راهنمای حل

فصل ۲ فیزیک دوازدهم رشته علوم تجربی منطبق بر کتاب درسی

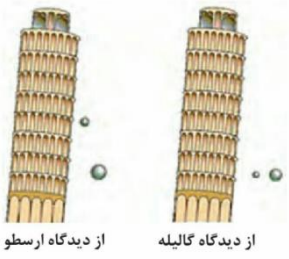
گروه فیزیک استان گیلان

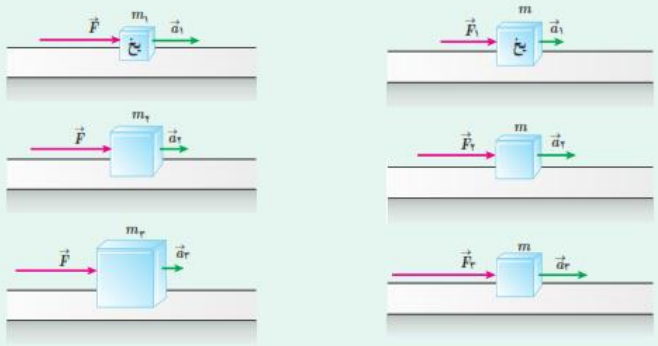
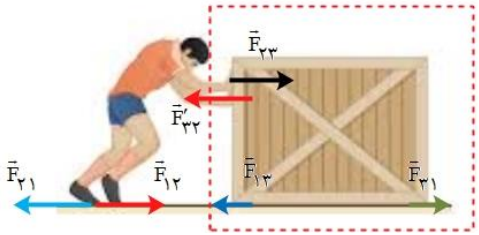
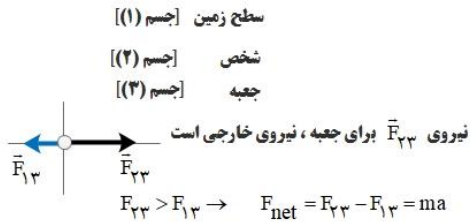
@Schoolphysics

گروه فیزیک استان گیلان

دینامیک و حرکت دایره ای			
	فعالیت / پرسش/تمرین / مسائل	صفحه کتاب درسی	صفحه pdf
	۲–۱ – قوانین حرکت نیوتون	۲۸	
۱	پرسش ۲–۱	۲۹	۱
۲	پرسش ۲–۲	۲۹	۱
۳	فعالیت ۲–۱	۲۹	۲–۱
۴	پرسش ۲–۳	۳۰	۲
۵	پرسش ۲–۴	۳۰	۲
۶	پرسش ۲–۵	۳۳	۲
	۲–۲ معرفی برخی از نیروهای خاص	۳۳	
۷	تمرین ۲–۱	۳۴	۳
۸	تمرین ۲–۲	۳۵	۳
۹	تمرین ۲–۳	۳۶	۳
۱۰	پرسش ۲–۶	۳۷	۴–۳
۱۱	پرسش ۲–۷	۳۸	۴
۱۲	تمرین ۲–۴	۳۹	۵
۱۳	آزمایش ۲–۱	۳۹	۵
۱۴	فعالیت ۲–۲	۴۰	۶–۵
۱۵	فعالیت ۲–۳	۴۰	۶
۱۶	تمرین ۲–۵	۴۱	۷–۶
۱۷	فعالیت ۲–۴	۴۱	۷
۱۸	تمرین ۲–۶	۴۳	۷
۱۹	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۱	۵۰	۸
۲۰	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۲	۵۰	۹–۸
۲۱	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۳	۵۰	۹
۲۲	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۴	۵۰	۱۰
۲۳	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۵	۵۰	۱۱
۲۴	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۶	۵۰	۱۴–۱۳–۱۲–۱۱
۲۵	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۷	۵۰	۱۵
۲۶	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۸	۵۱	۱۶–۱۵
۲۷	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۹	۵۱	۱۷
۲۸	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۱۰	۵۱	۱۸–۱۷

۲۹	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۱۱	۵۱	۱۸
۳۰	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۱۲	۵۱	۱۹
۳۱	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۱۳	۵۱	۲۰
۳۲	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۱۴	۵۲	۲۰
۳۳	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۱۵	۵۲	۲۰
	۲–۳ تکانه و قانون دوم نیوتون	۴۴	
۳۴	تمرین ۲–۷	۴۵	۲۱
۳۵	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۱۶	۵۲	۲۱
۳۶	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۱۷	۵۲	۲۱
	۲–۵ نیروی گرانشی	۴۶	
۳۷	فعالیت ۲–۵	۴۷	۲۳–۲۲
۳۸	تمرین ۲–۸	۴۹	۲۳
۳۹	تمرین ۲–۹	۴۹	۲۴–۲۳
۴۰	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۱۸	۵۲	۲۴
۴۱	پرسش و مسئله ها آخر فصل– ۱۹	۵۲	۲۴
۴۲	پرسش و مسئله ها آخر فصل–۲۰	۵۲	۲۵
۴۳	پرسش و مسئله ها آخر فصل–۲۱	۵۲	۲۵

۱	**پرسش ۲–۱** در شکل روبه‌رو یک کشتی در حال حرکت را می‌بینید که نیروهای وارد بر آن متوازن‌اند. کدام نیروها اثر یکدیگر را خنثی کرده‌اند؟ 	نیروی شناوری و نیروی وزن اثر یکدیگر را خنثی می کنند. نیروی پیشران و نیروی مقاومت اثر یکدیگر را خنثی می کنند.
۲	**پرسش ۲–۲** در فیلمی علمی ــ تخیلی، موتور یک کشتی فضایی که در فضای تهی خارج از جو زمین و دور از هر سیاره و خورشید در حرکت است، از کار می‌افتد. در نتیجه حرکت کشتی فضایی کُند می‌شود و می‌ایستد. آیا امکان وقوع چنین رویدادی وجود دارد؟ توضیح دهید.	خیر ـ بر طبق قانون اول نیوتن، وقتی برآیند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد. جسم در حال حرکت با سرعت ثابت، حرکت خود را حفظ می کند.
۳	**فعالیت ۲–۱** دربارهٔ آزمایش ذهنی گالیله تحقیق کنید و به کلاس گزارش دهید.	گالیله درسال ۱۵۸۹ دستگاهی ساخت که ثابت می کرد که وقتی که دو جسم با اندازه و وزن های مختلف از یک ارتفاع رها می شوند، زمان رسیدن هر دو جسم به زمین یکسان است. این گفته با آنچه که انسان ها باور داشته اند و در آن زمان درس گرفته بودند، مغایرت داشت. ارسطو کسی بود که این نظریه را ارائه داده بود که اجسامی با وزن بیشترسریع تر از اجسام سبک تر به زمین می‌رسند. گالیله برای اثبات حرف خود یک توپ ۴۵۳ گرمی و یک توپ ۴۵۳۰ گرمی را از بالای برج پیزا رها کرد. جمعیت کثیری از انسان ها وجود داشتند که آزمایش گالیله و در نتیجه رسیدن همزمان این دو جسم در یک زمان را به چشم خود دیدند و شهادت دادند. با این آزمایش نظریه قبلی ارسطو رد شد.  **نمونه هایی از آزمایش های ذهنی گالیله که بهتر است در این زمینه دانش آموزان تحقیق کنند.** **قانون آونگ گالیله - قاصد آسمان - نظریه خورشید محور و زمین محور - آزماش گالیله و سطح شیبدار**

۴	**پرسش ۲–۳** الف) چرا حرکت سریع مقوا در شکل الف، سبب افتادن سکه در لیوان می‌شود؟ ب) چرا در شکل ب، اگر به‌آرامی نیروی وارد بر گوی سنگین را زیاد کنیم نخ بالای گوی پاره می‌شود، اما اگر ناگهان نخ را بکشیم، نخ پایین آن پاره می‌شود؟ (ب)　(الف)	الف) برطبق قانون اول نیوتن، جسم تمایل دارد وضعیت سکون خود را حفظ نماید. که با حرکت سریع مقوا، سکه به داخل لیوان می افتد. ب) هنگامی که به آرامی بکشم، نیرو انتقال می یابد و نخ از قسمت بالای گوی جدا می گردد. در کشش سریع، لختی جرم گلوله سبب می شود که در بازه زمانی کوتاه فرصت انتقال ضربه به نخ بالایی وجود ندارد. در نتیجه نخ پایین پاره می شود.
۵	**پرسش ۲–۴** در شکل‌های زیر، قطعه‌یخ‌ها روی یک سطح افقی بدون اصطکاک قرار دارند. استنباط خود را از این شکل‌ها بیان کنید. 	**در سه شکل سمت راست:** با ثابت ماندن اندازه جرم جسم و با افزایش نیرو، مقدار شتاب جسم افزایش می یابد. **در شکل های سمت چپ:** با ثابت ماندن اندازه نیرو و افزایش جرم جسم، مقدار شتاب جسم کاهش می یابد.
۶	**پرسش ۲–۵** شخصی در حال هل دادن جعبه‌ای سنگین روی سطح افقی است و این جعبه در جهت این نیرو حرکت می‌کند. با توجه به آنکه نیرویی که شخص به جعبه وارد می‌کند با نیرویی که جعبه به شخص وارد می‌کند هم‌اندازه است، توضیح دهید چگونه جعبه حرکت می‌کند؟	  هنگامی‌که نیروی افقی که شخص به جعبه وارد می کند بیشتر از نیروی افقی که زمین به جعبه وارد کند، باشد. جعبه حرکت می کند.

۲ـ۲ معرفی برخی از نیروهای خاص

۷

تمرین ۲ـ۱

الف) وزن قطعه‌ای طلا به جرم ۱۰۰ گرم را روی سطح زمین به‌دست آورید.

ب) وزن یک جسم در سطح یک سیاره برابر با نیروی گرانشی است که از طرف آن سیاره بر جسم وارد می‌شود. وزن این قطعه طلا را در سطح ماه و مریخ به‌دست آورید و با هم مقایسه کنید. ($g_{\text{زمین}} = ۹/۸\text{N/kg}$ ، $g_{\text{ماه}} = ۱/۶\text{N/kg}$ ، $g_{\text{مریخ}} = ۳/۷\text{N/kg}$)

$$W=mg_{\text{زمین}} \rightarrow W_۱ = (۰/۱\,\text{kg})(۹/۸\,\tfrac{\text{N}}{\text{kg}}) = ۰/۹۸\,\text{N}$$

$$W=mg_{\text{ماه}} \rightarrow W_۲ = (۰/۱\,\text{kg})(۱/۶\,\tfrac{\text{N}}{\text{kg}}) = ۰/۱۶\,\text{N}$$

$$W=mg_{\text{مریخ}} \rightarrow W_۳ = (۰/۱\,\text{kg})(۳/۷\,\tfrac{\text{N}}{\text{kg}}) = ۰/۳۷\,\text{N}$$

$$W_۱ > W_۳ > W_۲$$

۸

مثال ۲ـ۵

دو گوی هم‌اندازه را که جرم یکی دو برابر دیگری است ($m_۲ = ۲m_۱$) از بالای برجی به ارتفاع h به‌طور هم‌زمان رها می‌کنیم. با فرض اینکه نیروی مقاومت هوا در طی حرکت دو گوی ثابت و یکسان باشد، تندی برخورد کدام گوی با زمین بیشتر است؟

تمرین ۲ـ۲

اگر در مثال ۲ـ۵ از مقاومت هوا صرف‌نظر کنیم، سرعت برخورد گوی‌ها با زمین را با هم مقایسه کنید.

$$a = g - \frac{f_D}{m} \xrightarrow{f_D = ۰} a = g$$

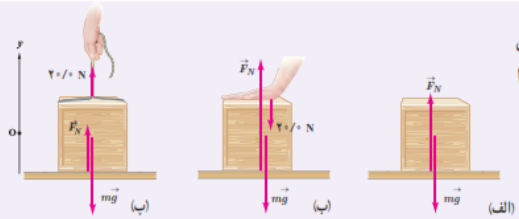
$$V^۲ - V_۰^۲ = ۲g\Delta y \rightarrow V^۲ - ۰ = ۲gh \rightarrow V = \sqrt{۲gh}$$

با صرفنظر از مقاومت هوا، سرعت برخورد گلوله ها با زمین به جرم گلوله ها وابسته نیست. $V_۱ = V_۲$

۹

تمرین ۲ـ۳

همانند شکل، جعبه‌ای به جرم ۴/۰kg روی میزی افقی قرار دارد. نیروی عمودی سطح را در حالت‌های نشان داده شده به‌دست آورید.



الف) $F_N = mg = ۴\text{kg} \times ۹/۸\text{N/kg} = ۳۹/۲\text{N}$

ب) $F_N = mg + F' = ۴\text{kg} \times ۹/۸\text{N/kg} + ۲۰\text{N} = ۵۹/۲\text{N}$

پ) $F_N + F' = mg \rightarrow F_N + ۲۰\text{N} = ۴\text{kg} \times ۹/۸\text{N/kg}$

$F_N = ۳۹/۲\text{N} - ۲۰\text{N} = ۱۹/۲\text{N}$

۱۰

پرسش ۲ـ۶

در مثال ۲ـ۶، در هر یک از حالت‌های زیر، عددی را که ترازوی فنری نشان می‌دهد با وزن شخص مقایسه کنید.

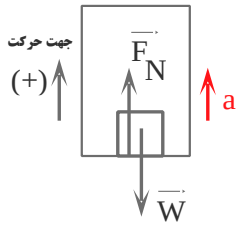
الف) آسانسور به طرف بالا شروع به حرکت کند.

ب) آسانسور به طرف پایین شروع به حرکت کند.

پ) آسانسور در حالی که به طرف بالا حرکت می‌کند، متوقف شود.

ت) آسانسور در حالی که به طرف پایین حرکت می‌کند، متوقف شود.

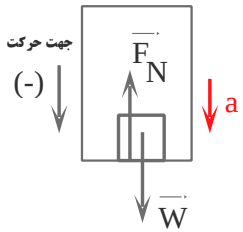
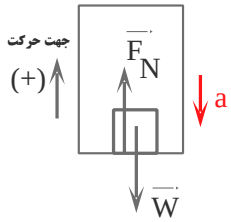
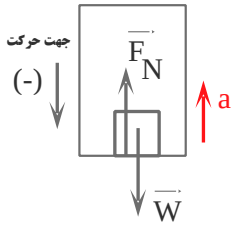
الف)



$F_N - mg = ma$

$\rightarrow F_N = m(g + a) \rightarrow F_N > mg$

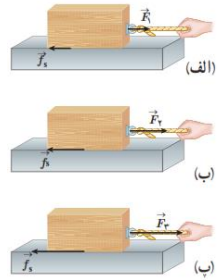
در این حالت ترازو، عددی بزرگ تر از اندازه ی وزن را نشان می دهد.

		ب)  $F_N - mg = -ma$ $\rightarrow F_N = m(g-a) \rightarrow F_N < mg$ در این حالت ترازو، عددی کوچکتری از اندازه ی وزن را نشان می دهد. پ)  $F_N - mg = -ma$ $\rightarrow F_N = m(g-a) \rightarrow F_N < mg$ در این حالت ترازو، عددی کوچکتری از اندازه ی وزن را نشان می دهد. ت)  $F_N - mg = ma$ $\rightarrow F_N = m(g+a) \rightarrow F_N > mg$ در این حالت ترازو، عددی بیشتر از اندازه ی وزن را نشان می دهد.
۱۱	**پرسش ۲–۷** الف) بر اساس قانون سوم نیوتون و آنچه از اصطکاک آموختید، توضیح دهید راه رفتن با شروع از حالت سکون چگونه انجام می‌شود؟ ب) چرا راه رفتن روی یک سطح شُر مانند سطح یخ به‌سختی ممکن است؟	الف) وقتی ما شروع به حرکت می کنیم. پاهایمان نیروی به سمت عقب وارد می کند. طبق قانون سوم نیوتن، نیروی هم اندازه و در خلاف جهت بر آن وارد می شود که اصطکاک نام دارد و سبب می شود که به سمت جلو حرکت کنیم. ب) زیرا ناهمواری ها کم تر می باشد که در نتیجه اصطکاک بین فرد و زمین کم شده و سبب سرخوردن می شود و راه رفتن دشوار می گردد.

۱۲

تمرین ۲–۴

اگر در شکل ۲–۱۲، جرم جسم ۴/۰kg و بزرگی نیروها F_1=۴/۰N ، F_2=۸/۰N و F_3=۱۶/۰N باشد،
الف) بزرگی نیروهای اصطکاک ایستایی در هر حالت چقدر است؟
ب) ضریب اصطکاک ایستایی را پیدا کنید.



الف)

$$\rightarrow F_1 - f_s = ma = 0 \rightarrow F_1 = f_s = 4N$$

$$\rightarrow F_2 - f_s = ma = 0 \rightarrow F_2 = f_s = 8N$$

$$\rightarrow F_3 - f_{s,max} = ma = 0 \rightarrow F_3 = f_{s,max} = 16N$$

ب)

$$f_{s,max} = \mu_s N \rightarrow \mu_s = \frac{f_{s,max}}{mg} = \frac{16N}{4kg \times 9/8(N/kg)} = 0/40$$

۱۳

آزمایش ۲–۱: اندازه‌گیری ضریب اصطکاک ایستایی بین دو جسم

وسایل لازم : نیروسنج، قطعهٔ چوبی به شکل مکعب مستطیل با وجوه یکنواخت، ترازو، خط‌کش

شرح آزمایش :

۱ــ مکعب چوبی را از طرف وجه بزرگ آن، روی سطح افقی میز قرار دهید.

۲ــ نیروسنج را مانند شکل به مکعب چوبی وصل کنید و سر دیگر نیروسنج را با دست بگیرید و به‌طور افقی بکشید.

۳ــ نیروی دستتان را به‌آرامی افزایش دهید تا جایی که مکعب چوبی در آستانهٔ لغزیدن قرار گیرد. در این حالت عددی را که نیروسنج نشان می‌دهد، در جدول یادداشت کنید (برای اینکه دقت شما افزایش یابد لازم است آزمایش را چند بار تکرار کنید).

۴ــ اکنون مکعب چوبی را از طرف وجه کوچک‌تر روی سطح قرار دهید و مراحل ۲ و ۳ را تکرار کنید.

۵ــ با اندازه‌گیری جرم مکعب چوبی و استفاده از رابطهٔ ۲ــ۴ مقدار μ_s را در هر آزمایش محاسبه و در جدول یادداشت کنید.

شمارهٔ آزمایش	مساحت سطح تماس قطعه با میز	وزن قطعه :	
		عددی که نیروسنج نشان می‌دهد ($f_{s,max}$)	μ_s

همراه با اعضای گروه خود، نتیجه‌های به‌دست آمده را تفسیر کنید.

ضریب اصطکاک ایستایی تغییر نمی کند. زیرا ضریب اصطکاک به اندازه ی مساحت سطح تماس جسم بستگی ندارد.

۱۴

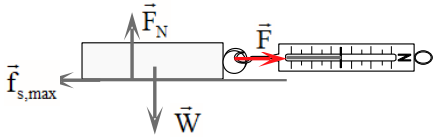
فعالیت ۲–۲

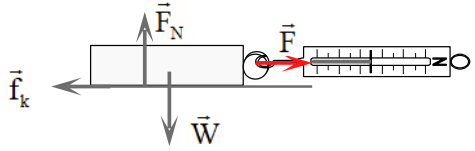
آزمایشی طراحی کنید که نشان دهد $f_{s,max}$ متناسب با F_N است.

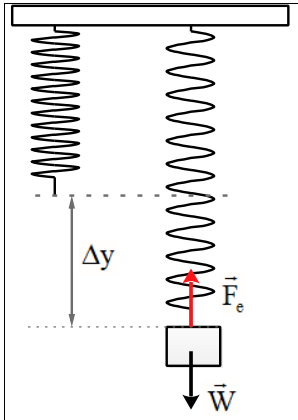
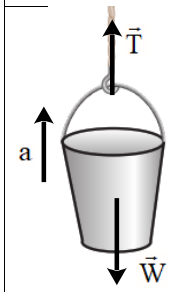
وسایل لازم: نیروسنج- قطعه های چوبی مختلف – ترازو

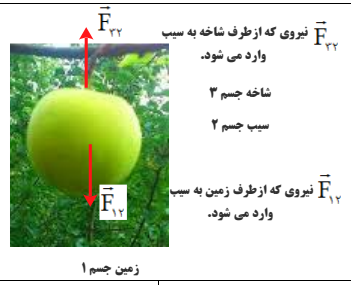
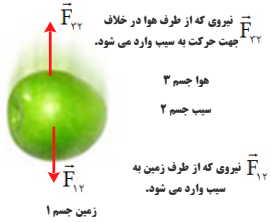
شرح آزمایش:

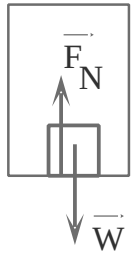
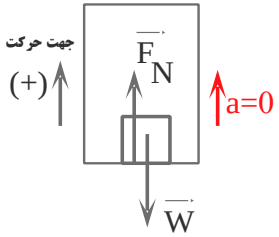
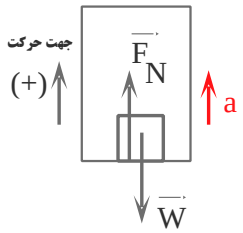
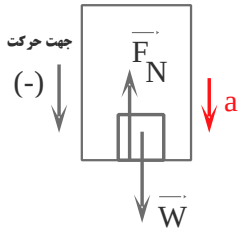
۱- مکعب چوبی را از یک وجه روی سطح افقی قرار دهید.



		۲) نیروسنج را به مکعب چوبی وصل کرده و سر دیگر نیروسنج را در دست گرفته و بکشید. وقتی جسم در آستانه لغزیدن قرار می گیرد عددی که نیروسنج نشان می دهد نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه ($f_{s,max}$) است. ۳) جرم جسم را با ترازو اندازه گیری کرده و از رابطه $F_N = mg$ مقدار نیروی عمودی محاسبه کنید. ۴- این بار آزمایش را با ۲ قطعه چوبی روهم انجام دهید. عددی که نیرو سنج نشان می دهد بیشتر می‌شود. ۵) آزمایش را با تعداد بیشتر قطعه چوبی انجام بدهید. باز هم نیروسنج عدد بیشتر را نشان می دهد. ۶) اعداد بدست آمده از نیروسنج را بر وزن تقسیم می کنیم. نتیجه: نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه با مقدار نیروی عمودی از طرف سطح به جسم رابطه مستقیم دارد و با تقسیم این نیرو بر وزن عدد ثابتی بدست می آید.
۱۵	**فعالیت ۲ـ۳** آزمایشی طراحی کنید که با آن بتوانید : الف) نیروی اصطکاک جنبشی وارد بر جسمی مانند یک قطعه چوب در حال لغزش روی سطح را اندازه بگیرید و با استفاده از آن μ_k را به‌دست آورید. ب) بستگی یا عدم بستگی نیروی اصطکاک جنبشی به مساحت سطح تماس دو جسم را تحقیق کنید.	الف) به کمک یک نیروسنج، قطعه چوب را می‌کشیم تا حرکت کند. در بازه زمانی که قطعه چوب با سرعت ثابت در حال حرکت است، اندازه ی نیروی که نیروسنج نشان می‌دهد برابر است با نیروی اصطکاک جنبشی، در نتیجه خواهیم داشت.  $F - f_k = ma \rightarrow F - f_k = 0 \rightarrow F = f_k$ $F = f_k = \mu_k mg \rightarrow \mu_k = \frac{F}{mg}$ نیروی F از روی نیروسنج و m را به کمک ترازو بدست می آوریم. ب) از وجه دیگر قطعه چوب، آزمایش را تکرار می‌کنیم. و سعی می کنیم با سرعت ثابت با نیروسنج قطعه چوب را بکشیم. عددی که نیروسنج نشان می‌دهد در این شرایط تقریبا برابر حالت قبل می باشد. نیروی اصطکاک جنبشی به مساحت سطح تماس بستگی ندارد.
۱۶	**تمرین ۲ـ۵** در مثال قبل اگر ضریب اصطکاک ایستایی بین جعبه و زمین ۰/۶۰۰ و جسم در ابتدا ساکن باشد، حداقل نیروی افقی لازم برای به‌حرکت درآوردن جعبه چقدر است؟	$F - f_{s,max} = ma = 0 \rightarrow F = f_{s,max} = \mu_s F_N = \mu_s mg$ $\rightarrow F = f_{s,max} = 0/6 \times 75kg \times 9/8N/kg = 441N$

۱۷	**فعالیت۲ـ۴** تعدادی فنر متفاوت تهیه کنید. الف) سختی آنها را مقایسه کنید. ب) با طراحی یک آزمایش، ثابت هر فنر را به‌دست آورید.	الف) تعدادی فنر با ضخامت های مختلف تهیه می‌کنیم. هر چه فنر انعطاف پذیر تر باشد. سختی (K) کوچکتر و برای فنر سفت (K) بیشتر است. ب) فنر را مطابق شکل (۱) به سقف آویزان می کنیم و سپس به انتهای آن، وزنه‌ای با جرم مشخص آویزان می‌نمایم. در حالت تعادل، به کمک خط‌کش، تغییرات طول فنر را اندازه می گیریم. با توجه به این مطلب که، نیروی که از طرف فنر به وزنه وارد می شود با نیروی که از طرف زمین به جسم وارد می شود برابر است. خواهیم داشت. $F_e = w \rightarrow k\Delta y = mg \rightarrow k = \frac{mg}{\Delta y}$ سپس در چندین نوبت فنرهای مختلف را مطابق شکل آزمایش کرده و هر بار با توجه به رابطه $k = \frac{mg}{\Delta y}$ مقدار K را بدست می آوریم. همچنین می توان آزمایش را با جرم های مختلف تکرار کرد، و k های مختلفی را بدست آورد. از اعداد بدست آمده میانگین گرفته و عدد دقیقتری برای k بدست آورد. 
۱۸	**تمرین ۲ـ۶** کارگری یک سطل محتوی مصالح به جرم ۱۶/۰kg را با طناب سبکی به طرف بالا می‌کشد. اگر شتاب رو به بالای سطل ۱/۲m/s² باشد، نیروی کشش طناب چقدر است؟ 	$T - mg = ma$ $T - ۱۶kg \times ۹/۸N/kg = ۱۰۰kg \times ۱/۲N/kg$ $T = ۱۵۶/۸N + ۱۲۰N = ۱۷۶/۸N$ 

۱۹	**۲ـ۱ و ۲ـ۲ قوانین حرکت نیوتون و معرفی برخی از نیروهای خاص** **۱.** سیبی را در نظر بگیرید که به شاخهٔ درختی آویزان است و سپس از درخت جدا می‌شود. الف) با رسم شکل نیروهای وارد بر سیب را قبل و بعد از جداشدن از درخت نشان دهید. ب) در هر حالت واکنش این نیروها بر چه اجسامی وارد می‌شود؟	الف)  **کنش** / **واکنش** نیروی که از طرف زمین به سیب وارد می شود. / نیروی که از طرف سیب به زمین وارد می شود. نیروی که از طرف شاخه به سیب وارد می شود. / نیروی که از طرف سیب به شاخه وارد می شود. ب)  **کنش** / **واکنش** نیروی که از طرف زمین به سیب وارد می شود. / نیروی که از طرف سیب به زمین وارد می شود. نیروی که از طرف هوا به سیب وارد می شود. / نیروی که از طرف سیب به هوا وارد می شود.
۲۰	**۲.** وقتی در خودروی ساکنی نشسته‌اید و خودرو ناگهان شروع به حرکت می‌کند، به صندلی فشرده می‌شوید. همچنین اگر در خودروی در حال حرکتی نشسته باشید، در توقف ناگهانی به جلو پرتاب می‌شوید. الف) علت این پدیده‌ها را توضیح دهید. ب) نقش کمربند ایمنی و کیسهٔ هوا در کم‌شدن آسیب‌ها در تصادف‌ها را بیان کنید. 	**الف)** برطبق قانون اول نیوتون (لختی) جسم تمایل دارد حالت سکون و یا حرکت یکنواخت خود را بر روی خط راست حفظ کند. در حالتی که خودرو ناگهان شروع به حرکت می کند، خودرو به سمت جلو رفته و اجسام داخل خودرو تمایل دارند حالت خود را حفظ کنند. به همین دلیل شخص به صندلی فشرده می شود. در حالتی که خودرو ناگهان توقف می کند، اجسام داخل خودرو تمایل دارند حالت رو به جلوی خود را حفظ کنند در نتیجه اجسام به سمت جلو پرت می شوند.

		ب) در هنگام توقف یا ترمز ناگهانی اتومبیل، سرنشین بنا بر خاصیت لختی در مسیرحرکت به راه خود ادامه می دهد و بسمت شیشه جلو پرتاب می شود. کمربند ایمنی و یا کیسه ی هوا، سرنشین را با خودرو یک پارچه می کند و شتاب حرکت سرنشین در رخدادهای ناگهانی شتاب خودرو می شود.
۲۱	**۳.** دانش‌آموزی به جرم ۵۰/۰ kg روی یک ترازوی فنری در آسانسور ایستاده است. در هر یک از حالت‌های زیر این ترازو چند نیوتون را نشان می‌دهد؟ (g=۹/۸۰N/kg) الف) آسانسور ساکن است. ب) آسانسور با سرعت ثابت حرکت می‌کند. پ) آسانسور با شتاب ۱/۲m/s^2 به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند. ت) آسانسور با شتاب ۱/۲m/s^2 به طرف پایین شروع به حرکت می‌کند.	الف) $F_N - mg = 0 \rightarrow F_N = mg$ $\rightarrow F_N = 50kg \times 9/8N/kg = 490N$  ب) $F_N - mg = ma = 0 \rightarrow F_N = mg$ $\rightarrow F_N = 50kg \times 9/8N/kg = 490N$  پ) $F_N - mg = ma \rightarrow F_N = m(g+a)$ $F_N = 50kg(9/8N/kg + 1/2N/kg)$ $F_N = 550N$  ت) $F_N - mg = -ma \rightarrow F_N = m(g-a)$ $F_N = 50kg(9/8N/kg - 1/2N/kg)$ $F_N = 430N$ 

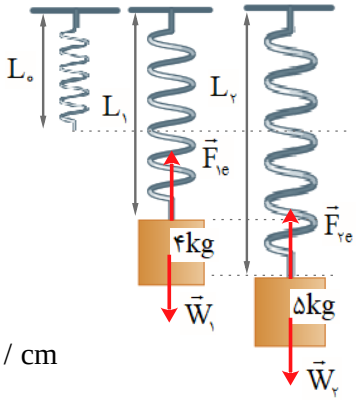
۲۲	۴۸. در شکل نشان داده شده، شخص با نیروی ۲۰۰N جسم ۹۰/۰ کیلوگرمی را هُل می‌دهد، اما جسم ساکن می‌ماند. ولی وقتی با نیروی ۳۰۰N جسم را هُل می‌دهد، جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد. الف) نیروی اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح در هر حالت چقدر است؟ ب) ضریب اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح چقدر است؟ پ) اگر پس از حرکت، شخص با نیروی ۲۰۰N جسم را هُل دهد و ضریب اصطکاک جنبشی بین سطح و جسم ۰/۲۰ باشد، شتاب حرکت جسم چقدر خواهد شد؟	الف) جسم ساکن است. $F - f_s = ۰$ $\rightarrow f_s = F = ۲۰۰N$ ب) جسم در آستانه حرکت است. $F - f_{s,max} = ۰$ $\rightarrow f_{s,max} = F = \mu_s F_N$ $\mu_s = \frac{F}{mg} = \frac{۳۰۰N}{۹۰kg \times ۹/۸N/kg} = ۰/۳۴$ پ) جسم در با شتاب ثابت در حرکت است. $F - f_k = ma$ $F - \mu_k mg = ma \rightarrow$ $۲۰۰N - ۰/۲ \times ۵۰kg \times ۹/۸N/kg = ۵۰(kg)a \rightarrow a = ۲/۰۴N/kg$

۲۳

۵. در شکل روبه‌رو وقتی وزنهٔ $۴/۰\ kg$ را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر $۱۴/۰\ cm$ می‌شود، و وقتی وزنهٔ $۵/۰\ kg$ را به فنر آویزان می‌کنیم، طول فنر $۱۵/۰\ cm$ می‌شود.

الف) ثابت فنر چقدر است؟ ب) طول عادی فنر (بدون وزنه) چند سانتی‌متر است؟

الف)



$$F_{۱e} = m_۱g \rightarrow k(L_۱ - L_۰) = m_۱g \quad (۱)$$

$$F_{۲e} = m_۲g \rightarrow k(L_۲ - L_۰) = m_۲g \quad (۲)$$

$$(m_۲ - m_۱)g = k(L_۲ - L_۱)$$

$$\rightarrow k = \frac{(m_۲ - m_۱)g}{(L_۲ - L_۱)}$$

$$\rightarrow k = \frac{(۵kg - ۴kg) \times ۹/۸N/kg}{(۱۵cm - ۱۴cm)} = ۹/۸N/cm$$

ب)

$$k(L_۱ - L_۰) = m_۱g \rightarrow ۹/۸(N/cm)(۱۴cm - L_۰) = ۴kg \times ۹/۸N/kg \rightarrow L_۰ = ۱۰\,cm$$

۲۴

۶. در هر یک از موارد زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟

الف) خودرویی با سرعت ثابت در یک مسیر مستقیم افقی در حال حرکت است.

ب) کشتی‌ای با سرعت ثابت در حال حرکت است.

پ) قایقرانی در حال پارو زدن است.

ت) چتربازی در هوای آرام و در امتداد قائم در حال سقوط است.

ث) هواپیمایی در یک سطح پروازی افقی با سرعت ثابت در حال حرکت است.

ج) توپی در راستای قائم به زمین برخورد می‌کند و برمی‌گردد.

الف)

کنش	واکنش
نیروی که زمین به خودرو وارد می کند. $\vec{W}$	نیروی که خودرو به زمین وارد می کند. $\vec{W}'$
نیروی عمودی تکیه گاه سطح جاده به خودرو وارد می کند. $\vec{F}_N$	نیروی عمودی که خودرو بر سطح جاده وارد می کند. $\vec{F}'_N$
در وضعیت لغزش، نیروی موازی سطح از طرف زمین در خلاف جهت حرکت به خودرو وارد می شود. $\vec{f}_k$	در وضعیت لغزش، نیروی موازی سطح از طرف خودرو در جهت حرکت به زمین وارد می شود. $\vec{f}'_k$
نیروی که از مولکول های هوا به خودرو در خلاف جهت حرکت وارد می شود. $\vec{f}$	نیروی که از طرف خودرو به مولکول های هوا در جهت حرکت وارد می شود. $\vec{f}'$

۷. در هر یک از موارد زیر، نیروهای وارد بر جسم را مشخص کنید. واکنش هر یک از این نیروها به چه جسمی وارد می‌شود؟

الف) خودرویی با سرعت ثابت در یک مسیر مستقیم افقی در حال حرکت است.

ب) کشتی‌ای با سرعت ثابت در حال حرکت است.

پ) قایقرانی در حال پارو زدن است.

ت) چتربازی در هوای آرام و در امتداد قائم در حال سقوط است.

ث) هواپیمایی در یک سطح پروازی افقی با سرعت ثابت در حال حرکت است.

ج) توپی در راستای قائم به زمین برخورد می‌کند و برمی‌گردد.

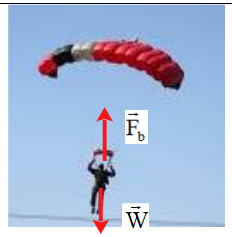
ب)

کنش	واکنش
نیروی که زمین به کشتی وارد می کند. $\vec{W}$	نیروی که کشتی به زمین وارد می کند. $\vec{W}'$
نیروی که از طرف آب (نیروی شناوری) به کشتی وارد می شود. $\vec{F}_b$	نیروی که از طرف کشتی به آب وارد می شود. $\vec{F}'_b$
نیروی که در جهت مخالف حرکت از طرف آب و مولکول های هوا به سطح کشتی وارد می شود. $\vec{f}$	نیروی که در جهت حرکت کشتی به آب و مولکول های هوا وارد می شود. $\vec{f}'$

پ)

کنش	واکنش
نیروی که زمین به قایق وارد می کند. $\vec{w}$	نیروی که قایق به زمین وارد می کند. $\vec{w}'$
نیروی که از طرف آب (نیروی شناوری) به قایق وارد می شود. $\vec{F}_b$	نیروی که از طرف قایق به آب وارد می شود. $\vec{F}'_b$
نیروی موازی در جهت مخالف حرکت از طرف آب و مولکول های هوا به سطح قایق وارد می شود. $\vec{f}$	نیروی که در جهت حرکت قایق به آب و مولکول های هوا وارد می شود. $\vec{f}'$
نیروی که از طرف آب به پارو وارد می کند. $\vec{F}$	نیروی که از طرف آب به پارو وارد می‌کند. $\vec{F}'$

ت)

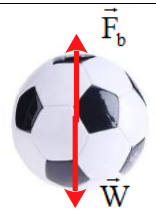


کنش	واکنش
نیروی که زمین به چترباز وارد می کند. $\vec{W}$	نیروی که چترباز به زمین وارد می کند. $\vec{W}'$
نیروی که از طرف مولکولهای هوا به چترباز وارد می‌شود. $\vec{F}_b$	نیروی که از طرف چترباز به مولکولهای هوا وارد می شود. $\vec{F}_b'$

ت)

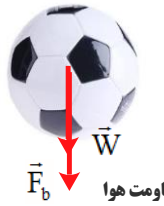
کنش	واکنش
نیروی که زمین به هواپیما وارد می کند. $\vec{w}$	نیروی که هواپیما به زمین وارد می کند. $\vec{w}'$
نیروی که از طرف مولکولهای هوا رو به بالا (نیروی شناوری) به هواپیما وارد می شود. $\vec{F}_b$	نیروی که از طرف هواپیما به مولکولهای هوا وارد می شود. $\vec{F}_b'$
نیروی که در جهت مخالف حرکت از مولکول های هوا به سطح هواپیما وارد می شود. $\vec{f}$	نیروی که در جهت حرکت هواپیما به مولکول های هوا وارد می شود. $\vec{f}'$

ج)



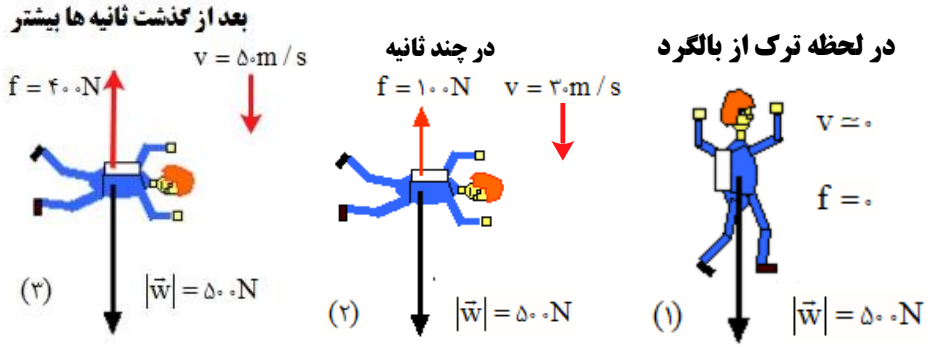
قبل از برخورد:

کنش	واکنش
نیروی که زمین به توپ وارد می کند. $\vec{W}$	نیروی که توپ به زمین وارد می کند. $\vec{w}'$
نیروی که از طرف مولکول‌های هوا رو به بالا به توپ وارد می شود. $\vec{F}_b$	نیروی که از طرف توپ به مولکول‌های هوا وارد می شود. $\vec{F}'_b$

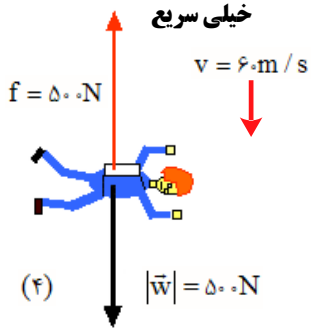


بعد از برخورد:

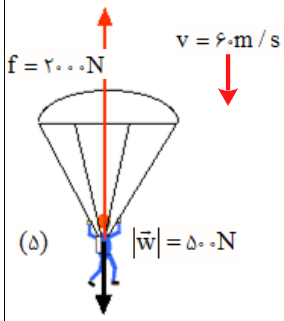
نیروی که زمین به توپ وارد می کند. $\vec{W}$	نیروی که توپ به زمین وارد می کند. $\vec{w}'$
نیروی که از طرف مولکولهای هوا رو به پایین به توپ وارد می شود. $\vec{F}_b$	نیروی که از طرف توپ به مولکولهای هوا وارد می شود. $\vec{F}'_b$

۲۵	۷. راننده خودرویی که با سرعت $72/0 km/h$ در یک مسیر مستقیم در حال حرکت است، با دیدن مانعی اقدام به ترمز می کند و خودرو پس از طی مسافت $20/0 m$ متوقف می‌شود. الف) شتاب خودرو در مدت ترمز چقدر است؟ ب) از لحظهٔ ترمز تا توقف کامل خودرو، چقدر طول می کشد؟ پ) نیروی اصطکاک بین لاستیک‌ها و سطح چقدر است؟ جرم خودرو را $1200 kg$ بگیرید.	الف) $v_0 = 72 km/h = 72 \div 3/6 m/s = 20 m/s$ $v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x \rightarrow 0^2 - (20 m/s)^2 = 2a \times 20 m$ $a = -\frac{400}{40} m/s^2 = -10 m/s^2$ ب) $v = at + v_0 \rightarrow 0 = -10(m/s^2)t + 20 m/s \rightarrow t = 2s$ پ) $F - f_k = ma \rightarrow F - f_k = -10(m/s^2) \times 1200 kg \rightarrow f_k = 12000 N$
۲۶	۸. چتربازی از یک بالگرد تقریباً ساکن که در ارتفاع نسبتاً زیادی قرار دارد، به بیرون می‌پرد و پس از مدتی چتر خود را باز می‌کند و در امتداد قائم سقوط می‌کند. حرکت چترباز را از لحظهٔ پرش تا رسیدن به زمین تحلیل کنید و نموداری تقریبی از تندی آن بر حسب زمان رسم کنید.	فرض می کنیم شخصی به وزن $500\ N$ از بالگرد به بیرون می پرد. بعد از پریدن چترباز، سرعت اولیه آن بسیار نا چیز است و تندی و مقاومت هوا افزایش می یابد.  پس از مدتی مقاومت هوا با وزن چترباز برابر شده و نیروی خالص وارد بر چترباز صفر می شود و چترباز با تندی ثابتی به طرف زمین حرکت می کند.

خیلی سریع

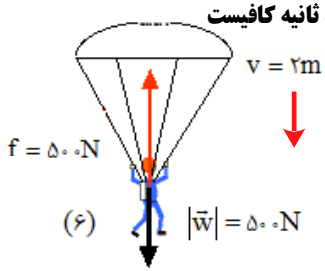


باز کرد چتر

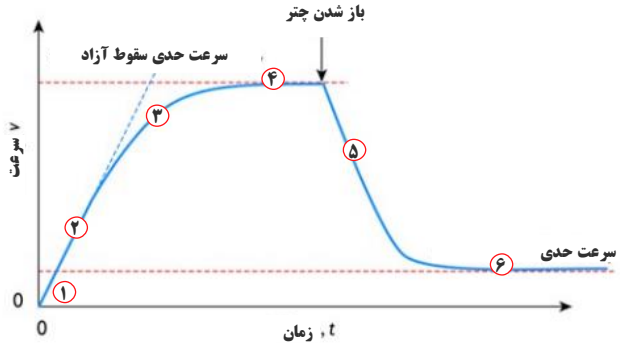


در این حالت چترباز چتر را باز می کند. که باعث افزایش نیروی مقاومت هوا خواهد شد.

چند ثانیه کافیست



در نهایت نیروی مقاومت کاهش یافته و برابر سرعت وزن خواهد شد و جسم با تندی کم تر به زمین می رسد.



۲۷

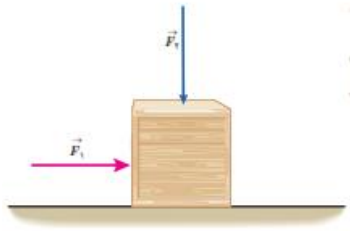
۹. در شکل زیر، نیروی F_1 به بزرگی ۲۰/۰N بر جعبه وارد شده است، اما جعبه همچنان ساکن است. اگر در همین حالت بزرگی نیروی قائم $\vec{F}_2$ که جعبه را به زمین می‌فشارد از صفر شروع به افزایش کند، کمیت‌های زیر چگونه تغییر می‌کنند؟

الف) اندازهٔ نیروی عمودی سطح وارد بر جعبه

ب) اندازهٔ نیروی اصطکاک ایستایی وارد بر جعبه

پ) اندازهٔ بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی

ت) نیروی خالص وارد بر جسم

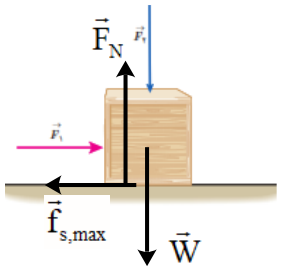


الف)

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a}$$

$$F_N - F_2 - W = ma = 0 \quad \rightarrow \quad F_N = F_2 + W$$

با افزایش F_2 ، نیروی عمودی سطح وارد بر جعبه افزایش می یابد.



ب)

$$F_1 - F_s = ma = 0 \quad \rightarrow \quad F_1 = F_s$$

تغییر نمی کند.

پ)

$$f_{s,max} = \mu_s F_N \quad \rightarrow \quad f_{s,max} = \mu_s (F_2 + W)$$

با افزایش F_2 ، $f_{s,max}$ مقدار افزایش می یابد.

ت) نیروی خالص وارد برجسم در راستای x و y صفر است. چون جسم در این دو راستا حرکتی ندارد.

۲۸

۱۰. می‌خواهیم به جسمی که جرم آن ۵/۰ kg است، شتاب ۲/۰ m/s^2 بدهیم. در هر یک از حالت‌های زیر، نیرویی را که باید به جسم وارد کنیم محاسبه کنید.

الف) جسم روی سطح افقی بدون اصطکاک حرکت کند.

ب) جسم روی سطح افقی با ضریب اصطکاک ۰/۲۰ به طرف راست حرکت کند، و شتابش نیز به طرف راست باشد.

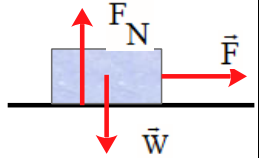
پ) جسم در راستای قائم با شتاب رو به بالا شروع به حرکت کند.

ت) جسم در راستای قائم با شتاب رو به پایین شروع به حرکت کند.

الف)

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \quad \rightarrow \quad F = ma$$

$$\rightarrow \quad F = (5/0\,kg)(2\frac{m}{s^2}) = 10\,N$$



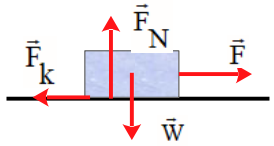
ب)

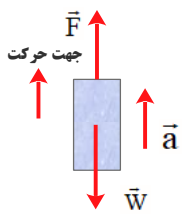
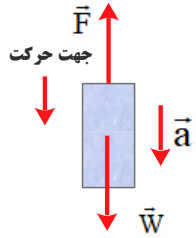
$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \quad \rightarrow \quad F - F_k = ma$$

$$\rightarrow \quad F - \mu_k W = ma$$

$$F - (0/20)(5/0\,kg)(9/8\frac{N}{kg}) = (5/0\,kg)(2/0\frac{m}{s^2})$$

$$\rightarrow \quad F - (9/8\,N) = 10\,N \quad \rightarrow \quad F = 19/8\,N$$



		پ)  $\vec{F}_{net} = m\vec{a} \rightarrow F - W = ma \rightarrow F - mg = ma$ $F - (۵/۰\,kg)(۹/۸\frac{N}{kg}) = (۵/۰\,kg)(۲/۰\frac{m}{s^۲})$ $\rightarrow F - (۴۹\,N) = ۱۰\,N \rightarrow F = ۵۹\,N$ ت)  $W - F = ma \rightarrow mg - F = ma$ $(۵/۰\,kg)(۹/۸\frac{N}{kg}) - F = (۵/۰\,kg)(۲/۰\frac{m}{s^۲})$ $\rightarrow (۴۹\,N) - F = ۱۰\,N \rightarrow F = ۳۹\,N$
۲۹	**II.** قطعه‌چوبی را با سرعت افقی ۱۰/۰m/s روی سطحی افقی پرتاب می‌کنیم. ضریب اصطکاک جنبشی بین چوب و سطح ۰/۲۰ است. الف) چوب پس از پیمودن چه مسافتی می‌ایستد؟ ب) اگر از یک قطعه‌چوب دیگر استفاده کنیم که جرم آن دو برابر جرم قطعه‌چوب اول و ضریب اصطکاک جنبشی آن با سطح افقی با اولی یکسان باشد و با همان سرعت پرتاب شود، مسافت پیموده شدهٔ آن چند برابر می‌شود؟	الف) $\vec{F}_{net} = m\vec{a} \rightarrow -f_k = ma \rightarrow -\mu_k F_N = ma$ $-\mu_k mg = ma \rightarrow a = -\mu_k g$ $a = -(۰/۲)(۹/۸\frac{N}{kg}) = -۱/۹۶\frac{N}{kg}$ جسم متوقف شده است، بنابراین $V = ۰$ است. $V^۲ - V_۰^۲ = ۲a\Delta x$ $۰ - (۱۰\frac{m}{s})^۲ = ۲(-۱/۹۶N/kg)\Delta x \rightarrow \Delta x = ۲۵/۵۱m$

۳۰

۱۲. وزنه‌ای به جرم ۰/۲ kg را به انتهای فنری به طول ۱۲cm که ثابت آن ۲۰N/cm است می‌بندیم و فنر را از سقف یک آسانسور آویزان می‌کنیم. طول فنر را در حالت‌های زیر محاسبه کنید.

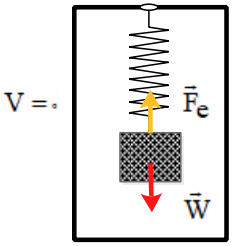
الف) آسانسور ساکن است.

ب) آسانسور با سرعت ثابت ۰/۲m/s رو به پایین در حرکت است.

پ) آسانسور با شتاب ثابت ۰/۲m/s² از حال سکون رو به پایین شروع به حرکت کند.

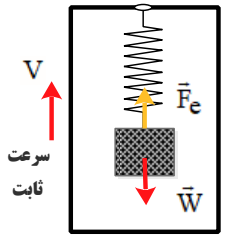
ت) آسانسور با شتاب ثابت ۰/۲m/s² از حال سکون رو به بالا شروع به حرکت کند.

الف)



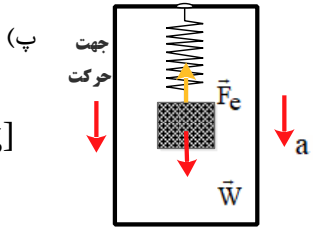
$$F - mg = ۰ \rightarrow k\Delta L = mg$$
$$\rightarrow ۲۰(N/cm)(L_۱ - ۱۲cm) = ۲kg \times (۹/۸N/kg)$$
$$\rightarrow L_۱ = ۱۲/۹۸cm$$

ب)



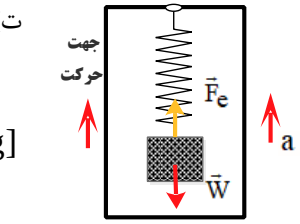
$$F - mg = ۰ \rightarrow k\Delta L = mg$$
$$\rightarrow ۲۰(N/cm)(L_۲ - ۱۲cm) = ۲kg \times (۹/۸N/kg)$$
$$\rightarrow L_۲ = ۱۲/۹۸cm$$

پ)



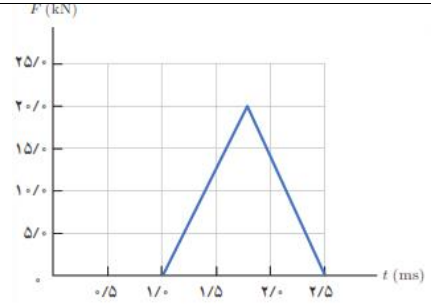
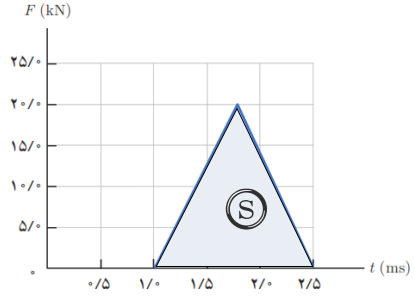
$$F - mg = -ma \rightarrow k\Delta L = m(g - a)$$
$$\rightarrow ۲۰(N/cm)(L_۳ - ۱۲cm) = ۲kg \times [(۹/۸ - ۲)N/kg]$$
$$\rightarrow L_۳ = ۱۲/۷۸\,cm$$

ت)



$$F - mg = ma \rightarrow k\Delta L = m(g + a)$$
$$\rightarrow ۲۰(N/cm)(L_۴ - ۱۲cm) = ۲kg \times [(۹/۸ + ۲)N/kg]$$
$$\rightarrow L_۴ = ۱۳/۱۸\,cm$$

۳۱	۱۳. برای یک راننده دانستن کل مسافت توقف خودرو اهمیت دارد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد کل مسافت توقف، دو قسمت دارد: مسافت واکنش (مسافتی که خودرو از لحظهٔ دیدن مانع تا ترمزگرفتن طی می‌کند) و مسافت ترمز (مسافتی که خودرو از لحظه ترمزگرفتن تا توقف کامل طی می‌کند). الف) دو عامل مؤثر در مسافت واکنش را بنویسید. ب) زمان واکنش راننده‌ای ۰/۶۰s است. در طی این زمان، خودرو مسافت ۱۸m را طی می‌کند. با فرض ثابت بودن سرعت در این مدت، اندازهٔ آن را حساب کنید. پ) اگر در این سرعت راننده ترمز کند و خودرو پس از ۵/۰s متوقف شود، مسافت ترمز و شتاب خودرو را حساب کنید. ت) وقتی خودرو ترمز می‌کند، نیروی خالص وارد بر آن چقدر است؟ جرم خودرو را ۱۵۰۰kg فرض کنید.	الف) زمان واکنش و تندی خودرو ب) $\Delta x = vt \rightarrow 18m = v \times 0/6s \rightarrow v = 30m/s$ پ) $x = (\frac{v + v_0}{2})t = (\frac{0 + 30m/s}{2}) \times 5s \rightarrow 75m$ $a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{0 - 30m/s}{5s} \rightarrow a = 6m/s$ ت) $F_{net} = ma \rightarrow F_{net} = 1500kg \times -6(N/kg) \rightarrow F_{net} = -9000N$
۳۲	۱۴. یک خودروی باری با طناب افقی محکمی، یک خودروی سواری به جرم ۱۵۰۰kg را می‌کشد. نیروی اصطکاک و مقاومت هوا در مقابل حرکت خودروی سواری ۲۲۰N و ۳۸۰N است. الف) اگر سرعت خودرو ثابت باشد نیروی کشش طناب چقدر است؟ ب) اگر خودرو با شتاب ثابت ۲/۰m/s² به طرف راست کشیده شود، نیروی کشش طناب چقدر است؟	نیروی خالص عمودی حاصل از سطح زمین $\vec{F}_N$ نیروی مقاومت هوا $\vec{f}$　نیروی کشش $\vec{T}$ $\vec{f}_k$ نیروی اصطکاک　$\vec{W}$ الف) $T - f_k - f = ma = 0 \rightarrow T = f_k + f = 380N + 220N = 600N$ ب) $T' - f_k - f = ma \rightarrow T' = 2(N/kg) \times 1500kg + 600N = 3600N$
۳۳	۱۵. کتابی را مانند شکل با نیروی عمودی F به دیوار قائمی فشرده و ثابت نگه داشته‌ایم. الف) نیروهای وارد بر کتاب را رسم کنید. ب) اگر جرم کتاب ۲/۵kg باشد، اندازهٔ نیروی اصطکاک را به دست آورید. پ) اگر کتاب را بیشتر به دیوار بفشاریم، آیا نیروی اصطکاک تغییر می‌کند؟ با این کار چه نیروهایی افزایش می‌یابد؟	الف) نیروی اصطکاک ایستایی $\vec{F}_s$ F $\vec{F}_N$ نیروی عمودی تکیه گاه $\vec{W}$ نیروی وزن ب) $mg - f_s = ma = 0 \rightarrow f_s = mg$ $\rightarrow f_s = 2/5kg \times 9/8N/kg = 24/5N$ پ) خیر – نیروی اصطکاک تغییری نمی کند. $F_N - F = 0 \rightarrow F = F_N$

	۲ـ۳ تکانه و قانون دوم نیوتن	
۳۴	**تمرین ۲ـ۷** نشان دهید بین اندازهٔ تکانه (p) و انرژی جنبشی (K) جسمی به جرم m، رابطهٔ $K=\frac{p^2}{2m}$ برقرار است.	$k=\frac{1}{2}mv^2$ $P=mv\rightarrow v=\frac{P}{m}$ $\rightarrow k=\frac{1}{2}m\left(\frac{P}{m}\right)^2\rightarrow k=\frac{P^2}{2m}$
۳۵	**۲ـ۳ تکانه و قانون دوم نیوتن** **۱۷.** توپی به جرم ۲۸۰g با تندی ۱۵/۰m/s به‌طور افقی به بازیکنی نزدیک می‌شود. بازیکن با مشت به توپ ضربه می‌زند و باعث می‌شود توپ با تندی ۲۲/۰m/s در جهت مخالف برگردد. الف) اندازهٔ تغییر تکانهٔ توپ را محاسبه کنید. ب) اگر مشت بازیکن ۰/۰۶۰۰s با توپ در تماس باشد، اندازهٔ نیروی متوسط وارد بر مشت بازیکن از طرف توپ را به دست آورید.	الف) $\Delta P=m\Delta v=m(v_2-v_1)$ $\Delta P=0/28kg\times(-22m/s-15m/s)$ $\Delta P=-10/36kgm/s$ ب) $\bar{F}=\frac{\Delta P}{\Delta t}=\frac{-10/36kgm/s}{0/06s}=-172/6N$
۳۶	**۱۷.** شکل زیر، منحنی نیروی خالص برحسب زمان را برای توپ بیسبالی که با چوب بیسبال به آن ضربه زده شده است، نشان می‌دهد. تغییر تکانهٔ توپ و نیروی خالص متوسط وارد بر آن را به دست آورید. 	$S_{(F-t)}=\Delta P$ $S_{(F-t)}=\frac{1}{2}(2/5s-1s)\times10^{-3}\times20\times10^{3}N$ $S_{(F-t)}=\Delta P=15N.s$ $\bar{F}=\frac{\Delta P}{\Delta t}=\frac{15N.s}{1/5\times10^{-3}s}=10000N$ 

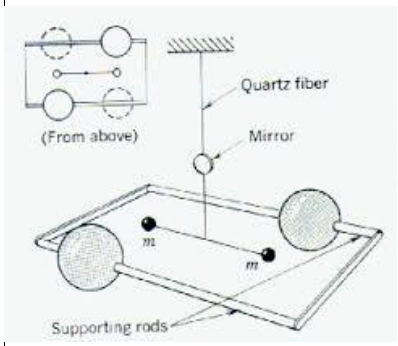
۲ـ۴ نیروی گرانشی

۳۷

فعالیت۲ـ۵

ثابت گرانشی G را اولین بار هنری کاوندیش[۲] در سال ۱۷۹۸ اندازه‌گیری کرد. در مورد روش اندازه‌گیری G توسط هنری‌کاوندیش تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

ترازوی کاوندیش وسیله‌ای است که برای بررسی تجربی قانون جهانی گرانش نیوتن بکار می‌رود. نیوتن قانون گرانش خود بیان می‌کند که هر گاه دو ذره به جرم‌های m_1 و m_2 به فاصله r از یکدیگر قرار گیرند، این دو نیرو جاذبه‌ای بر یکدیگر وارد می‌کنند که این نیرو با حاصل ضرب اندازه دو جرم نسبت مستقیم و با مجذور فاصله بین آنها نسبت عکس دارد. اما این تناسب را می‌توان تعریف یک ثابت تناسب در تساوی تبدیل نمود. این ثابت را ثابت جهانی گرانش می‌گویند. برای تعیین مقدار ثابت جهانی گرانش که ان را با G نمایش می‌دهیم، باید نیروی جاذبه میان دو جرم را اندازه گیری کنیم.



قسمتهای مختلف ترازوی کاوندیش

دو گلوله به جرم m

دو گلوله کوچک هر یک جرم m، به دو انتهای یک میله سبکی متصل می‌شوند. این میله، دمبل صلبی است که محورش افقی است و توسط یک رشته نازک قائم آویزان شده است.

دو گلوله بزرگ به جرم M

دو گلوله بزرگ هر کدام به جرم M ، که در نزدیک دو سر دمبل و در دو طرف مخالف قرار داده شده‌اند. این دو گلوله نیز بر روی یک میله افقی قرار گرفته‌اند و نقطه وسط این میله بر روی تکیه گاهی قرار گرفته است، به گونه‌ای که می‌تواند آزادانه بچرخد. نقطه وسط این میله درست در راستای مرکز دمبل و در زیر آن قرار دارد.

آینه کوچک

این آینه کوچک بر روی رشته نازک و کمی بالاتر از دمبل قرار دارد. از طریق یک چشمه نور، بر این آینه نور تابیده می‌شود، نور منعکس شده از آینه بر روی یک مقیاس شیشه‌ای می‌افتد و به این وسیله میزان انحراف آینه (یا زاویه چرخش) آن قابل اندازه گیری است.

شرح کار ترازوی کاوندیش

هر گاه میله‌ای که دو جرم بزرگ m بر روی آن قرار گرفته‌اند، جرم‌های بزرگ M در نزدیکی جرم‌های کوچک m قرار گیرند، در این صورت بر اساس قانون جهانی گرانش نیوتن، بر گلوله‌های کوچک نیرو

جاذبه‌ای وارد می‌شود، این امر باعث چرخیدن دمبل و در نتیجه تاب خوردن رشته نازک و چرخش آینه می‌شود. با استفاده از شیشه مدرج می‌توان میزان انحراف آینه (زاویه α) را هنگام چرخش گلوله‌های کوچک اندازه گیری نمود.

اندازه گیری G

ثابت G به کمک روش انحراف بیشینه تعیین می شود، همان‌طور که در طرز ترازو گفته شود میله بر اثر گرانش گلوله‌های بزرگ حول نقطه آویز می‌چرخد. در حین چرخش با گشتاور نیروها مخالفت می‌کند، α زاویه پیچش رشته هنگام حرکت گلوله‌ها از موضعی به موضع دیگر با مشاهده انحراف باریکه بازتابیده از آینه کوچک متصل به رشته اندازه گیری شود (تصویر رشته لامپ توسط آینه متصل به m و m روی خط کش مدرج می‌افتد و در نتیجه هر گونه دوران m و m قابل اندازه گیری است).

اگر جرم‌ها و فاصله میان آنها و نیز ثابت پیچش رشته معلوم باشد، می‌توانیم G را از روی زاویه پیچش اندازه گیری شده محاسبه کنیم. چون نیروی جاذبه کم است اگر بخواهیم پیچش قابل مشاهده‌ای داشته باشیم باید ثابت پیچش رشته فوق العاده کوچک باشد. در این ترازو جرم‌ها مسلما ذره نیستند، بلکه اجسامی بزرگ هستند، اما چون این جرم‌ها کره‌های یکنواختی هستند از لحاظ گرانشی طوری عمل می‌کنند که گویی تمام جرم آنها در مرکزشان متمرکز شده است. چون G بسیار کوچک است نیروهای گرانشی میان اجسام بر روی سطح زمین فوق العاده کوچک هستند و می‌توان از آنها صرف‌نظر کرد.

۳۸

تمرین ۲ــ ۸

نشان دهید که شتاب گرانشی در سطح زمین از رابطهٔ $g = G\frac{M_e}{R_e^2}$ به‌دست می‌آید.

$$\left.\begin{matrix} F = G\dfrac{M_e m}{r^2} \\ F = mg_h \end{matrix}\right\} \rightarrow G\frac{M_e m}{r^2} = mg_h \rightarrow g_h = G\frac{M_e}{(R_e + h)^2}$$

$$\rightarrow g_h = G\frac{M_e}{(R_e + h)^2} \xrightarrow{h=0} g_0 = G\frac{GM_e}{R_e^2}$$

۳۹

تمرین ۲ــ ۹

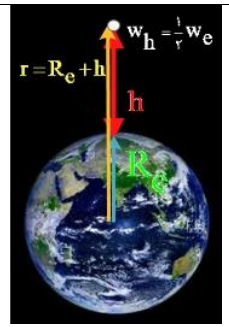
تلسکوپ فضایی هابل در ارتفاع تقریبی ۶۰۰ کیلومتری از سطح زمین به دور زمین می‌چرخد.

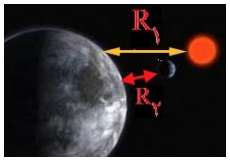
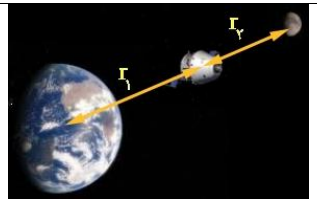
الف) شتاب گرانشی در این فاصله چقدر است؟

ب) وزن این تلسکوپ در این ارتفاع چند برابر وزن آن روی زمین است؟

الف)

$$\left.\begin{matrix} F = G\dfrac{M_e m}{r^2} \\ F = mg_h \end{matrix}\right\} \rightarrow G\frac{M_e m}{r^2} = mg_h \rightarrow g_h = G\frac{M_e}{(R_e + h)^2}$$

		$g_h = \frac{۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\,Nm^۲/kg^۲ \times ۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}\,kg}{\left(۶۴\times۱۰^{۵}\,m + ۶\times۱۰^{۵}\,m\right)^۲} = ۰/۸۱۴\times۱۰\,m/s^۲ = ۸/۱۴\,m/s^۲$ ب) $\frac{w_h}{w_{R_e}} = \frac{G\frac{M_e}{r^۲}}{G\frac{M_e}{R_e^{\,۲}}} = \left(\frac{R_e}{r}\right)^۲ \rightarrow \frac{w_h}{w_{R_e}} = \left(\frac{۶۴۰۰\,km}{۷۰۰۰\,km}\right)^۲ = ۰/۸۲$
۴۰	**۱۸.** دو جسم در فاصلهٔ ۲۰/۰m از هم، یکدیگر را با نیروی گرانشی کوچک $۱/۰۰\times۱۰^{-۸}N$، جذب می‌کنند. اگر جرم یکی از اجسام ۵۰/۰kg باشد، جرم جسم دیگر چقدر است؟	$F = G\frac{M_e m}{r^۲} \rightarrow ۱۰^{-۸}N = \frac{۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\,Nm^۲/kg^۲ \times ۵۰kg\times m}{(۲m)^۲} \rightarrow m = ۱۱۹۹kg$
۴۱	**۱۹.** الف) در چه ارتفاعی از سطح زمین، وزن یک شخص به نصف مقدار خود در سطح زمین می‌رسد؟ ب) اگر جرم ماهواره‌ای ۲۵۰kg باشد، وزن آن در ارتفاع ۳۶۰۰۰ کیلومتری از سطح زمین چقدر خواهد شد؟ $(M_e = ۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}kg$ و $R_e = ۶۴۰۰km)$	الف)  $\frac{w_h}{w_{R_e}} = \left(\frac{R_e}{R_e + h}\right)^۲ \rightarrow \frac{۱}{۲} = \left(\frac{R_e}{R_e + h}\right)^۲$ $\rightarrow \sqrt{۲}R_e = R_e + h \rightarrow h = (\sqrt{۲} - ۱)R_e = ۰/۴۱R_e$ ب) $F = G\frac{M_e m}{r^۲}$ $F = \frac{۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\,Nm^۲/kg^۲ \times ۲۵۰kg\times ۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}\,kg}{(۳۶۰۰۰\times۱۰^{۳}\,m + ۶۴۰۰\times۱۰^{۳}\,m)^۲}$ $F = ۵۵/۴۶۷N$

۴۲	**۴۰.** الف) شتاب گرانشی ناشی از خورشید در سطح زمین چقدر است؟ ب) شتاب گرانشی ناشی از ماه در سطح زمین چقدر است؟ $M_{ماه}=۷/۳۶\times۱۰^{۲۲}kg$ و $M_{خورشید}=۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}kg$ فاصلهٔ زمین تا خورشید $=۱۴۹/۶\times۱۰^{۶}km$ فاصلهٔ زمین تا ماه $=۳/۸۴\times۱۰^{۵}km$	الف)  $g_{R_{e۱}}=\frac{GM_s}{R_۱^۲}=\frac{۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}Nm^۲/kg^۲\times۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}kg}{(۱۴۹/۶\times۱۰^{۶}\times۱۰^{۳}m)^۲}$ $g_{R_{e۱}}=۵/۹۳\times۱۰^{-۳}N/kg$ ب) $\left.\begin{array}{l}F=G\frac{M_em}{r^۲}\\F=mg_h\end{array}\right\}\rightarrow G\frac{M_em}{r^۲}=mg_h\rightarrow g_h=G\frac{M_e}{(R_e+h)^۲}$ $g_{R_{e۲}}=\frac{GM_m}{R_۲^۲}=\frac{۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}Nm^۲/kg^۲\times۷/۳۶\times۱۰^{۲۲}kg}{(۳/۸۴\times۱۰^{۵}\times۱۰^{۳}m)^۲}=۳/۳۳\times۱۰^{-۵}N/kg$
۴۳	**۴۱.** الف) سفینه‌ای به جرم $۳/۰۰\times۱۰^{۴}kg$ در وسط فاصلهٔ بین زمین و ماه قرار دارد. نیروی گرانشی خالصی را که از طرف زمین و ماه به این سفینه در این مکان وارد می‌شود به‌دست آورید (از داده‌های مسئله‌های قبل استفاده کنید). ب) در چه فاصله‌ای از زمین، نیروی گرانشی ماه و زمین بر سفینه، یکدیگر را خنثی می‌کنند؟ $M_{ماه}=۷/۳۶\times۱۰^{۲۲}kg$ و $M_{خورشید}=۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}kg$ فاصلهٔ زمین تا خورشید $=۱۴۹/۶\times۱۰^{۶}km$ فاصلهٔ زمین تا ماه $=۳/۸۴\times۱۰^{۵}km$	الف)  $F_{em}=G\frac{M_em}{r_۱^۲}$ & $F_{mm}=G\frac{M_mm}{r_۲^۲}$ $F_{net}=G\frac{M_em}{r_۱^۲}-G\frac{M_mm}{r_۲^۲}=\frac{Gm}{r}(M_e-M_m)$ $r_۱=r_۲=r=\frac{۱}{۲}d=\frac{۱}{۲}\times۳/۸۴\times۱۰^{۵}km=۱/۹۲\times۱۰^{۸}m$ $F_{net}=\frac{۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}Nm^۲/kg^۲\times۳\times۱۰^{۴}kg}{(۱/۹۲\times۱۰^{۸}m)^۲}(۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}kg-۷/۳۶\times۱۰^{۲۲}kg)$ $F_{net}=۳۲۰/۵۹N$ ب) $\left.\begin{array}{l}F_{net}=G\frac{M_em}{r_۱^۲}-G\frac{M_mm}{r_۲^۲}\\r_۱+r_۲=d\end{array}\right\}\rightarrow ۰=G\frac{M_em}{r_۱^۲}-G\frac{M_mm}{r_۲^۲}\rightarrow\frac{M_e}{r_۱^۲}=\frac{M_m}{r_۲^۲}$

$\frac{M_e}{M_m}=\frac{r_1^2}{(d-r_1)^2}\rightarrow\frac{r_1}{(d-r_1)}=\sqrt{\frac{5/98\times10^{24}kg}{7/36\times10^{22}kg}}=9$ $\rightarrow\frac{r_1}{d-r_1}=9\rightarrow r_1=9d-9r_1\rightarrow r_1=0/9d=3/456\times10^{8}m$		