانسیل
- نیروهای پایستار
- نیروهای غیر پایستار
- بقای انرژی مکانیکی
- حل مساله با قضیه بقای انرژی

انرژی جنبشی

- انرژی با حرکت جسم مرتبط می باشد
- کمیتی اسکالر که واحدش، همان واحد کار می باشد
- کار به انرژی جنبشی مربوط می شود
- اگر F نیروی ثابت فرض شود:



$$W_{net} = Fs = (ma)s,$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot s, \Rightarrow a \cdot s = \frac{v^2 - v_0^2}{2}.$$

$$\Rightarrow : W_{net} = m\left(\frac{v^2 - v_0^2}{2}\right) = \underbrace{\frac{1}{2}mv^2}_{} - \underbrace{\frac{1}{2}mv_0^2}_{}.$$

این کمیت، معادله انرژی جنبشی نامیده می شود :

$$KE \equiv K = \frac{1}{2}mv^2$$

قضیه کار و انرژی جنبشی

- وقتی یک نیرو خالص (برآیند) وی جسمی کار انجام دهد و فقط باعث تغییر سرعتش شود، کار انجام شده برابر است با تغییر انرژی جنبشی جسم

$$W_{net} = K_f - K_i = \Delta K$$

- اگر کار مثبت باشد، سرعت زیاد می شود
- اگر کار منفی باشد، سرعت کم می شود

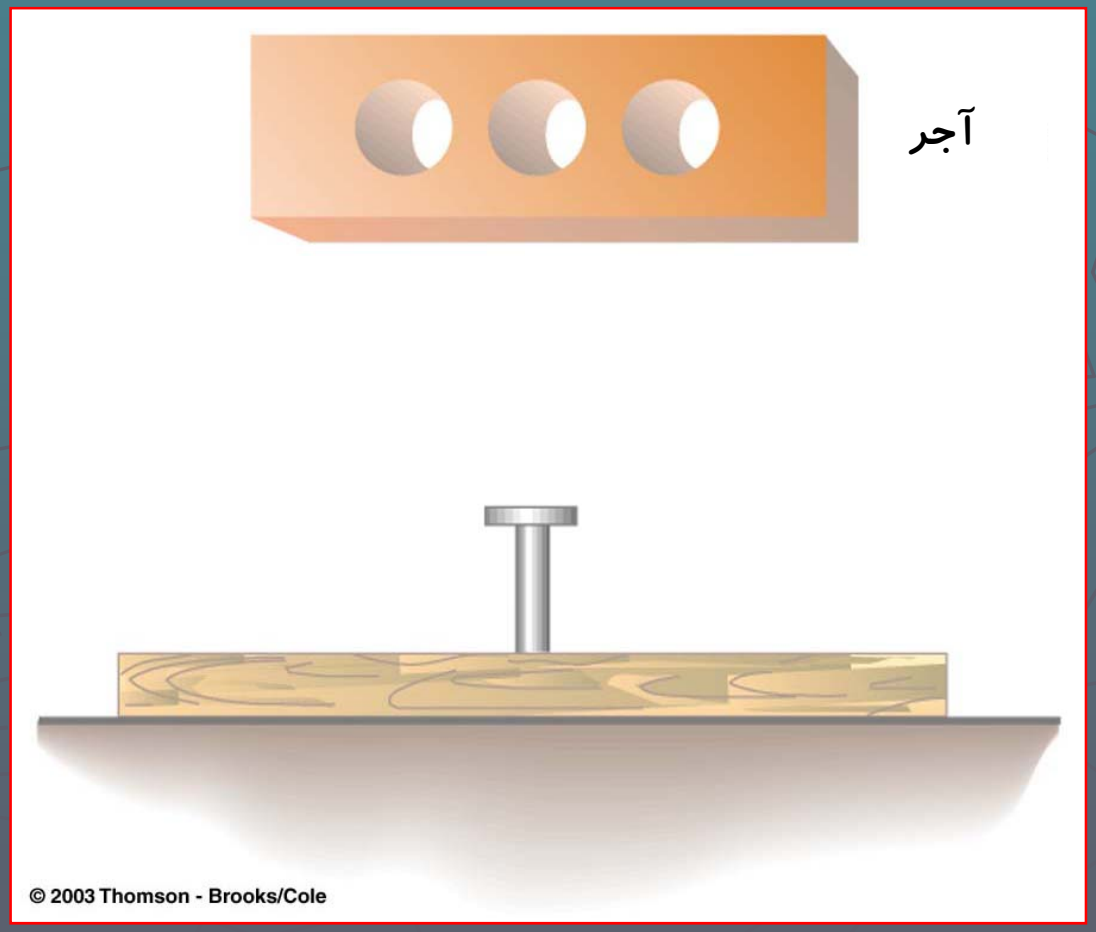
انرژی پتانسیل

- انرژی پتانسیل مربوط به مکان جسم در داخل سیستم می باشد
  - انرژی پتانسیل خاصیتی از سیستم است نه جسم
  - یک سیستم، مجموعه ای از اجسام یا ذراتی هستند که از طریق نیروها یا فرایندهایی که در داخل سیستم هستند با هم برهمکنش می دهند
- واحدهای انرژی پتانسیل همانند کار و انرژی جنبشی می باشد

انرژی پتانسیل گرانشی

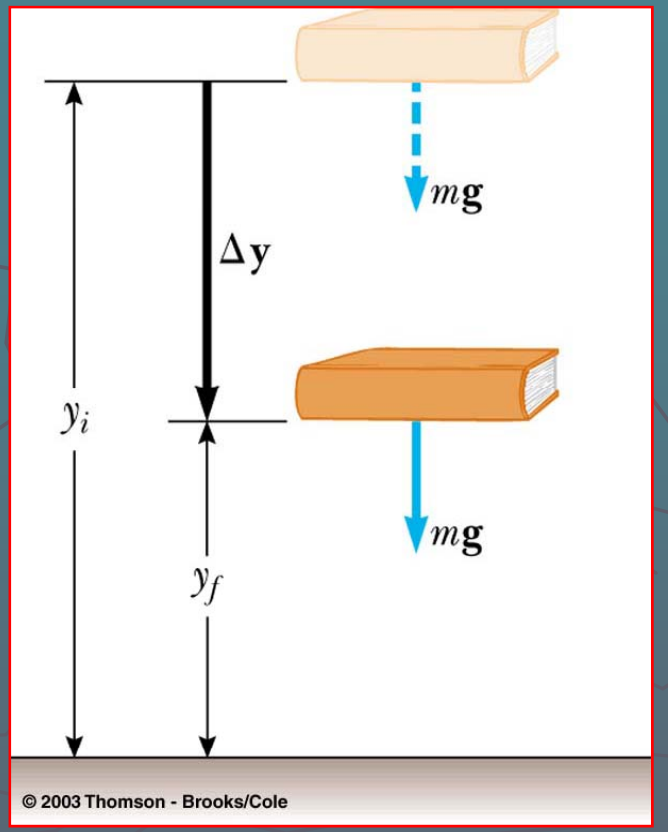
- انرژی پتانسیل گرانشی، انرژی است که به مکان نسبی یک جسم در فضا نزدیک سطح زمین مربوط می شود
  - اجسام با زمین از طریق نیروی گرانشی برهمکنش می کنند
  - در حقیقت، انرژی پتانسیل سیستم جسم-زمین

انرژی پتانسیل: مثال



کار و انرژی پتانسیل گرانشی

- جسمی به جرم m در ارتفاع اولیه y_i قرار دارد
- کار انجام شده بوسیله نیروی جاذبه



$$W_g = (F\cos\theta)s = (mg\cos\theta)s, \rightarrow:$$

$$s = y_i - y_f,\ \cos\theta = 1,$$

$$\Rightarrow : W_{grav} = mg(y_i - y_f) = \underbrace{mgy_i}\ \underbrace{- mgy_f}.$$

این کمیت، معادله **انرژی پتانسیل** نامیده می شود : $PE \equiv U = mgy$

مهم: کار مربوط به اختلاف انرژی پتانسیلها است!

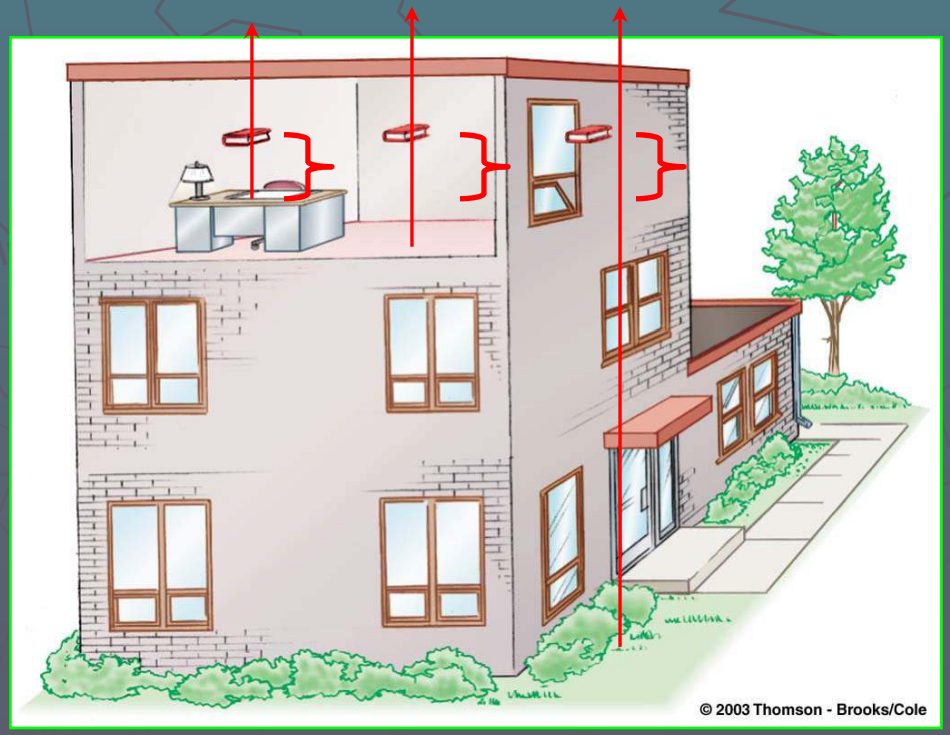
نکته: $W_g = U_i - U_f$

سطح مرجع برای انرژی پتانسیل گرانشی

- مکانی که انرژی گرانشی صفر است، باید برای هر مساله انتخاب شود
  - انتخاب کاملا دلخواه است، زیرا تغییر در انرژی پتانسیل کمیتی مهم تلقی می شود
  - انتخاب یک مکان مناسب برای ارتفاع مرجع صفر لازم است
    - اغلب سطح زمین
    - ممکن است برای این منظور نقاط دیگری در مساله خاص پیشنهاد شود

سطح مرجع برای انرژی پتانسیل گرانشی

- مکانی که انرژی گرانشی صفر است، باید برای هر مساله انتخاب شود
- انتخاب کاملا دلخواه است، زیرا تغییر در انرژی پتانسیل کمیتی مهم تلقی می شود



$$W_{g_1} = mgy_{i_1} - mgy_{f_1},$$
$$W_{g_2} = mgy_{i_2} - mgy_{f_2},$$
$$W_{g_3} = mgy_{i_3} - mgy_{f_3}.$$
$$W_{g_1} = W_{g_2} = W_{g_3}.$$

نیروهای پایستار (ابقایی)

- اگر کار نیرویی مستقل از مسیر حرکت و فقط به نقاط ابتدایی و انتهایی بستگی داشته باشد، به آن نیروی کنسرواتیو یا ابقایی می گویند
  - کار فقط به مکانهای نقاط ابتدایی و انتهایی جسم وابسته است
  - به هر نیروی ابقایی می توان یک تابع انرژی پتانسیل مربوط به آن نسبت داد

نکته: یک نیرو وقتی **کنسرواتیو** است که کار انجام شده بوسیله آن نیرو در هر **مسیر بسته ای صفر** باشد.

مثال نیروهای پایستار

- مثالهایی از نیروهای ابقایی (پایستار):
  - جاذبه
  - نیروی فنر
  - نیروهای الکترومغناطیسی
- چون کار مستقل از مسیر است:
  - فقط نقاط ابتدایی و انتهایی مهم هستند:

$$W_c = U_i - U_f$$

نیروهای غیرپایستار (غیرابقایی)

- اگر کار نیرویی روی یک جسم وابسته به مسیر حرکت جسم بین دو نقطه ابتدایی و انتهایی باشد، به آن نیرو، نیروی غیرپایستار (غیر ابقایی) می گویند.

- مثالهایی از نیروهای غیرپایستار:
  - اصطکاک جنبشی، مقاومت هوا و نیروهای دافعه

مثال: اصطکاک به عنوان یک نیروی غیرپایستار

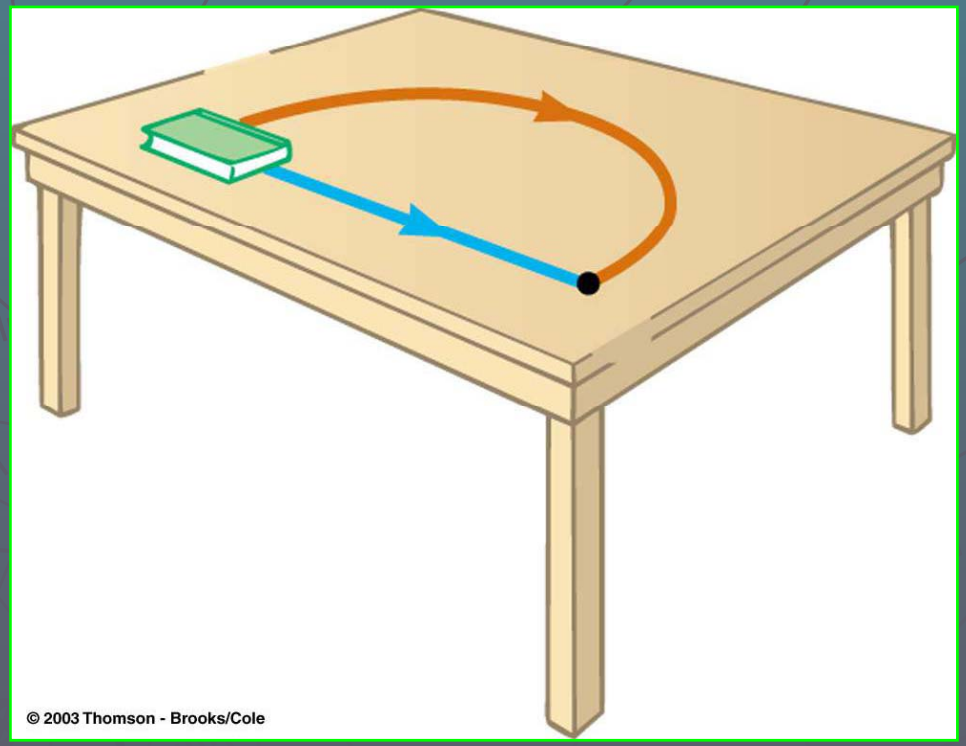
- نیروی اصطکاک، انرژی جنبشی جسم را به یک نوع دیگری از انرژی وابسته به دما تبدیل می کند

  - اجسام بعد از حرکت (نسبت به قبل از حرکتشان) گرمتر می شوند
  - *انرژی داخلی* به انرژی مربوط به دمای جسم گفته می شود

اصطکاک وابسته به مسیر

- مسیر آبی کوتاهتر از مسیر قرمز است
- کار مورد نیاز برای جابجایی در مسیر آبی کمتر از مسیر قرمز است
- اصطکاک وابسته به مسیر است،

بنابر این بعنوان نیروی غیر پایستار تلقی می شود.



بقای انرژی مکانیکی

- به طور کلی بقا
  - به کمیتی فیزیکی گفته می شود که *پایسته* باشد، یعنی مقدار عددی کمیت ثابت باقی بماند
- در بقا انرژی، انرژی مکانیکی کل ثابت باقی می ماند
  - در هر سیستم ایزوله ای (جداگانه) از اجسام که فقط از طریق نیروهای پایستار برهمکنش می دهند، انرژی مکانیکی کل سیستم ثابت باقی می ماند.

بقای انرژی

- انرژی مکانیکی کل برابر است با مجموع انرژیهای جنبشی و پتانسیل در سیستم

$$E_i = E_f$$

$$K_i + U_i = K_f + U_f$$

- انواع دیگر انرژی را می توان به این معادله اضافه کرد

حل مساله با بقای انرژی

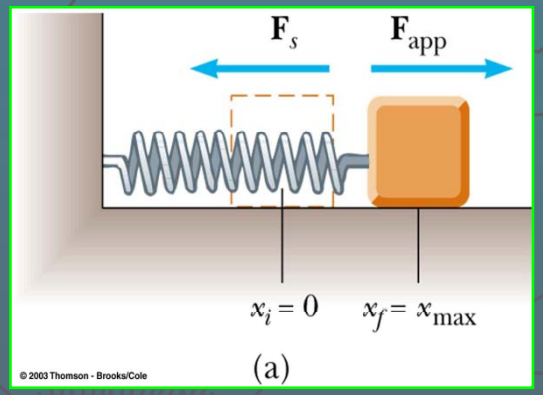
- تعریف سیستم
- انتخاب مرجع انرژی پتانسیل گرانشی
  - در حین حل مساله، این مکان تغییر نمی کند، یعنی انرژی پتانسیل سیستم در نقاط مختلف نسبت به این مرجع سنجیده می شود
- تعیین اینکه آیا در سیستم مورد مطالعه، نیروهای غیر پایستار وجود دارند یا خیر
- اگر فقط نیروهای پایستار وجود داشته باشد، قانون بقا انرژی اعمال می شود و با استفاده از آن مجهولات مساله بدست می آیند.

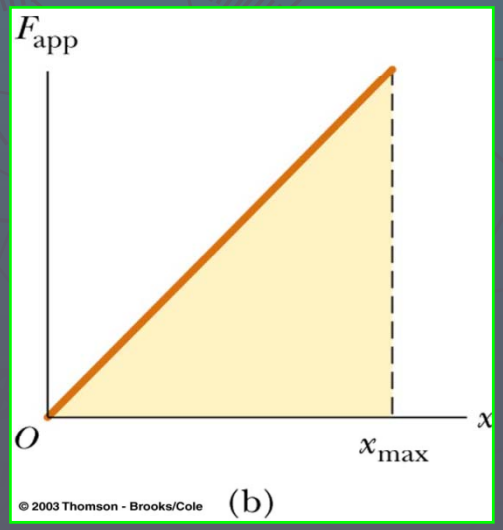
انرژی پتانسیل ذخیره شده در یک فنر

- شامل *ثابت فنر* (یا سختی فنر)، k
- قانون هوک (Hooke) نیروی مربوط به فنر را در اثر جابجایی به صورت زیر می دهد:

$$F = - k x$$

- F نیروی بازگرداننده
- جهت F در راستای مخالف جابجایی x می باشد
- k وابسته به شکل فنر، ماده ای که فنر از آن درست شده است، ضخامت سیم و...





انرژی پتانسیل در یک فنر

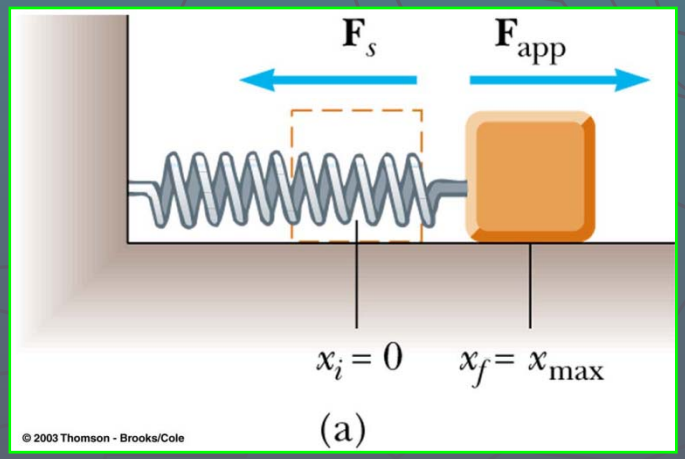
انرژی پتانسیل کشسانی

- مربوط به کار لازم برای متراکم کردن یک فنر از موضع تعادلش نسبت به نقطه دلخواه نهایی است (مکان X)

$$W_{spr} = (F\cos\theta)x, \rightarrow$$

$$\cos\theta = 1,\ F = \frac{F_0 + F_x}{2} = \frac{0 + F_x}{2} = \frac{-kx}{2}$$

$$\Rightarrow : W_{spr} = 0 - \frac{-kx}{2}x = \underbrace{\frac{1}{2}k\,x^2}.$$



این کمیت، **انرژی پتانسیل الاستیک** است :

$$U_s = \frac{1}{2}kx^2$$

بقای انرژی یک فنر

- انرژی پتانسیل فنر به هر دو طرف معادله بقا انرژی اضافه می شود

$$(K+U_g+U_s)_i=(K+U_g+U_s)_f$$

نیروهای غیر پایستار با ملاحظات انرژی

- وقتی در یک سیستمی نیروهای غیر پایستار وجود داشته باشند، انرژی مکانیکی کل ثابت نیست
- کار انجام شده بوسیله تمام نیروهای غیر پایستار عمل کننده روی قسمتهایی از سیستم برابر است با تغییر در انرژی مکانیکی سیستم

$$W_{nc} = \Delta E$$

nc= non conservative

نیروهای غیر پایستار و انرژی

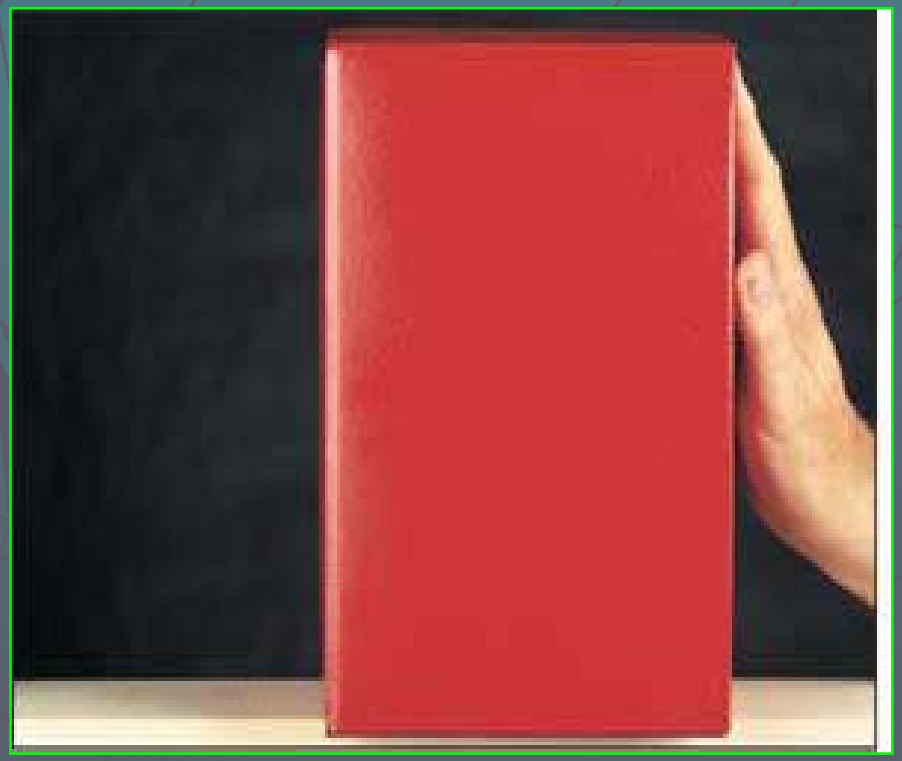
- در شکل معادله زیر:

$$W_{nc} = K_f - K_i - (U_i - U_f) \rightarrow$$
$$W_{nc} = (K_f + U_f) - (K_i + U_i)$$

- انرژی می تواند یا از مرزی عبور کند (پیوسته) و یا به شکلی که هنوز محاسبه نشده است تبدیل شود
- اصطکاک مثالی از یک نیروی غیرپایستار است

انرژی انتقالی

- بوسیله کار
  - با اعمال یک نیرو
  - منجر به ایجاد یک جابجایی سیستم می شود



علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

انرژی انتقالی

- گرما
  - فرایند تبدیل گرما، به برخوردهایی بین مولکولها مربوط می شود

انرژی انتقالی

- امواج مکانیکی
  - انتشار یک آشفتگی از طریق یک محیط
  - مثالهای مربوطه شامل: صدا، آب، زمین لرزه

انرژی انتقالی

- انتقال الکتریکی
  - انتقال حاملهای بار الکتریکی بوسیله جریان الکتریکی

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

انرژی انتقالی

- تشعشع الکترومغناطیسی
  - هر شکلی از امواج الکترومغناطیسی
    - مانند: نور، ریز موج، امواج رادیویی

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

بیشتر درباره بقای انرژی

- انرژی نه ایجاد می شود و نه از بین می رود، بلکه از شکلی به شکل دیگر در می آید
  - بیان دیگری از بقای انرژی
  - اگر انرژی کل سیستم ثابت باقی نماند، انرژی باید بوسیله مکانیزم دیگری شرط پیوستگی را ارضا نکند
  - در رشته های غیر فیزیکی نیز کاربرد دارد

حل مساله با نیروهای غیر پایستار

- تعریف سیستم
- نوشتن انرژیهای اولیه و نهایی کل سیستم
- کار غیرپایستار W_{nc} برابر است با اختلاف بین انرژی کل اولیه و نهایی
- دنبال کردن قوانین کلی برای حل بقا مسایل انرژی

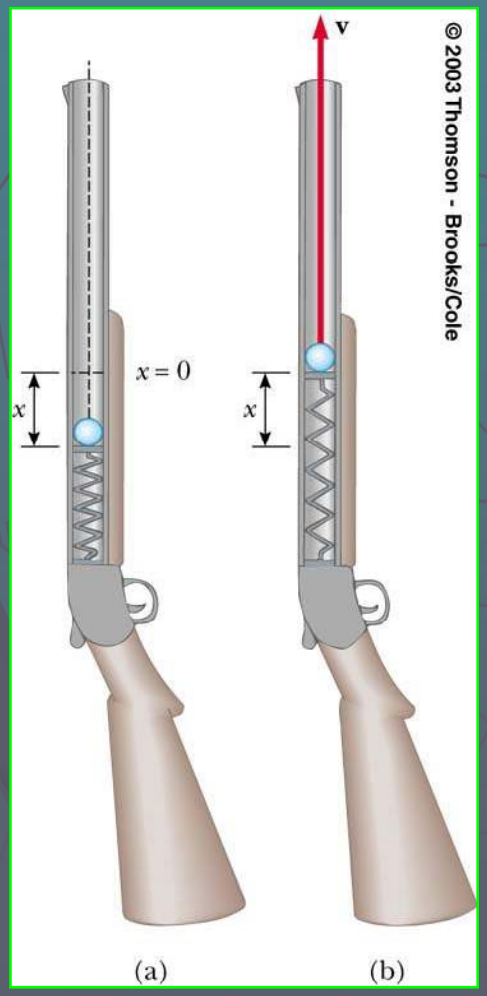
مرکز جرم

- به نقطه ای در جسم که می توان تمام جرم یک جسم را در آن نقطه متمرکز کرد، مرکز جرم می گویند.

- در استفاده از انرژی مکانیکی، تغییر انرژی پتانسیل یک جسم به تغییر ارتفاع مرکز جرم مربوط می شود

مساله مروری

مکانیزم پرتاپ در یک تفنگ اسباب بازی، مطابق شکل شامل یک فنری با ثابت مجهول است. اگر فنر تا فاصله ۱۲۰/۰ متر متراکم شود، در حالت عمودی می تواند یک جسم ۲۰ گرمی را تا ارتفاع ۲۰ متری نسبت به نقطه اولیه، به بالا پرتاب کند. با چشمپوشی از نیروی مقاومت، (الف) ثابت فنر و (ب) سرعت پرتابه وقتی از نقطه تعادلی فنر عبور می کند (که $x = 0$) را محاسبه نمایید.



حل

(الف) با استفاده از بقای انرژی مکانیکی بین دو نقطه (۱) وقتی که پرتابه در داخل تفنگ ساکن است و (۲) وقتی به بیشترین ارتفاع می رسد:

$$(K+U_g+U_s)_i=(K+U_g+U_s)_f$$

$$\Rightarrow (0+0+\frac{1}{2}kx_i^2)=(0+mgy_{\max}+0)$$

$$\Rightarrow k=\frac{2mgy_{\max}}{x_i^2}=\frac{2(20.0\times10^{-3}kg)(9.80\,m/s^2)(20.0\,m)}{(0.120\,m)^2}=544\,N/m$$ ✓

(ب) با استفاده از بقای انرژی مکانیکی بین دو نقطه (۱) وقتی که پرتابه در داخل تفنگ ساکن است و (۲) وقتی به نقطه تعادلی فنر می رسد:

$$(K+U_g+U_s)_i=(K+U_g+U_s)_f$$

$$\Rightarrow (0-mgx_i+\frac{1}{2}kx_i^2)=(K_f+0+0)$$

$$\Rightarrow v_f^2=\left(\frac{k}{m}\right)x_i^2-2gx_i\rightarrow v_f=19.7\ m/s$$ ✓

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

فصل نهم

اندازه حرکت و برخوردها

فهرست

فصل ۹ (اندازه حرکت و برخوردها)

- اندازه حرکت خطی
- ضربه و نمایش هندسی آن
- بقای اندازه حرکت خطی
- برخورد و انواع آن
- برخورد غیر الاستیک کامل
- برخورد الاستیک
- نمایش هندسی برخوردها
- برخوردهای دو بعدی
- حرکت پیشران موشک

اندازه حرکت

- از قوانین نیوتن: برای تغییر سرعت جسم (تغییر تندی و یا جهت سرعت)، نیرو باید وجود داشته باشد
- در نظر گرفتن اثرات برخوردها برای تغییر متناظر در سرعت مهم است

توپ گلف در ابتدا در حالت ساکن است، با انتقال مقداری انرژی جنبشی به آن توپ تغییر سرعت پیدا می کند

- برای توصیف چنین چیزی از مفهوم اندازه حرکت خطی استفاده می شود

سرعت × **جرم** = **اندازه حرکت خطی**

بردار **اسکالر**

علی‌اصغر شکری
استادیار گروه فیزیک
دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

اندازه حرکت خطی

اندازه حرکت خطی = جرم × سرعت

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

- کمیت برداری، راستای اندازه حرکت در جهت سرعتهاست
- تجزیه معادله در دو راستای x- و y-

$$p_x = mv_x \quad , \quad p_y = mv_y$$

اندازه ممانتم خطی: وابسته به جرم و سرعت می باشد

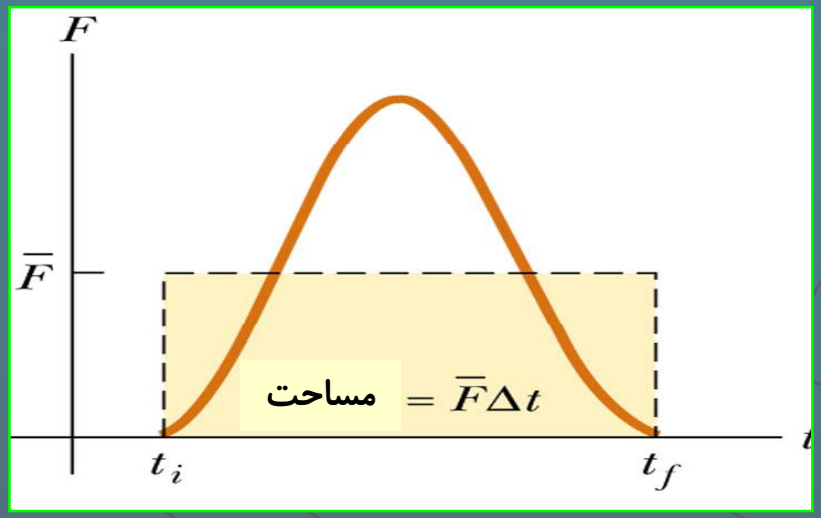
ضربه (Impulse)

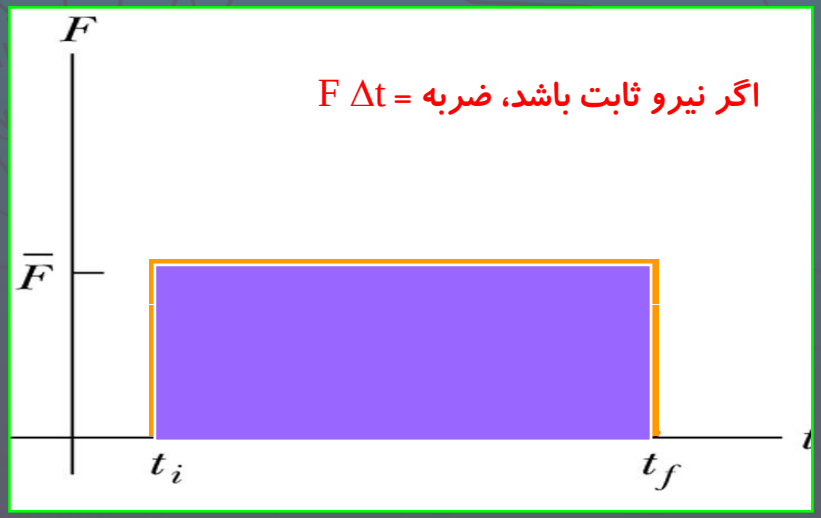
- برای تغییر ممانتم یک جسم، باید نیرویی به آن اعمال شود
- آهنگ زمانی تغییر ممانتم یک جسم برابر است با برایند نیروی وارد بر آن

$$\vec{F}_{net} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{m(\vec{v}_f - \vec{v}_i)}{\Delta t} = m\vec{a} \quad \Rightarrow \quad \Delta \vec{p} = \vec{F}_{net}\Delta t$$

- بیان دیگری از قانون دوم نیوتن ($F\Delta t$) که ضربه نامیده می شود
- ضربه یک کمیت برداری است که راستایش در جهت نیرو می باشد

نمایش هندسی ضربه





- معمولا نیرو ثابت نیست و به زمان وابسته است

$$\text{ضربه} = \sum_{\Delta t_i} \bar{F}_i \Delta t_i = \text{مساحت زیر منحنی نیرو-زمان}$$

- در صورت ثابت نبودن نیرو، از متوسط نیرو استفاده می شود
- متوسط نیرو می تواندمانند نیروی ثابت رفتار می کند، به طوری که همان ضربه را به جسم در بازه زمانی که نیروی واقعی متغیر با زمان عمل می کند، اعمال می نماید

مثال: ضربه اعمالی در برخوردهای اتوماتیکی

- مهمترین عامل: زمان برخورد یا زمانی که شخص به حالت ساکن در اید
  - با افزایش این زمان، شانس مرگ کاهش می یابد
- راههای افزایش زمان
  - کمربند ایمنی
  - کیسه های هوا

کیسه هوا زمان برخوردرا زیاد می کند و مقداری از انرژی شخص را در حین برخورد می گیرد

مساله: گلف بازی

سرعت بعد از برخورد یک توپ ۵۰ گرمی (در ابتدا ساکن) بوسیله یک چوب گلف ۵۰۰ گرمی، ۵۰ متر بر ثانیه می شود.

a) ضربه وارد شده به توپ را بیابید.
b) اگر زمان تماس چوب گلف با توپ ۵/۰ میلی ثانیه باشد، نیروی متوسط عمل کننده روی توپ گلف را تعیین نمایید.

مساله: گلف بازی

داده ها:

جرم: m = 50 g
= 0.050 kg

سرعت: v = 50 m/s

مجهولات:

ضربه = ?

$F_{average}$ = ?

۱- با استفاده از رابطه ضربه - اندازه حرکت

$$\text{ضربه} = \Delta p = mv_f - mv_i$$
$$= (0.050\ kg)(50\ m/s) - 0$$
$$= \underline{2.50\ kg \cdot m/s} \quad \checkmark$$

۲- با داشتن ضربه، نیروی متوسط از تعریف ضربه پیدا می شود:

$$\Delta p = F \cdot \Delta t \quad \Rightarrow \quad F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2.50\ kg \cdot m/s}{0.5 \times 10^{-3} s}$$
$$= \underline{5.00 \times 10^{3}\ N} \quad \checkmark$$

نکته: مطابق قانون سوم نیوتن، رابطه ای بین نیروی عکس العمل به چوب از طرف توپ وجود دارد

$$\vec{F} \cdot \Delta t = -\vec{F}_R \cdot \Delta t, \text{ or}$$

از چوب

$$m\vec{v}_f - m\vec{v}_i = -\left(M\vec{V}_f - M\vec{V}_i\right), \rightarrow$$

$$m\vec{v}_f + M\vec{V}_f = m\vec{v}_i + M\vec{V}_i$$

بقای اندازه حرکت

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

بقای اندازه حرکت خطی

تعریف:

به جسمی که هیچ نیروی خارجی به آن وارد نشود، جسم ایزوله می گویند

اندازه حرکت یک سیستم ایزوله در یک فرایند برخوردی بقا دارد (بدون ملاحظه طبیعت نیروهای بین اجسام)

- برخورد، نتیجه ای از تماس فیزیکی بین دو جسم می باشد
- "تماس" ممکن است بواسطه برهمکنش الکترواستاتیکی بین الکترونهای اتمهای سطحی اجسام باشد

بقای اندازه حرکت خطی

اصل بقای اندازه حرکت خطی:

وقتی هیچ نیروی خارجی روی یک سیستم متشکل از دو جسم که با یکدیگر برخورد می کنند وجود نداشته باشد، اندازه حرکت کل سیستم قبل از برخورد برابر است با اندازه حرکت سیستم بعد از برخورد

بقای اندازه حرکت خطی

- از نظر ریاضی:

$$m_1\vec{v}_{1i} + m_2\vec{v}_{2i} = m_1\vec{v}_{1f} + m_2\vec{v}_{2f}$$

- برای سیستمی از اجسام، اندازه حرکت بقا دارد
- سیستم شامل تمام اجسامی که با یکدیگر برهمکنش می دهند است
- در ضمن برخورد فرض می شود که فقط نیروهای داخلی عمل می کنند
- می توان به هر تعدادی از اجسام تعمیم داد

مساله: گلف بازی

در مساله ضربه به توپ گلف:

توپ : $\Delta p = 2.50\ kg\cdot m/s, m = 50\ \text{g}$

$$\Delta v = 50\ m/s$$

چوب گلف : $m\left(\vec{v}_f - \vec{v}_i\right) = -2.50\ kg\cdot m/s, \rightarrow$

$$\left(\vec{v}_f - \vec{v}_i\right) = \frac{-2.50\ kg\cdot m/s}{0.5\ kg} = \underline{-5\, m/s}$$

۱۰ برابر کوچکتر

مساله

فرض کنید شخصی روی سطح زمین می پرد. در اینصورت زمین

۱- هیچوقت حرکت نمی کند
۲- در راستای مخالف با یک سرعت ناچیزی واکنش نشان دهد
۳- ممکن است واکنش نشان دهد، اما دیدن اینکه چه اتفاقی می افتد، نیازمند به اطلاعات بیشتری دارد

پاسخ دهید

پاسخ

فرض کنید شخصی روی سطح زمین می پرد. در اینصورت زمین

۱- هیچوقت حرکت نمی کند
۲- در راستای مخالف با یک سرعت ناچیزی واکنش نشان دهد ✓
۳- ممکن است واکنش نشان دهد، اما دیدن اینکه چه اتفاقی می افتد، نیازمند به اطلاعات بیشتری دارد

نکته: اندازه حرکت زمین بقا دارد. در اینجا سرعت زمین را بعد از پرش یک شخص ۸۰ کیلوگرمی تخمین می زنیم. فرض کنید سرعت اولیه پرش ٤ متر بر ثانیه باشد.

شخص : $\Delta p = 320\ kg \cdot m/s$

زمین : $\Delta p = M_{Earth} V_{Earth} = -320\ kg \cdot m/s, \rightarrow$

$$V_{Earth} = \frac{-320\ kg \cdot m/s}{6\times10^{24}\ kg} = \underline{-5.3\times10^{-23}\ m/s}$$

خیلی ناچیز و در جهت مخالف

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

انواع برخوردها

- در هر برخوردی اندازه حرکت بقا دارد.

انرژی جنبشی چطور؟

- برخوردهای غیرالاستیک (ناکشسانی)
  - انرژی جنبشی بقا ندارد

$$K_i = K_f + \Delta E$$

- مقداری از انرژی جنبشی به انواع دیگر انرژی مانند گرما، صوت، کار برای تغییر شکل جسم تبدیل می شود

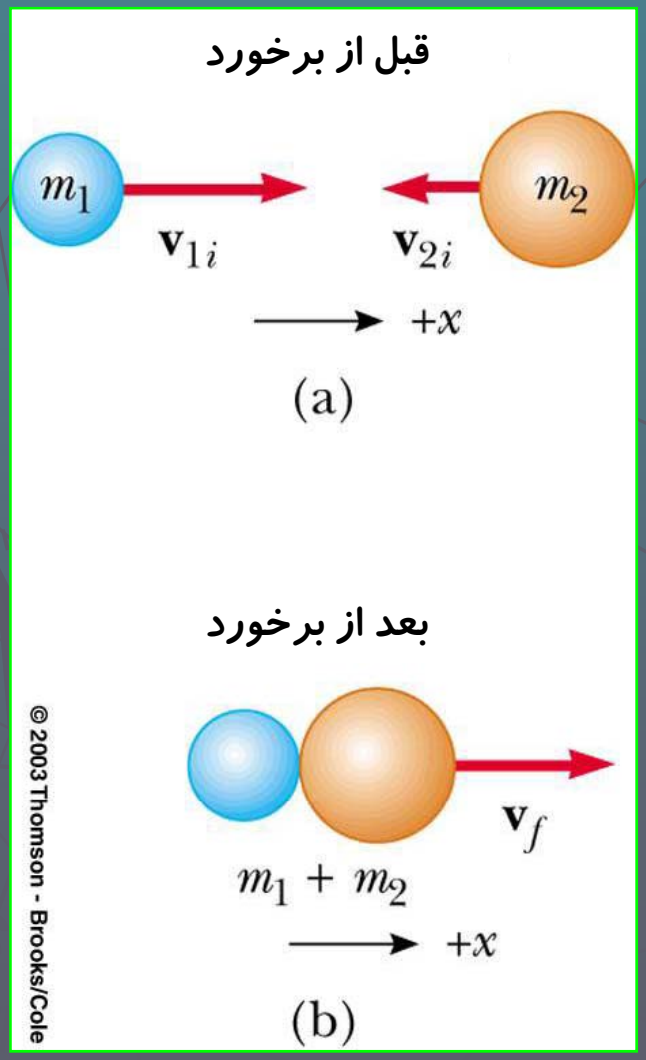
- برخوردهای کاملا غیر الاستیک وقتی رخ می دهد که اجسام بعد از برخورد بهم بچسبند
  - لزوما تمام انرژی جنبشی از بین نمی رود

برخوردهای غیر الاستیک کامل

- وقتی دو جسم بعد از برخورد بهم می چسبند، آنها یک برخورد کاملا غیر الاستیک را تحمل می کنند
- برای مثال فرض کنید، $v_{2i}=0$. در اینصورت رابطه بقای اندازه حرکت به صورت زیر می شود:

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = (m_1 + m_2) v_f$$

$$m_1 v_{1i} + 0 = (m_1 + m_2) v_f$$



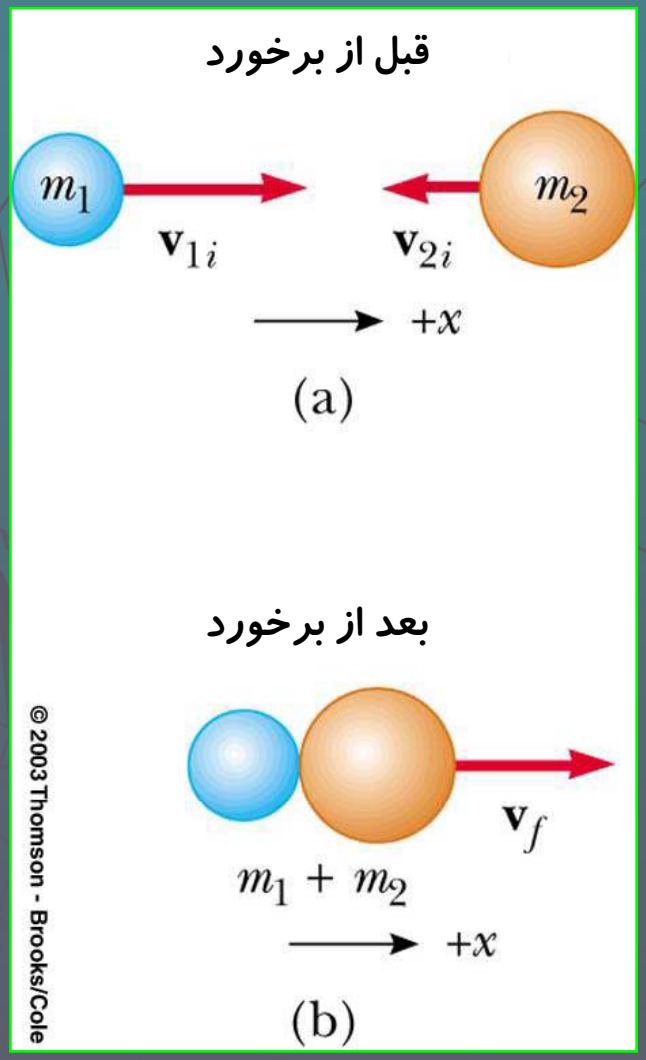
مثال: $m_1 = 1000\,kg, m_2 = 1500\,kg$:

$$(1000kg)(50\,m/s) + 0 = (2500kg)v_f\,,$$

$$v_f = \frac{5\times10^4\,kg\cdot m/s}{2.5\times10^3\,kg} = \underline{20\,m/s.}$$

برخوردهای غیر الاستیک کامل

چه مقدار انرژی جنبشی در این بین از بین می رود؟



$$K_i = \frac{1}{2}m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2}m_2 v_{2i}^2$$

$$= \frac{1}{2}(1000\,kg)(50\,m/s)^2 = 1.25\times10^6\,J$$

$$K_f = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_f^2$$

$$= \frac{1}{2}(2500\,kg)(20\,m/s)^2 = 0.50\times10^6\,J$$

$$\Delta E = \underline{0.75\times10^6\,J}$$

به صورت گرما، صوت، ... از بین می رود

انواع دیگر برخوردها

- برخوردهای الاستیک (کشسانی)
  - هم اندازه حرکت و هم انرژی جنبشی بقا دارد
- برخوردهای واقعی
  - بیشتر برخوردها بین برخوردهای از نوع الاستیک و نوع غیر الاستیک کامل اتفاق می افتد

انواع دیگر برخوردها

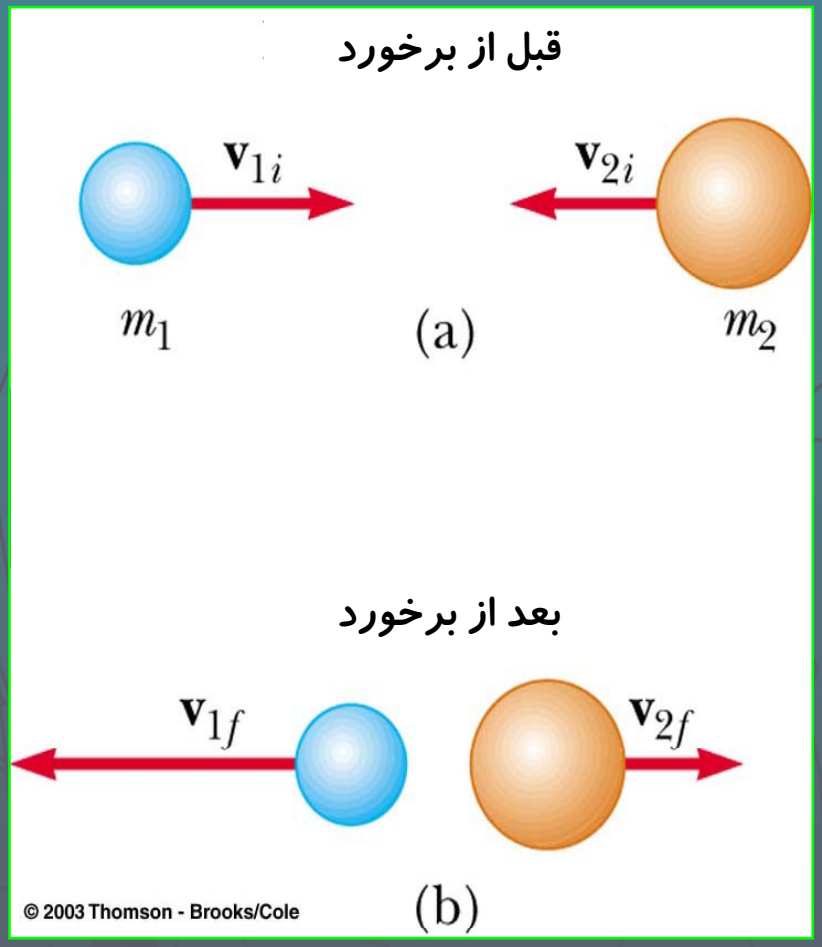
- هم اندازه حرکت و هم انرژی جنبشی بقا دارد
- دو دسته معادله (در فضای سه بعدی ٤ معادله–٣ معادله برای اندازه حرکت و ١ معادله برای انرژی) برقرار است

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$$

- این معادلات باید به طور همزمان حل شوند

برخوردهای الاستیک



- بااستفاده از مثال قبلی (ولی کشسانی فرض می شود)

$$\vec{P}_i = m_1\vec{v}_{1i} + m_1\vec{v}_{2i}$$
$$= (1000\,kg)(50\,m/s) + (1500\,kg)(-20\,m/s)$$
$$= 2.0\times10^4\,kg\cdot m/s$$

$$K_i = \frac{1}{2}m_1v_{1i}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2i}^2$$
$$= 1.25\times10^6\,J + 3\times10^5\,J$$
$$= 1.55\times10^6\,J$$

برای برخورد کاملا الاستیک:

$$\left.\begin{aligned} 2.0\times10^4\,kg\cdot m/s &= -m_1v_{1f} + m_2v_{2f} \\ 1.55\times10^6\ J &= \frac{1}{2}m_1v_{1f}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2f}^2 \end{aligned}\right\}$$

$$v_{1f} = -26.7\,m/s$$
$$v_{2f} = +31.1\,m/s$$

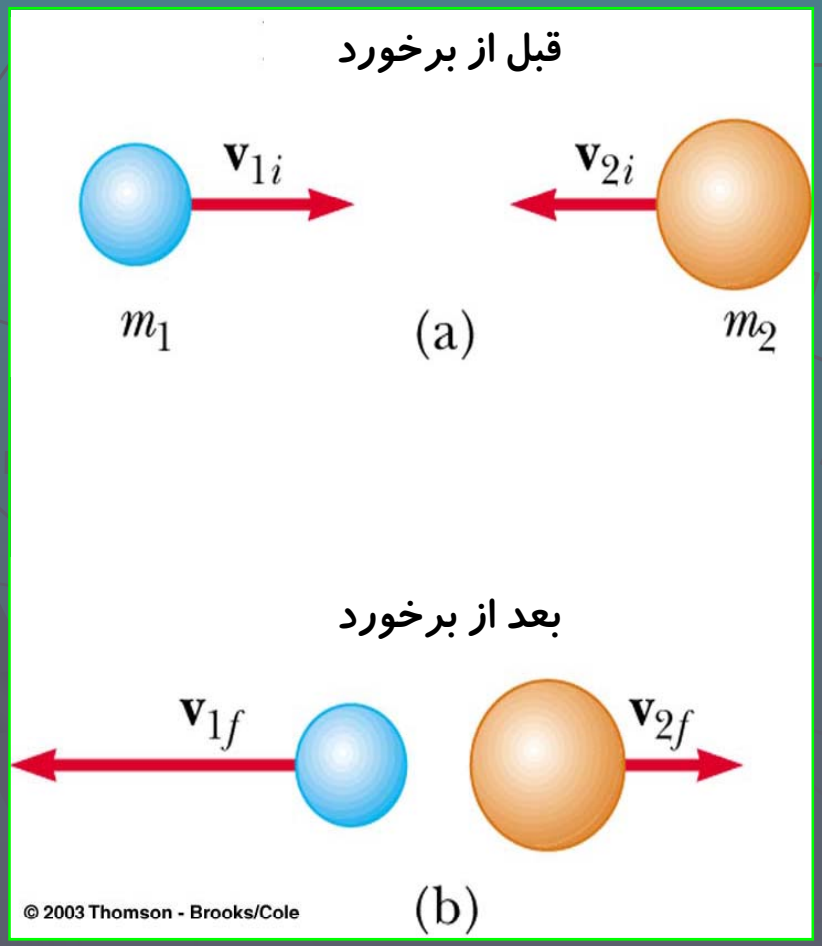
علی‌اصغر شکری — استادیار گروه فیزیک — دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

حل مساله برخوردهای یک بعدی

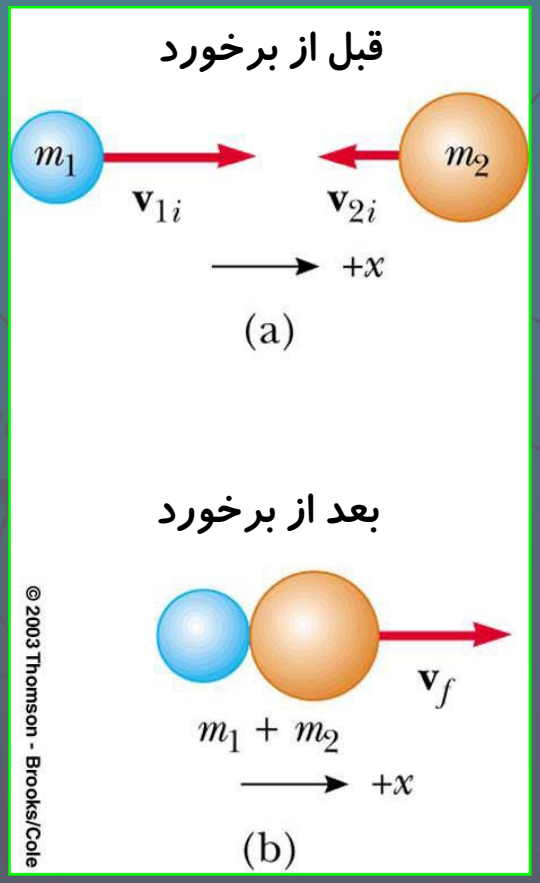
- با در نظر گرفتن یک دستگاه مختصات، سرعتها را نسبت به محورهایش تعریف کنید
  - بهتر است که محور برخورد را با یکی از سرعتهای اولیه هم جهت فرض کنیم
- در نمایش هندسی برخوردها، تمام بردارهای سرعت را با برچسبی نشان می دهیم

نمایش برخورد الاستیک

- نمایش هندسی را "قبل" و "بعد" از برخورد رسم کنید
- به اجسام برچسب بزنید
  - شامل راستای سرعت
  - و مسیر حرکت



نمایش برخورد غیر الاستیک کامل



- اجسام بعد از برخورد به یکدیگر می چسبند
- برای تمام راستاهای سرعت درست است
- "بعد" از برخورد تشکیل یک جرم می دهند

حل مساله برخوردهای یک بعدی

- رابطه اندازه حرکت هر جسم را قبل و بعد از برخورد بنویسید
  - علامتهایش باید در نظر گرفته شوند
- رابطه اندازه حرکت کل را قبل و بعد از برخورد بنویسید
  - فراموش نکنید که اندازه حرکت سیستم بقا دارد
- اگر برخورد غیر الاستیک باشد، باید معادله اندازه حرکت برای یافتن مجهول مورد نظر حل شود
  - انرژی جنبشی بقا ندارد
- اگر برخورد الاستیک باشد، باید معادلات اندازه حرکت و انرژی جنبشی به طور همزمان برای حل مجهولات حل شوند

برخوردهای دو بعدی

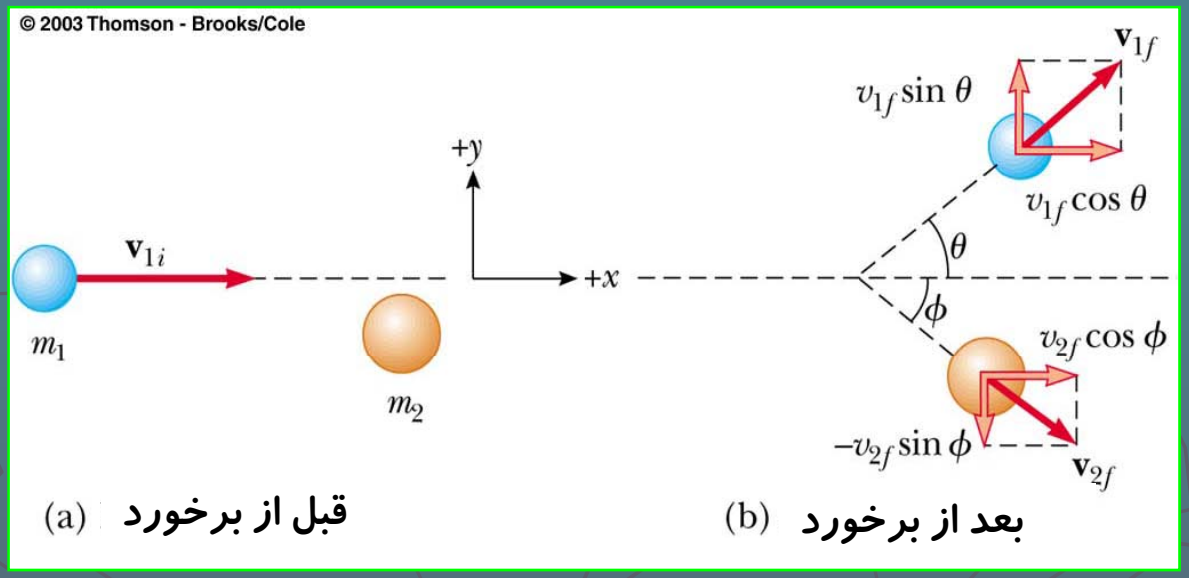
- به طور کلی برخورد دو جسم در فضای سه بعدی اتفاق می افتد، بنابر این مطابق اصل بقای اندازه حرکت، *اندازه حرکت کل سیستم در هر راستایی بقا دارد.*

$$m_1 v_{1ix} + m_2 v_{2ix} = m_1 v_{1fx} + m_2 v_{2fx}$$

$$m_1 v_{1iy} + m_2 v_{2iy} = m_1 v_{1fy} + m_2 v_{2fy}$$

- برای شناسایی جسم، مولفه های سرعتهای اولیه و نهایی آنها را برچسب بزنید.

برخوردهای دو بعدی



- سرعتهای "بعد" از برخورد، مولفه های x و y دارند.
- اندازه حرکت در راستاهای x و y بقا دارد.
- بقای اندازه حرکت به طور مستقل در هر راستایی اعمال می شود.

حل مساله برخوردهای دو بعدی

- با در نظر گرفتن یک دستگاه مختصات، سرعتها را نسبت به محورهایش تعریف کنید.
  - بهتر است که محور برخورد را با یکی از سرعتهای اولیه در راستای x هم جهت فرض کنیم.
- در نمایش هندسی برخوردها، تمام بردارهای سرعت را با برچسبی نشان می دهیم.

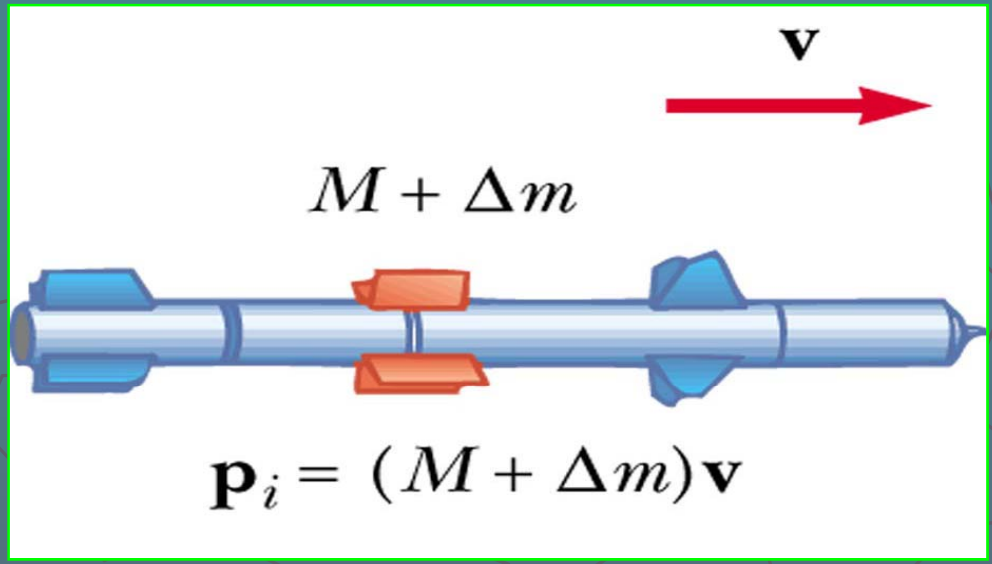
حل مساله برخوردهای دو بعدی

- رابطه اندازه حرکت هر جسم را قبل و بعد از برخورد در راستاهای x و y بنویسید
  - علامتهایش باید در نظر گرفته شوند
- رابطه اندازه حرکت کل را قبل و بعد از برخورد در راستاهای x و y بنویسید
  - فراموش نکنید که اندازه حرکت سیستم در هر راستایی بقا دارد
- اگر برخورد غیر الاستیک باشد، باید معادله اندازه حرکت برای یافتن مجهول مورد نظر حل شود
  - انرژی جنبشی بقا ندارد
- اگر برخورد الاستیک باشد، باید معادلات اندازه حرکت و انرژی جنبشی به طور همزمان برای حل مجهولات حل شوند

پیش راندن (نیروی محرکه) موشک

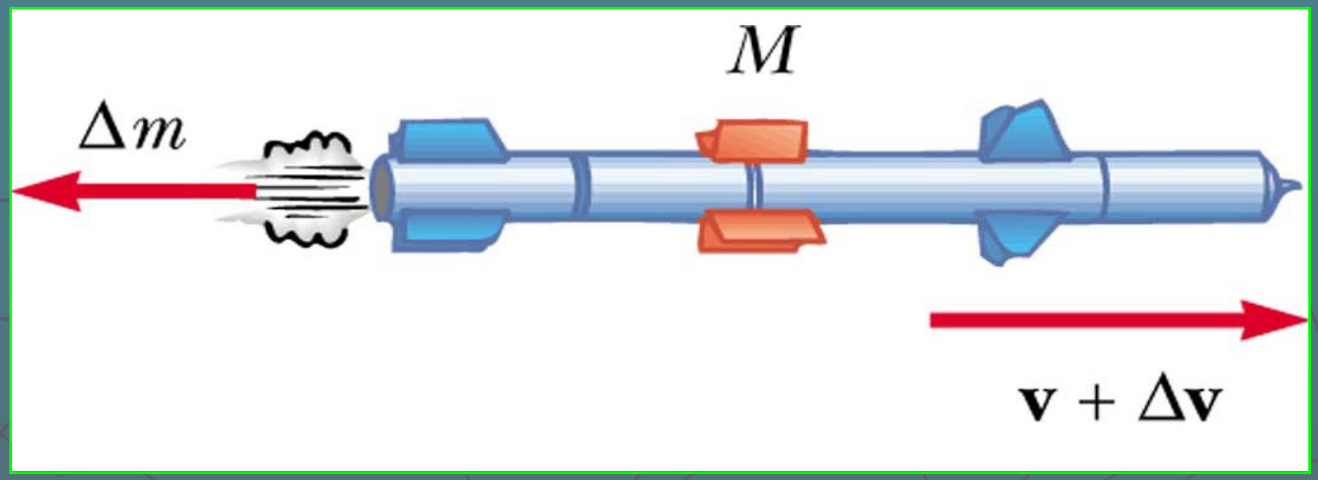
- عملکرد یک موشک به قانون بقای اندازه حرکتی کل سیستم (موشک + سوخت) وابسته است.
  - این موضوع با حرکت (پیش راندن) روی زمین که دو جسم به هم نیرو وارد می کنند، متفاوت است.
    - خیابان روی اتومبیل
    - قطار روی راه آهن
- با بیرون فرستادن گاز خروجی، موشک شتاب می گیرد
- این موضوع عکس برخورد غیر الاستیک را نشان می دهد
  - اندازه حرکت بقا دارد
  - انرژی جنبشی زیاد می شود (با مصرف انرژی ذخیره شده در سوخت موشک)

پیش راندن موشک



- جرم اولیه موشک برابر است با M + Δm
  - M جرم موشک است.
  - m جرم سوخت است.
- سرعت اولیه موشک v فرض می شود.

پیش راندن موشک



- M جرم موشک است.
- جرم سوخت، Δm، که از موشک خارج می شود.
- سرعت موشک به مقدار v + Δv زیاد می شود.

پیش راندن موشک

- معادله اصلی برای پیش راندن موشک برابر است با:

$$v_f - v_i = v_e \ln\left(\frac{M_i}{M_f}\right)$$

- M_i جرم اولیه موشک + سوخت است.
- M_f جرم نهایی موشک + سوخت باقیمانده است
- سرعت موشک متناسب با سرعت خروج گاز است

نیروی پرتاب موشک

- نیروی پرتاب، به نیروی وارد شده به موشک بواسطه دفع گازهای خروجی، نیروی پرتاب می گویند.
- نیروی پرتاب (محرکه پیش ران) با رابطه زیر داده می شود:

$$Ma = M\frac{\Delta v}{\Delta t} = \left| v_e \frac{\Delta M}{\Delta t} \right|$$

- وقتی سرعت خروج گازها زیاد می شود و آهنگ مصرف سوخت $(\Delta M/\Delta t)$ بالا می رود، نیروی محرکه پیش ران افزایش می یابد

برخوردهای دو بعدی

- بطور کلی، برخورد دو جسم در فضای سه بعدی اتفاق می افتد، اصل بقای اندازه حرکت

$$m_1\vec{v}_{1i} + m_2\vec{v}_{2i} = m_1\vec{v}_{1f} + m_2\vec{v}_{2f}$$

... بیان می کند که **اندازه حرکت کل سیستم در هر راستایی بقا دارد**.

$$m_1 v_{1ix} + m_2 v_{2ix} = m_1 v_{1fx} + m_2 v_{2fx}$$

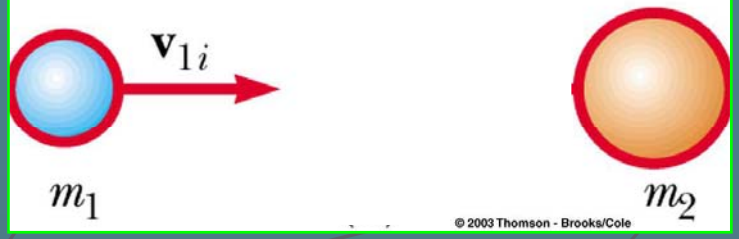
$$m_1 v_{1iy} + m_2 v_{2iy} = m_1 v_{1fy} + m_2 v_{2fy}$$

- از پسوندها برای شناسایی جسم، مولفه های سرعت اولیه و نهایی استفاده می شود

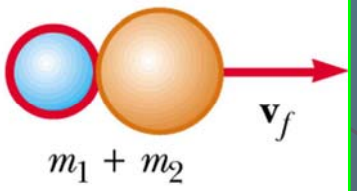
مثال

چه اتفاقی بعد از برخورد می افتد؟

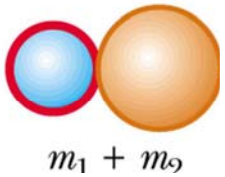
قبل از برخورد



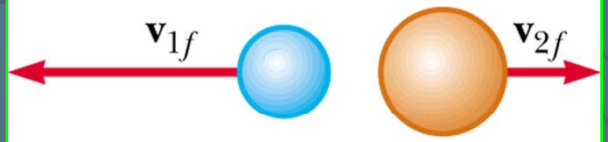
(الف) بعد از برخورد



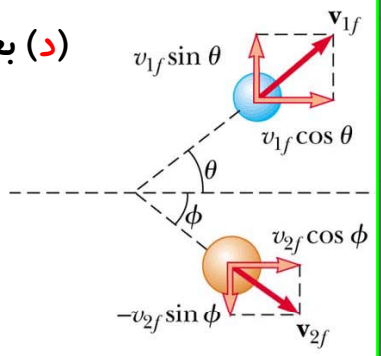
(ب) بعد از برخورد



(ج) بعد از برخورد



(د) بعد از برخورد

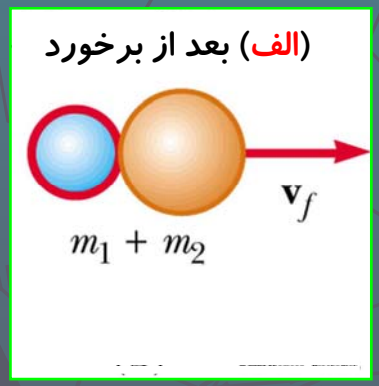


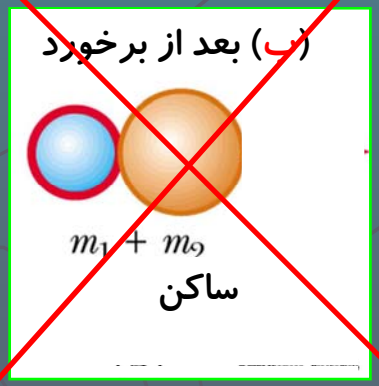
ممکن است دو جسم پراکند شوند.

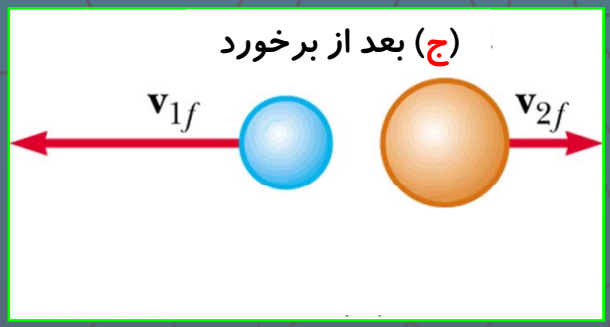
مثال

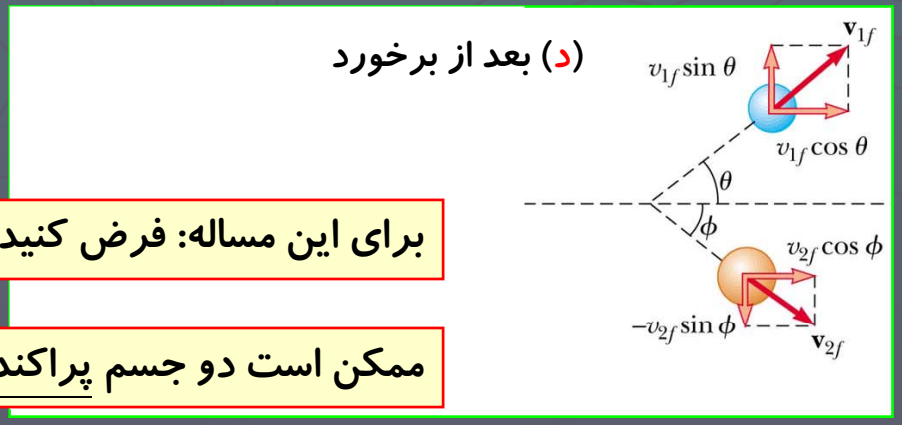
چه اتفاقی بعد از برخورد می افتد؟

مفروضات: $m_1=m_2$ و $v_{1i}=5\ m/s$





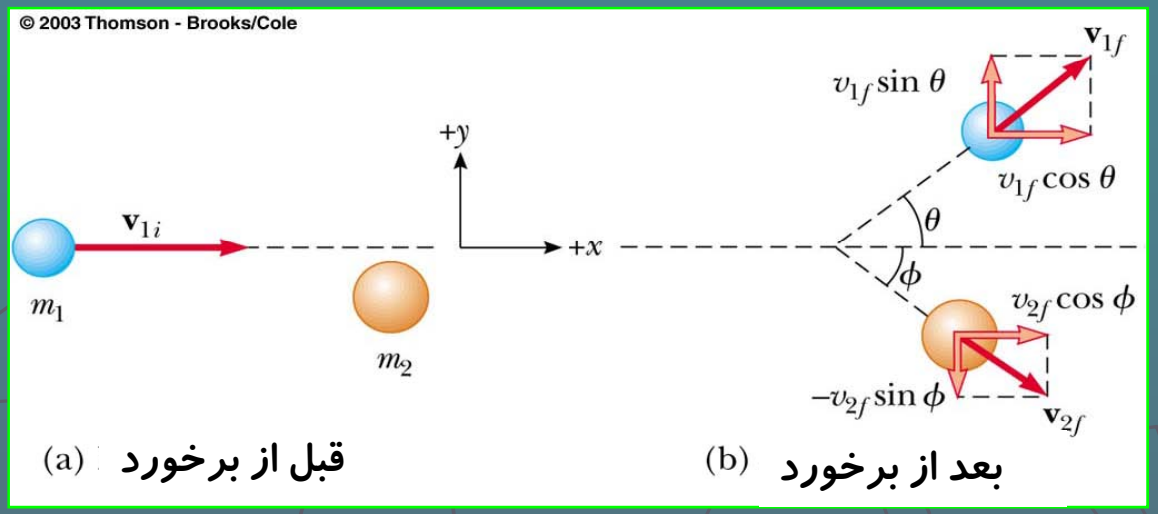




برای این مساله: فرض کنید که $\theta = \phi = 60$

ممکن است دو جسم پراکند شوند.

مثال:



داده ها:

جرمها: $m_1=m_2$

سرعتها: $v_{1i}=5\ m/s$

$v_{2i}=0\ m/s$

زوایا: $\theta = \phi = 60°$

مجهولات:

v_{1f}= ?

v_{2f}= ?

با استفاده از بقای اندازه حرکت در راستاهای x و y :

$$\sum p_{yf} = m_1 v_{1f}\sin 60^\circ - m_2 v_{2f}\sin 60^\circ = \sum p_{yi} = 0$$

$$v_{1f}\sin 60^\circ = v_{2f}\sin 60^\circ, \text{ as } m_1 = m_2$$

$$v_{1f} = v_{2f}$$

$$\sum p_{xf} = m_1 v_{1f}\cos 60^\circ + m_2 v_{2f}\cos 60^\circ = \sum p_{xi} = m_1(5\,m/s)$$

$$v_{1f}(0.5) + v_{2f}(0.5) = 5\,m/s$$

$$v_{1f} = v_{2f} = 5\,m/s$$

فصل دهم

سینماتیک حرکت دورانی

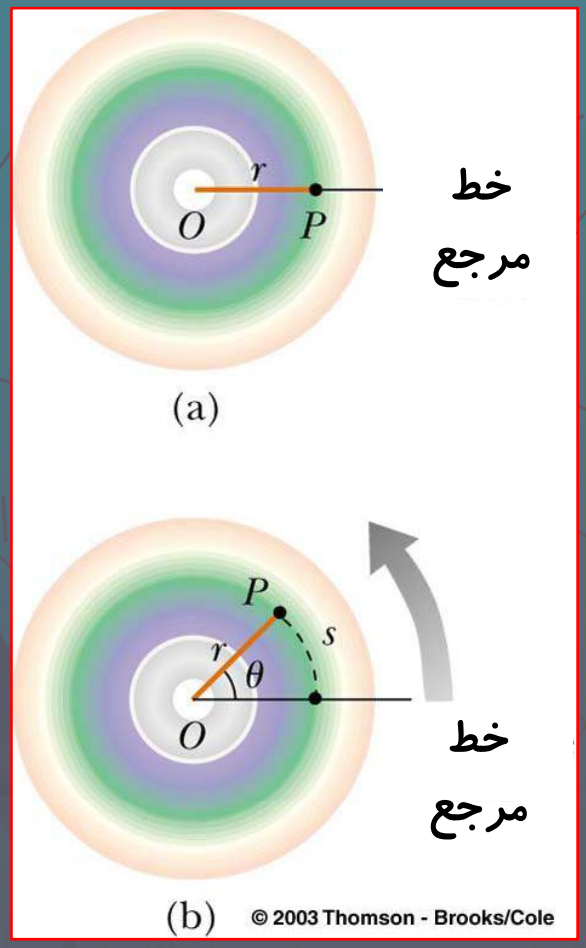
فهرست

فصل ۱۰ (سینماتیک حرکت دورانی)

- جابجایی، سرعت و شتاب زاویه ای
- مقایسه حرکتهای خطی و زاویه ای
- شتاب چانب مرکز
- مثالها
- حرکت دایره ای

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

جابجایی زاویه ای

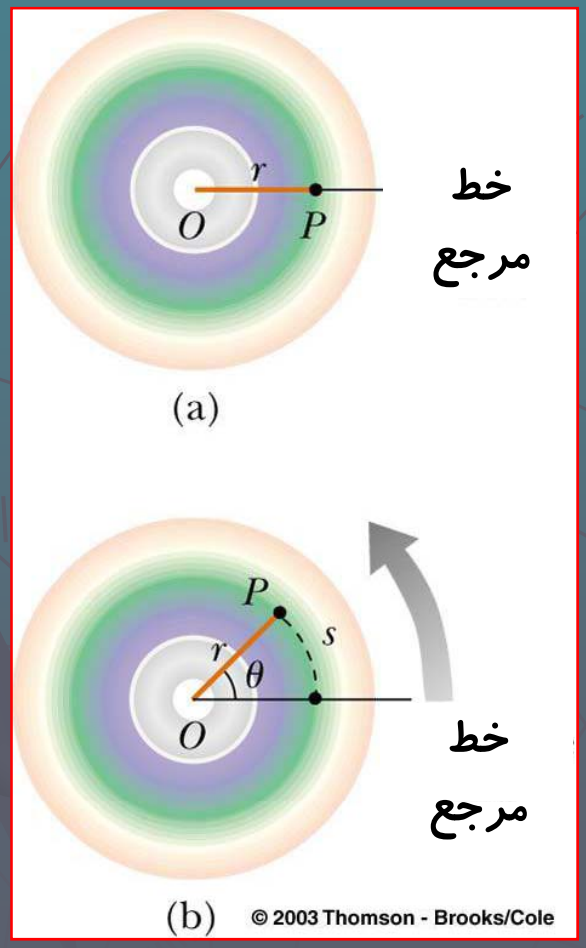


- مشابه حرکت خطی
  - جابجایی، سرعت، شتاب

$$\vec{\Delta r} = \vec{r}_f - \vec{r}_i, \quad \vec{v} = \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t}, \quad \vec{a} = \frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t}$$

- مفاهیم مشابه ای در حرکت دایره ای اجسام مورد نیاز است
- مانند قبل:
  - نیاز به یک سیستم مرجع ثابت (خط مرجع)
  - استفاده از سیستم مختصات قطبی

جابجایی زاویه ای



- هر نقطه ای روی جسم حرکت دایره ای حول نقطه O انجام می دهد
- زاویه ها با رادیان اندازه گیری می شوند.

$$\theta = \frac{s}{r}$$

طول قوس

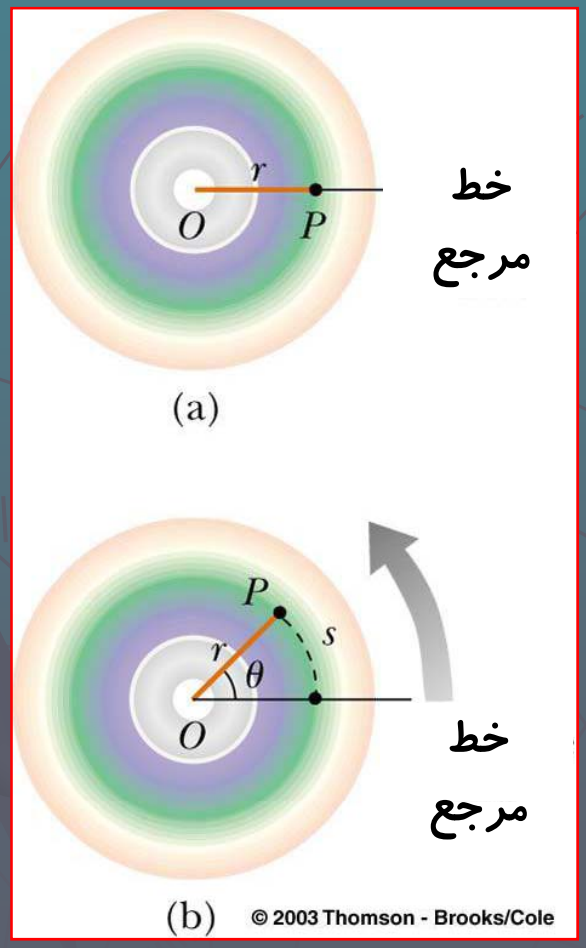
شعاع

- توجه:

$$1\,rad = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57.3^\circ$$

$$\theta\,[\text{rad}] = \frac{\pi}{180^\circ}\,\theta\,[\text{degrees}]$$

جابجایی زاویه ای



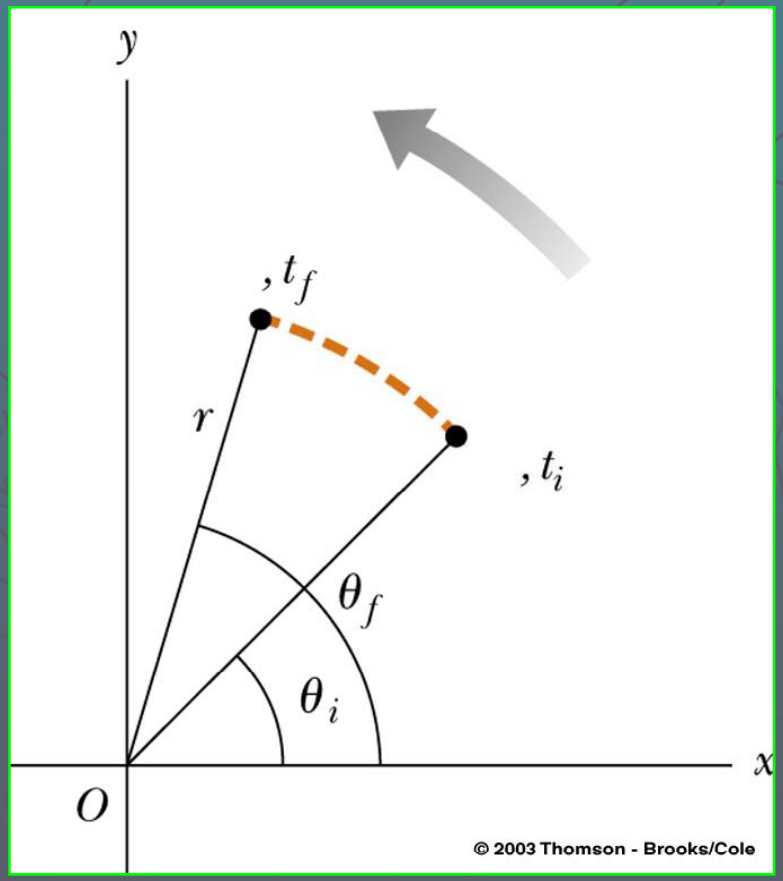
- جابجایی زاویه ای به صورت زاویه دوران جسم در یک بازه زمانی تعریف می شود.

$$\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$$

- هر نقطه ای روی صفحه دایره ای جابجایی زاویه ای یکسان را در هر بازه زمانی داده شده احساس می کند.

سرعت زاویه ای متوسط

- سرعت (تندی) زاویه ای متوسط، ω، یک جسم صلب دوار به صورت **آهنگ جابجایی زاویه ای در یک بازه زمانی تعریف می شود**

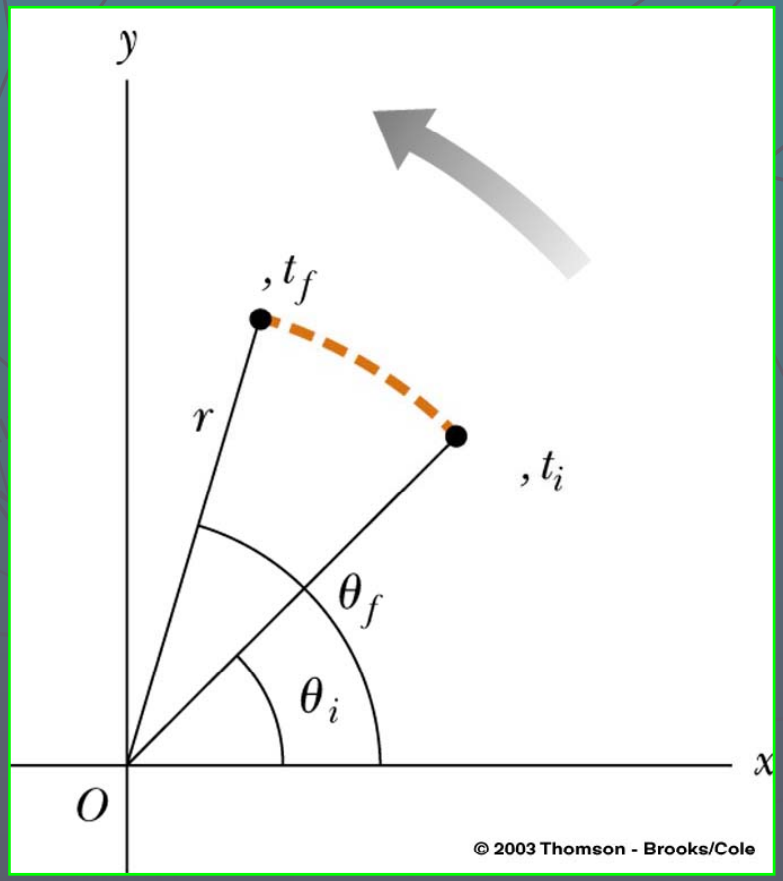


$$\overline{\omega} = \frac{\theta_f - \theta_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

سرعت زاویه ای لحظه ای

- سرعت (تندی) زاویه ای لحظه ای به صورت حد سرعت زاویه ای متوسط وقتی که بازه زمانی به صفر میل می کند تعریف می شود

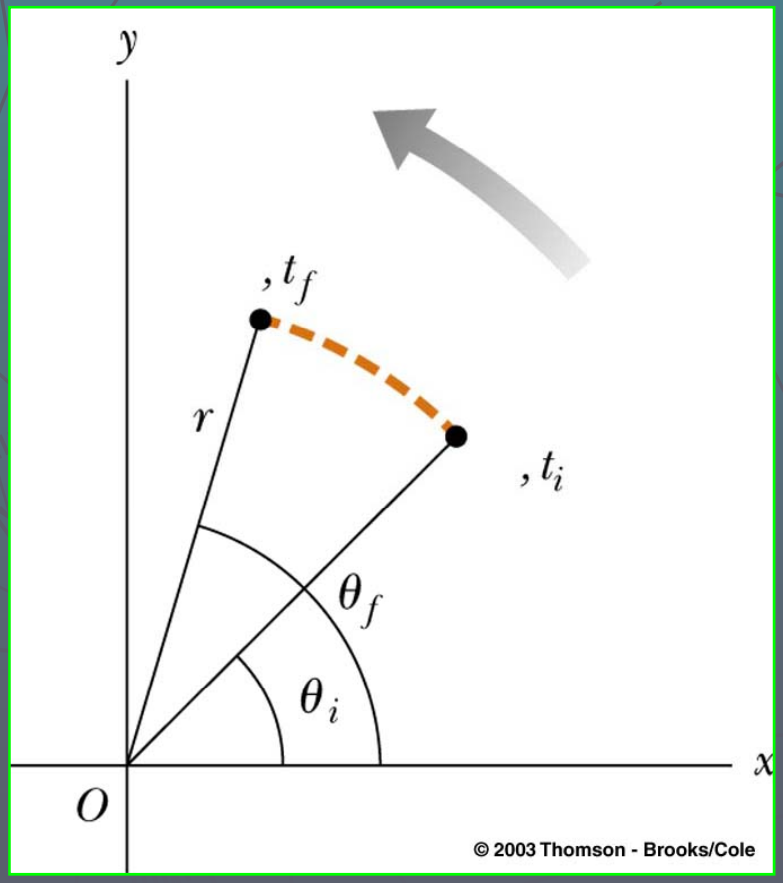
$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$$



- واحدهای سرعت زاویه ای رادیان بر ثانیه (rad/s) می باشد
- سرعت زاویه ای
  - اگر θ زیاد شود، مثبت خواهد شد (پاد ساعتگرد)
  - اگر θ کم شود، منفی خواهد شد (ساعتگرد)

شتاب زاویه ای

- چطوری جسمی که در ابتدا ساکن است، می تواند شروع به دوران کند؟
- شتاب زاویه ای متوسط، ، یک جسم به صورت آهنگ تغییرات سرعت زاویه ای، α، نسبت به زمان تعریف می شود:



$$\overline{\alpha} = \frac{\omega_f - \omega_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

- واحد آن rad/s^2 می باشد.
- و به طور مشابه، شتاب زاویه ای لحظه ای:

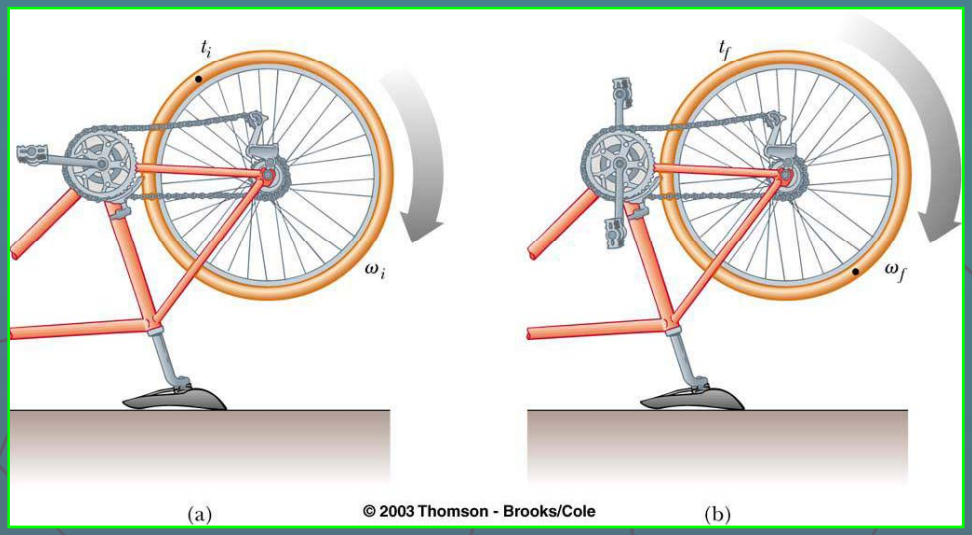
$$\alpha = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

نکاتی درباره سینماتیک زاویه ای

- وقتی یک جسم صلب حول یک محور ثابت دوران می کند، هر قسمتی از جسم سرعت زاویه ای و شتاب زاویه ای یکسانی دارد

- یعنی θ، ω و α به شعاع چرخش، r، (فاصله از مرکز یا محور چرخش) بستگی ندارند.

مثال



۱. چرخ دوچرخه ای در هر دقیقه ۲۴۰ دور می چرخد. سرعت زاویه ای این چرخ برحسب رادیان بر ثانیه چقدر است؟

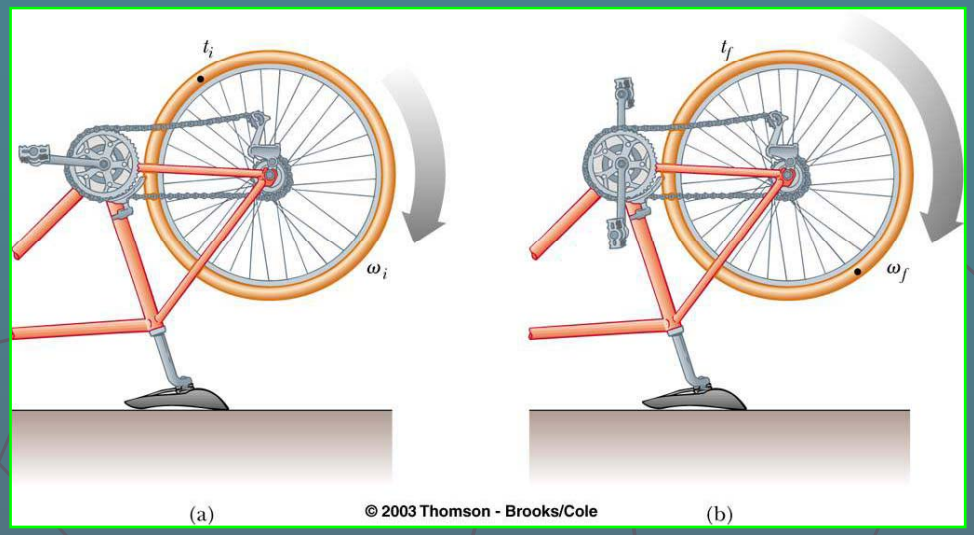
$$\omega = 240\frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{1\text{min}}{60\,\text{sec}} \times \frac{2\pi\ \text{rads}}{1\text{rev}} = 8\pi\,\text{radians/sec} \approx 25.1\text{radians/sec}$$ ✓

۲. شتاب زاویه ای چرخ را در حالتی که چرخ بطور یکنواخت در مدت ۵ ثانیه به حالت سکون درآید حساب کنید.

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_i}{\Delta t} = \frac{0 - 25\,\text{rad/sec}}{5\,\text{sec}} = -5\,\text{rad/sec}^2$$ ✓

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

مثال:



۳. در مدت ۵ ثانیه چند دور می زند؟

داده ها:

۱- سرعت زاویه ای:
240 rev/min
۲- زمان: t = 5 s

مجهولات :

θ = ?

در حرکت خطی: $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

بنابر این رابطه مشابه در حرکت زاویه ای عبارت است از: $\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$

$$= 25\,\text{rad/sec}\,(5\,\text{sec}) + \frac{1}{2}(-5\,\text{rad/sec})(5\,\text{sec})^2 = 62.5\,\text{rad}$$

$$\theta(rev) = 62.5\,\text{rad} \times \frac{1\,\text{rev}}{2\pi} = 10 \quad \text{دور}$$

✓

مقایسه بین حرکتهای خطی و دورانی

حرکت خطی با شتاب ثابت	حرکت دورانی حول محور معینی با شتاب ثابت
$v = v_i + at$	$\omega = \omega_i + \alpha t$
$\Delta x = v_i t + \frac{1}{2} a t^2$	$\Delta\theta = \omega_i t + \frac{1}{2} \alpha t^2$
$v^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$	$\omega^2 = \omega_i^2 + 2\alpha\Delta\theta$

روابط بین کمیتهای خطی و دورانی

- بین جابجایی ها:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta s}{r}$$

- بین سرعتها:

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{1}{r}\frac{\Delta s}{\Delta t}$$

یا

$$\omega = \frac{1}{r}v$$

- بین شتابها:

$$a = \alpha r$$

روابط بین کمیتهای خطی و دورانی

- جابجایی ها:

$$s = r\theta$$

- سرعتها:

$$v = r\omega$$

- شتابها:

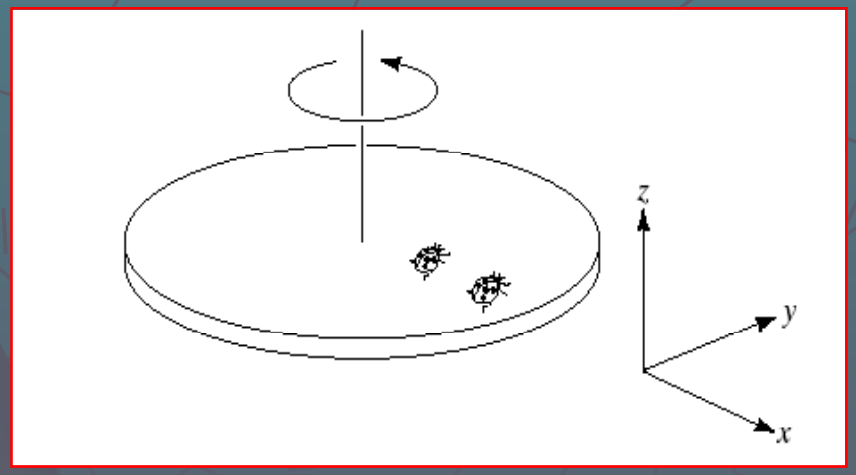
$$a = r\alpha$$

- هر نقطه ای روی جسم دوار، حرکت زاویه ای یکسانی دارد

- هر نقطه ای روی جسم دوار، حرکت خطی یکسانی ندارد

سوال

- دو حشره، که یکی در یک نقطه روی لبه خارجی یک صفحه چرخان و دیگری در بین حشره اول و محور دوران صفحه در حالت ساکن ایستاده اند (مطابق شکل). اگر صفحه در هر ثانیه یک دور کامل حول محورش بچرخد، سرعت زاویه ای حشره دوم برابر است با:

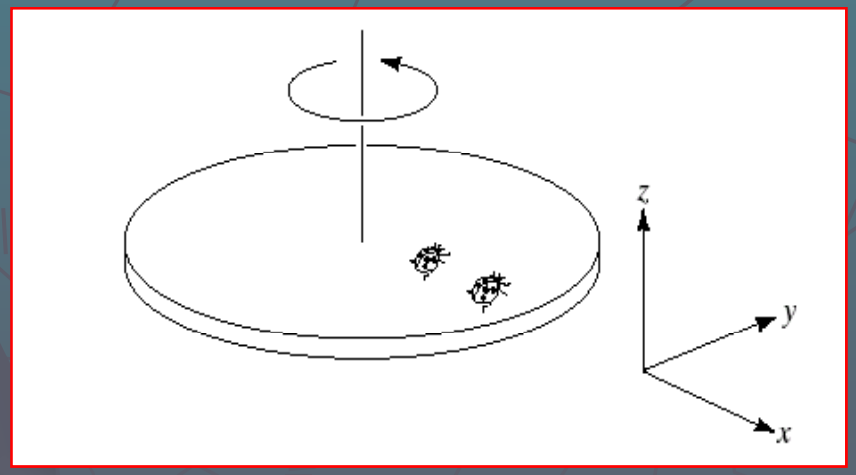


۱- نصف حشره اول
۲- مشابه حشره اول
۳- دو برابر حشره اول
٤- تعیین آن غیر ممکن است

حل کنید؟

پاسخ

- دو حشره، که یکی در یک نقطه روی لبه خارجی یک صفحه چرخان و دیگری در بین حشره اول و محور دوران صفحه در حالت ساکن ایستاده اند (مطابق شکل). اگر صفحه در هر ثانیه یک دور کامل حول محورش بچرخد، سرعت زاویه ای حشره دوم برابر است با:

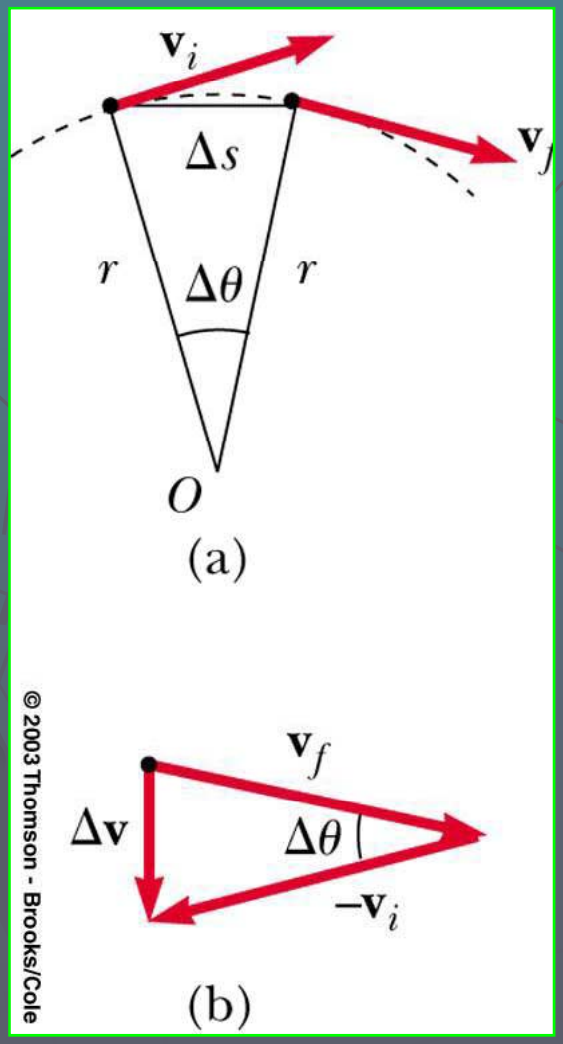


۱- نصف حشره اول
۲- مشابه حشره اول
۳- دو برابر حشره اول
٤- تعیین آن غیر ممکن است

توجه: هر دو حشره با یک سرعت زاویه ای ۱ دور بر ثانیه در حال چرخشند

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

شتاب مرکزی (جانب مرکز)



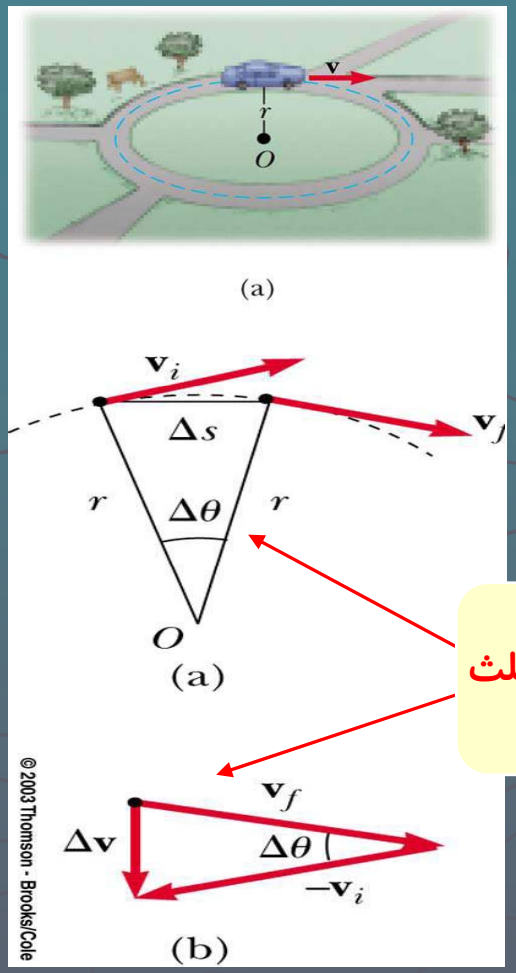
- اگر جسمی با سرعت ثابتی حول یک مسیر دایره ای در حال حرکت باشد، حرکتش شتابدار خواهد بود (بواسطه تغییر در جهت سرعت)
- به این نوع شتاب، شتاب مرکزی (یا جانب مرکز می گویند)
- جهت شتاب متوجه مرکز حرکت دایره ای می باشد

شتاب جانب مرکز و سرعت زاویه ای

- رابطه بین سرعت زاویه ای و سرعت خطی به صورت ($v = \omega r$) می باشد.
- بنابراین شتاب مرکزی می تواند با سرعت زاویه ای رابطه داشته باشد:

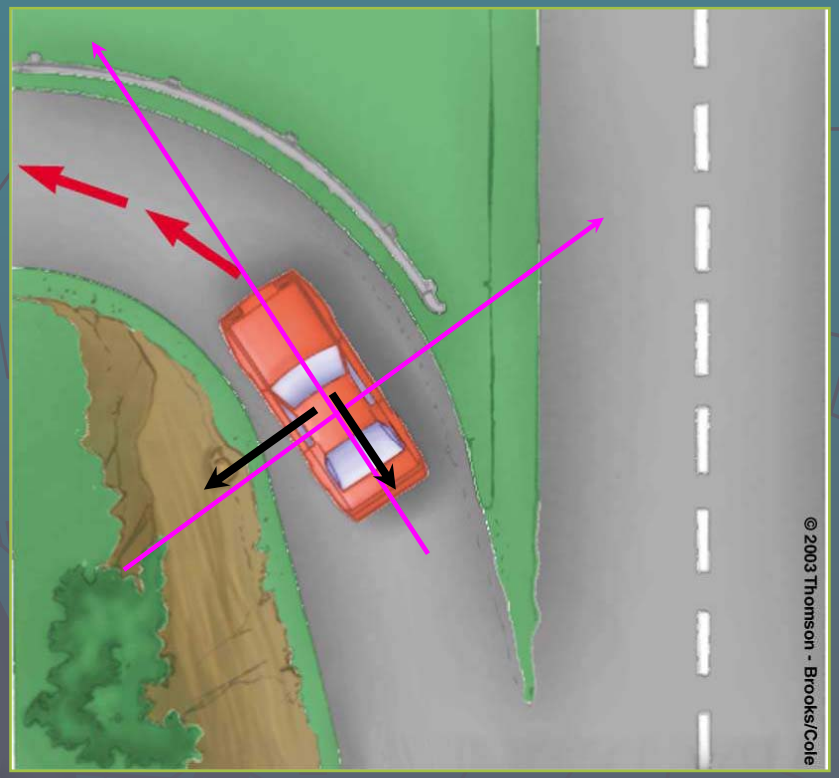
$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta s}{r} \quad \Rightarrow \quad \Delta v = \frac{v}{r}\Delta s,$$

$$\vec{a} = \frac{\overrightarrow{\Delta v}}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad a = \frac{v}{r}\frac{\Delta s}{\Delta t}$$



$$a_C = \frac{v^2}{r} \quad \rightarrow \quad a_C = \omega^2 r$$

شتاب کل

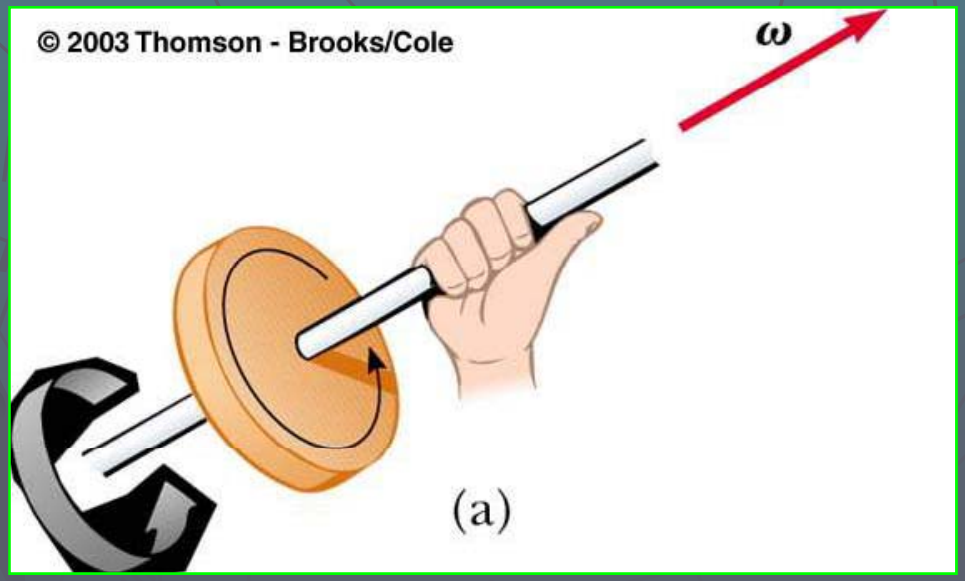


- اگر سرعت خطی تغییر کند، چه اتفاقی می افتد؟
- شتاب دو مولفه دارد:
  - مولفه عمودی (مرکزی) شتاب بواسطه تغییر جهت سرعت
  - مولفه مماسی شتاب بواسطه تغییر تندی (مقدار سرعت)
- شتاب کل برابر است با:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_C^2}$$

طبیعت برداری کمیتهای زاویه ای

- مشابه حرکت خطی، جابجایی، سرعت و شتاب زاویه ای کمیتهای برداری هستند
- جهت مثبت یا منفی
- روش کاملتر، استفاده از قاعده دست راست
  - محور دوران را در دست راستتان بگیرید
  - جهت خمش چهار انگشت، جهت روران را بیان می کند
  - جهت انگشت شست بیانگر جهت ω می باشد.



نیروهای عامل شتاب جانب مرکز

- مطابق قانون دوم نیوتن، شتاب مرکزی بواسطه یک نیرویی می باشد

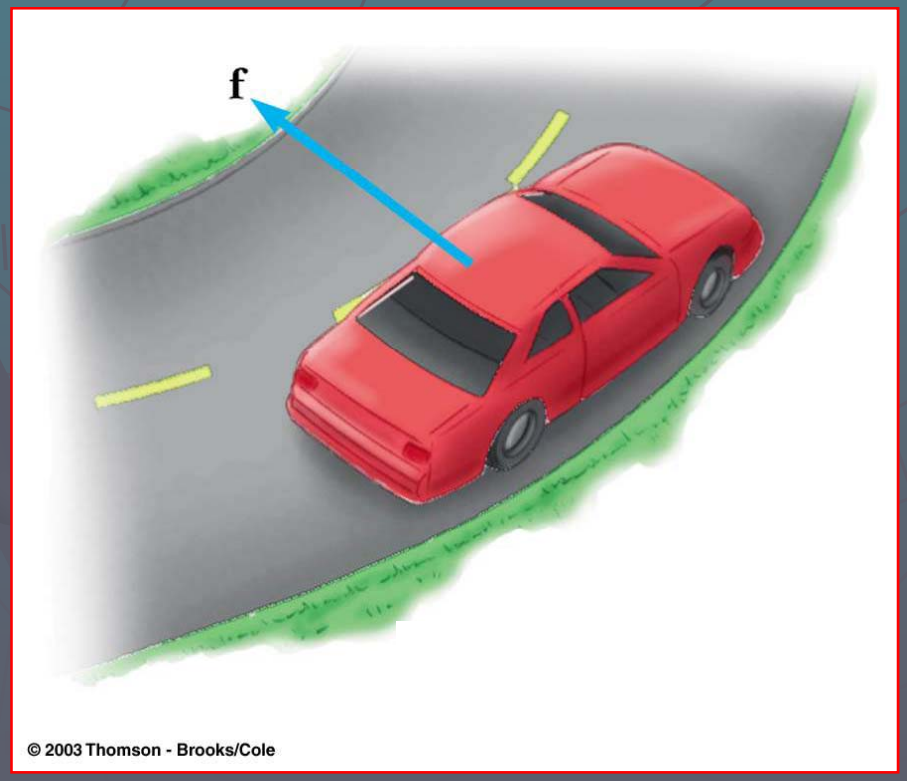
$$\sum F = ma_C = m\frac{v^2}{r}$$

- F هر نیرویی که باعث شود جسم یک مسیر دایره ای را طی کند، می باشد
  - نیروی اصطکاک
  - کشش نخ
  - جاذبه

مثال ۱

- سرعت ماشینی در یک پیچ (مسیر دایره ای) به شعاع ۴۰ متر، ۲۰ متر بر ثانیه است. فرض کنید جرم ماشین ۱۰۰۰ کیلوگرم باشد.

۱. مقدار نیروی اصطکاک بین لاستیکها و جاده چقدر است؟
۲. کمترین ضریب اصطکاک برای دور زدن ماشین را تعیین کنید.



حل مثال ۱

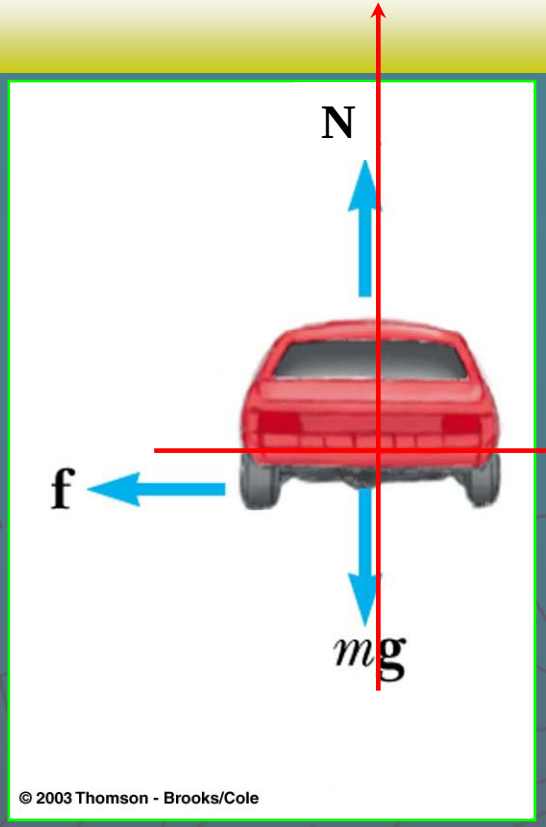
داده ها:

جرم: $m=1000\ kg$
سرعت: $v=20\ m/s$
شعاع: $r = 40.0m$

مجهولات:

$f=?$
$\mu=?$

۱- رسم دیاگرام آزاد نیروها: انتخاب یک دستگاه مختصات و رسم تصویرهای عمودی و افقی نیروها در آن



$$\sum F_y = 0 = N - mg$$

$$N = mg$$

$$\sum F_x = ma = -f$$

$$f = -ma = -m\frac{v^2}{r} = -1000\,kg\,\frac{(20\,m/s)^2}{40\,m} = -1.0\times10^4\ N$$ ✓

۲- با استفاده از تعریف نیروی اصطکاک:

$$f = \mu mg = m\frac{v^2}{r} = 10^4\ N, \rightarrow$$

$$\mu = \frac{1.0\times10^4\ N}{1000\,kg\,9.8\,m/s^2} \approx 1.02$$ ✓

توجه:
بین لاستیک و سطح خشک ۱ است!
بین لاستیک و سطح مرطوب ۲/۰ است!

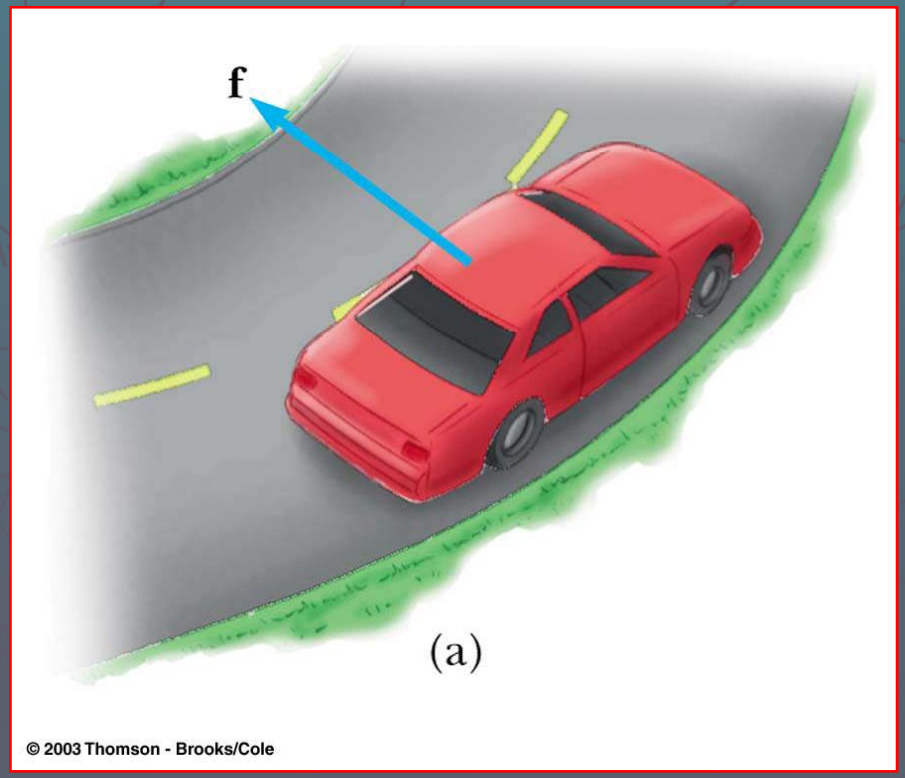
احتیاط کنید!

علی‌اصغر شکری — استادیار گروه فیزیک — دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

مثال ۲

- سرعت ماشینی در یک پیچ (مسیر دایره ای) به شعاع ۴۰ متر، ۲۰ متر بر ثانیه است. فرض کنید جرم ماشین ۱۰۰۰ کیلوگرم باشد.

۱. مقدار نیروی اصطکاک بین لاستیکها و جاده چقدر است؟
۲. کمترین ضریب اصطکاک برای دور زدن ماشین را تعیین کنید.



یک مولفه نیروی عمودی به نیروی اصطکاک اضافه می شود

$$\tan\theta = \frac{v^2}{rg}$$

حل مثال ۲

داده ها :

جرم : $m=1000\ kg$

سرعت : $v=20\ m/s$

شعاع : $r = 40.0m$

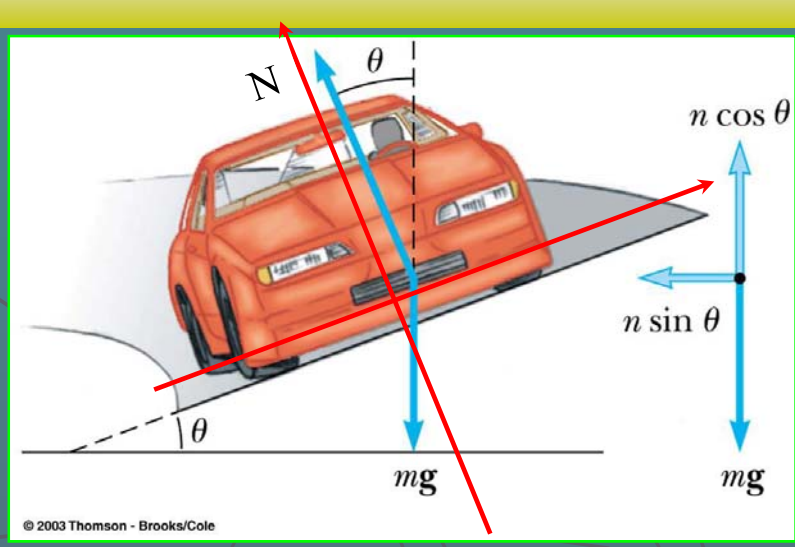
زاویه : $\alpha = 30°$

مجهولات :

$f=?$

$\mu=?$

۱- رسم دیاگرام آزاد نیروها: انتخاب یک دستگاه مختصات و رسم تصویرهای عمودی و افقی نیروها در آن



$$\sum F_x = -m\frac{v^2}{r}\cos 30^\circ = -f - mg\sin 30^\circ$$

$$f = m\frac{v^2}{r}\cos 30^\circ - mg\sin 30^\circ = \underline{3760\ N}$$ ✓

$$\sum F_y = m\frac{v^2}{r}\sin 30^\circ = N - mg\cos 30^\circ$$

$$N = m\frac{v^2}{r}\sin 30^\circ + mg\cos 30^\circ = 1.3\times10^4\ N$$

۲- با استفاده از تعریف نیروی اصطکاک:

$$f = \mu_s N, \Rightarrow (\mu_s)_{\min}$$

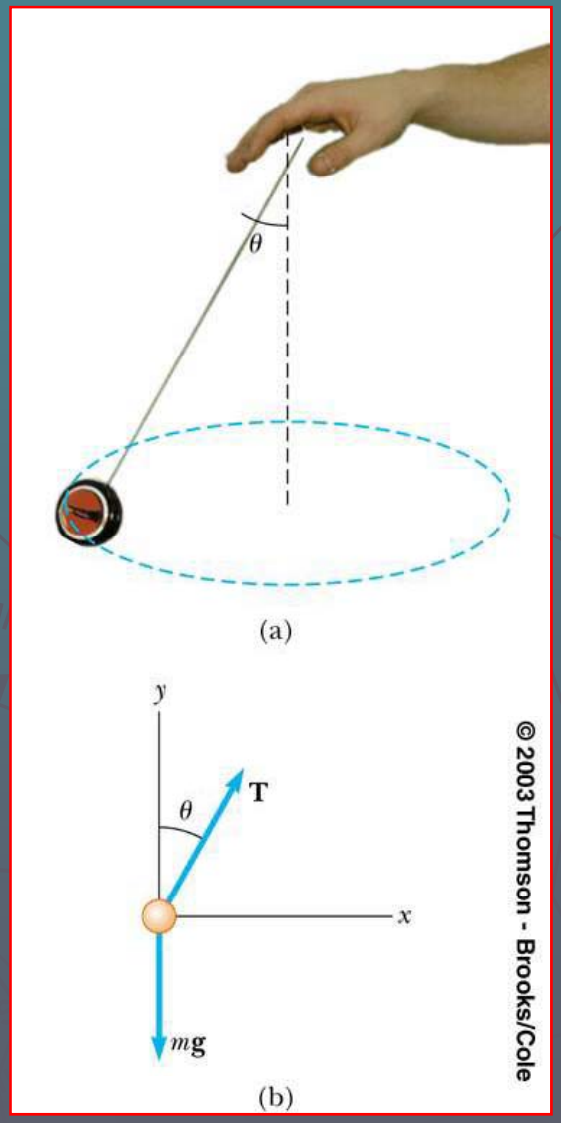
$$\mu_s = \frac{f_s}{N} = \frac{3760\ N}{1.3\times10^4\ N} \approx 0.28$$ ✓

توجه:
با افزایش زاویه شیب، کمترین ضریب اصطکاک کاهش می یابد

احتیاط کنید!

علی‌اصغر شکری — استادیار گروه فیزیک — دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

حرکت روی دایره افقی



- مولفه افقی کشش باعث ایجاد شتاب جانب مرکز می شود.

$$a_C = g \tan\theta$$

نیروهای در چارچوب مرجع شتاب

- تشخیص نیروهای واقعی از نیروهای غیر واقعی (مجازی)
- نیروی جانب مرکز یک نیروی مجازی است
- نیروهای واقعی همواره برهمکنش بین اجسام را نشان می دهد

فصل یازدهم

تعادل دورانی و تعادل دینامیکی

فهرست

فصل ۱۱ (تعادل دورانی و تعادل دینامیکی)

- گشتاور
- راستای گشتاور
- تعادل دورانی
- مرکز جرم
- محاسبه مرکز جرم
- گشتاور و شتاب زاویه ای
- ممان لختی دوران
- قانون دوم برای یک جسم دوار
- اندازه حرکت زاویه ای

گشتاور (Torque)

- نیروی لازم برای باز کردن یک درب را در نظر بگیرید. کدام حالت زیر برای باز کردن درب ساده تر است؟ فشار دادن یا کشیدن درب از نقطه:
  ۱. نزدیک به لولا (؟)
  ۲. دور از لولا (؟)

پاسخ:
دورتر از لولا، اثر دورانی بزرگتری دارد!

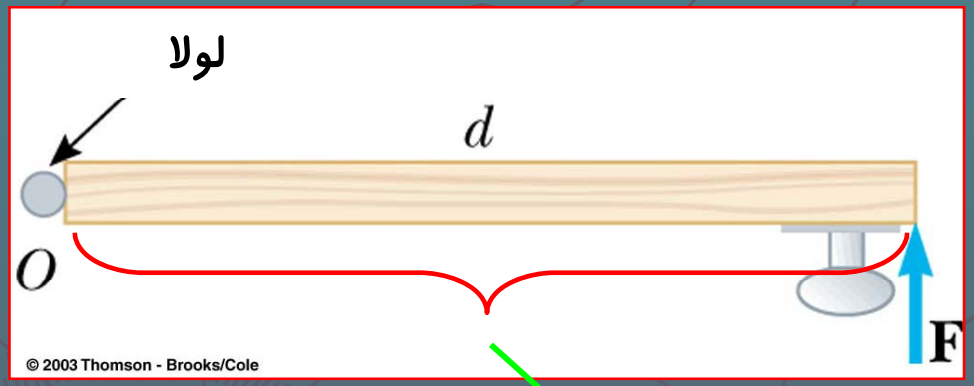
مفهوم فیزیکی: گشتاور

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

گشتاور

▶ **گشتاور نیرو، τ :**

به تمایل نیرو به چرخاندن جسم حول یک محور، گشتاور نیرو گویند.

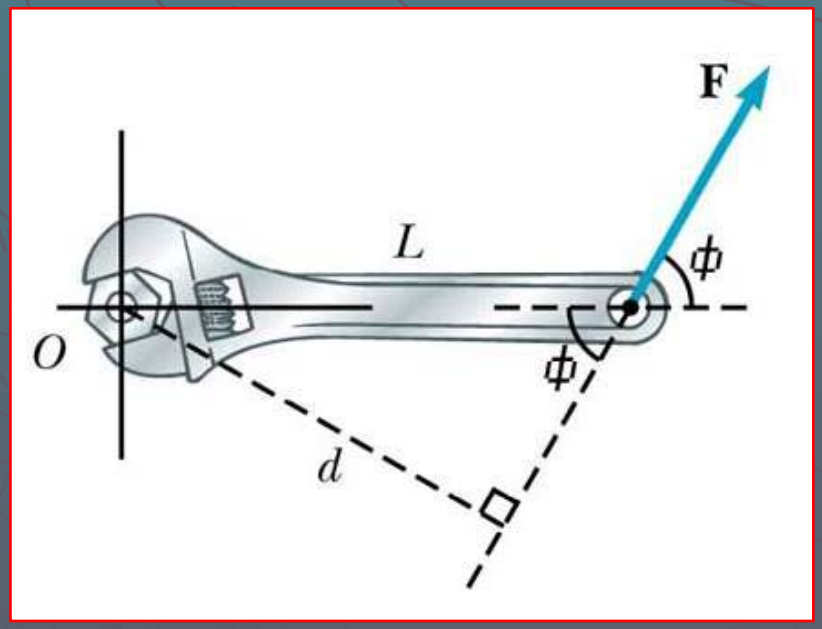


$$\tau = Fd$$

- τ گشتاور است
- d بازوی اهرم یا بازوی محرکه
- F نیرو است

بازوی محرکه (بازوی اهرم)

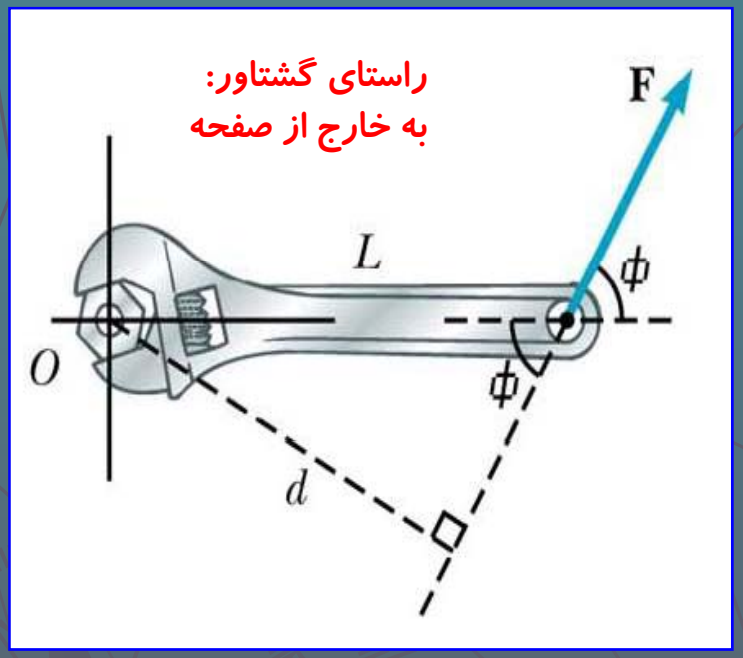
- بازوی اهرم یا محرکه، d، کوتاهترین فاصله (عمودی) از محور دوران تا خط رسم شده در امتداد راستای نیرو می باشد.



- $d = L \sin \Phi$

- این فاصله، الزاما بین محور دوران و نقطه که نیرو اثر می کند نیست.

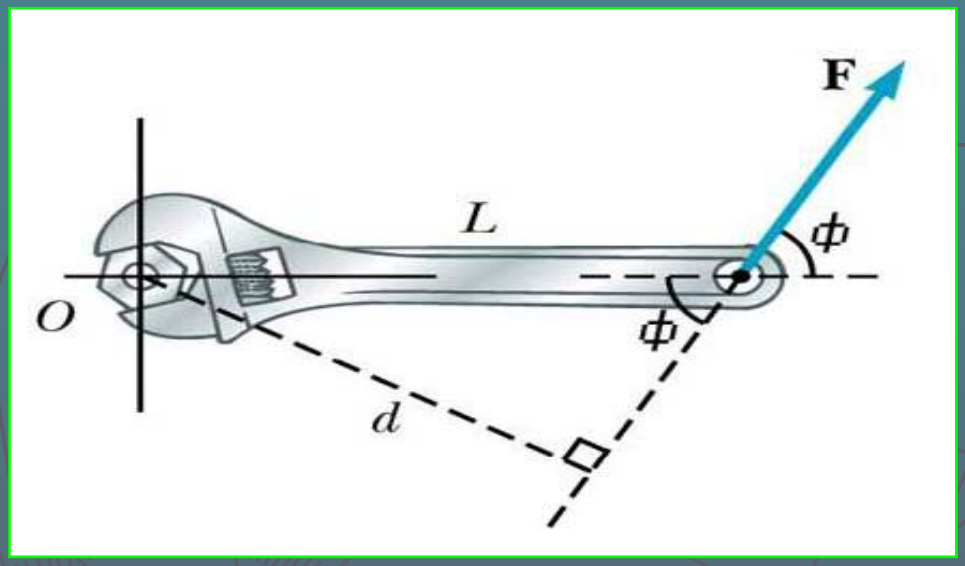
راستای گشتاور

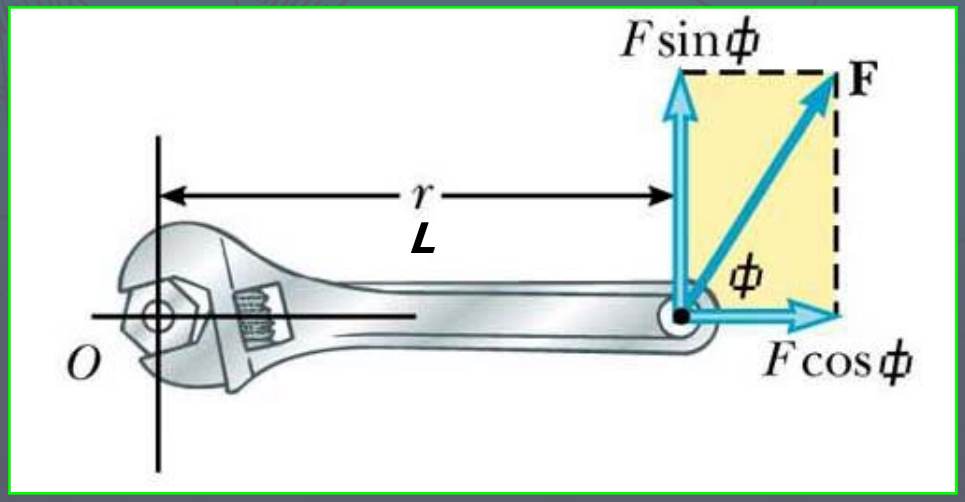


- گشتاور یک کمیت برداری است
  - راستای گشتاور عمود بر صفحه متشکل از بازوی محرکه و نیرو می باشد
  - راستا و علامتش:
    - اگر تمایل نیرو به چرخش در راستای پاد ساعتگرد باشد، گشتاور را با علامت مثبت (+) در نظر می گیرند
    - اگر تمایل نیرو به چرخش در راستای ساعتگرد باشد، گشتاور را با علامت منفی (–) در نظر می گیرند

واحدها	
SI	نیوتن-متر (Nm)
US مرسوم	فوت-پوند (ft lb)

نگاه دیگری بر گشتاور





- همچنین می توان برای حل نیرو را به مولفه هایش در راستاهای x- و y- تجزیه کرد.
  - مولفه-x، F cos Φ، گشتاوری ایجاد نمی کند.
  - مولفه-y، F sin Φ، گشتاور غیر صفر ایجاد نمی کند

$$\tau = FL\sin\phi$$

F نیرو است

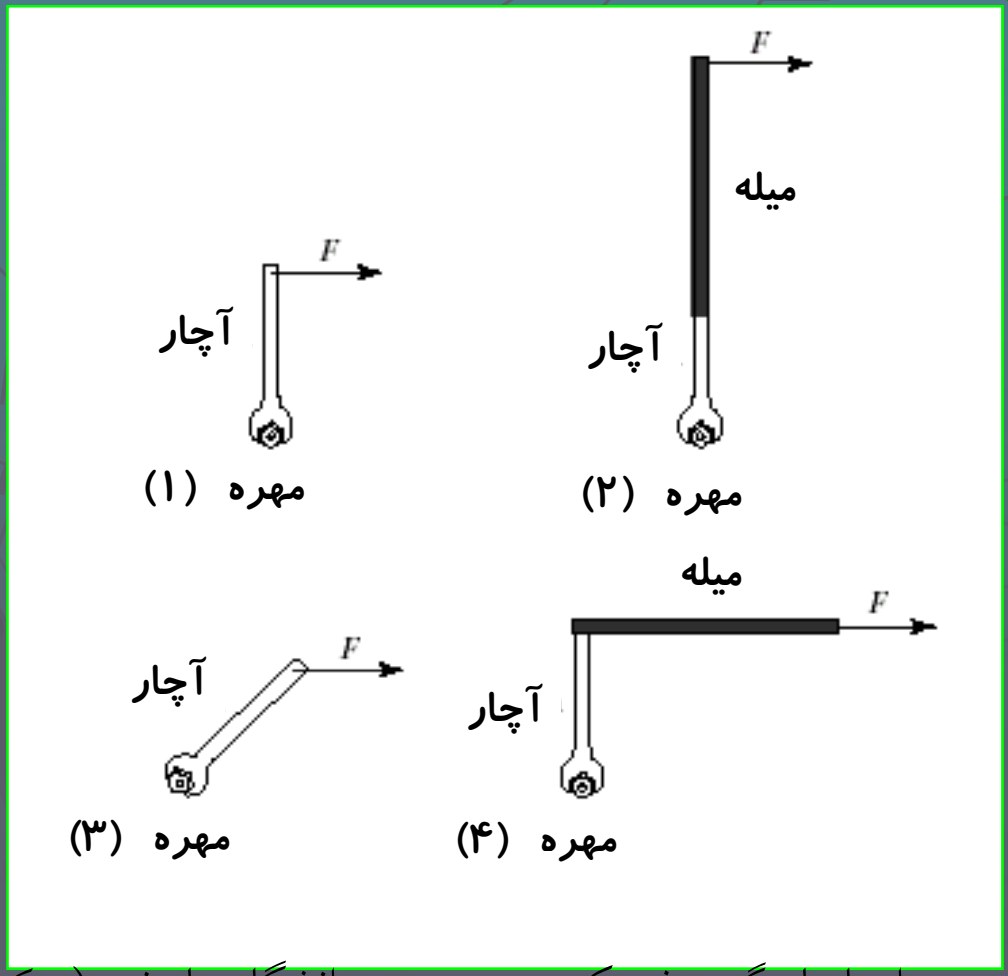
L فاصله در امتداد جسم می باشد

Φ زاویه بین نیرو و جسم است

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

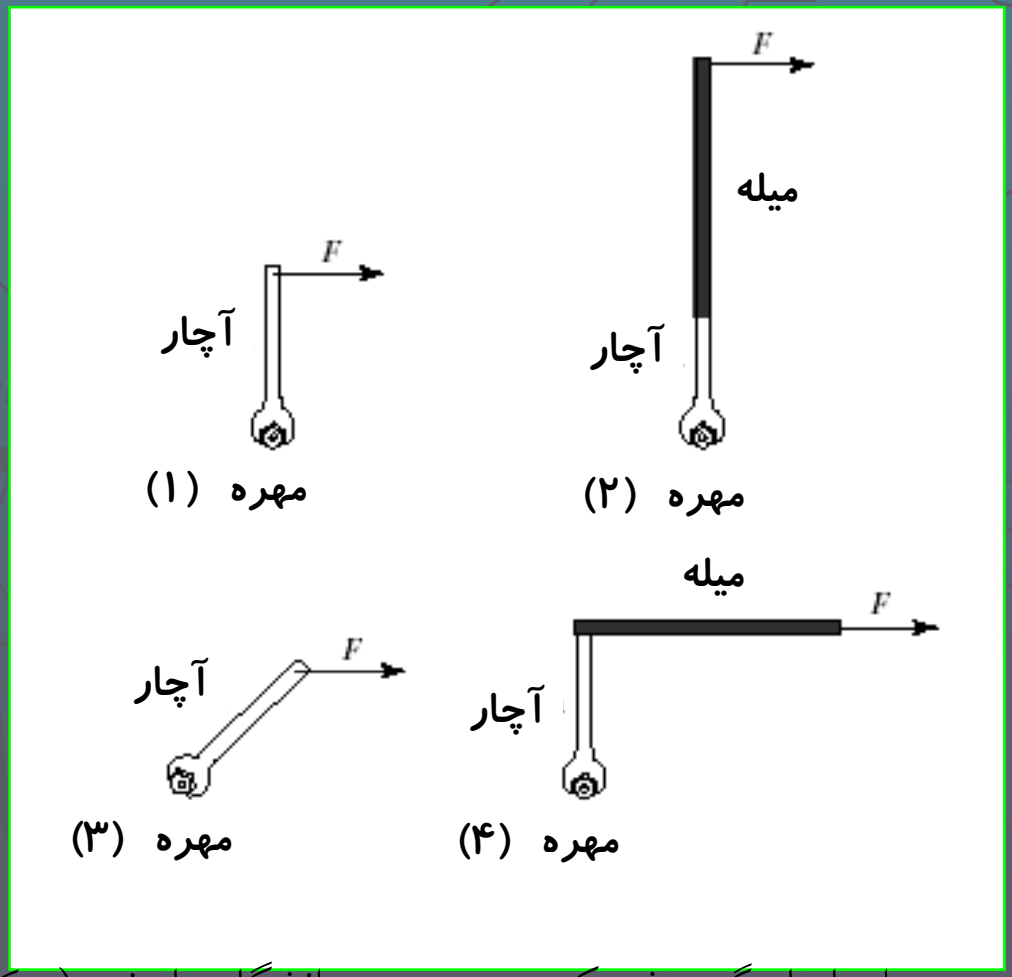
سوال (؟)

فرض کنید که بوسیله یک آچار فرانسه قصد دارید یک مهره فرسوده ای را شل کنید. کدام یک از پیکربندیهای زیر می تواند در شل کردن مهره موثرتر باشد؟ به ترتیب کارایی بهتر، آنها را مرتب کنید.



پاسخ

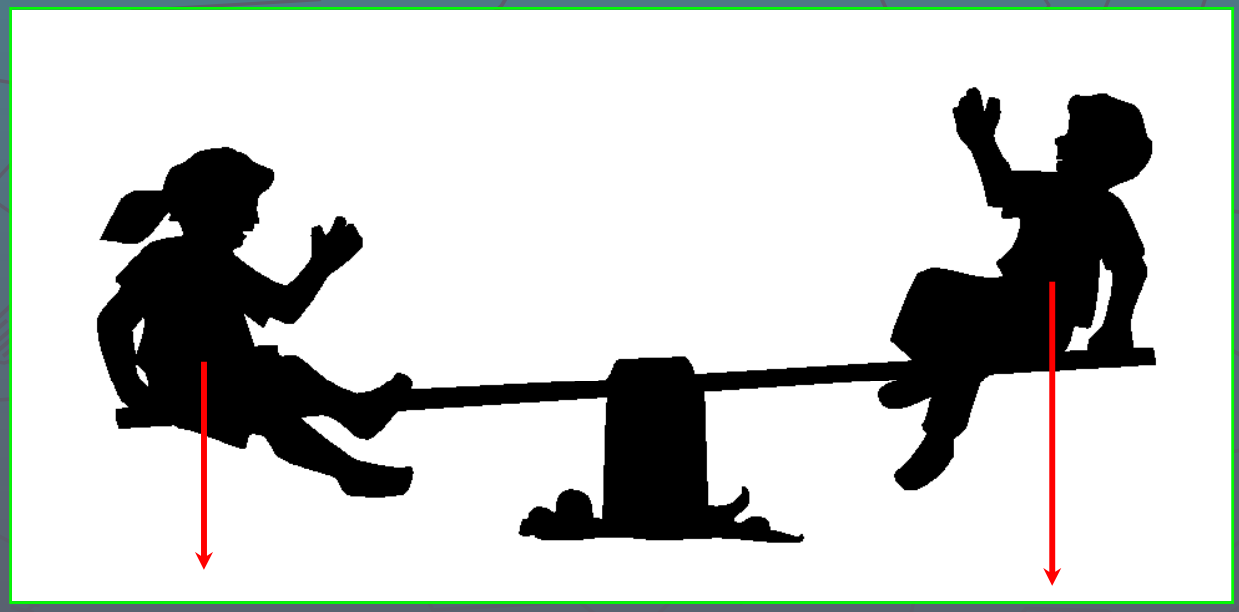
فرض کنید که بوسیله یک آچار فرانسه قصد دارید یک مهره فرسوده ای را شل کنید. کدام یک از پیکربندیهای زیر می تواند در شل کردن مهره موثرتر باشد؟ به ترتیب کارایی بهتر، آنها را مرتب کنید.



به ترتیب کارایی بهتر:
۲، ۱، ۴، ۳
یا
۲، ۴، ۱، ۲

سوال (؟)

اگر دو یا تعداد بیشتری نیرو به بازوی محرکه وارد شوند، چه اتفاقی می افتد؟



علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

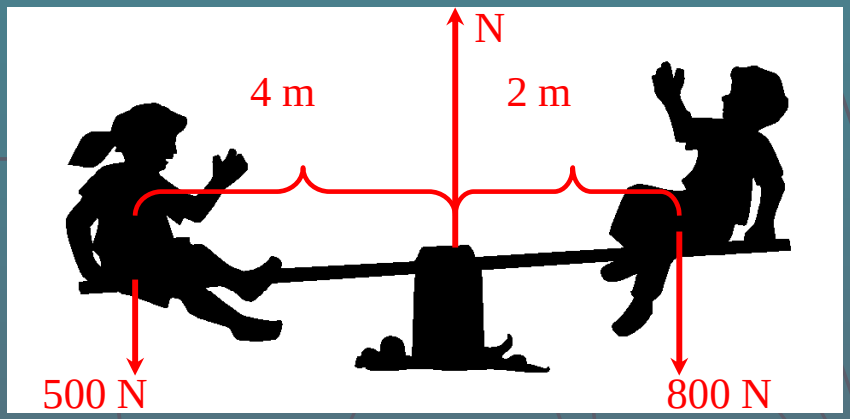
گشتاور خالص (برایند گشتاور)

- به مجموع تمام گشتاورهای تولید شده بوسیله نیروها، گشتاور کل (خالص) می گویند

- راستای تمایل نیرو برای چرخش مهم است
  - پاد ساعتگرد: گشتاور مثبت ایجاد می کند
  - ساعتگرد: گشتاور منفی ایجاد می کند

سوال و پاسخ

گشتاور کل را تعیین کنید.



داده ها:

وزنها: $w_1 = 500\ N$

$w_2 = 800\ N$

بازوهای محرکه: $d_1 = 4\ m$

$d_2 = 2\ m$

مجهولات:

$\Sigma\tau = ?$

۱. رسم تمام نیروهای اعمالی به میله

۲. با در نظر گرفتن اینکه چرخش پاد ساعتگرد، گشتاور مثبت تولید می کند

$$\sum \tau = (500\,N)(4\,m) + (-)(800\,N)(2\,m)$$

$$= +2000\,N \cdot m - 1600\,N \cdot m$$

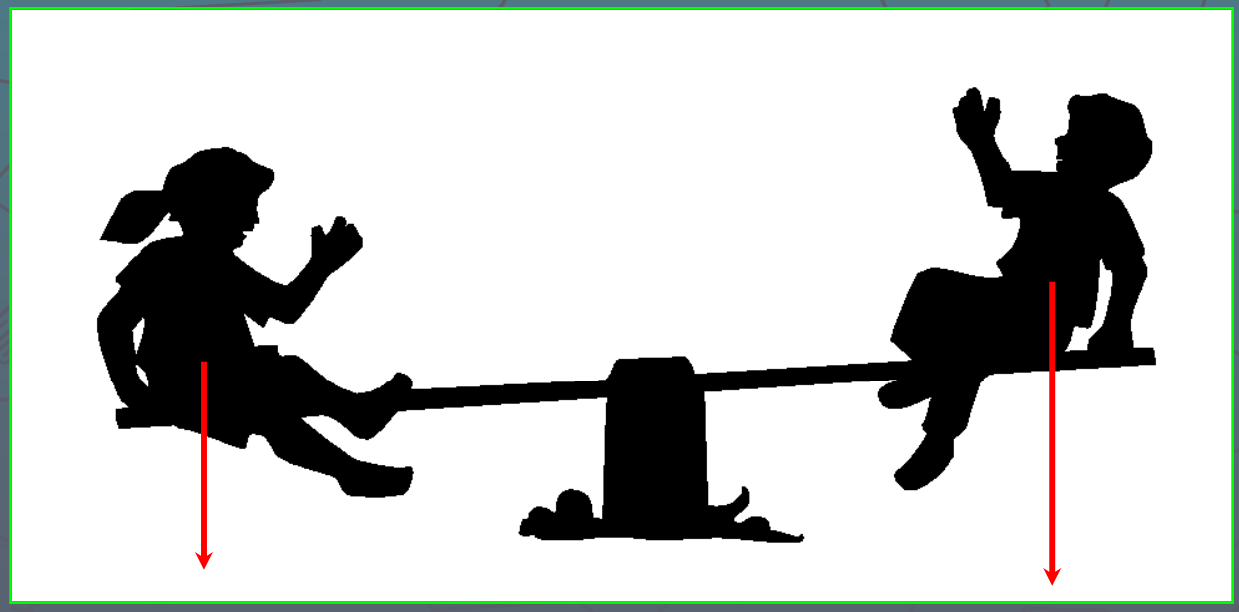
$$= +400\,N \cdot m$$

✓

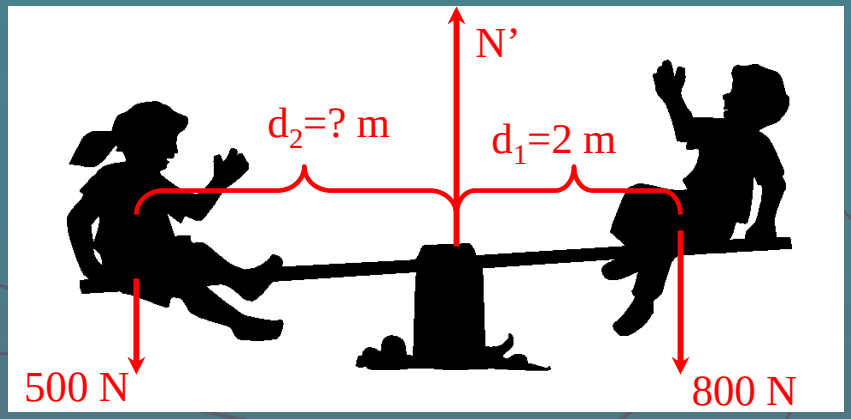
چرخش پاد ساعتگرد است

سوال (؟)

کدام شخص ۵۰۰ نیوتنی نسبت به نقطه تکیه گاه گشتاور صفر ایجاد می کند؟



پاسخ



داده ها:

وزنها: $w_1 = 500\ N$

$w_2 = 800\ N$

بازوهای محرکه: $d_1 = 4\ m$

$\Sigma\tau = 0$

مجهولات:

$d_2 = ?$

۱- رسم تمام نیروهای اعمالی و بازوهای محرکه

$$\sum \tau_{RHS} = -(800\,N)(2\,m)$$

$$\sum \tau_{LHS} = (500\,N)(d_2\,m)$$

$$-800 \cdot 2\,[N \cdot m] + 500 \cdot d_2\,[N \cdot m] = 0 \quad \Rightarrow \quad d_2 = 3.2\,m$$ ✓

مطابق تعریف گشتاور، هیچ دوران یا حرکتی وجود ندارد!

شتاب و نیروی مربوط به این گشتاور نیرو چقدر است؟

$$\sum F_i = (-500\,N) + N' + (-800\,N) = 0$$

$$N' = 1300\,N$$

بنابر این، مطابق قانون دوم نیوتن $\Sigma F=0$ و $a=0$!

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

گشتاور و تعادل

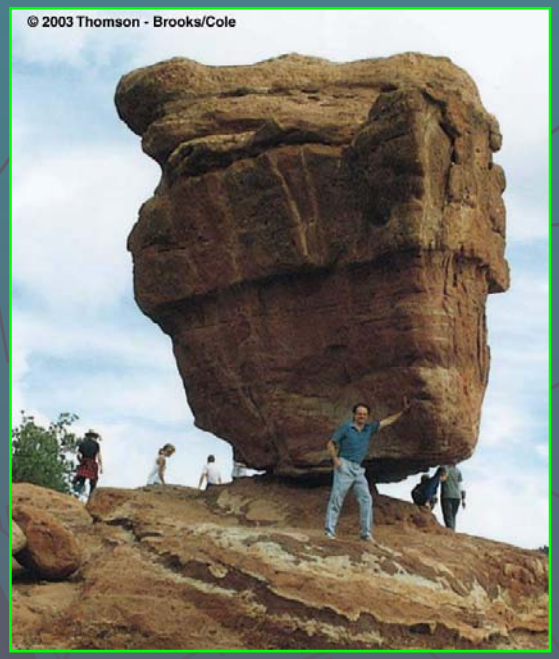
شرط اول تعادل

- برایند نیروی خارجی باید صفر باشد

$$\Sigma F = 0$$

$$\Sigma F_x = 0 \text{ and } \Sigma F_y = 0$$

- این شرط لازم است ولی کافی نیست. این شرط می گوید که جسم در تعادل مکانیکی است.
- به این عبارت تعادل انتقالی می گویند.

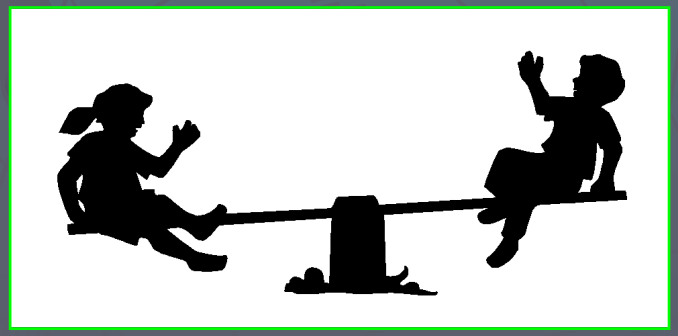


شرط دوم تعادل

- برایند گشتاور خارجی باید صفر باشد

$$\Sigma \tau = 0$$

- به این عبارت، تعادل دورانی می گویند.



علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

محور دوران

- تاکنون محور دوران معلومی را انتخاب کرده ایم
- اگر جسم در تعادل نباشد، انتخاب محور دوران برای محاسبه گشتاور کل مهم نیست
  - موقعیت محور دوران کاملا دلخواه می باشد
  - معمولا، طبیعت مساله موقعیت مناسب محور را پیشنهاد می کند
  - برای حل یک مساله، *باید* یک محور دوران مشخص کنید
- این محور دوران برای نوشتن تمام گشتاورها بکار می آید

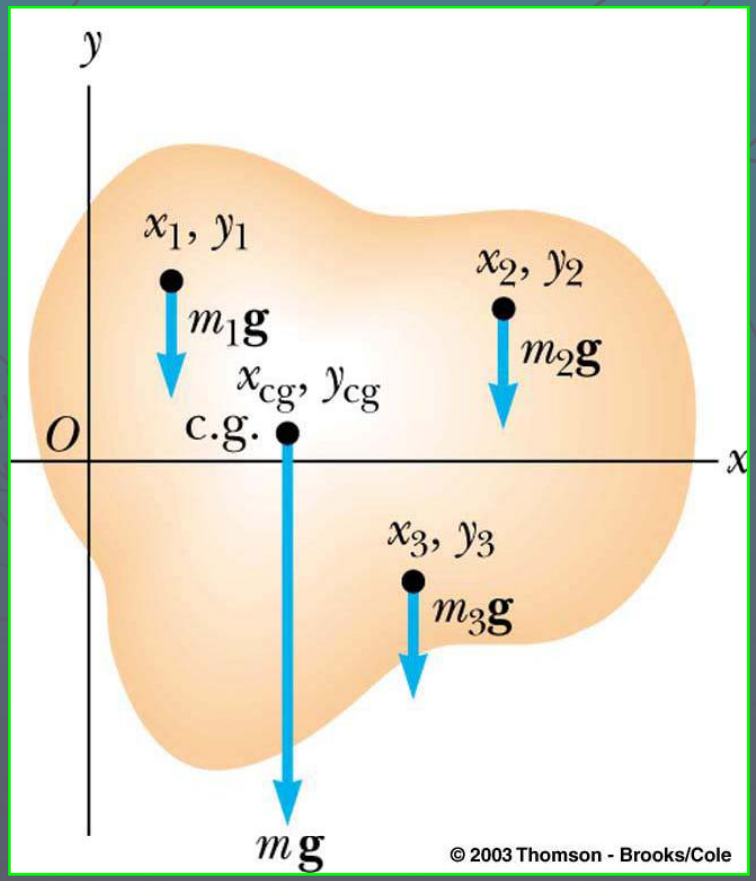
مرکز ثقل (مرکز جرم)

- نیروی گرانشی که روی جسم اثر می کند، باید در نظر گرفته شود
- در یافتن گشتاور ایجاد شده بوسیله نیروی گرانش، تمام وزن جسم باید در یک نقطه متمرکز شود

محاسبه مرکز ثقل (مرکز جرم)

۱. جسم به تعداد زیادی ذرات خیلی کوچک با وزن (mg) تقسیم می شود
۲. به هر ذره یک موقعیت مکانی با مختصات (x,y) نسبت می دهند
۳. گشتاور ایجاد شده توسط هر ذره حول محور دوران برابر با وزن ضربدر بازوی محرکه اش خواهد شد
۴. معمولا بهتر است که یک نقطه مشخص شود، به طوری که به آن یک نیروی واحد (که مقدارش برابر با وزن کل جسم است) نسبت داده شود. خاصیت این نقطه باید به گونه ای باشد که در مطالعه اثر دوران جسم با تمام ذرات تشکیل دهنده جسم یکسان باشد.

- به این نقطه، نقطه مرکز جرم یا مرکز ثقل جسم می گویند



مختصاتهای مرکز ثقل

- مختصه های مرکز ثقل می تواند از برابر قرار دادن مجموع گشتاورهای عمل کننده روی تک تک ذرات تشکیل دهنده جسم و گشتاور نیروی وزن جسم که در نقطه مرکز ثقل متمرکز شده است بدست آید:

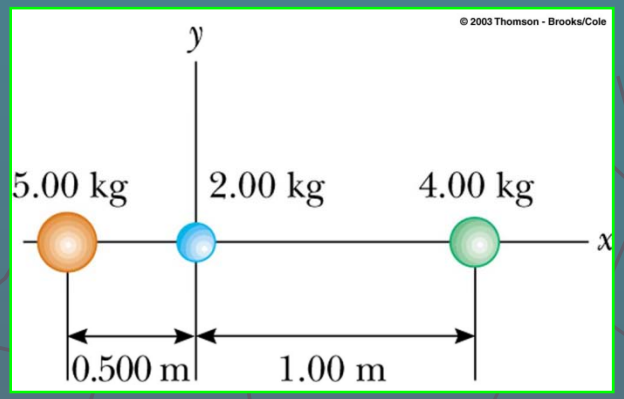
$$x_{CM} = \frac{\Sigma m_i x_i}{\Sigma m_i},$$

$$y_{CM} = \frac{\Sigma m_i y_i}{\Sigma m_i}$$

- مرکز ثقل یک جسم یکنواخت و متقارن در روی محور تقارنش قرار می گیرد.
- در اغلب اوقات، به مرکز ثقل چنین جسمی، مرکز تقارن هندسی جسم می گویند.

مساله و حل

مرکز ثقل سیستم مشخص شده در پایین را تعیین کنید:



داده ها:

جرمها: $m_1 = 5.00\,\text{kg}$

$m_2 = 2.00\,\text{kg}$

$m_3 = 4.00\,\text{kg}$

بازوی محرکه: $d_1 = 0.500\,m$

$d_2 = 1.00\,m$

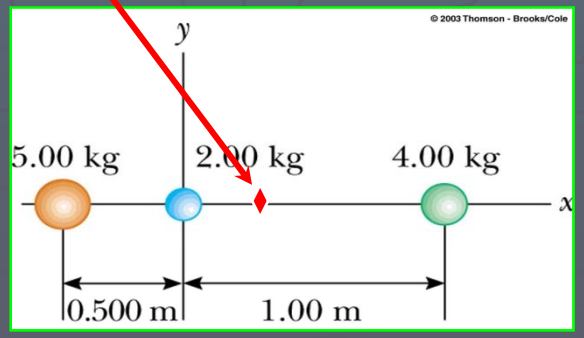
مجهولات:

مرکز ثقل

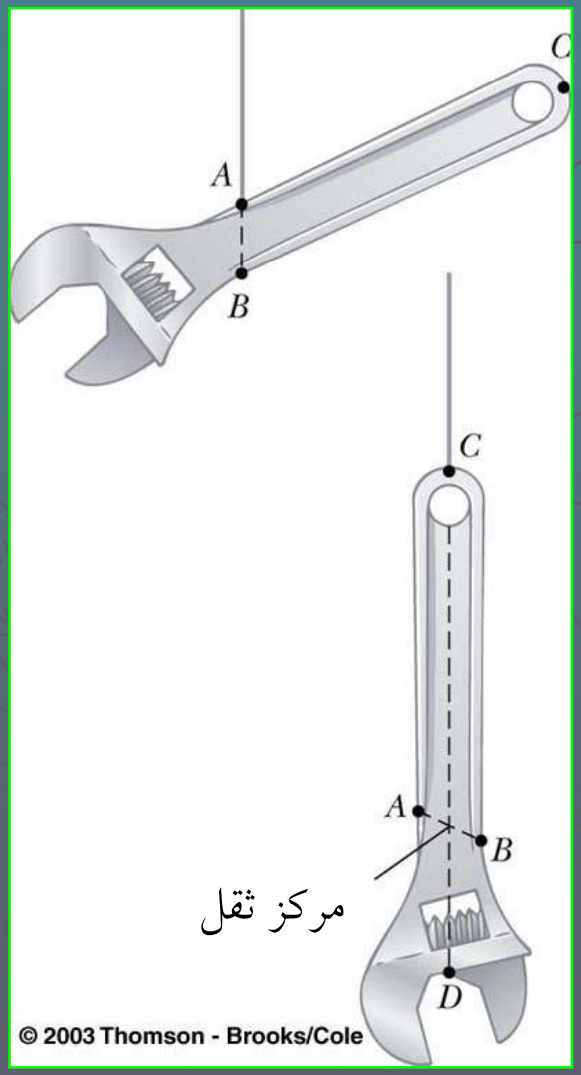
$$x_{cg} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3}{m_1 + m_2 + m_3}$$

$$= \frac{5.00\,kg(-0.500\,m) + 2.00\,kg(0\,m) + 4.00\,kg(1.00\,m)}{11.0\,kg}$$

$$= 0.136\,m$$



تعیین تجربی مرکز ثقل



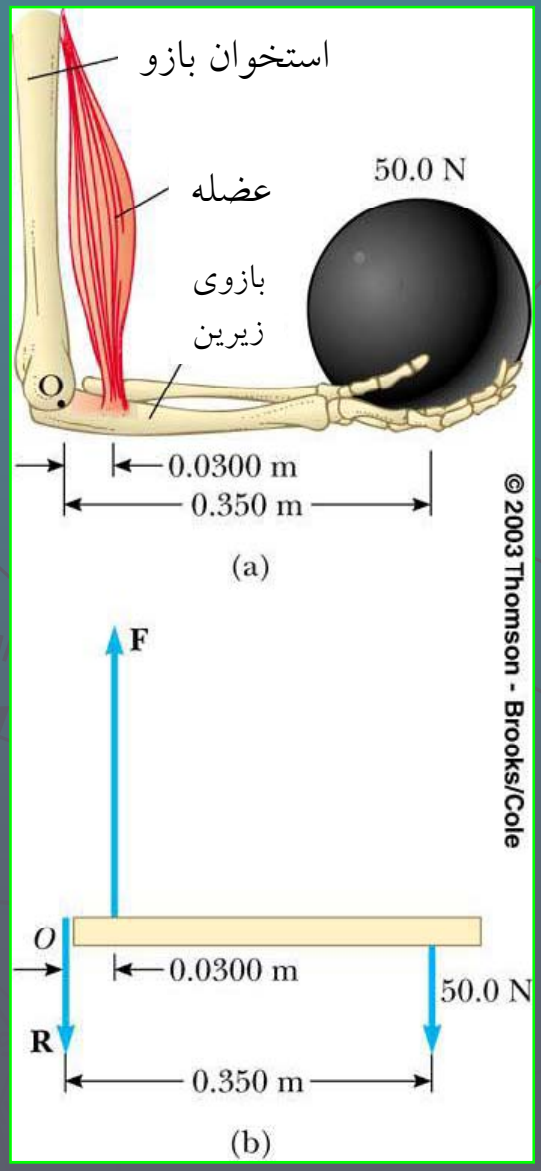
- در شکل مقابل، آچار فرانسه ای به طور آزاد از دو نقطه مختلف آویزان می شود
- نقطه تقاطع خطوط، مرکز ثقل را نشان می دهد.
- یک جسم صلب می تواند فقط با یک نیرو که مقدارش معادل وزن است که در نقطه مرکز ثقل اثر می کند در حالت تعادل قرار گیرد.

تعادل، یک بار دیگر

- صفر شدن گشتاور کل به این مفهوم نیست که حرکت دورانی امکان ندارد
  - یک جسمی که با سرعت زاویه ای یکنواخت در حرکت دورانی باشد، می تواند تحت تاثیر گشتاور کل صفر باشد

- این موضوع قابل مقایسه با وضعیت انتقالی است که در آن نبود نیروی برایند به معنی در حرکت نبودن جسم نیست

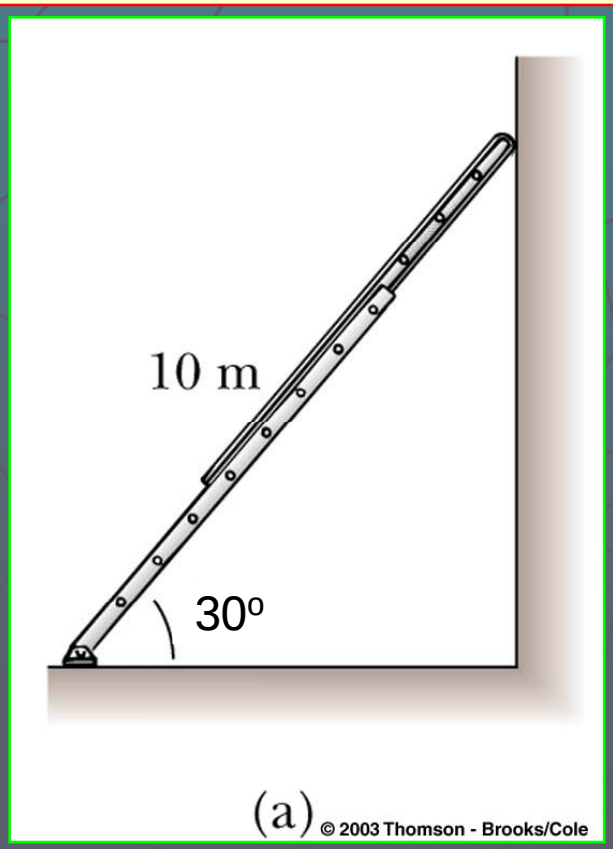
مثالی از یک دیاگرام آزاد بدن



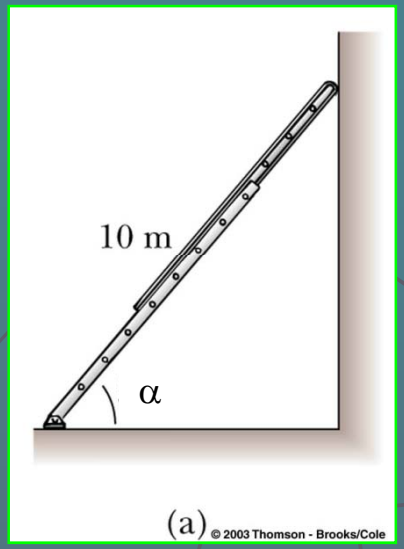
- جسم مورد نظر برای مطالعه را از بقیه جدا کنید
- دیاگرام آزاد نیروهای وارد شده به آن را رسم کنید
  - نیروها شامل تمام نیروهای خارجی اثر کننده روی جسم می باشد

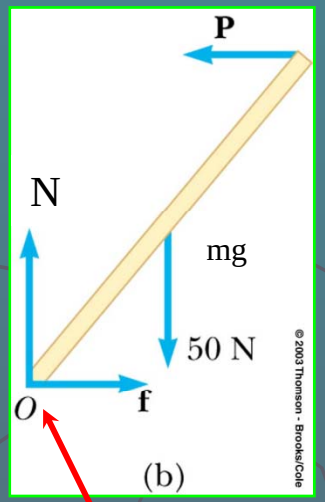
مساله

فرض کنید شخصی به وزن ۱۰۰ نیوتن روی یک نردبانی که با زاویه 30° درجه نسبت به افق به دیوار قائمی تکیه داده است (مطابق شکل) ایستاده است. در حالت تعادل، چه نیروهایی به نردبان اعمال می شود؟



حل





داده ها:

وزنها: $w_1 = 100\ N$

طول: $l = 10\ m$

زاویه: $\alpha = 30°$

$\Sigma\tau = 0$

مجهولات:

f= ?

n=?

P=?

۱. رسم تمام نیروهای اعمالی

۲. انتخاب محور دوران در گوشه پایین (گشتاور نیروهای f و N نسبت به این نقطه صفر هستند!)

نیروها:

$$\sum F_x = f - P = 0$$

$$f = 86.6\ N$$

$$\sum F_y = n - mg = 0$$

$$n = 100\ N$$ ✓

گشتاورها:

$$\sum \tau = mg\frac{L}{2}\cos 30^\circ - PL\sin 30^\circ = 0$$

$$0 = 100\ N \cdot \frac{1}{2} \cdot 0.866 - P \cdot 1 \cdot \frac{1}{2}$$

$$P = 86.6\ N$$ ✓

نکته: $f = \mu_s n$, ➔ $\mu_s = \frac{f}{n} = \frac{86.6\ N}{100\ N} = 0.866$

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

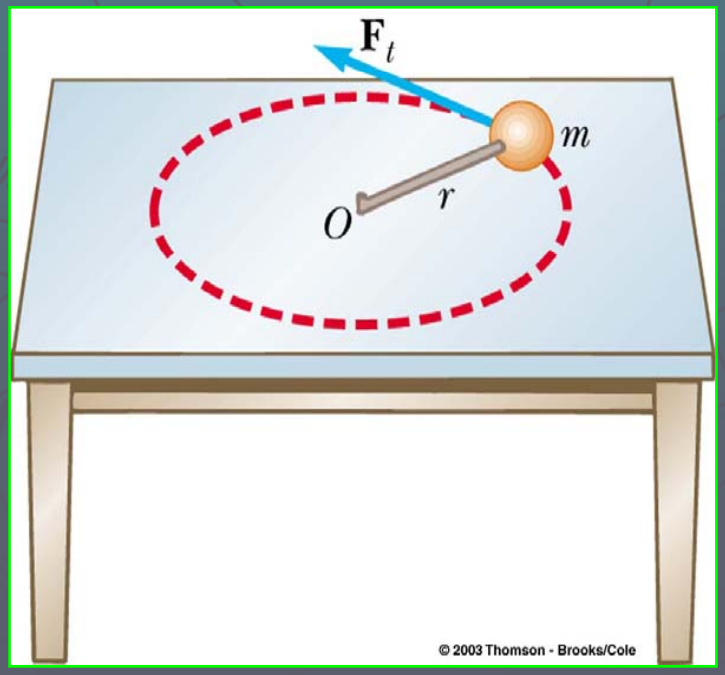
ادامه

تاکنون:

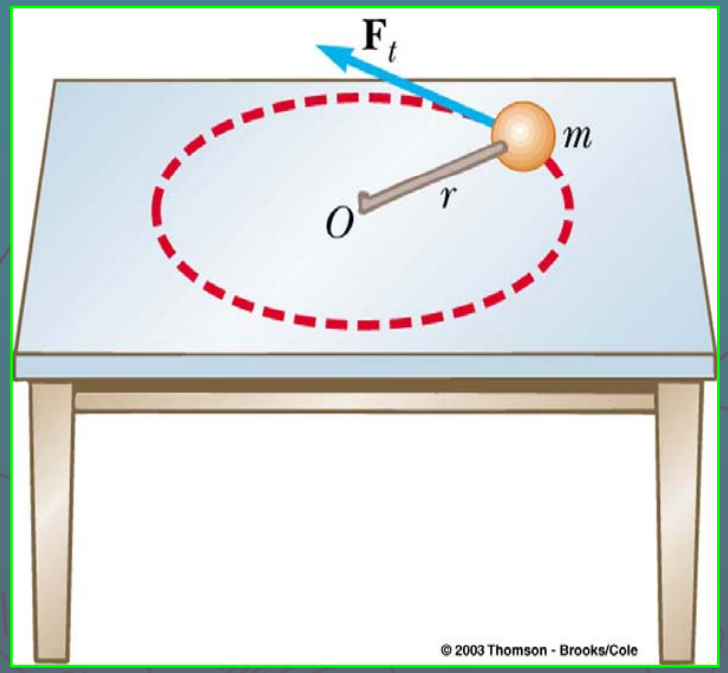
برایند گشتاور (گشتاور خالص) صفر بود. اگر صفر نباشد، چه اتفاقی می افتد؟

گشتاور و شتاب زاویه ای

- اگر گشتاور کل وارد بر جسمی غیر صفر باشد، جسم با یک شتاب زاویه ای حرکت دورانی انجام می دهد.
- شتاب زاویه ای مستقیما متناسب با گشتاور کل است
  - رابطه اش قابل مقایسه با $\Sigma F = ma$ می باشد.
    - قانون دوم نیوتن



گشتاور و شتاب زاویه ای



$F_t = (ma_t)$ ضربدر (r)

$F_t r = (ma_t) r$

شتاب مماسی

$a_t = r\alpha, \rightarrow$

$$F_t r = mr^2 \alpha$$

τ گشتاور

وابسته به جسم و محور دوران می باشد.
I ممان لختی نامیده می شود. واحدش برابر است با: $kg\ m^2$

$$\tau = I\alpha$$

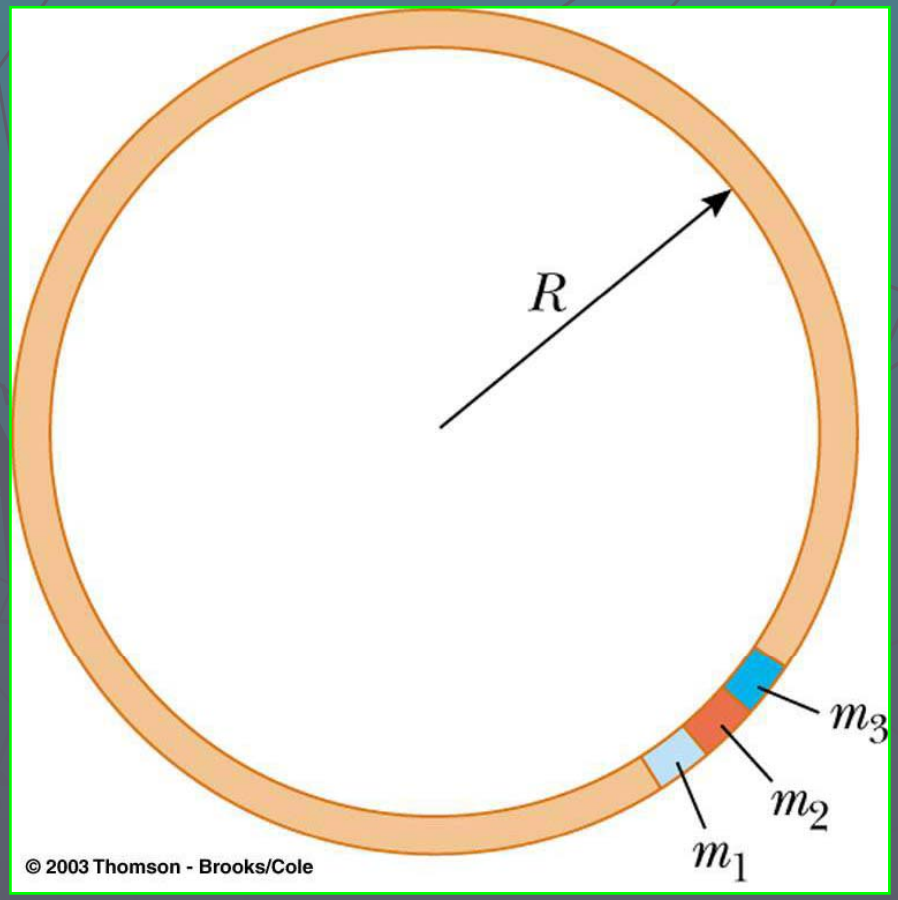
$$I \equiv \Sigma m_i r_i^2$$

شتاب زاویه ای بطور معکوس متناسب با معادل جرم در یک سیستم دوار است

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

مثال: ممان لختی یک حلقه یکنواخت

- تصور کنید که یک حلقه به تعداد زیادی قطعات کوچک به جرمهای m_1، ... تقسیم می شود.
- این قطعات کوچک از محور دوران هم فاصله هستند



$$I = \Sigma m_i r_i^2 = MR^2$$

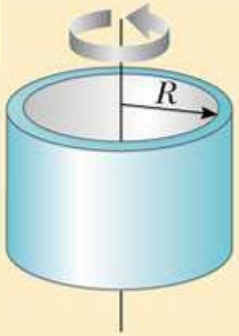
علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

ممانهای لختی اجسام دیگر

ممان لختی برای اجسام صلب یکنواخت

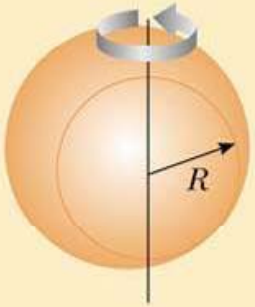
حلقه یا پوسته استوانه ای

$I = MR^2$



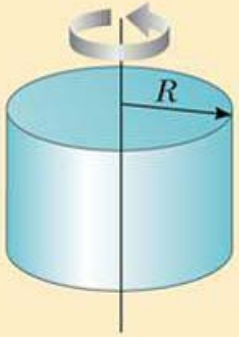
کره توپر

$I = \frac{2}{5} MR^2$



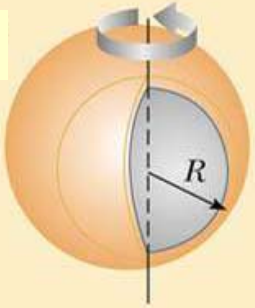
استوانه توپر یا قرص

$I = \frac{1}{2} MR^2$



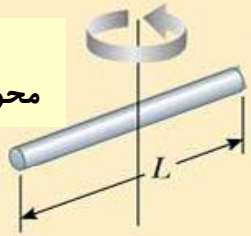
پوسته کروی

$I = \frac{2}{3} MR^2$



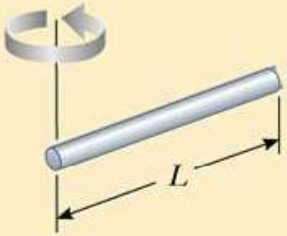
میله نازک بلند با محور دوران از مرکز

$I = \frac{1}{12} ML^2$



میله نازک بلند با محور دوران از لبه

$I = \frac{1}{3} ML^2$



© 2003 Thomson - Brooks/Cole

قانون دوم نیوتن برای یک جسم دوار

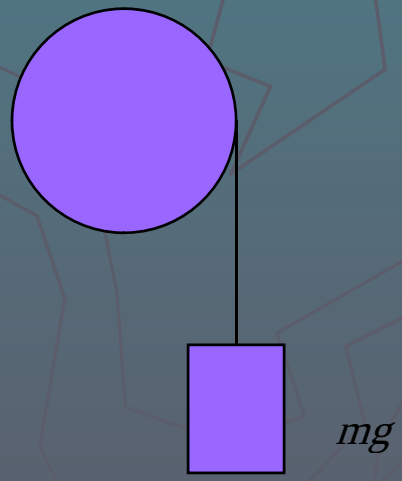
- شتاب زاویه ای مستقیما متناسب با گشتاور کل است.
- شتاب زاویه ای بطور معکوس متناسب با ممان لختی جسم است

$$\Sigma \tau = I\alpha$$

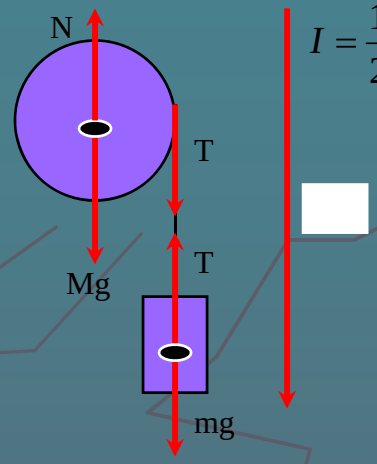
- یک فرق اساسی بین جرم و ممان لختی وجود دارد: ممان لختی به مقدار ماده و چگونگی توزیع جرم در جسم صلب بستگی دارد.
- همچنین، ممان لختی به موقعیت محور دوران بستگی دارد

مساله

جسمی به وزن $9.8\ N$ توسط طناب بی جرمی به یک چرخ لنگر (استوانه توپر) به جرم $M=5\ kg$ و شعاع $R=0.2\ m$ آویزان است.
چه نیرویی بر روی چرخ لنگر و وزنه اثر می کند؟ شتاب وزنه را پیدا کنید.



حل



$$I = \frac{1}{2}MR^2 = 0.10\,kg\cdot m^2$$

داده ها:

جرم: $M = 5\,kg$

وزن: $w = 9.8\,N$

شعاع: $R=0.2\,m$

مجهولات:

نیروها = ?

۱. رسم تمامی نیروهای اعمالی

نیروها:

$$\sum F = mg - T = ma$$

$$T = ?$$

گشتاورها:

$$\tau = T\cdot R = I\cdot\alpha$$

$$\alpha = \frac{T\cdot R}{I}$$

شتاب مماسی در لبه چرخ لنگر ($a=a_t$)

$$\sum F = mg - T = ma$$

$$mg - (2.5\,kg)a_t = ma$$

$$a_t = \alpha R \rightarrow a_t = \frac{TR^2}{I}$$

$$\Rightarrow$$

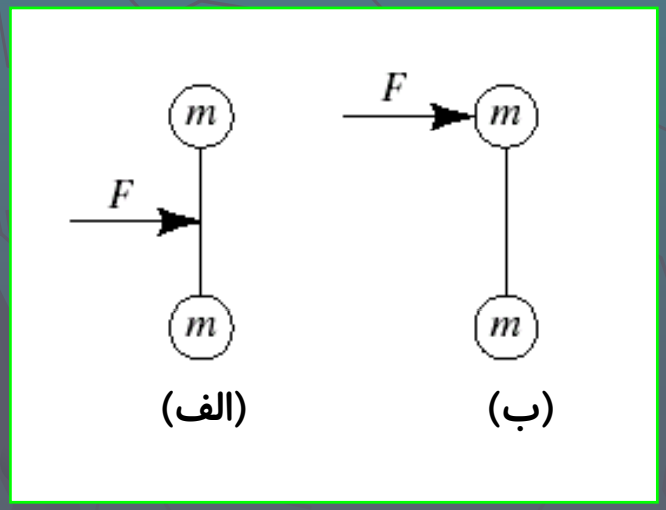
$$T = \frac{I}{R^2}a_t = \frac{0.10\,kg\cdot m^2}{(0.2\,m)^2}a_t = (2.5\,kg)a_t$$

$$a = \frac{mg}{(m+2.5\,kg)} = \frac{9.8\,N}{3.5\,kg} = 2.8\,m/s^2$$ ✓

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

سوال (؟)

نیروی F، به یک دمبلی در یک بازه زمانی Δt در دو وضعیت نشان داده شده در شکل زیر وارد می شود. در کدام مورد، سرعت مرکز جرم دمبل بیشترخواهد شد؟

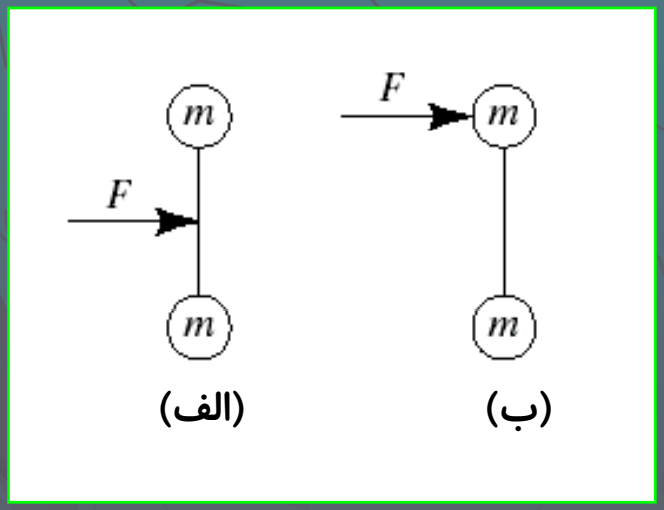


۱. (الف)
۲. (ب)
۳. فرقی نمی کند
٤. جواب به لختی دمبل بستگی دارد.

پاسخ دهید!

پاسخ

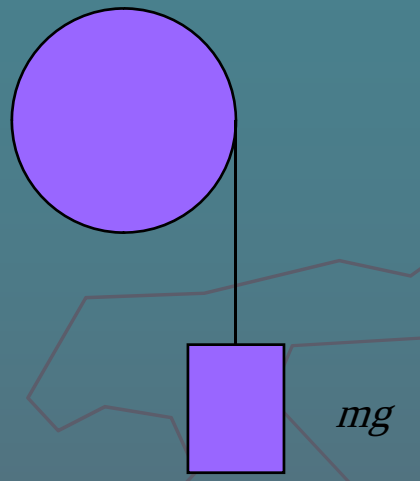
نیروی F، به یک دمبلی در یک بازه زمانی Δt در دو وضعیت نشان داده شده در شکل زیر وارد می شود. در کدام مورد، دمبل انرژی بیشتری بدست می آورد؟



۱. (الف)
۲. (ب)
۳. فرقی نمی کند
٤. جواب به لختی دمبل بستگی دارد.

چون نیروها در بازه زمانی یکسانی عمل می کنند: تغییر اندازه حرکت یکسان خواهد شد. بنابر این، سرعت مرکز جرم در دو حالت یکسان خواهند شد.

مراجعه به مثال قبلی



جسمی به وزن 9.8 N توسط طناب بی جرمی به یک چرخ لنگر (استوانه توپر) به جرم M=5 kg و شعاع R=0.2 m آویزان است.
چه نیرویی بر روی چرخ لنگر و وزنه اثر می کند؟
شتاب وزنه را پیدا کنید.

اگر در ابتدا چرخ لنگر ساکن باشد و سپس شروع به چرخش کند، یک گشتاور نیرویی مورد نیاز است:

$$\tau = I \cdot \alpha$$
$$= I\left(\frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}\right); \quad (\omega = \omega_0 + \alpha\,\Delta t)$$

تعریف یک کمیت فیزیکی:

اندازه حرکت زاویه ای $L \equiv I\omega =$ ⇒ $\tau = \frac{\Delta L}{\Delta t}$

اندازه حرکت زاویه ای

- می توان مشابه رابطه بین نیرو و اندازه حرکت در یک سیستم خطی، رابطه بین گشتاور و اندازه حرکت زاویه ای را نوشت.
- اندازه حرکت زاویه ای به صورت $L = I\omega$ تعریف می شود.

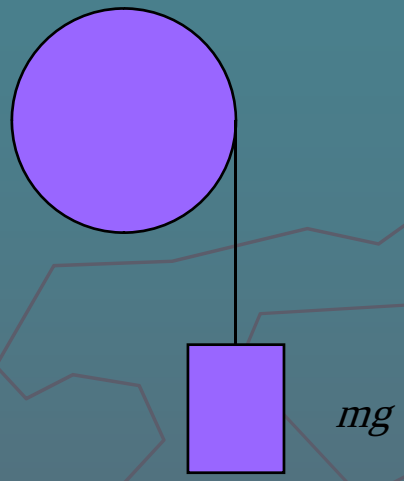
$$\vec{\tau} = \frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t} \qquad \text{در مقایسه با} \rightarrow \qquad \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

- اگر گشتاور کل صفر باشد، اندازه حرکت ثابت باقی می ماند
- *بقای اندازه حرکت خطی بیان می کند که:* وقتی گشتاور خارجی کل اعمالی بر سیستمی صفر باشد، اندازه حرکت زاویه ای سیستم بقا دارد.

یعنی وقتی $\Sigma\tau = 0 \Rightarrow L_i = L_f \rightarrow I_i\omega_i = I_f\omega_f$

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

مراجعه مجدد به مثال قبلی



جسمی به وزن 9.8 N توسط طناب بی جرمی به یک چرخ لنگر (استوانه توپر) به جرم M=5 kg و شعاع R=0.2 m آویزان است.
چه نیرویی بر روی چرخ لنگر و وزنه اثر می کند؟
شتاب وزنه را پیدا کنید.

هر قسمت کوچکی از چرخ لنگر با یک سرعتی در حرکت است. بنابر این، هر قسمت و چرخ لنگر به عنوان یک سیستم کلی، یک انرژی جنبشی دارند!

$$\sum K_{pulley\,i} = \sum \frac{m_{pulley\,i}}{2} v^2_{pulley\,i} \quad \Rightarrow \quad K_{pulley} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

قرقره (pulley)

بنابر این، انرژی جنبشی کل سیستم :

$$K_{tot} = \frac{1}{2} I_{pulley} \omega^2 + \frac{1}{2} m v^2$$

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

انرژی کل سیستم دوار

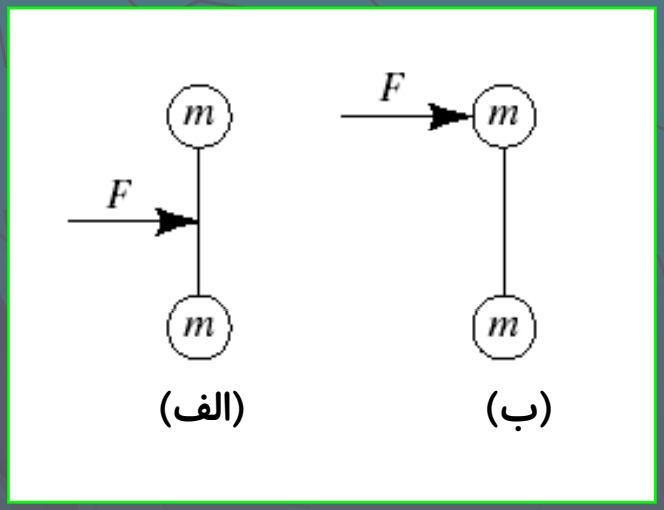
- انرژی جنبشی دورانی یک جسم دوار حول محوری که با سرعت زاویه ای، ω، در چرخش است به صورت $\frac{1}{2}I\omega^2$ می باشد.
- مفاهیم انرژی می تواند برای ساده سازی تحلیل حرکت دورانی مفید باشد
- بقای انرژی مکانیکی

$$(K_t + K_r + U_g)_i = (K_t + K_r + U_g)_f$$

- به یاد داشته باشید که وقتی فقط نیروهای پایستار در سیستم وجود داشته باشد، این رابطه برقرار است

سوال (؟)

نیروی F، به یک دمبلی در یک بازه زمانی Δt در دو وضعیت نشان داده شده در شکل زیر وارد می شود. در کدام مورد، دمبل انرژی بیشتری بدست می آورد؟

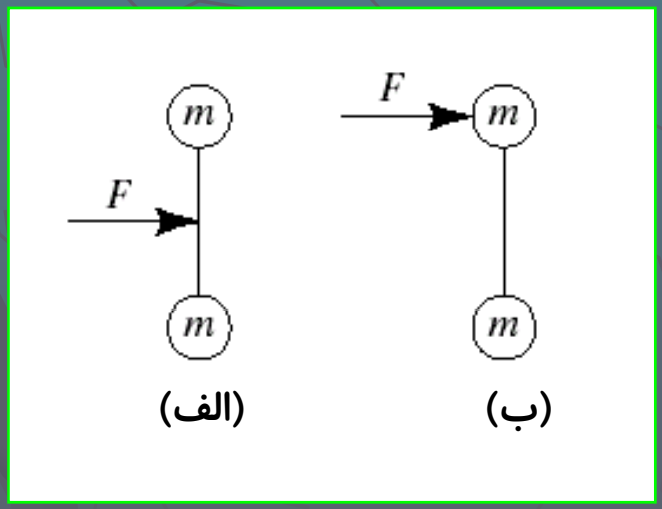


۱. (الف)
۲. (ب)
۳. فرقی نمی کند
٤. جواب به لختی دمبل بستگی دارد.

پاسخ دهید!

پاسخ

نیروی F، به یک دمبلی در یک بازه زمانی Δt در دو وضعیت نشان داده شده در شکل زیر وارد می شود. در کدام مورد، دمبل انرژی بیشتری بدست می آورد؟



۱. (الف)
۲. (ب)
۳. فرقی نمی کند
٤. جواب به لختی دمبل بستگی دارد.

چون تندیهای مرکز ثقل در دو وضعیت یکسان می باشد، انرژیهای جنبشی انتقالی برابر هستند. اما در مورد (ب) دوران نیز دارد، یعنی انرژی دورانی هم دارد.

نکاتی بر حل مساله

- تکنیکهای اساسی بکار رفته در حرکت خطی، در اینجا نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد
  - مقایسه ها: F به ♦، m به I، a به ♋، v به ω و x به θ تبدیل می شود.
- تکنیکهای بکار رفته برای بقا انرژی در حرکت دورانی مشابه حرکت خطی است، ولی به جای انرژی جنبشَی، انرژی جنبشی دورانی جایگزین می شود
- مسائل شامل اندازه حرکت زاویه ای الزاما مشابه تکنیکهای بکار رفته در حرکت خطی می باشد
  - ممکن است تغییر ممان لختی منجر به تغییر در اندازه حرکت زاویه ای شود

فصل دوازدهم

گرانش

فهرست

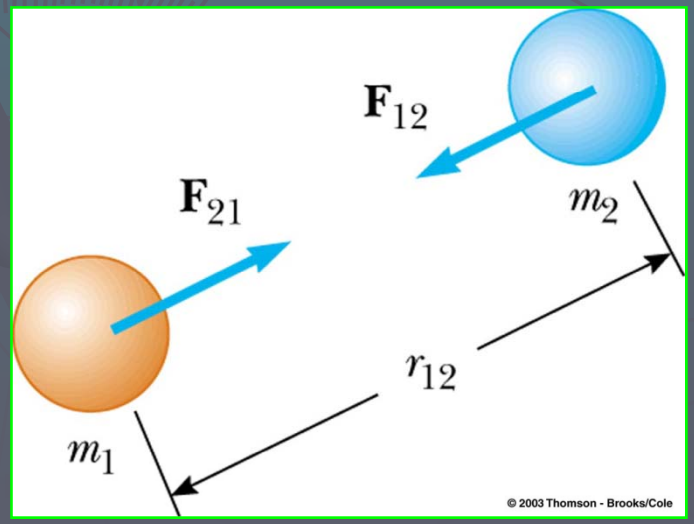
فصل ۱۲ (گرانش)

- قانون جهانی گرانش نیوتن
- ثابت جهانی گرانش
- کاربرد قانون گرانش
- انرژی پتانسیل گرانشی
- سرعت فرار
- قوانین کپلر
- کاربرد قوانین کپلر

قانون جهانی گرانش نیوتن

- هر ذره در جهان، ذرات دیگر را با یک نیرویی جذب می کند، به طوری که این نیرو متناسب با حاصلضرب بین جرمها و با مجذور فاصله بین آنها نسبت عکس دارد.

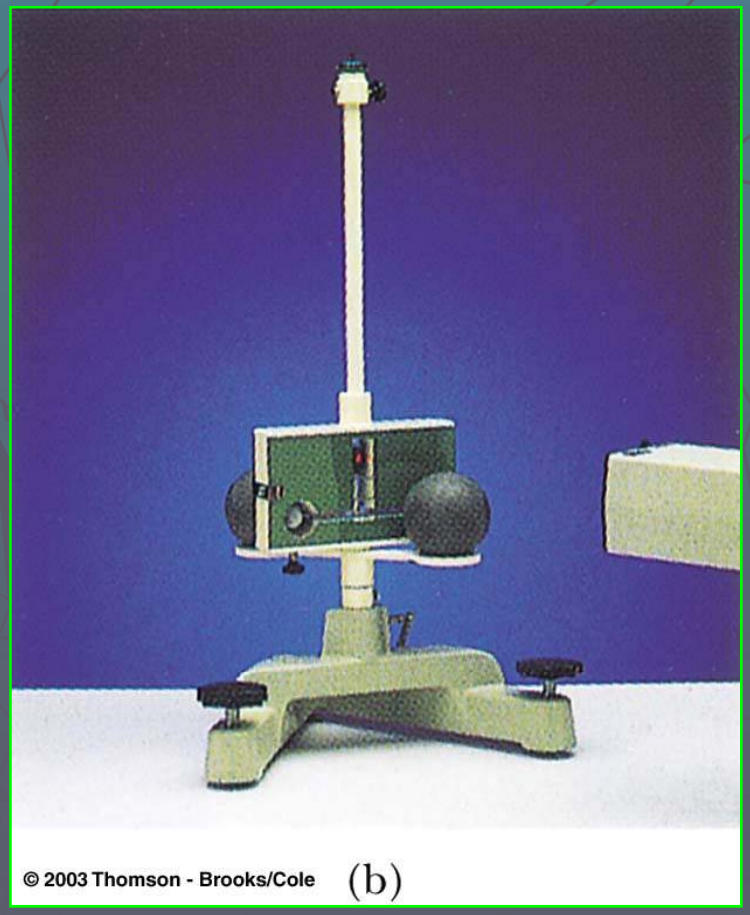
$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

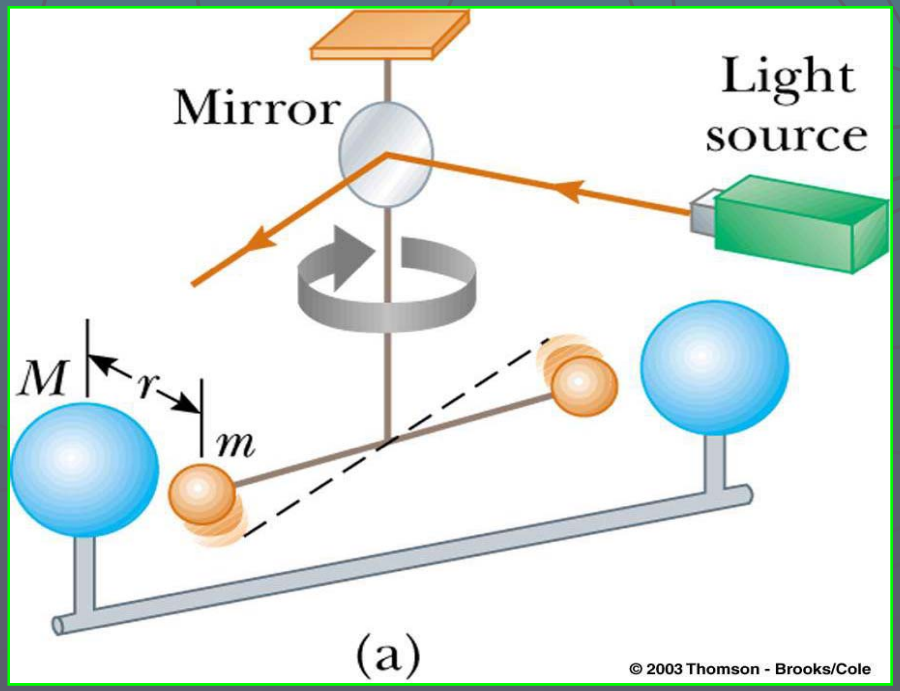


- G ثابت جهانی گرانش است
- $G = 6.673 \times 10^{-11}\ N\ m^2/kg^2$
- این نیرو مثالی از یک *قانون عکس مجذور* می باشد

ثابت جهانی گرانش

- بطور تجربی اندازه گیری می شود
- آزمایش هانری-کاواندیش
  - ۱۷۹۸
- باریکه نور و آینه برای تقویت حرکت بکار گرفته می شوند





مثال

سوال: نیروی جاذبه بین دو دانش آموز که با یکدیگر ۱ متر فاصله دارند را محاسبه کنید.

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} = 6.67\times10^{-11}\ \frac{N\,m^2}{kg^2}\ \frac{70\,kg\ 90\,kg}{(1\,m)^2} \approx \underline{4.2\times10^{-7}\ N}$$ ✓

خیلی کوچک

مقایسه:

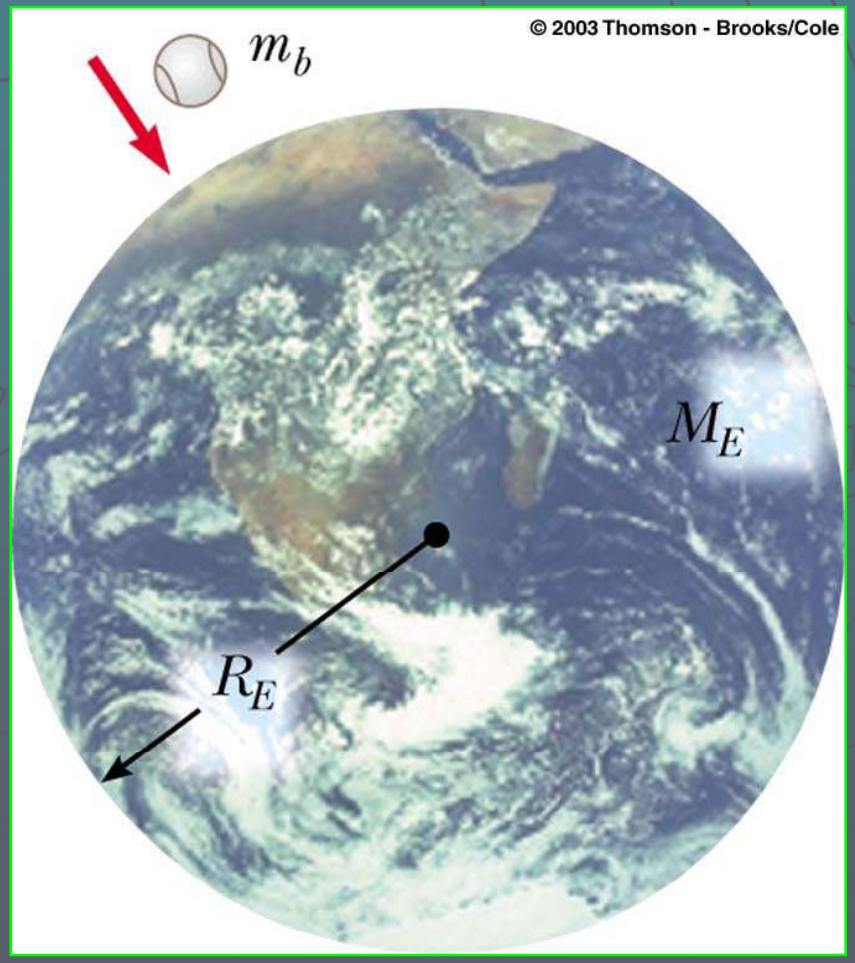
$$F = mg = \underline{686\ N}$$

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

کاربرد گرانش جهانی: جرم زمین

- در مورد نیروی بین یک جسم که روی سطح زمین قرار دارد
  - $r \sim R_E$

$$M_E = \frac{gR_E^2}{G}$$



کاربرد گرانش جهانی: شتاب جاذبه

- با ارتفاع (فاصله از سطح زمین) تغییر خواهد کرد

$$F = G\frac{mM_E}{r^2} = m\left(G\frac{M_E}{r^2}\right) = mg$$

$$g = G\frac{M_E}{r^2}$$

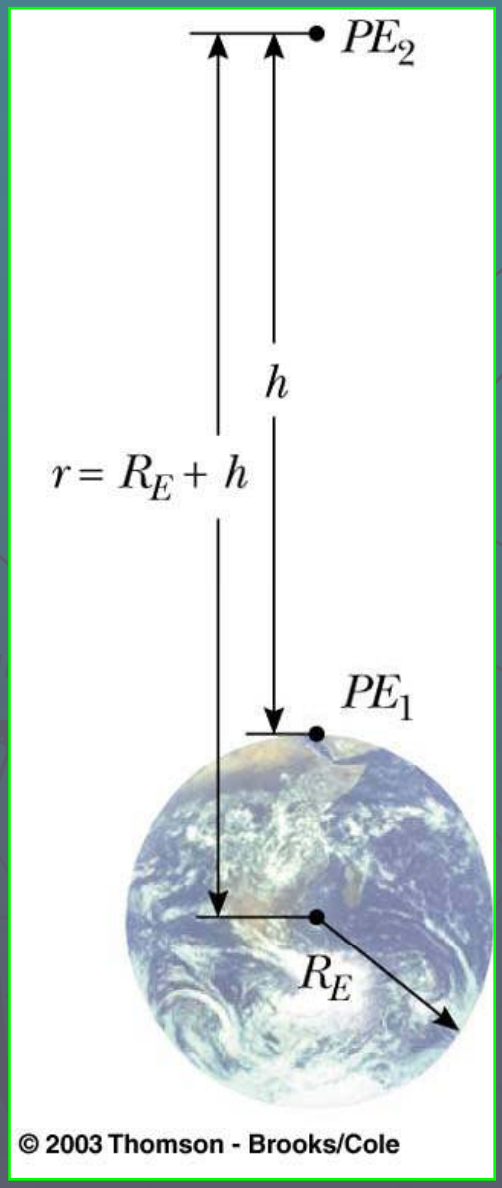
شتاب سقوط آزاد در ارتفاعهای مختلف

ارتفاع (km)[a]	$g\ (m/s^2)$
1 000	7.33
2 000	5.68
3 000	4.53
4 000	3.70
5 000	3.08
6 000	2.60
7 000	2.23
8 000	1.93
9 000	1.69
10 000	1.49
50 000	0.13

تمام مقادیر، ارتفاعهای اندازه گرفته شده بالای سطح زمین هستند

© 2003 Thomson - Brooks/Cole

انرِژی پتانسیل گرانشی



- انرژی پتانسیل ($U=mgy$) فقط نزدیک سطح زمین معتبر است
- برای اجسام در فاصله دورتر بالای سطح زمین، عبارت دیگری مورد نیاز است

$$U = -G\frac{M_E m}{r}$$

- سطح مرجع صفربطور نامتناهی دور از زمین است

سرعت فرار (گریز)

- سرعت فرار، سرعت مورد نیاز برای یک جسم که به خارج از جو زمین برسد و به زمین بر نگردد گویند.

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM_E}{R_E}}$$

- برای زمین، v_{esc}، ۲/۱۱ km/s حدود می باشد
- توجه کنید v که مستقل از جرم جسم است

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

قوانین کپلر

۱. تمام سیاره ها در روی یک مسیر بیضی مانند حرکت می کنند که خورشید یکی از کانونهای آن می باشد.

۲. خط واصل بین خورشید و هر سیاره ای مساحتهای مساوی را در زمانهای مساوی جاروب می کند.

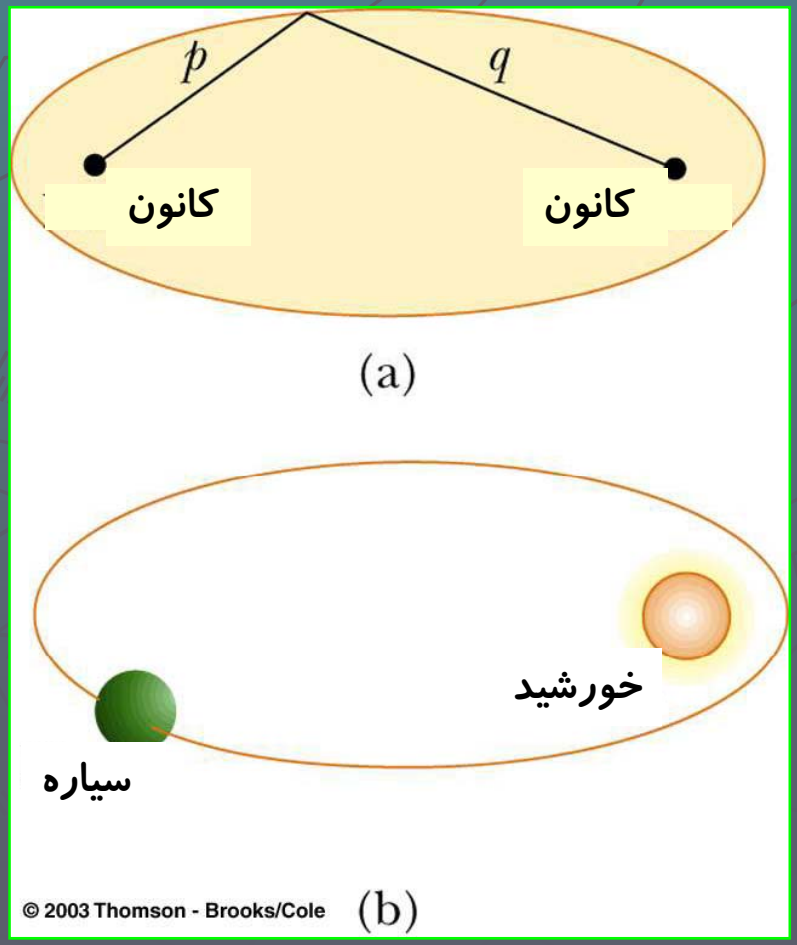
۳. مربع زمان تناوب مداری هر سیاره متناسب با مکعب متوسط فاصله از خورشید تا سیاره است.

قوانین کپلر

- مبتنی بر آزمایش Brahe
- بعدا، نیوتن مشاهده شد که این قوانین، نتیجه ای از نیروی گرانش بین دو جسم بودند که به یکدیگر با قانون حرکت نیوتن وارد می کنند

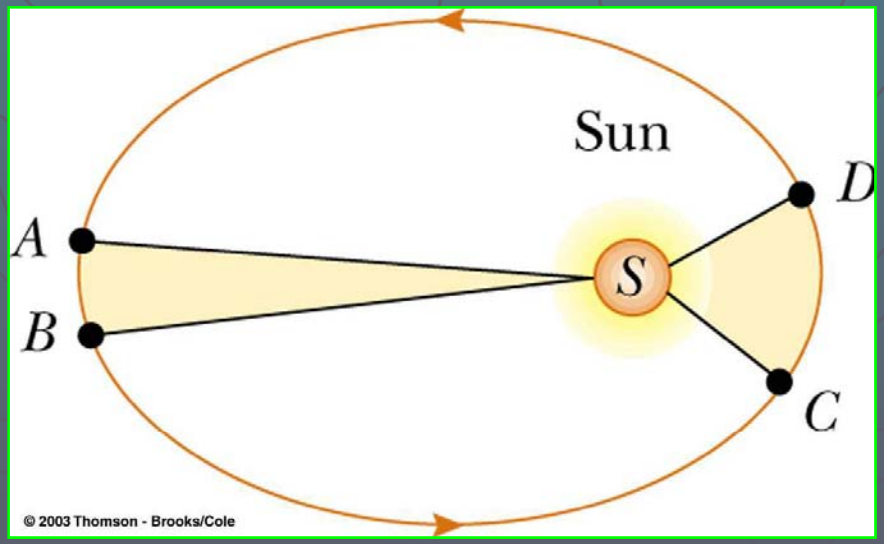
قانون اول کپلر

- **سیاره ها در روی یک مسیر بیضی مانند حرکت می کنند که خورشید یکی از کانونهای آن می باشد.**
  - هر جسمی مقید به جسم دیگری است که با قانون عکس مجذور در یک مسیر بیضی مانند حرکت می کند.
  - نقطه کانونی دوم خالی است



قانون دوم کپلر

- **خط واصل بین خورشید و هر سیاره ای مساحتهای مساوی را در زمانهای مساوی جاروب می کند.**
  - مساحت از A تا B و C تا D یکسان هستند



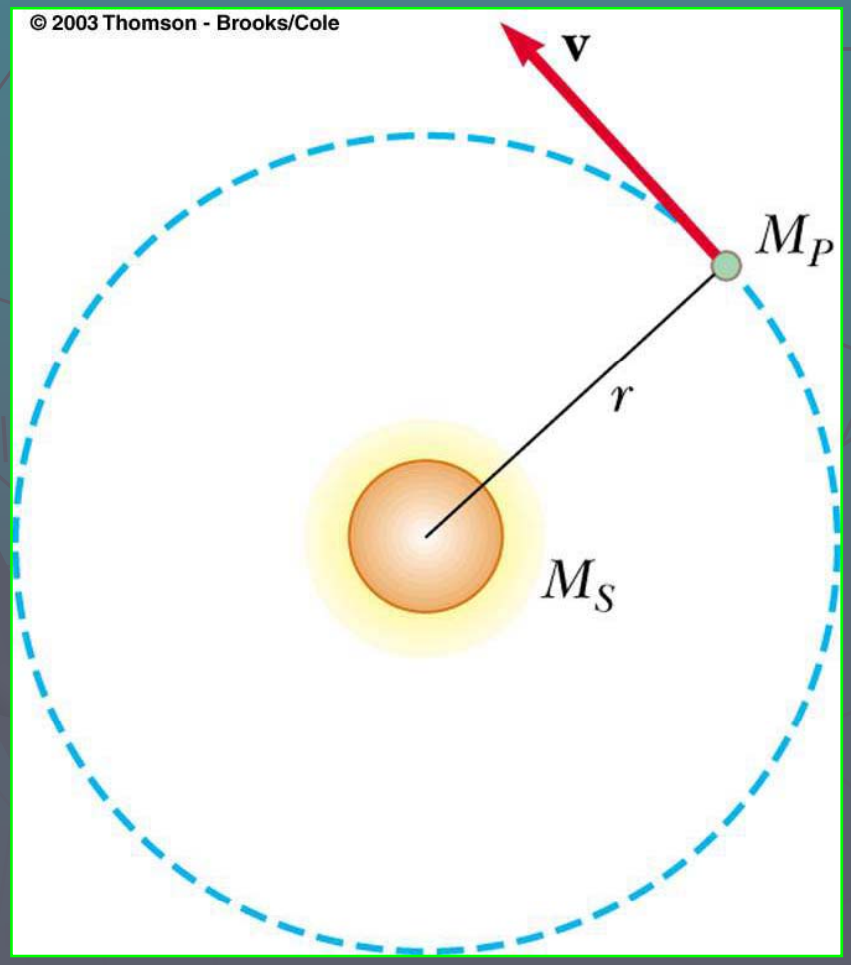
قانون سوم کپلر

- **مربع زمان تناوب مداری هر سیاره متناسب با مکعب فاصله متوسط از خورشید تا سیاره است.**

$$T^2 = Kr^3$$

- برای یک مدار حول خورشید، $K_S = 2.97 \times 10^{-19}\ s^2/m^3$
- ثابت K مستقل از جرم سیاره است

کاربرد قانون سوم کپلر



- تعیین جرم خورشید یا جسم سماوی دیگر که دور آن می چرخد
- فرضیه یک مدار دایره ای تقریب خوبی در این موارد است

پایان

درس: فیزیک پایه ۱

(رشته های شیمی و ریاضی)

علی‌اصغر شکری استادیار گروه فیزیک دانشگاه پیام نور (مرکز تهران)

www.salampnu.com

سایت مرجع دانشجوی پیام نور

- ✓ نمونه سوالات پیام نور : بیش از ۱۱۰ هزار نمونه سوال همراه با پاسخنامه تستی و تشریحی
- ✓ کتاب ، جزوه و خلاصه دروس
- ✓ برنامه امتحانات
- ✓ منابع و لیست دروس هر ترم
- ✓ دانلود کاملا رایگان بیش از ۱۴۰ هزار فایل مختص دانشجویان پیام نور

www.salampnu.com