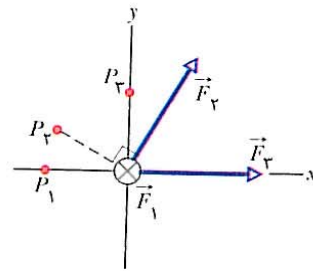


۴- بردار مکان  $\vec{r}$  برای ذره‌ای نسبت به نقطه‌ای معین دارای بزرگی ۳ m و نیروی  $\vec{F}$  وارد بر ذره دارای بزرگی ۴ N است.



وقتی بزرگی گشتاور نیروی وابسته به آن برابر (الف) صفر و (ب)  $12 \text{ N}\cdot\text{m}$  باشد، زاویه میان جهت‌های  $\vec{r}$  و  $\vec{F}$  چقدر است؟  
۵- در شکل ۱۱-۲۶ سه نیرو با بزرگی‌های برابر به ذره‌ای واقع در مبدأ وارد می‌شوند ( $\vec{F}_1$  به طور عمود به طرف داخل صفحه

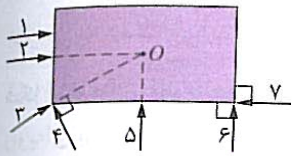
شکل ۱۱-۲۶ پرسش ۵

شکل وارد می‌شود). این نیروها را برحسب بزرگی گشتاور نیروهای ایجاد شده نسبت به (الف) نقطه  $P_1$ ، (ب) نقطه  $P_2$  و (پ) نقطه  $P_3$  از بزرگ به کوچک مرتب کنید.

۶- اندازه حرکت‌های زاویه‌ای  $\ell(t)$  ذره‌ای در چهار وضعیت عبارت‌اند از (۱)  $\ell = 3t + 4$ ؛ (۲)  $\ell = -6t^2$ ؛ (۳)  $\ell = 2$ ؛ (۴)  $\ell = \frac{4}{t}$ . در کدام وضعیت گشتاور نیروی خالص وارد بر ذره برابر (الف) صفر، (ب) مقداری ثابت و مثبت، (پ) مقداری منفی و با افزایش در بزرگی (ت)  $(t > 0)$  است؟ (ت) مقداری منفی و با کاهش در بزرگی  $(t > 0)$  است؟

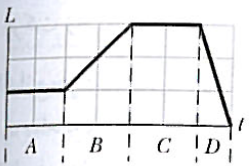
۷- سوسکی روی لبه یک قرص افقی که به طور پادساعتگرد شبیه یک چرخ و فلک می‌چرخد قرار دارد. اگر این سوسک در امتداد لبه و در جهت چرخش حرکت کند، آیا بزرگی این کمیتها (که حول محور چرخش اندازه‌گیری می‌شوند) نسبت به محور چرخش افزایش می‌یابند یا کاهش یا تغییر نمی‌کنند (با فرض اینکه قرص باز هم به طور پادساعتگرد بچرخد): (الف) اندازه حرکت زاویه‌ای سامانه سوسک - قرص، (ب) اندازه حرکت زاویه‌ای و سرعت زاویه‌ای سوسک، (پ) اندازه حرکت زاویه‌ای و سرعت زاویه‌ای قرص. (ت) اگر سوسک در جهت مخالف چرخش قرص حرکت کند، پاسخهای شما چه تغییری خواهند داشت؟

۸- شکل ۱۱-۲۷ نمای از بالای یک قطعه چهار گوش را نشان می‌دهد که می‌تواند همانند یک چرخ و فلک حول مرکز  $O$  بچرخد. همچنین هفت مسیر را نشان داده‌ایم که در امتداد هر یک از آنها می‌توان گلوله‌هایی از آدامس جویده شده را (همگی با تندی و جرم برابر) پرتاب کرد تا به قطعه ساکن بچسبند. (الف) این مسیرها را برحسب تندی زاویه‌ای که قطعه (و آدامس) پس از چسبیدن آدامس به دست می‌آورد به ترتیب از بزرگ به کوچک بنویسید. (ب) برای کدام مسیر اندازه حرکت زاویه‌ای قطعه (و آدامس) نسبت به نقطه  $O$  با توجه به شکل ۱۱-۳۰ منفی خواهد بود؟



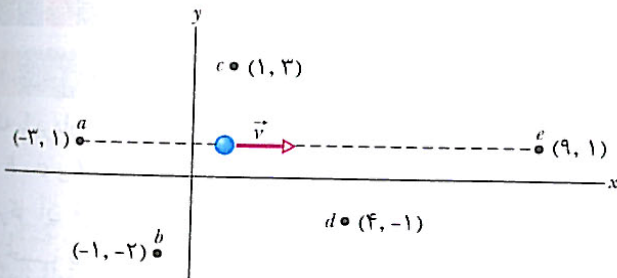
شکل ۱۱-۲۷ پرسش ۸

۹- شکل ۱۱-۲۸ بزرگی اندازه حرکت زاویه‌ای  $L$  یک چرخ را برحسب زمان  $t$  نشان می‌دهد. بزرگی گشتاور نیروی وارده بر چرخ را در چهار بازه زمانی نشان داده به ترتیب از بزرگ به کوچک بنویسید.



شکل ۱۱-۲۸ پرسش ۹

۱۰- شکل ۱۱-۲۹ ذره‌ای را در حال حرکت با سرعت ثابت  $\vec{v}$  و پنج نقطه با مختصات  $xy$  مربوط به آنها نشان می‌دهد. این نقطه‌ها را با توجه به بزرگی اندازه حرکت زاویه‌ای ذره نسبت به آنها به ترتیب از بزرگ به کوچک بنویسید.



شکل ۱۱-۲۹ پرسش ۱۰

## مسئله‌ها

مسئله‌های آموزشی قابل دسترس (در نسخه مدرس).



<http://www.wiley.com/college/halliday>

WWW: پاسخ در

SSM: پاسخ قابل دسترس در کتاب حل مسئله‌ها

تعداد نقطه‌ها درجه دشوار بودن سطح مسئله را نشان می‌دهد. ILW: پاسخ یادگیری تعاملی در

اطلاعات اضافی در سیرک پرنده فیزیک و در [flyingcircusofphysics.com](http://flyingcircusofphysics.com) قابل دسترس است.



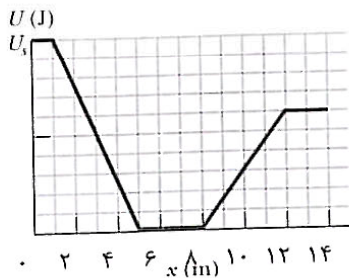
## بخش ۱۱-۲ غلتش به صورت ترکیب انتقال و چرخش

۱۰- اتومبیلی با تندی  $80 \text{ km/h}$  روی سطح جاده‌ای در جهت مثبت محور  $x$  حرکت می‌کند. هر چرخ دارای قطر  $66 \text{ cm}$  است. نسبت به شخصی که رانندگی می‌کند و با نماد بردار یک‌ه سرعت

$\vec{v}$  در (الف) مرکز، (ب) بالا و (پ) پایین چرخ و نیز بزرگی  $a$  شتاب در (ت) مرکز (ث) بالا و (ج) پایین هر چرخ چقدر است؟ نسبت به شخصی که کنار جاده نشسته است، سرعت  $\vec{v}$  در (ج) مرکز (ح) بالا و (خ) پایین چرخ و بزرگی شتاب  $a$  در (د) مرکز (ذ) بالا و (ر) پایین هر چرخ چقدر است؟



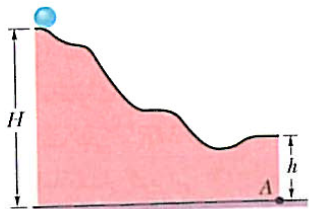
**۸۰۰-** شکل ۱۱-۳۲ انرژی پتانسیل  $U(x)$  یک گلوله توپر را نشان می‌دهد که می‌تواند در امتداد محور  $x$  بغلتد. مقیاس محور  $U$  برحسب  $U_s = 100 \text{ J}$  مشخص شده است. گلوله یکنواخت است و به طور هموار می‌غلتد و دارای جرم  $0.400 \text{ kg}$  است. گلوله را از  $x = 7.0 \text{ m}$  در جهت منفی محور  $x$  با انرژی مکانیکی  $75 \text{ J}$  رها می‌کنیم. (الف) اگر گلوله بتواند به  $x = 0 \text{ m}$  برسد، تندی در آنجا چقدر است و اگر نتواند برسد نقطه بازگشت آن را به دست آورید. حال فرض کنید



گلوله را در جهت مثبت محور  $x$  از  $x = 7.0 \text{ m}$  با انرژی  $75 \text{ J}$  رها کنیم. (ب) اگر گلوله بتواند به  $x = 13 \text{ m}$  برسد تندی در آن نقطه چقدر است؟ اگر نتواند برسد نقطه بازگشت آن را به دست آورید.

شکل ۱۱-۳۲ مسئله ۸

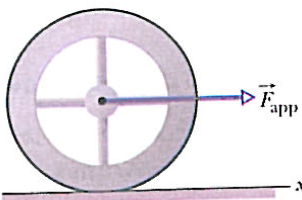
**۹۰۰-** در شکل ۱۱-۳۳ یک گلوله توپر به طور هموار از حال سکون شروع به غلتش می‌کند (ارتفاع اولیه  $H = 6.0 \text{ m}$  است) و در انتهای این مسیر که افقی است و در ارتفاع  $h = 2.0 \text{ m}$  قرار دارد، از مسیر جدا می‌شود. فاصله افقی نقطه برخورد گلوله با زمین تا نقطه  $A$  چقدر است؟



شکل ۱۱-۳۳ مسئله ۱۱

**۱۰۰۰-** یک کره توخالی به شعاع  $0.15 \text{ m}$  با لختی چرخشی بدون لغزش به طرف بالای سطح شیب‌داری به زاویه  $30^\circ$  نسبت به افق می‌غلتد. در یک مکان اولیه معین انرژی جنبشی کل کره برابر  $20 \text{ J}$  است. (الف) چه مقدار از انرژی جنبشی اولیه چرخشی است؟ (ب) تندی مرکز جرم کره در مکان اولیه چقدر است؟ وقتی کره به اندازه  $1.0 \text{ m}$  به طرف بالای سطح شیب‌دار از مکان اولیه خود حرکت کند، مطلوب است (پ) انرژی جنبشی کل و (ت) تندی مرکز جرم.

**۱۱۰۰-** در شکل ۱۱-۳۴ یک نیروی افقی ثابت  $\vec{F}_{\text{app}}$  به بزرگی  $10 \text{ N}$  به چرخه با جرم  $10 \text{ kg}$  و شعاع  $0.30 \text{ m}$  وارد می‌شود. این چرخ به طور هموار روی سطحی افقی می‌غلتد و شتاب مرکز جرم آن دارای بزرگی  $0.60 \text{ m/s}^2$  است. (الف) نیروی اصطکاک وارد بر چرخ برحسب نماد بردار یکه چقدر است؟ (ب) لختی چرخشی چرخ نسبت به محور چرخشی که از مرکز جرم آن می‌گذرد چقدر است؟



شکل ۱۱-۳۴ مسئله ۱۱

**۲۰-** اتومبیلی که با تندی  $80.0 \text{ km/h}$  حرکت می‌کند دارای چرخهایی به قطر  $75.0 \text{ cm}$  است. (الف) تندی زاویه‌ای چرخها نسبت به محورشان چقدر است؟ (ب) اگر این اتومبیل به طور یکنواخت با طی  $30.0^\circ$  دور کامل چرخها متوقف شود (بدون لغزش)، بزرگی شتاب زاویه‌ای چرخها چقدر است؟ (پ) اتومبیل در مدت ترمز گرفتن چقدر حرکت خواهد کرد؟

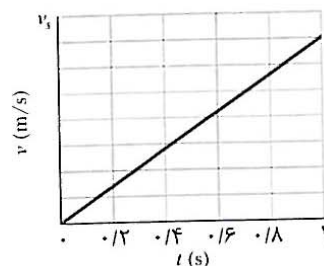
## بخش ۱۱-۴ نیروهای غلتشی

**۳۰-SSM** حلقه‌ای به جرم  $140 \text{ kg}$  روی یک سطح افقی حرکت غلتشی دارد به طوری که مرکز جرم حلقه دارای تندی  $0.150 \text{ m/s}$  است. چه مقدار کار برای متوقف کردن حلقه باید انجام گیرد؟

**۴۰-** کره صلب یکنواختی به طرف پایین یک سطح شیب‌دار می‌غلتد. (الف) زاویه سطح شیب‌دار باید چقدر باشد تا شتاب خطی مرکز کره دارای بزرگی  $0.10g$  گردد؟ (ب) اگر یک قطعه بدون اصطکاک به طرف پایین سطح شیب‌دار در این زاویه بلغزد، آیا بزرگی شتاب آن بیشتر، کمتر یا مساوی  $0.10g$  است؟ چرا؟

**۵۰-ILW** یک اتومبیل  $1000 \text{ kg}$  دارای چهار چرخ  $10 \text{ kg}$  است. وقتی اتومبیل در حال حرکت است، چه کسری از انرژی جنبشی کل آن مربوط به چرخش چرخها حول محورهایشان است؟ فرض کنید که چرخها دارای لختی چرخشی همانند فرصهای یکنواختی با جرم و اندازه یکسان باشند. چرا به شعاع چرخها نیازی نداریم؟

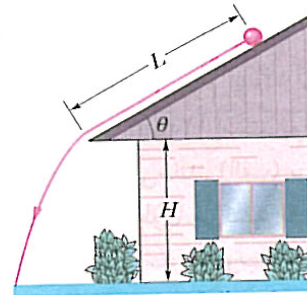
**۶۰۰-** شکل ۱۱-۳۰ تندی  $v$  برحسب زمان  $t$  را برای یک جسم  $0.500 \text{ kg}$  به شعاع  $6.00 \text{ cm}$  که به طور هموار به طرف پایین



یک سطح شیب‌دار  $30^\circ$  می‌غلتد نشان می‌دهد. مقیاس محور عمودی با  $v_s = 4.0 \text{ m/s}$  مشخص شده است. لختی چرخشی این جسم چقدر است؟

شکل ۱۱-۳۰ مسئله ۶

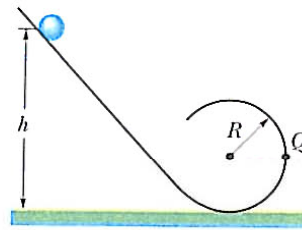
**۷۰۰-ILW** در شکل ۱۱-۳۱ استوانه صلبی به شعاع  $10 \text{ cm}$  و جرم  $12 \text{ kg}$  از حال سکون و بدون لغزش از سقفی که شیب آن  $\theta = 30^\circ$  است به پایین می‌غلتد.



(الف) تندی زاویه‌ای استوانه حول مرکزش وقتی سقف را ترک می‌کند چقدر است؟ (ب) لبه سقف در ارتفاع  $H = 5.0 \text{ m}$  قرار دارد. در چه فاصله افقی از لبه سقف این استوانه با سطح زمین برخورد می‌کند؟

شکل ۱۱-۳۱ مسئله ۷

۱۲۰۰- در شکل ۱۱-۳۵ یک گلوله برنجی توپر به جرم  $0.280\text{ kg}$  از حال سکون در طول یک مسیر مستقیم رها می‌شود و به طور هموار در یک مسیر مارپیچ مانند می‌گردد. شعاع این مارپیچ دایره‌ای برابر  $R = 14.0\text{ cm}$  و شعاع گلوله  $r \ll R$  است. (الف) در صورتی که گلوله به لبه بالایی مسیر دایره‌ای برسد و سپس از آن جدا شود مقدار  $h$  را به دست آورید. اگر گلوله از ارتفاع  $h = 6.00R$  رها شود، مطلوب است محاسبه (ب) بزرگی و (پ) جهت مؤلفه نیروی افقی وارد بر گلوله در نقطه  $Q$ .



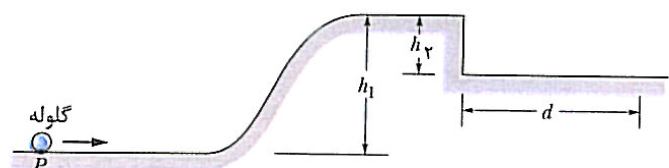
شکل ۱۱-۳۵ مسئله ۱۲

۱۳۰۰۰- گلوله غیر یکنواخت. در شکل ۱۱-۳۶ گلوله‌ای به جرم  $M$  و شعاع  $R$  به طور هموار از حال سکون به طرف پایین سطح شیب‌داری می‌گردد و سپس وارد مسیری دایره‌ای به شعاع  $0.48\text{ m}$  می‌شود. ارتفاع اولیه گلوله  $h = 0.36\text{ m}$  است. پایین مسیر دایره‌ای شکل، بزرگی نیروی عمود بر سطح وارد بر گلوله برابر  $2.00Mg$  است. گلوله از یک پوسته کروی خارجی (با چگالی یکنواخت و معین) تشکیل شده که به یک کره مرکزی (با چگالی یکنواخت ولی متفاوت) چسبیده است. لختی چرخشی گلوله را می‌توان به صورت کلی  $I = \beta MR^2$  نشان داد، اما مقدار  $\beta$  برابر  $0.4$  یعنی همانند چگالی گلوله یکنواخت نیست.  $\beta$  را تعیین کنید.



شکل ۱۱-۳۶ مسئله ۱۳

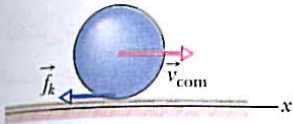
۱۴۰۰۰- در شکل ۱۱-۳۷ گلوله کوچک توپر و یکنواختی را از نقطه  $P$  پرتاب کرده‌ایم، به طوری که گلوله در مسیری افقی به طور هموار می‌گردد و از یک سطح شیب‌دار بالا می‌رود و به یک سطح افقی دیگر می‌رسد. سپس این سطح را به طور افقی ترک می‌کند و روی یک تخته، در فاصله افقی  $d$  از لبه سمت راست سطح فرود می‌آید. ارتفاعهای قائم عبارت‌اند از  $h_1 = 5.00\text{ cm}$  و  $h_2 = 1.60\text{ cm}$ . تندی اولیه گلوله باید چقدر باشد تا وقتی گلوله را از نقطه  $P$  پرتاب می‌کنیم در فاصله  $d = 6.00\text{ cm}$  فرود آید؟



شکل ۱۱-۳۷ مسئله ۱۴

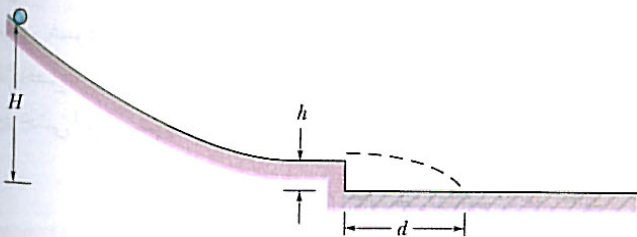
۱۵۰۰- توپ بولینگ به شعاع  $R = 11\text{ cm}$  در امتداد مسیری پرتاب می‌شود. توپ (شکل ۱۱-۳۸) روی مسیر با تندی اولیه  $v_{\text{com},0} = 8.0\text{ m/s}$  و تندی زاویه‌ای اولیه  $\omega_0 = 0$  می‌گردد.

ضریب اصطکاک جنبشی میان توپ و سطح برابر  $0.21$  است. نیروی اصطکاک جنبشی  $\vec{f}_k$  که بر توپ وارد می‌شود یک شتاب خطی به توپ می‌دهد و گشتاور نیرویی ایجاد می‌کند که باعث ایجاد شتاب زاویه‌ای در توپ می‌شود. وقتی تندی  $v_{\text{com}}$  به حد کافی کاهش و تندی زاویه‌ای  $\omega$  به حد کافی افزایش یابد، لغزش توپ متوقف می‌شود و سپس توپ به طور هموار می‌گردد. (الف)  $v_{\text{com}}$  را بر حسب  $\omega$  به دست آورید. در حین لغزش مطلوب است (ب) شتاب خطی و (پ) شتاب زاویه‌ای. (ت) توپ برای چه مدتی می‌لغزد؟ (ث) توپ چه مسافتی می‌لغزد؟ (ج) تندی خطی توپ وقتی غلتش هموار توپ آغاز شود چقدر است؟



شکل ۱۱-۳۸ مسئله ۱۵

۱۶۰۰۰- جسم استوانه‌ای غیر یکنواخت. در شکل ۱۱-۳۹ جسمی به شکل استوانه به جرم  $M$  و شعاع  $R$  به طور هموار از حال سکون به طرف پایین سطح شیب‌داری می‌گردد. سپس از سطح شیب‌دار جدا و وارد یک سطح افقی می‌شود و روی این سطح مسافت افقی  $d = 0.506\text{ m}$  را نسبت به انتهای سطح شیب‌دار می‌پیماید. ارتفاع اولیه جسم  $H = 0.90\text{ m}$  است و انتهای سطح شیب‌دار در ارتفاع  $h = 0.10\text{ m}$  قرار دارد. این جسم تشکیل شده از یک پوسته استوانه‌ای خارجی (با چگالی یکنواخت و معین) که به یک استوانه مرکزی (با چگالی یکنواخت ولی متفاوت) چسبیده است. لختی چرخشی جسم را می‌توان به صورت کلی  $I = \beta MR^2$  نشان داد ولی  $\beta$  در اینجا همانند استوانه‌ای با چگالی یکنواخت برابر  $0.5$  نیست.  $\beta$  را حساب کنید.



شکل ۱۱-۳۹ مسئله ۱۶

## بخش ۱۱-۵ یو-یو

۱۷۰۰- SSM یک یو-یو دارای لختی چرخشی برابر  $950\text{ g}\cdot\text{cm}^2$  و جرم  $120\text{ g}$  است. شعاع محور آن برابر  $3/2\text{ mm}$  و طول نخ  $120\text{ cm}$  است. یو-یو از حال سکون به طرف پایین تا انتهای نخ می‌گردد. (الف) بزرگی شتاب خطی آن چقدر است؟ (ب) چقدر طول می‌کشد تا یو-یو به انتهای نخ برسد؟ وقتی به انتهای نخ برسد مطلوب است محاسبه (پ) تندی خطی، (ت) انرژی جنبشی انتقالی، (ث) انرژی جنبشی چرخشی و (ج) تندی زاویه‌ای.

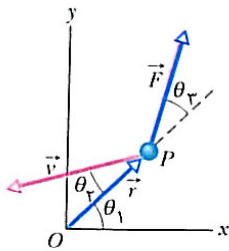


$\vec{F}_1$  جمع برداری  $\vec{F}_1 = (-3/0\text{N})\hat{i} - (3/0\text{N})\hat{j} - (5/0\text{N})\hat{k}$  و (پ) جمع برداری  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_2$  باشد. (ت) قسمت (پ) را برای این گشتاور نیرو نسبت به نقطه‌ای به مختصات  $(3/0\text{m}, 2/0\text{m}, 4/0\text{m})$  تکرار کنید.

**۲۵۰۰ - SSM** نیروی  $\vec{F} = (-8/0\text{N})\hat{i} + (6/0\text{N})\hat{j}$  بر ذره‌ای با بردار مکان  $\vec{r} = (3/0\text{m})\hat{i} + (4/0\text{m})\hat{j}$  وارد می‌شود. (الف) گشتاور نیروی وارد بر این ذره را نسبت به مبدأ برحسب نماد بردار یک‌به‌دست آورید. و (ب) زاویه میان بردارهای  $\vec{r}$  و  $\vec{F}$  چقدر است؟

### بخش ۷-۱۱ اندازه حرکت زاویه‌ای

**۲۶۰ -** در شکل ۴۰-۱۱ ذره  $P$  به جرم  $2/0\text{kg}$  دارای بردار مکان  $\vec{r}$  با بزرگی  $3/0\text{m}$  و زاویه  $\theta_1 = 45^\circ$  و بردار سرعت  $\vec{v}$  با بزرگی  $4/0\text{m/s}$  و زاویه  $\theta_2 = 30^\circ$  است. نیروی  $\vec{F}$  با



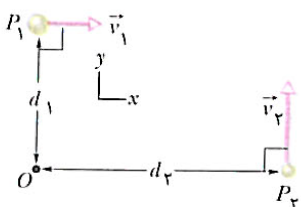
شکل ۴۰-۱۱ مسئله ۲۶

بزرگی  $2/0\text{N}$  و زاویه  $\theta_3 = 30^\circ$  بر  $P$  وارد می‌شود. هر سه بردار در صفحه  $xy$  قرار دارند. (الف) بزرگی و (ب) جهت اندازه حرکت زاویه‌ای ذره  $P$ ، (پ) بزرگی و (ت) جهت گشتاور نیروی وارد بر ذره  $P$  را نسبت به مبدأ به دست آورید.

**۲۷۰ - SSM** در لحظه‌ای نیروی  $F = 4/0\hat{j}\text{N}$  بر ذره‌ای به جرم  $0/25\text{kg}$  وارد می‌شود که بردار مکان آن  $\vec{r} = (2/0\hat{i} - 2/0\hat{j})\text{m}$  و بردار سرعت آن  $\vec{v} = (-5/0\hat{i} + 5/0\hat{k})\text{m/s}$  است. (الف) اندازه حرکت زاویه‌ای و (ب) گشتاور نیروی وارد بر این جسم نسبت به مبدأ و برحسب نماد بردار یک‌به‌دست چقدر است؟

**۲۸۰ -** جسم ذره ماندی به جرم  $2/0\text{kg}$  در صفحه‌ای با مولفه‌های سرعت  $v_x = 3/0\text{m/s}$  و  $v_y = 6/0\text{m/s}$  حرکت می‌کند و از نقطه‌ای به مختصات  $(x, y)$  برابر  $(3/0, -4/0)$  متر می‌گذرد. درست در این لحظه و بر حسب نماد بردار یک‌به‌دست تعیین کنید که اندازه حرکت زاویه‌ای نسبت به (الف) مبدأ و (ب) نقطه‌ای به مختصات  $(-2/0, -2/0)$  متر چقدر است؟

**۲۹۰ - ILW** در شکل ۴۱-۱۱ دو ذره در صفحه  $xy$  حرکت می‌کنند. ذره  $P_1$  دارای جرم  $6/5\text{kg}$  و تندی  $v_1 = 2/2\text{m/s}$  است و در فاصله  $d_1 = 1/5\text{m}$  از نقطه  $O$  قرار دارد. ذره  $P_2$  به جرم  $3/1\text{kg}$  و تندی  $v_2 = 3/6\text{m/s}$  است و در فاصله  $d_2 = 2/8\text{m}$  از نقطه  $O$  قرار دارد. (الف) بزرگی و (ب) جهت اندازه حرکت زاویه‌ای این دو ذره را نسبت به نقطه  $O$  به دست آورید.



شکل ۴۱-۱۱ مسئله ۲۹

**۱۸۰ -** در سال ۱۹۸۰/۱۳۵۹ بر فراز خلیج سان‌فرانسیسکو یو-یو بزرگی را از یک جرثقیل رها کردند. این یو-یو ۱۱۶ کیلوگرمی از دو دیسک یکنواخت به شعاع  $32\text{cm}$  تشکیل شده بود که با محوری به شعاع  $3/2\text{cm}$  به هم وصل شده بودند. بزرگی شتاب این یو-یو در موقع (الف) پایین رفتن و (ب) بالا آمدن آن چقدر بوده است؟ (پ) کشش طنابی که یو-یو روی آن می‌غلطیده چقدر بوده است؟ (ت) آیا کشش به دست آمده در طناب در نزدیکی محدوده  $52\text{kN}$  بوده است؟ فرض کنید که یک نوع یو-یو به همان شکل و از همان جنس ولی بزرگتر ساخته‌اید. (ث) آیا بزرگی شتاب یو-یو شما وقتی به طرف پایین می‌رود بزرگتر، کوچکتر یا برابر شتاب یو-یو سان‌فرانسیسکو است؟ در مورد کشش در طناب چطور؟

### بخش ۶-۱۱ بازنگری گشتاور نیرو

**۱۹۰ -** گشتاور نیروی وارد بر یک کک را که در مختصات  $(0, -4/0\text{m}, 5/0\text{m})$  قرار دارد نسبت به مبدأ برحسب نماد بردار یک‌به‌دست بنویسید در صورتی که نیروهای  $\vec{F}_1 = (3/0\text{N})\hat{k}$  و  $\vec{F}_2 = (-2/0\text{N})\hat{j}$  بر این کک اثر کنند.

**۲۰۰ -** یک آلو در مختصات  $(-2/0\text{m}, 0, 4/0\text{m})$  قرار دارد. برحسب نماد بردار یک‌به‌دست مطلوب است، گشتاور نیروی وارد بر آن نسبت به مبدأ در صورتی که این گشتاور نیرو ناشی از یک نیروی  $\vec{F}$  باشد که دارای فقط مؤلفه (الف)  $F_x = 6/0\text{N}$  (ب)  $F_x = -6/0\text{N}$  و (پ)  $F_x = 6/0\text{N}$  و (ت)  $F_z = -6/0\text{N}$  است.

**۲۱۰ -** برحسب نماد بردار یک‌به‌دست گشتاور نیروی وارد بر ذره‌ای در مختصات  $(0, -4/0\text{m}, 3/0\text{m})$  را نسبت به مبدأ مختصات در حالتی حساب کنید که این گشتاور نیرو مربوط باشد به (الف) نیروی  $\vec{F}_1$  با مؤلفه‌های  $F_{1x} = 2/0\text{N}$  و  $F_{1y} = 0$  و  $F_{1z} = 0$  (ب) نیروی  $\vec{F}_2$  با مؤلفه‌های  $F_{2x} = 0$  و  $F_{2y} = 2/0\text{N}$  و  $F_{2z} = 4/0\text{N}$ .

**۲۲۰۰ -** به ذره‌ای که در دستگاه مختصات  $xyz$  حرکت می‌کند نیرو وارد می‌شود. وقتی ذره دارای بردار مکان  $\vec{r} = (2/0\text{m})\hat{i} + (3/0\text{m})\hat{j} + (2/0\text{m})\hat{k}$  است نیرو برابر است  $\vec{F} = F_x\hat{i} + (3/0\text{m})\hat{j} + (2/0\text{m})\hat{k}$  با  $\vec{F} = F_x\hat{i} + (3/0\text{m})\hat{j} + (2/0\text{m})\hat{k}$  و گشتاور نیروی مربوط نسبت به مبدأ برابر است با  $\vec{\tau} = (4/0\text{N}\cdot\text{m})\hat{i} + (2/0\text{N}\cdot\text{m})\hat{j} - (1/0\text{N}\cdot\text{m})\hat{k}$  مقدار  $F_x$  را تعیین کنید.

**۲۳۰۰ -** نیروی  $\vec{F} = (2/0\text{N})\hat{i} - (3/0\text{N})\hat{k}$  بر ریگی با بردار مکان  $\vec{r} = (0/5\text{m})\hat{j} - (2/0\text{m})\hat{k}$  نسبت به مبدأ وارد می‌شود. گشتاور نیروی ایجاد شده بر این ریگ را نسبت به (الف) مبدأ و (ب) نقطه  $(2/0\text{m}, 0, -3/0\text{m})$  به دست آورید.

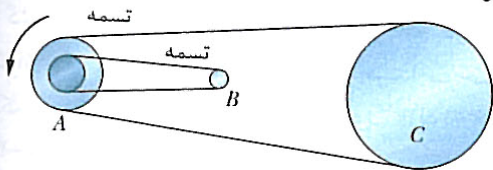
**۲۴۰۰ -** گشتاور نیروی وارد بر یک ظرف فلز را که در مختصات  $(3/0\text{m}, -2/0\text{m}, 4/0\text{m})$  قرار دارد نسب به مبدأ و برحسب نماد بردارهای یک‌به‌دست بنویسید در صورتی که گشتاور نیرو ناشی از (الف) نیروی  $\vec{F}_1 = (3/0\text{N})\hat{i} - (4/0\text{N})\hat{j} + (5/0\text{N})\hat{k}$  (ب) نیروی



بزرگی اندازه حرکت زاویه‌ای ذره نسبت به مبدأ افزایش می‌یابد یا کاهش یا بدون تغییر می‌ماند؟

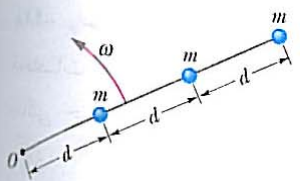
### بخش ۱۱-۱۰ اندازه حرکت زاویه‌ای یک جسم صلب که حول محور ثابتی می‌چرخد

**۳۶۰- شکل ۱۱-۴۳** سه قرص یکنواخت چرخان را نشان می‌دهد که توسط تسمه‌هایی به هم متصل شده‌اند. یکی از تسمه‌ها به دور لبه قرصهای  $A$  و  $C$  حرکت می‌کند. تسمه دیگر به دور یک «توبی» روی قرص  $A$  و لبه قرص  $B$  می‌چرخد. این تسمه‌ها به طور هموار و بدون لغزش روی لبه‌ها و توبی حرکت می‌کنند. قرص  $A$  دارای شعاع  $R$  و شعاع توبی آن برابر  $0.5000R$  است؛ و قرص  $B$  دارای شعاع  $0.2500R$  و قرص  $C$  دارای شعاع  $2.000R$  است. قرصهای  $B$  و  $C$  چگالی و ضخامت یکسانی دارند. نسبت بزرگی اندازه حرکت زاویه‌ای قرص  $C$  به قرص  $B$  چقدر است؟



شکل ۱۱-۴۳ مسئله ۳۶

**۳۷۰- شکل ۱۱-۴۴** در شکل ۱۱-۴۴ سه ذره هر یک به جرم  $m = 23\text{ g}$  به سه میله به طول  $d = 12\text{ cm}$  و جرم ناچیز بسته شده‌اند. این مجموعه صلب حول نقطه  $O$  با تندی زاویه‌ای  $\omega = 0.85\text{ rad/s}$  می‌چرخد.



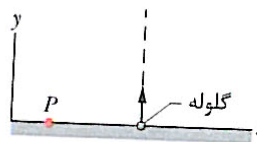
شکل ۱۱-۴۴ مسئله ۳۷

**۳۸۰- شکل ۱۱-۴۵** یک سنگ سمباده با لختی چرخشی  $1/2 \times 10^{-2}\text{ kg}\cdot\text{m}^2$  به یک مته برقی متصل است که موتور آن گشتاور نیرویی به بزرگی  $16\text{ N}\cdot\text{m}$  حول محور مرکزی سنگ سمباده ایجاد می‌کند. حول این محور و با گشتاور نیروی وارده به مدت  $33\text{ ms}$  بزرگی (الف) اندازه حرکت زاویه‌ای و (ب) سرعت زاویه‌ای سنگ سمباده چقدر است؟

**۳۹۰- شکل ۱۱-۴۶** اندازه حرکت زاویه‌ای یک چرخ دوار با لختی چرخشی  $0.140\text{ kg}\cdot\text{m}^2$  نسبت به محور مرکزی آن در مدت  $1/5\text{ s}$  از  $3/00$  به  $0.800\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$  کاهش می‌یابد. (الف) بزرگی گشتاور نیروی میانگین وارد بر چرخ نسبت به محور مرکزی آن در این مدت چقدر است؟ (ب) فرض کنید که شتاب زاویه‌ای ثابت باشد، چرخ دوار در این مدت چه زاویه‌ای می‌پیماید؟ (پ) کار انجام شده روی چرخ چقدر است؟ (ت) توان متوسط چرخ دوار چقدر است؟

**۳۰۰۰- در لحظه معینی جابه‌جایی یک ذره  $2/00\text{ kg}$  نسبت به مبدأ برابر  $\vec{d} = (2/00\text{ m})\hat{i} + (4/00\text{ m})\hat{j} - (3/00\text{ m})\hat{k}$  و سرعت آن  $\vec{v} = -(6/00\text{ m/s})\hat{i} + (3/00\text{ m/s})\hat{j} + (3/00\text{ m/s})\hat{k}$  است و تحت تأثیر نیرویی برابر  $\vec{F} = (6/00\text{ N})\hat{i} - (8/00\text{ N})\hat{j} + (4/00\text{ N})\hat{k}$  قرار دارد. مطلوب است (الف) شتاب جسم، (ب) اندازه حرکت زاویه‌ای جسم نسبت به مبدأ و (پ) گشتاور نیروی آن نسبت به مبدأ که به جسم نیرو وارد می‌کند و (ت) زاویه بین سرعت جسم و نیروی وارده بر جسم.**

**۳۱۰۰- در شکل ۱۱-۴۲** یک گلوله  $0.400\text{ kg}$  را مستقیماً به طرف بالا با تندی اولیه  $40/0\text{ m/s}$  پرتاب می‌کنیم. اندازه حرکت زاویه‌ای گلوله نسبت به نقطه  $P$  را که به فاصله افقی  $2/00\text{ m}$  از نقطه پرتاب قرار دارد در دو حالت زیر به دست آورید. (الف) وقتی گلوله در بیشینه ارتفاع خود است و (ب) وقتی گلوله از وسط راه به زمین بر می‌گردد. گشتاور نیروی وارد بر گلوله را نسبت به نقطه



$P$  بر اثر نیروی گرانشی به دست آورید در صورتی که (پ) گلوله در بیشینه ارتفاع خود و (ت) در نیمه مسیر برگشت به زمین باشد.

شکل ۱۱-۴۲ مسئله ۳۱

### بخش ۱۱-۸ شکل زاویه‌ای قانون دوم نیوتون

**۳۲۰- بر ذره‌ای دو گشتاور نیرو نسبت به مبدأ به صورت زیر وارد می‌شود:  $\vec{\tau}_1$  به بزرگی  $2/0\text{ N}\cdot\text{m}$  که در جهت مثبت محور  $x$  است و  $\vec{\tau}_2$  به بزرگی  $4/0\text{ N}\cdot\text{m}$  که در جهت منفی محور  $y$  است.  $d\vec{L}/dt$  را بر حسب نماد بردار یک‌به دست آورید که  $\vec{L}$  اندازه حرکت زاویه‌ای ذره نسبت به مبدأ است.**

**۳۳۰- SSM ILW WWW** ذره‌ای به جرم  $3/0\text{ kg}$  در  $t = 0$  با سرعت  $\vec{v} = (5/0\text{ m/s})\hat{i} - (6/0\text{ m/s})\hat{j}$  در مکان  $x = 3/0\text{ m}$  و  $y = 8/0\text{ m}$  قرار دارد. اگر این ذره را با یک نیروی  $7/0\text{ N}$  در جهت منفی  $x$  بکشیم، (الف) اندازه حرکت زاویه‌ای ذره، (ب) گشتاور نیروی وارد بر ذره و (پ) آهنگ تغییر اندازه حرکت زاویه‌ای را به دست آورید.

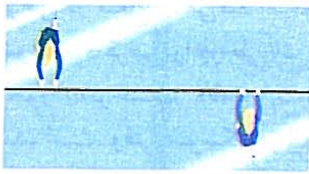
**۳۴۰- ذره‌ای که در صفحه  $xy$  حرکت می‌کند به طور ساعتگرد به دور مبدأ وقتی از جهت مثبت محور  $z$  به آن نگاه کنیم می‌چرخد. در صورتی که بزرگی اندازه حرکت زاویه‌ای آن نسبت به مبدأ برابر (الف)  $4/0\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$ ، (ب)  $4/0\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$ ، (پ)  $4/0\sqrt{t}\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$  و (ت)  $4/0\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$  باشد، گشتاور نیروی وارد بر ذره را به دست آورید.**

**۳۵۰۰- در لحظه  $t$ ،  $\vec{r} = 4/0\text{ m}\hat{i} - (2/0\text{ m} + 6/0\text{ m}^2/\text{s}^2)t^2\hat{j}$  مکان یک ذره  $3/0$  کیلوگرمی را نسبت به مبدأ دستگاه مختصات  $xy$  به دست می‌دهد. (ت) بر حسب متر و  $t$  بر حسب ثانیه است. (الف) عبارتی برای گشتاور نیروی وارد بر ذره نسبت به مبدأ پیدا کنید. (ب) آیا**



### فصل یازدهم غلتش، گشتاور و اندازه حرکت زاویه‌ای

است؟ (پ) انرژی جنبشی دستگاه شامل دو اسکیت باز را به دست آورید. سپس اسکیت بازها تیر را به طرف خود می‌کشند تا فاصله آنها به  $1/10 \text{ m}$  برسد. در این حالت (ت) تندی زاویه‌ای آنها



چقدر است؟ (ث) انرژی جنبشی دستگاه چقدر است؟ (ج) انرژی جنبشی افزایش یافته از کجا تأمین شده است؟

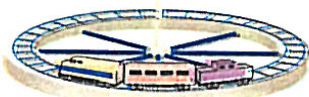
شکل ۱۱-۴۷ مسئله ۴۳

۴۴- سوسکی به جرم  $0.17 \text{ kg}$  روی لبه صفحه‌ای دایره‌ای به شعاع  $15 \text{ cm}$  و لختی چرخشی  $5/0 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  که روی محور قائمی با یاتاقانهای بدون اصطکاک قرار دارد به طور پادساعتگرد حرکت می‌کند. تندی این سوسک (نسبت به زمین) برابر  $2/0 \text{ m/s}$  است و صفحه دایره‌ای با سرعت زاویه‌ای  $\omega_0 = 2/8 \text{ rad/s}$  به طور ساعتگرد می‌چرخد. سوسک خرده نانی را روی لبه این قرص پیدا می‌کند و در نتیجه می‌ایستد. (الف) تندی زاویه‌ای صفحه دایره‌ای را بعد از ایستادن سوسک به دست آورید. (ب) آیا وقتی سوسک بایستد انرژی جنبشی پایسته است؟

۴۵- **SSM WWW** شخصی روی سکویی ایستاده است که با تندی زاویه‌ای  $1/2 \text{ rev/s}$  و بدون اصطکاک می‌چرخد. شخص بازوهای خود را از هم باز می‌کند در حالی که در هر دست او آجری قرار دارد. لختی چرخشی دستگاه شامل شخص، آجرها و سکو نسبت به محور قائم مرکزی برابر  $6/0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  است. اگر با حرکت دادن آجرها، شخص لختی چرخشی دستگاه را به  $2/0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  کاهش دهد، (الف) تندی زاویه‌ای سکو چقدر است؟ (ب) نسبت انرژی جنبشی جدید دستگاه نسبت به انرژی جنبشی اولیه چقدر است؟ (پ) این انرژی جنبشی اضافه شده از کجا تأمین شده است؟

۴۶- لختی چرخشی یک ستاره چرخان در حال رهمش به  $\frac{1}{3}$  مقدار اولیه‌اش کاهش می‌یابد. نسبت انرژی جنبشی چرخشی جدید نسبت به انرژی جنبشی اولیه چقدر است؟

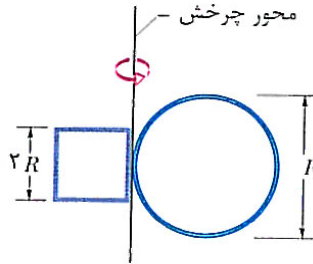
۴۷- **SSM** ریل یک قطار اسباب بازی روی چرخ بزرگی که آزادانه با اصطکاک ناچیز می‌تواند حول محوری قائم بچرخد قرار دارد (شکل ۱۱-۴۸). یک قطار اسباب بازی به جرم  $m$  روی این ریل قرار می‌گیرد و دستگاه در ابتدا ساکن است. سپس کلید برق قطار زده می‌شود. تندی قطار نسبت به ریل به  $0.15 \text{ m/s}$  می‌رسد. تندی زاویه‌ای چرخ در صورتی که جرم آن  $1/1 \text{ m}$  و شعاع آن  $0.43 \text{ m}$  باشد، چقدر است؟ (چرخ را به صورت یک حلقه در نظر بگیرید و از جرم پره‌ها و توبی چرخ صرف‌نظر کنید).



شکل ۱۱-۴۸ مسئله ۴۷

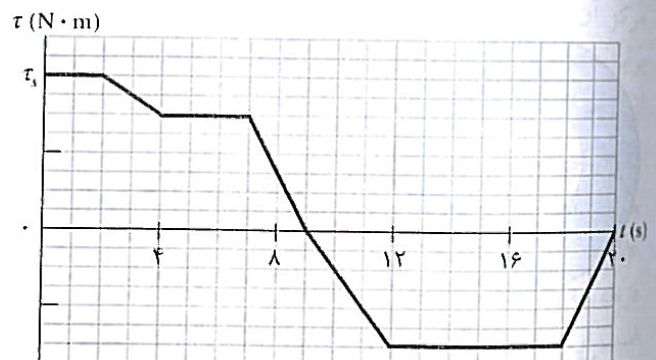
۴۰۰- قرصی با لختی چرخشی  $7/0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  مانند یک چرخ و فلک می‌چرخد در حالی که گشتاوری به آن وارد می‌شود که با  $\tau = (5/00 + 2/00t) \text{ N} \cdot \text{m}$  داده می‌شود. در لحظه  $t = 1/00 \text{ s}$ ، اندازه حرکت زاویه‌ای آن  $5/0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$  است. در لحظه  $t = 3/00 \text{ s}$  اندازه حرکت زاویه‌ای آن چقدر است؟

۴۱- **GO** شکل ۱۱-۴۵ ساختار صلبی شامل یک حلقه دایره‌ای به شعاع  $R$  و جرم  $m$  و یک مربع به ضلع  $R$  و جرم  $m$  را که از چهار میله باریک ساخته شده است نشان می‌دهد. این ساختار صلب با تندی ثابتی حول محور قائم با دوره متناوب  $2/5 \text{ s}$  می‌چرخد. با فرض اینکه  $R = 0.50 \text{ m}$  و  $m = 2/0 \text{ kg}$  باشد، مطلوب است محاسبه (الف) لختی چرخشی این ساختار نسبت به محور چرخش و (ب) اندازه حرکت زاویه‌ای آن نسبت به همان محور.



شکل ۱۱-۴۵ مسئله ۴۱

۴۲- شکل ۱۱-۴۶ گشتاور نیروی  $\tau$  وارد بر یک قرص در ابتدا ساکن را که می‌تواند حول مرکزش مثل چرخ و فلک بچرخد به دست می‌دهد. مقیاس محور  $\tau$  برحسب  $\tau_s = 4/0 \text{ N} \cdot \text{m}$  مشخص شده است. اندازه حرکت زاویه‌ای این قرص حول محور چرخش در لحظه‌های (الف)  $t = 7/0 \text{ s}$  و (ب)  $t = 2/0 \text{ s}$  چقدر است؟



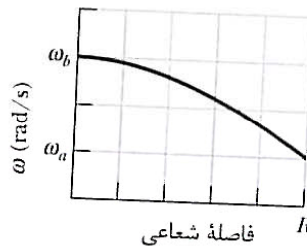
شکل ۱۱-۴۶ مسئله ۴۲

### بخش ۱۱-۱۱ پایستگی اندازه حرکت زاویه‌ای

۴۳- در شکل ۱۱-۴۷ دو اسکیت باز روی یخ هر یک به جرم  $50 \text{ kg}$  در امتداد دو مسیر موازی به فاصله  $3/0 \text{ m}$  به هم نزدیک می‌شوند. آنها دارای سرعتهایی مخالف هم و برابر  $1/4 \text{ m/s}$  هستند. یکی از اسکیت بازها یک انتهای تیر بلندی با جرم ناچیز را در دست دارد و دیگری انتهای دیگر آن را وقتی به آن می‌رسد می‌گیرد. سپس اسکیت بازها به دور مرکز این تیر می‌چرخند. فرض کنید که اصطکاک بین اسکیتها و یخ ناچیز است. (الف) شعاع دایره چقدر است؟ (ب) تندی زاویه‌ای اسکیت بازها چقدر



**۴۸۰-** سوسکی ابتدا در مرکز یک قرص دایره‌ای قرار دارد که می‌تواند آزادانه مانند یک چرخ و فلک بدون هیچ گشتاور نیروی خارجی بچرخد. سپس این سوسک شروع به حرکت به طرف لبه قرص در شعاع  $R$  می‌کند. شکل ۱۱-۴۹ تندی زاویه‌ای  $\omega$  دستگاه سوسک - قرص را در طی این حرکت نشان می‌دهد. مقیاس روی محور  $\omega$  بر حسب  $\omega_a = 5.0 \text{ rad/s}$  و  $\omega_b = 6.0 \text{ rad/s}$  مشخص شده است. وقتی سوسک در لبه قرص به شعاع  $R$  قرار گیرد، نسبت لختی چرخشی سوسک نسبت به لختی چرخشی قرص وقتی هر دو نسبت به محور چرخش محاسبه شوند چقدر است؟



شکل ۱۱-۴۹ مسئله ۴۸

**۴۹۰-** دو قرص با یاتاقانهای کم اصطکاک (همانند یک چرخ و فلک) روی یک محور نصب شده‌اند و می‌توانند با یکدیگر جفت شوند و به عنوان یک جسم واحد بچرخند. قرص اول را که دارای لختی چرخشی  $3/30 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  نسبت به محور مرکزی خود است با  $450 \text{ rev/min}$  به صورت پادساعتگرد می‌چرخانیم. قرص دوم را با لختی چرخشی  $6/60 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  حول محور مرکزی خود با  $900 \text{ rev/min}$  به صورت پادساعتگرد می‌چرخانیم. سپس آنها با هم جفت می‌شوند. (الف) تندی زاویه‌ای آنها پس از جفت شدن چقدر است؟ اگر قرص دوم را با  $900 \text{ rev/min}$  این بار به صورت ساعتگرد بچرخانیم، (ب) تندی زاویه‌ای آنها چقدر است؟ (پ) جهت چرخش پس از جفت شدن آنها با یکدیگر چیست؟

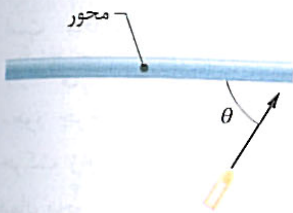
**۵۰۰-** چرخانه یک موتور الکتریکی دارای لختی چرخشی  $I_m = 2.0 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  نسبت به محور مرکزی آن است. از این موتور برای تغییر سمتگیری در یک کاوشگر فضایی استفاده می‌شود. محور موتور در طول محور مرکزی کاوشگر قرار دارد؛ لختی چرخشی چرخانه  $I_p = 12 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  نسبت به این محور است. تعداد دورهایی که چرخانه باید بزند تا کاوشگر به اندازه  $30^\circ$  حول محور مرکزی بچرخد چقدر است؟

**۵۱۰- SSM ILW** چرخشی آزادانه با تندی زاویه‌ای  $800 \text{ rev/min}$  روی محوری با لختی چرخشی ناچیز می‌چرخد. چرخ دیگری که ابتدا ساکن و لختی چرخشی آن دو برابر چرخ اول است در یک لحظه با همان محور جفت می‌شود. (الف) تندی زاویه‌ای نهایی ترکیب محور و دو چرخ چقدر است؟ (ب) چه کسری از انرژی جنبشی چرخشی اولی تلف می‌شود؟

**۵۲۰۰-** سوسکی به جرم  $m$  روی لبه قرص یکنواختی به جرم  $4/0 \text{ m}$  قرار دارد که می‌تواند آزادانه حول مرکز خود شبیه یک چرخ و فلک بچرخد. در ابتدا سوسک و قرص با یکدیگر می‌چرخند و سرعت زاویه‌ای آنها برابر  $0/26 \text{ rad/s}$  است. سپس

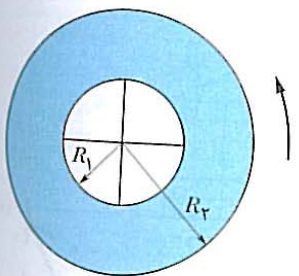
سوسک تا نیمه راه مرکز قرص حرکت می‌کند. (الف) در این صورت سرعت زاویه‌ای دستگاه سوسک - قرص چقدر خواهد بود؟ (ب) نسبت  $K/K_0$  برای انرژی جنبشی کنونی دستگاه نسبت به انرژی جنبشی اولیه آن چقدر است؟ (پ) عامل تغییر انرژی جنبشی چیست؟

**۵۳۰۰-** میله باریک و یکنواختی به طول  $0/5 \text{ m}$  و جرم  $4/0 \text{ kg}$  می‌تواند در یک صفحه افقی حول محور قائمی که از مرکز آن می‌گذرد بچرخد. در حالی که میله ساکن است، گلوله‌ای به جرم  $3/0 \text{ g}$  را به طرف انتهای این میله و در صفحه چرخش به آن شلیک می‌کنیم. از نمای بالا مسیر گلوله با میله زاویه  $\theta = 60^\circ$  می‌سازد (شکل ۱۱-۵۰). اگر گلوله در میله فرو رود و سرعت زاویه‌ای میله بلافاصله پس از برخورد برابر  $10 \text{ rad/s}$  باشد، تندی گلوله درست پیش از برخورد چقدر است؟



شکل ۱۱-۵۰ مسئله ۵۳

**۵۴۰۰-** شکل ۱۱-۵۱ نمای از بالای حلقه‌ای را نشان می‌دهد که می‌تواند حول مرکز خود همانند یک چرخ و فلک بچرخد. شعاع خارجی  $R_2$  برابر  $0/800 \text{ m}$  و شعاع داخلی  $R_1$  برابر  $R_2/2$  است، جرم آن برابر  $8/00 \text{ kg}$  و جرم میله‌های متقاطع که در مرکز آن قرار دارند ناچیز است. حلقه با یک گربه به جرم  $m = M/4$  که روی لبه خارجی آن در شعاع  $R_2$  قرار دارد ابتدا با تندی زاویه‌ای  $8/00 \text{ rad/s}$  می‌چرخد. اگر گربه به طرف لبه داخلی با شعاع  $R_1$  بخزد، انرژی جنبشی دستگاه گربه - حلقه تا چه میزان افزایش می‌یابد؟



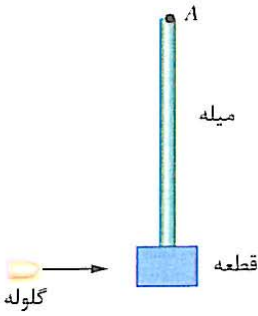
شکل ۱۱-۵۱ مسئله ۵۴

**۵۵۰-** یک صفحه گرامافون افقی به جرم  $0/10 \text{ kg}$  و شعاع  $0/10 \text{ m}$  آزادانه حول محور قائمی که از مرکزش می‌گذرد با تندی زاویه‌ای  $4/7 \text{ rad/s}$  می‌چرخد. لختی چرخشی صفحه نسبت به محور چرخش آن برابر  $5/0 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  است. یک تکه خمیر به جرم  $0/020 \text{ kg}$  به طور قائم روی این صفحه می‌افتد و به لبه آن می‌چسبد. تندی زاویه‌ای صفحه گرامافون بلافاصله بعد از چسبیدن این تکه خمیر به آن چقدر است؟

**۵۶۰۰-** در یک پرش طول، ورزشکاری زمین را با اندازه حرکت زاویه‌ای اولیه‌ای ترک می‌کند و تمایل دارد که بدن او را به سمت جلو بچرخاند و مانع شود به طور صحیح فرود آید. برای غلبه بر این، او بازوهای کشیده خود را برای ایجاد اندازه



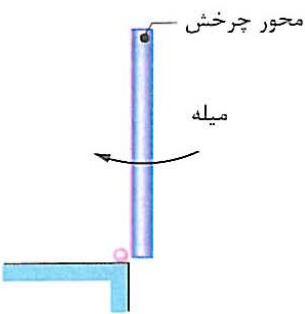
۳۳۳۳  $0.06 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  است. قطعه را به صورت یک ذره در نظر بگیرید.



(الف) لختی چرخشی نهایی دستگاه  
قطعه- میله- گلوله نسبت به نقطه  $A$   
چقدر است؟ (ب) اگر تندی زاویه‌ای  
دستگاه حول  $A$  درست پس از برخورد  
برابر  $4/5 \text{ rad/s}$  باشد، تندی گلوله  
درست پیش از برخورد چقدر است؟

شکل ۱۱-۵۳ مسئله ۶۰

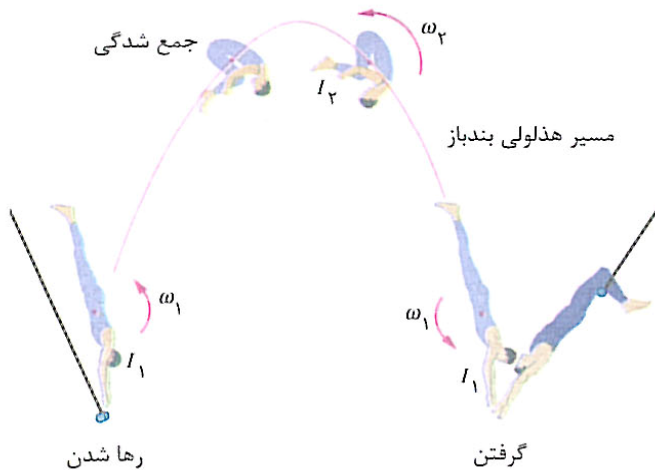
۶۱۰۰- میله یکنواختی (به طول  $0.6 \text{ m}$  و جرم  $1/6 \text{ kg}$ ) در شکل  
۱۱-۵۴ در صفحه شکل حول محوری که از یک انتهای آن  
می‌گذرد با لختی چرخشی  $0.12 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  می‌چرخد. وقتی میله



از پایتترین مکان خود می‌گذرد  
با تکه خمیری به جرم  $0.12 \text{ kg}$   
برخورد می‌کند و خمیر به انتهای  
میله می‌چسبد. اگر تندی زاویه‌ای  
میله درست پیش از برخورد برابر  
 $2/4 \text{ rad/s}$  باشد، تندی زاویه‌ای  
دستگاه میله- خمیر درست  
پس از برخورد چقدر است؟

شکل ۱۱-۵۴ مسئله ۶۱

۶۲۰۰۰- بندبازی ضمن پرش برای گرفتن همکار خود،  
در مدت  $t = 1/87 \text{ s}$  چهار معلق می‌زند. در چرخش اول و آخر  
او سمگیری کشیده با لختی چرخشی  $I_1 = 19/9 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  نسبت  
به مرکز جرم خود (نقطه سیاه) را دارد که در شکل ۱۱-۵۵ نشان  
داده شده است. در ضمن بقیه پرش او حالت جمع شده با لختی  
چرخشی  $I_2 = 3/9 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  دارد. تندی زاویه‌ای او نسبت به  
مرکز جرم در ضمن جمع شدن باید چقدر باشد؟



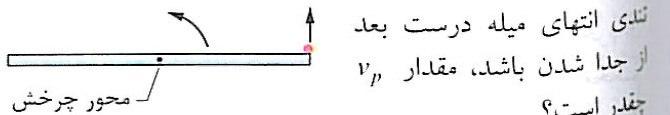
شکل ۱۱-۵۵ مسئله ۶۲

حرکت زاویه‌ای می‌چرخاند (شکل ۱۱-۱۹). در  $0.700 \text{ s}$  یک  
بازو  $0.500 \text{ rev}$  و بازوی دیگر  $1.00 \text{ rev}$  دور می‌زند. هر بازو  
را میله نازکی به جرم  $4/0 \text{ kg}$  و طول  $0.60 \text{ m}$  در نظر بگیرید  
که نسبت به یک انتها می‌چرخد. در چارچوب مرجع ورزشکار،  
بزرگی اندازه حرکت زاویه‌ای کل بازوها نسبت به محور چرخش  
مشترکی که از کتف او می‌گذرد چقدر است؟

۵۷۰۰- یک قرص یکنواخت به جرم  $10 \text{ m}$  و شعاع  $3/0 \text{ m}$   
می‌تواند آزادانه حول مرکز ثابت خود همانند یک چرخ و فلک  
بچرخد. قرص یکنواخت کوچکتری به جرم  $3 \text{ m}$  و شعاع  $2$  در بالای  
قرص بزرگتر قرار دارد که با آن هم مرکز است. این دو قرص در  
ابتدا با سرعت زاویه‌ای برابر  $20 \text{ rad/s}$  با یکدیگر می‌چرخند.  
سپس اغتشاش اندکی باعث می‌شود تا قرص کوچکتر به طرف  
خارج قرص بزرگتر بلغزد تا اینکه لبه خارجی قرص کوچکتر به  
لبه خارجی قرص بزرگتر برسد. پس از آن، این دو قرص دوباره  
با یکدیگر (بدون لغزش بیشتر) می‌چرخند. (الف) سرعت زاویه‌ای  
بعدی آنها حول مرکز قرص بزرگتر چقدر است؟ (ب) نسبت  
 $K/K_0$  برای انرژی جنبشی جدید این دستگاه دو قرص نسبت به  
انرژی جنبشی اولیه دستگاه چقدر است؟

۵۸۰۰- یک سکوی افقی به شکل قرص دایره‌ای روی یاتاقان  
بدون اصطکاکی قرار دارد و حول محور قائمی که از مرکز قرص  
می‌گذرد می‌چرخد. این سکو دارای جرم  $150 \text{ kg}$ ، شعاع  $2/0 \text{ m}$   
و لختی چرخشی  $300 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  نسبت به محور چرخش است.  
یک دانشجوی  $60 \text{ kg}$  به طور آهسته از لبه این قرص به طرف  
مرکز آن راه می‌رود. اگر تندی زاویه‌ای دستگاه در آغاز حرکت  
برابر  $1/5 \text{ rad/s}$  باشد، تندی زاویه‌ای را وقتی او به فاصله  
 $0.50 \text{ m}$  از مرکز قرص می‌رسد به دست آورید.

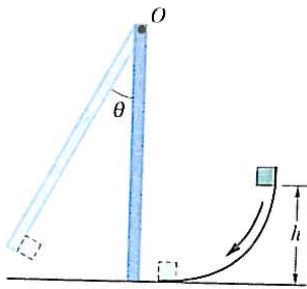
۵۹۰۰- شکل ۱۱-۵۲ نمای از بالای یک میله باریک یکنواخت به  
طول  $0.800 \text{ m}$  و جرم  $M$  است که به طور افقی با تندی زاویه‌ای  
 $20 \text{ rad/s}$  حول محوری که از مرکز آن می‌گذرد می‌چرخد.  
ذره‌ای به جرم  $M/300$  که در ابتدا به یک انتهای میله چسبیده  
است از میله جدا می‌شود و در طول مسیری که عمود بر میله  
در لحظه جدا شدن است حرکت می‌کند. اگر تندی ذره  $v_p$  به  
اندازه  $6/00 \text{ m/s}$  بزرگتر از  
تندی انتهای میله درست بعد  
از جدا شدن باشد، مقدار  $v_p$   
چقدر است؟



شکل ۱۱-۵۲ مسئله ۵۹

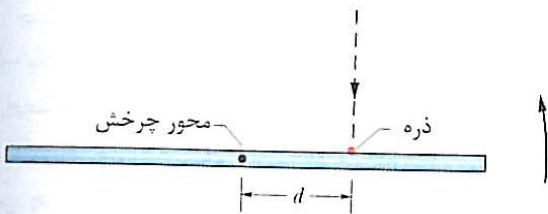
۶۰۰۰- در شکل ۱۱-۵۳ یک گلوله  $1/0 \text{ g}$  به طرف قطعه چوبی که  
به انتهای میله غیر یکنواختی به طول  $0.60 \text{ m}$  و جرم  $0.50 \text{ kg}$   
منصل شده است شلیک می‌شود. با این عمل، دستگاه قطعه- میله-  
گلوله در صفحه شکل حول محور ثابتی در نقطه  $A$  می‌چرخد.  
لختی چرخشی میله به تنهایی نسبت به محور در نقطه  $A$  برابر





شکل ۵۸-۱۱ مسئله ۶۶

۶۷۰۰۰- شکل ۵۹-۱۱ نمای از بالای میله نازک یکنواختی به طول  $0.600\text{ m}$  و جرم  $M$  را نشان می‌دهد که به طور افقی با  $80.0\text{ rad/s}$  به طور پادساعتگرد حول محوری که از مرکز آن می‌گذرد می‌چرخد. ذره‌ای به جرم  $M/3.00$  به طور افقی با تندی  $40.0\text{ m/s}$  به این میله برخورد می‌کند و به آن می‌چسبد. مسیر ذره در لحظه برخورد عمود بر میله است و از مرکز میله به اندازه  $d$  فاصله دارد. (الف) در چه مقداری از  $d$  میله و ذره بعد از برخورد به سکون می‌رسند؟ (ب) اگر  $d$  از این مقدار بیشتر باشد، میله و ذره در چه جهتی می‌چرخند؟



شکل ۵۹-۱۱ مسئله ۶۷

### بخش ۱۲-۱۱ حرکت تقدیمی ژيروسکوپ

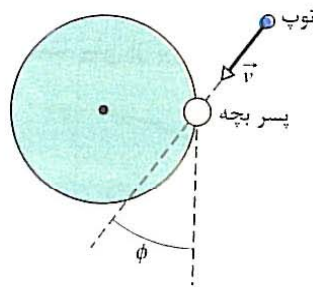
۶۸۰۰۰- فرره‌ای با  $3.0\text{ rev/s}$  حول محوری که با قائم زاویه  $30^\circ$  می‌سازد می‌چرخد. جرم فرره برابر  $0.50\text{ kg}$  و لختی چرخشی نسبت به محور مرکزی آن برابر  $5.0 \times 10^{-4}\text{ kg}\cdot\text{m}^2$  است و مرکز جرم آن در فاصله  $4.0\text{ cm}$  از نقطه اتکا قرار دارد. اگر این چرخش در نمای از بالا به صورت ساعتگرد باشد، (الف) آهنگ حرکت تقدیمی و (ب) جهت حرکت تقدیمی را نسبت به نمای از بالا به دست آورید.

۶۹۰۰۰- ژيروسکوپ معینی از یک قرص یکنواخت با شعاع  $5.0\text{ cm}$  تشکیل شده که در مرکز میله‌ای که  $11\text{ cm}$  طول دارد و جرم آن ناچیز است قرار دارد. این میله افقی است و در یک انتها محکم شده است. اگر قرص به دور این میله با  $1000\text{ rev/min}$  بچرخد، آهنگ حرکت تقدیمی چقدر خواهد بود؟

### مسئله‌های اضافی

۷۰- توپ یکنواخت صلبی به طور هموار روی زمین می‌غلتد و سپس از سطح شیب‌داری به زاویه  $15.0^\circ$  بالا می‌رود. وقتی به اندازه  $1/50\text{ m}$  روی سطح شیب‌دار بغلتد به طور لحظه‌ای متوقف می‌شود. تندی اولیه توپ را به دست آورید.

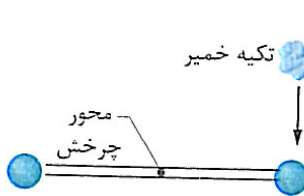
۶۳۰۰۰- در شکل ۵۶-۱۱ یک پسر بچه  $30\text{ kg}$  کیلوگرمی بر لبه چرخ و فلک ساکنی به جرم  $100\text{ kg}$  و شعاع  $2.0\text{ m}$  ایستاده است. لختی چرخشی این چرخ و فلک نسبت به چرخش برابر  $150\text{ kg}\cdot\text{m}^2$  است. این پسر بچه تویی به جرم  $10\text{ kg}$  را که توسط دوستش پرتاب شده می‌گیرد. درست پیش از گرفتن آن، توپ دارای سرعت افقی  $\vec{v}$  با بزرگی  $12\text{ m/s}$  و در زاویه  $\phi = 37^\circ$  با خط مماس بر لبه خارجی چرخ و فلک است که در شکل نشان داده شده است. تندی زاویه ای چرخ و فلک درست پس از گرفتن توپ چقدر است؟



شکل ۵۶-۱۱ مسئله ۶۳

۶۴۰۰۰- بالرینی حرکت تورجی را (شکل ۱۹-۱۱ الف) با تندی زاویه‌ای  $\omega_i$  و لختی چرخشی شامل دو بخش شروع می‌کند:  $I = 1/44\text{ kg}\cdot\text{m}^2$  برای پای کشیده به سوی بیرون تحت زاویه  $\theta = 90.0^\circ$  نسبت به بدن و  $I = 0.660\text{ kg}\cdot\text{m}^2$  برای وضعیت سکون بدن (حالت اولیه بدن). در نزدیکی بیشینه ارتفاع او هر دو پای خود را با زاویه  $\theta = 30.0^\circ$  نسبت به بدنش نگه می‌دارد و تندی زاویه‌ای  $\omega_f$  را دارد (شکل ۱۹-۱۱ ب). با فرض اینکه  $I$  تغییر نکند، نسبت  $\omega_f/\omega_i$  چقدر است؟

۶۵۰۰۰- SSM WWW دو توپ  $2.00\text{ kg}$  به دو انتهای یک میله باریک به طول  $50.0\text{ cm}$  و جرم ناچیز متصل‌اند. میله آزادانه در صفحه قائمی بدون اصطکاک حول محوری افقی که از مرکز آن می‌گذرد می‌چرخد. وقتی میله در ابتدا افقی است، (شکل ۱۱-۵۷) یک تکه خمیر روی یکی از توپهای آن می‌افتد، برخورد این تکه خمیر با تندی  $3.00\text{ m/s}$  صورت می‌گیرد و سپس به توپ می‌چسبد. (الف) تندی زاویه‌ای دستگاه درست پس از برخورد تکه خمیر چقدر است؟ (ب) نسبت انرژی جنبشی دستگاه پس از برخورد به وقتی که تکه خمیر برخورد می‌کند چقدر است؟ (پ) دستگاه پیش از اینکه به طور لحظه‌ای متوقف شود چقدر می‌چرخد؟



شکل ۵۷-۱۱ مسئله ۶۵

۶۶۰۰۰- در شکل ۵۸-۱۱ یک قطعه کوچک  $50\text{ g}$  روی یک سطح بدون اصطکاک از ارتفاع  $h = 20\text{ cm}$  به طرف پایین می‌غزد و سپس به میله یکنواختی به جرم  $100\text{ g}$  و طول  $40\text{ cm}$  برخورد می‌کند و به آن می‌چسبد. محور میله حول نقطه  $O$  پیش از توقف لحظه‌ای تا زاویه  $\theta$  می‌چرخد.  $\theta$  را به دست آورید.

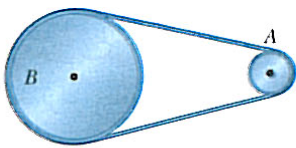


مرکز صفحه و یک گوشه آن قرار دارد می‌چرخد. اندازه حرکت خطی آن نسبت به این محور برابر  $0.104 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$  است. انرژی جنبشی چرخشی آن حول این محور چقدر است؟

**SSM -۷۷** دو ذره هر یک به جرم  $2.90 \times 10^{-4} \text{ kg}$  با تندی  $5.46 \text{ m/s}$  در جهتهای مخالف هم و در طول مسیرهایی موازی که  $4.20 \text{ cm}$  از هم فاصله دارند حرکت می‌کنند. (الف) بزرگی  $L$  اندازه حرکت زاویه‌ای این دستگاه دو ذره‌ای به دور نقطه‌ای در وسط دو مسیر چقدر است؟ (ب) آیا اگر نقطه موردنظر در وسط دو مسیر نباشد مقدار  $L$  تغییر خواهد کرد؟ اگر جهت حرکت یکی از ذره‌ها معکوس شود، (پ) پاسخ قسمت (الف) چقدر خواهد شد؟ (ت) پاسخ قسمت (ب) چقدر خواهد شد؟

**۷۸-** چرخشی به شعاع  $0.250 \text{ m}$  که در ابتدا با تندی  $43.0 \text{ m/s}$  حرکت می‌کند می‌غلند و در فاصله  $225$  متری متوقف می‌شود. مطلوب است محاسبه بزرگیهای (الف) شتاب خطی و (ب) شتاب زاویه‌ای (پ) لختی چرخشی چرخ نسبت به محور مرکزی برابر  $0.155 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  است. بزرگی گشتاور نیروی ناشی از اصطکاک بر چرخ را نسبت به محور مرکزی محاسبه کنید.

**۷۹-** چرخهای  $A$  و  $B$  در شکل ۱۱-۶۱ با تسمه‌ای بدون لغزش به هم متصل شده‌اند. شعاع  $B$  برابر شعاع  $A$  است. نسبت لختی چرخشهای  $I_A/I_B$  چقدر است در صورتی که (الف) دو چرخ دارای اندازه حرکت زاویه‌ای یکسانی نسبت به محور مرکزی باشند و (ب) دو چرخ دارای انرژی جنبشی یکسانی باشند.

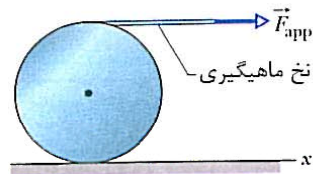


شکل ۱۱-۶۱ مسئله ۷۹

**۸۰-** یک جسم  $2/5 \text{ kg}$  که به طور افقی روی زمین با سرعت  $(-3.00 \text{ m/s})\hat{j}$  حرکت می‌کند با جسمی به جرم  $4.00 \text{ kg}$  که به طور افقی روی زمین با سرعت  $(4.5 \text{ m/s})\hat{i}$  در حرکت است برخورد کشسان می‌کند. این برخورد در مختصات  $xy$  رخ می‌دهد  $(-5.00 \text{ m}, -0.100 \text{ m})$ . برحسب نماد بردار یک اندازه حرکت زاویه‌ای این دو جسم به هم چسبیده را پس از برخورد نسبت به مبدأ به دست آورید.

**SSM -۸۱** چرخ یکنواختی به جرم  $10.0 \text{ kg}$  و شعاع  $0.400 \text{ m}$  به میله‌ای که از مرکز آن می‌گذرد (شکل ۱۱-۶۲) محکم متصل شده است. شعاع میله برابر  $0.200 \text{ m}$  و لختی چرخشی مجموعه چرخ-میله نسبت به محور مرکزی آن برابر  $0.600 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  است. چرخ ابتدا در حال سکون است و در بالای سطح شیب‌داری به زاویه  $\theta = 30.0^\circ$  با افق قرار دارد. میله روی سطح ساکن است در حالی که چرخ داخل شیباری در این سطح بدون تماس با سطح قرار دارد. وقتی چرخ رها شود، میله در طول این سطح به طور هموار به طرف پایین بدون لغزش می‌غلند. وقتی ترکیب چرخ-میله به اندازه  $2.00 \text{ m}$  به طرف پایین سطح حرکت کند،

**SSM -۷۱** در شکل ۱۱-۶۰ نیروی افقی ثابت  $\vec{F}_{\text{app}}$  به بزرگی  $12 \text{ N}$  را به استوانه توپر یکنواختی توسط یک نخ ماهیگیری که به دور استوانه پیچیده شده است وارد می‌کنیم. جرم استوانه  $10 \text{ kg}$  و شعاع آن  $0.10 \text{ m}$  است و استوانه به طور هموار روی سطحی افقی می‌غلند. (الف) بزرگی شتاب مرکز جرم استوانه چقدر است؟ (ب) بزرگی شتاب زاویه‌ای استوانه نسبت به مرکز جرم آن چقدر است؟ (ج) نیروی اصطکاک وارد بر استوانه برحسب نماد بردار یک چیست؟



شکل ۱۱-۶۰ مسئله ۷۱

**۷۲-** لوله‌ای با دیواره نازک در کف اتاق می‌غلند. نسبت انرژی جنبشی انتقالی به انرژی جنبشی چرخشی حول محور مرکزی موازی با طول آن چقدر است؟

**SSM -۷۳** یک ماشین اسباب بازی  $3.0 \text{ kg}$  با سرعت  $\vec{v} = -2.0t^2 \hat{i} \text{ m/s}$  که در آن  $t$  برحسب ثانیه است در راستای محور  $x$  حرکت می‌کند. به ازای  $t > 0$  مطلوب است (الف) اندازه حرکت زاویه‌ای  $\vec{L}$  این ماشین و (ب) گشتاور نیروی  $\vec{\tau}$  وارد بر ماشین، هر دو را نسبت به مبدأ محاسبه کنید. (پ)  $\vec{L}$  و (ت)  $\vec{\tau}$  را نسبت به نقطه  $(2.0 \text{ m}, 5.0 \text{ m}, 0)$  به دست آورید. (ت)  $\vec{L}$  و (ج)  $\vec{\tau}$  را نسبت به نقطه  $(2.0 \text{ m}, 5.0 \text{ m}, 0)$  به دست آورید.

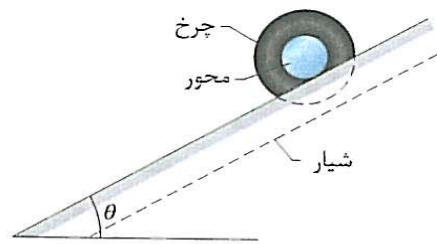
**۷۴-** چرخشی به صورت ساعتگرد حول محور مرکزی خود با اندازه حرکت زاویه‌ای  $600 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$  می‌چرخد. در زمان  $t = 0$ ، گشتاور نیرویی با بزرگی  $50 \text{ N} \cdot \text{m}$  به این چرخ وارد می‌شود تا چرخ را در جهت معکوس بچرخاند. در چه زمان  $t$  تندی زاویه‌ای چرخ صفر است؟

**SSM -۷۵** در یک زمین بازی چرخ و فلک کوچکی به شعاع  $1.20 \text{ m}$  و جرم  $180 \text{ kg}$  وجود دارد. شعاع چرخش (مسئله ۷۹ فصل ۱۰ را ببینید) برابر  $91.0 \text{ cm}$  است. پسر بچه‌ای به جرم  $44.0 \text{ kg}$  با تندی  $3.00 \text{ m/s}$  در طول مسیری که مماس بر لبه چرخ و فلک است می‌دود و در حالی که چرخ و فلک ساکن است روی آن می‌پرد. با چشمپوشی از اصطکاک میان یاتاقانها و میله چرخ و فلک مطلوب است محاسبه (الف) لختی چرخشی چرخ و فلک نسبت به محور چرخش (ب) بزرگی اندازه حرکت زاویه‌ای پسر بچه در حال دویدن نسبت به محور چرخش چرخ و فلک و (پ) تندی زاویه‌ای چرخ و فلک و (ت) تندی زاویه‌ای چرخ و فلک و پسر بچه پس از پریدن او روی چرخ و فلک.

**۷۶-** قطعه‌ای یکنواخت از جنس گرانت به شکل کتاب داریم که صفحه آن دارای ابعاد  $20 \text{ cm}$  و  $10 \text{ cm}$  و ضخامت آن  $1.2 \text{ cm}$  است. چگالی (جرم واحد حجم) گرانت برابر  $2.64 \text{ g/cm}^3$  است. این قطعه به دور محوری که عمود بر صفحه آن است و در وسط



مطلوب است تعیین (الف) انرژی جنبشی چرخشی و (ب) انرژی جنبشی انتقالی این دستگاه.



شکل ۱۱-۶۲ مسئله ۸۱

۸۲- میله یکنواختی در صفحه افقی حول محور قائمی که از یک انتهای آن می‌گذرد می‌چرخد. طول میله  $6/00\text{ m}$  و وزن آن  $10/0\text{ N}$  است و با  $240\text{ rev/min}$  می‌چرخد. مطلوب است محاسبه (الف) لختی چرخشی آن نسبت به محور چرخش و (ب) بزرگی اندازه حرکت زاویه‌ای نسبت به این محور.

۸۳- یک کره توپر با وزن  $36/0\text{ N}$  به طرف بالای سطح شیب‌داری با زاویه  $30/0^\circ$  می‌غلطد. در پایین سطح شیب‌دار مرکز جرم کره دارای تندی انتقالی  $4/90\text{ m/s}$  است. (الف) انرژی جنبشی کره در پایین سطح شیب‌دار چقدر است؟ (ب) این کره تا چه مسافتی از سطح شیب‌دار بالا می‌رود؟ (پ) آیا پاسخ (ب) به جرم کره بستگی دارد؟

۸۴- فرض کنید که یو - یو در مسئله ۱۷ به جای غلتش از حال سکون طوری پرتاب شود که تندی اولیه آن به طرف پایین نخ برابر  $1/3\text{ m/s}$  باشد. (الف) چه مدت طول می‌کشد تا یو - یو به انتهای نخ برسد. وقتی به انتهای نخ رسید مطلوب است (ب) انرژی جنبشی کل، (پ) تندی خطی (ت) انرژی جنبشی انتقالی (ث) تندی زاویه‌ای و (ج) انرژی جنبشی چرخشی.

۸۵- بچه‌ای به جرم  $M$  روی لبه یک چرخ و فلک به شعاع  $R$  و لختی چرخشی  $I$  که نمی‌چرخد ایستاده است. او سنگی به جرم  $m$  را به طور افقی در جهتی که مماس بر لبه خارجی چرخ و فلک است پرتاب می‌کند. تندی سنگ نسبت به زمین برابر  $v$  است. بعد از این کار (الف) تندی زاویه‌ای چرخ و فلک چقدر است؟ (ب) تندی خطی بچه چقدر است؟

۸۶- در زمان  $t=0$  یک جسم  $2/0\text{ kg}$  با بردار مکان  $\vec{r} = (4/0\text{ m})\hat{i} - (2/0\text{ m})\hat{j}$  نسبت به مبدأ قرار دارد. سرعت جسم برابر  $\vec{v} = (-6/0\text{ m/s})\hat{i}$  برای  $t \geq 0$  برحسب ثانیه است. (الف) اندازه حرکت زاویه‌ای جسم  $\vec{L}$  نسبت به مبدأ و (ب) گشتاور نیروی  $\vec{\tau}$  وارد بر ذره نسبت به مبدأ را هر دو بر حسب نماد بردار یکه برای  $t > 0$  بنویسید. (ب) مقدار  $\vec{L}$  و (ت) مقدار  $\vec{\tau}$  را برای  $t > 0$  نسبت به نقطه  $(-2/0\text{ m}, -3/0\text{ m}, 0)$  به دست آورید.

۸۷- اگر کوههای یخی قطبی زمین به طور کامل ذوب شوند و آب حاصل به اقیانوسها برگردد، عمق اقیانوسها تا حدود  $30\text{ m}$  افزایش می‌یابد. این واقعه چه تأثیری بر چرخش زمین خواهد

داشت؟ فرض کنید تغییرات حاصل در ظرف یک روز انجام گیرد. (توجه کنید که گرم شدن جو در نتیجه آلودگیهای صنعتی می‌تواند موجب ذوب یخهای قطبی شود.)

۸۸- یک هواپیمای  $1200\text{ kg}$  در خط راستی با تندی  $80\text{ m/s}$  و در ارتفاع  $1/3\text{ km}$  بالای زمین پرواز می‌کند. بزرگی اندازه حرکت زاویه‌ای آن نسبت به نقطه‌ای روی زمین که مستقیماً در زیر مسیر هواپیما قرار دارد چقدر است؟

۸۹- چرخ دوچرخه‌ای را به شعاع  $0/350\text{ m}$  و وزن  $37/0\text{ N}$  با محور و پره‌هایی با جرم ناچیز و لبه باریک در نظر بگیرید که می‌تواند روی محور خود بدون اصطکاک بچرخد. شخصی در حالی که روی صفحه گردانی که می‌تواند بدون اصطکاک آزادانه بچرخد ایستاده است این چرخ را با محور قائم بالای سر خود نگه می‌دارد. صفحه در ابتدا ساکن است و وقتی از بالا دیده شود چرخ به طور ساعتگرد با تندی زاویه‌ای  $55/7\text{ rad/s}$  می‌چرخد. لختی چرخشی چرخ + شخص + صفحه گردان نسبت به محوری مشترک برای چرخش برابر  $2/10\text{ kg}\cdot\text{m}^2$  است. شخص ناگهان با دست‌آزاد خود چرخش چرخ را متوقف می‌کند (نسبت به صفحه گردان) (الف) تندی زاویه‌ای و (ب) جهت چرخش دستگاه را تعیین کنید.

۹۰- بزرگی اندازه حرکت زاویه‌ای یک شخص  $84\text{ kg}$  که در استوا ایستاده است نسبت به مرکز زمین مربوط به چرخش زمین چقدر است؟

۹۱- کره توپر کوچکی به شعاع  $0/25\text{ cm}$  و جرم  $0/56\text{ g}$  بدون لغزش درون یک نیمکره بزرگ و ثابت با شعاع  $15\text{ cm}$  و محور تقارن قائم می‌غلطد. این کره از بالا و از حال سکون شروع به حرکت می‌کند. (الف) انرژی جنبشی آن در پایین نیمکره چقدر است؟ (ب) چه کسری از انرژی جنبشی آن در پایین نیمکره مربوط به چرخش حول محوری است که از مرکز جرم آن می‌گذرد؟ (پ) بزرگی نیروی عمودی وارد بر نیمکره از طرف کره وقتی به پایین سطح نیمکره می‌رسد چقدر است؟

۹۲- تندی اتومبیلی به جرم کلی  $1700\text{ kg}$  از حال سکون در مدت  $10\text{ s}$  به  $40\text{ km/h}$  می‌رسد. فرض کنید که هر چرخ یک قرص یکنواخت  $32\text{ kg}$  است. در انتهای این بازه  $10$  ثانیه‌ای مطلوب است (الف) انرژی جنبشی چرخشی هر چرخ نسبت به محورش، (ب) انرژی جنبشی کلی هر چرخ و (پ) انرژی جنبشی کل اتومبیل.

۹۳- جسمی به شعاع  $R$  و جرم  $m$  به طور هموار با تندی  $v$  روی یک سطح افقی می‌غلطد. جسم سپس تا ارتفاع بیشینه  $h$  از تپه‌ای بالا می‌رود. (الف) در صورتی که  $h = 3v^2/4g$  باشد، لختی چرخشی جسم را نسبت به محور چرخشی که از مرکز جرم آن می‌گذرد به دست آورید. (ب) این جسم چه چیزی می‌تواند باشد؟