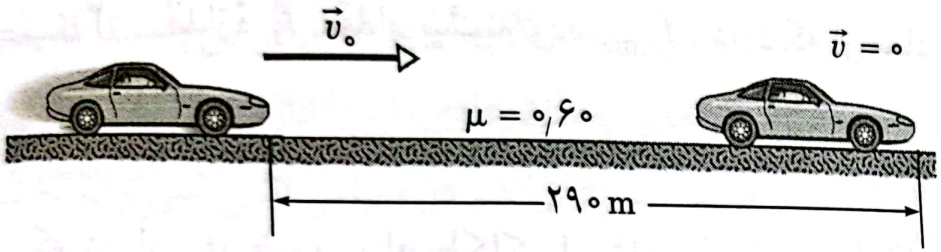
هنگامی که چرخ‌های اتومبیل ضمن ترمز گرفتن اضطراری «قفل می‌شوند» (و از غلتش باز می‌مانند)، اتومبیل در امتداد جاده سُر می‌خورد. کَنده شدن قسمتی از لاستیک و ذوب شدن لایهٔ نازکی از جاده منجر به ایجاد «خط ترمزی» می‌شود که حاکی از وقوع جوش‌خوردگی

سرد در خلال حادثهٔ سُر خوردن است. رکورد طولانی‌ترین خط ترمز در جادهٔ معمولی را در سال ۱۹۶۰ گزارش کرده‌اند که آن را اتومبیلی از نوع جاگوار در بزرگراه M1 انگلیس بر جای گذاشت (شکل ۶-۳الف)، و طول آن بالغ بر ۲۹۰ m بود. با فرض آن‌که $\mu_k = ۰/۶۰$ و شتاب حرکت در طول ترمزگیری ثابت بوده باشد، این اتومبیل هنگام قفل شدن چرخ‌ها با چه سرعتی در حرکت بود؟

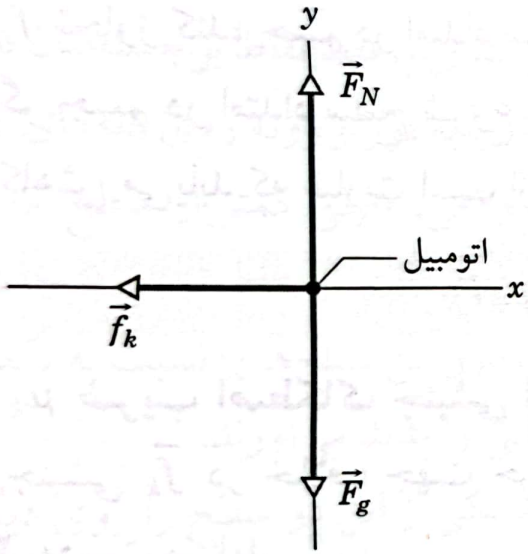
نکته‌ها

(۱) چون شتاب a ثابت فرض شده است، با استفاده از معادلات شتاب ثابت در جدول ۲-۱ می‌توان سرعت اولیهٔ $v_۰$ اتومبیل را به‌دست آورد. (۲) در صورتی که از اثرات مقاومت هوا بر اتومبیل صرف‌نظر کنیم، شتاب a را باید صرفاً ناشی از نیروی اصطکاک جنبشی $\vec{f}_k$ دانست که جاده در خلاف جهت حرکت اتومبیل (که در شکل ۶-۳ب در جهت محور x در نظر گرفته شده است) بر آن وارد کرده بود. ارتباط میان این نیرو و شتاب را می‌توان با نوشتن قانون دوم نیوتون برای مؤلفه‌های x ($F_{\text{برایند},x} = ma_x$) مشخص کرد

$$-f_k = ma \qquad (۶-۳)$$



(الف)



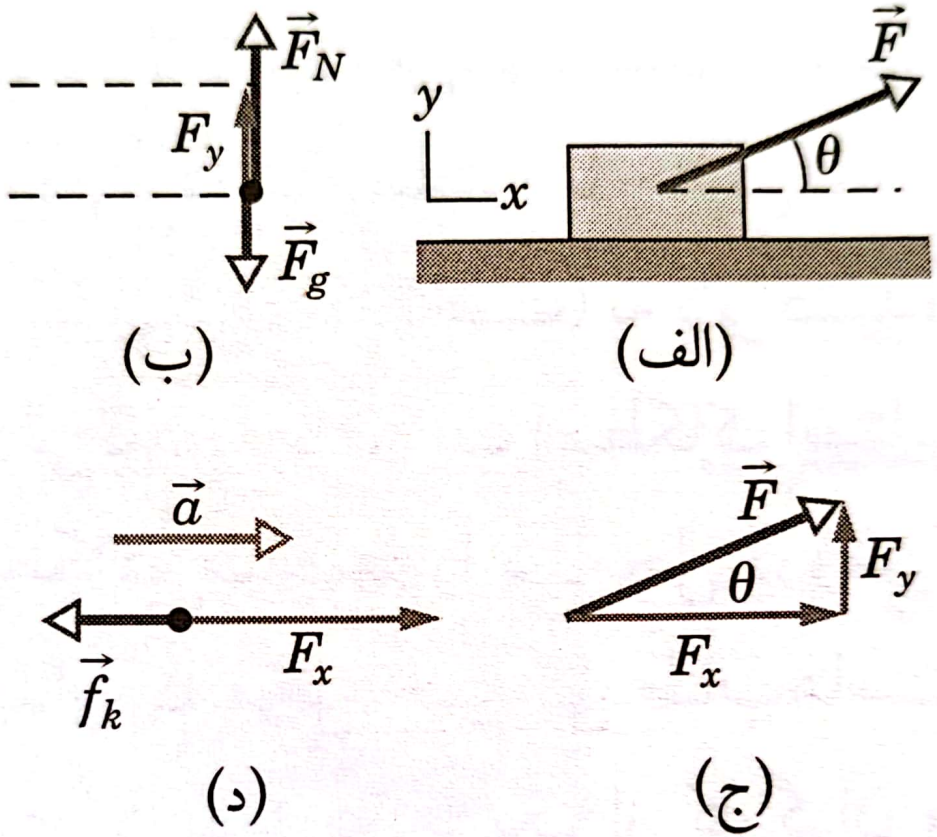
(ب)

شکل ۶-۳ (الف) اتومبیلی که به طرف راست در حال سُر خوردن است، سرانجام پس از جابه‌جایی ۲۹۰ m متوقف می‌شود. (ب) نمودار جسم آزاد برای این اتومبیل.

که در آن علامت منفی نشان

مسئلهٔ نمونه ۶-۲

در شکل ۶-۴الف، قطعه‌ای به جرم $m = ۳٫۰\,\text{kg}$ را نشان داده‌ایم که در حالی که نیروی $\vec{F}$ به بزرگی $۱۲٫۰\,\text{N}$ با زاویهٔ رو به بالای θ بر آن وارد شده است، روی کف اتاق می‌لغزد. ضریب اصطکاک جنبشی بین قطعه و کف اتاق $\mu_k = ۰٫۴۰$ است. مقدار زاویهٔ θ از صفر تا ۹۰° قابل تغییر است (قطعه همیشه روی کف اتاق می‌ماند). بیشینهٔ مقدار شتاب a قطعه به‌ازای چه مقداری از زاویهٔ θ حاصل می‌شود؟



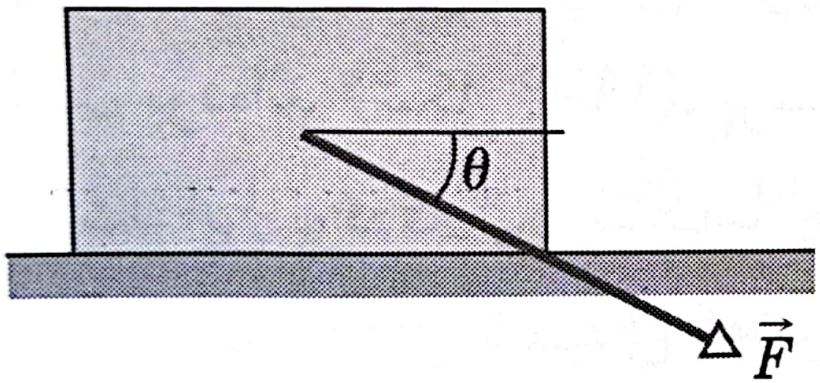
شکل ۶-۴ (الف) نیروی وارد شده بر قطعهٔ در حال حرکت. (ب) نیروهای قائم. (ج) مؤلفه‌های نیروی وارد شده. (د) نیروهای افقی و شتاب.

هرچند که برای توضیح طرز ساخت «هرم بزرگ» (بزرگ‌ترین هرم از اهرام ثلاثهٔ مصر) تاکنون روش‌های هوشمندانهٔ زیادی در نظر گرفته شده‌اند، ولی قطعه سنگ‌های آن را ممکن است کارگران با کشیدن طناب‌هایی از روی وجوه جانبی هرم به بالا کشیده باشند. در شکل ۶-۵الف، قطعه سنگی به جرم ۲۰۰۰ kg را در حالی که روی سطح جانبی صاف شدهٔ هرم بزرگ، یا سطح شیبداری به زاویهٔ

$\theta = ۵۲^\circ$، به طرف بالا کشیده می‌شود نشان داده‌ایم. این قطعه سنگ به سورتمه‌ای چوبی بسته شده است و با چندین طناب (که فقط یکی از آن‌ها در شکل نشان داده شده است) به بالا کشیده می‌شود. مسیر سورتمه را با آب تر کرده‌اند تا ضریب اصطکاک ایستایی به مقدار ۰٫۴۰ کاهش یابد. اصطکاک طناب‌ها را در محل (روغن‌کاری شدهٔ) لبهٔ بالایی سطح شیبدار، که محل خمیدگی طناب‌هاست، قابل گذشت بگیرید. اگر نیروی کششی که هریک از کارگران وارد می‌آورد به مقدار (قابل قبول) ۶۸۶ N باشد، برای آن‌که قطعه در آستانهٔ حرکت رو به بالا قرار بگیرد به چند کارگر نیاز است؟

برابر زمان لازم برای پیمودن سُرسُرهٔ بدون اصطکاک با همان شیب، می‌پیماید. ضریب اصطکاک جنبشی بین شخص و سُرسُره چقدر است؟

*۷ قطعه‌ای به جرم ۳٫۵ kg را با نیروی $\vec{F}$، به مقدار ۱۵ N و تحت زاویهٔ $\theta = ۴۰^\circ$، در سطحی افقی به جلو هُل می‌دهیم (شکل ۶-۲۰). ضریب اصطکاک جنبشی بین قطعه و سطح ۰٫۲۵ است. (الف) مقدار نیروی اصطکاکی را که سطح بر قطعه وارد می‌کند، و (ب) مقدار شتاب حرکت قطعه را به‌دست آورید.



شکل ۶-۲۰ مسئله‌های ۷ و ۲۴.

شعاعی r نوشته شود، مقدار این نیرو را چنین می‌یابیم

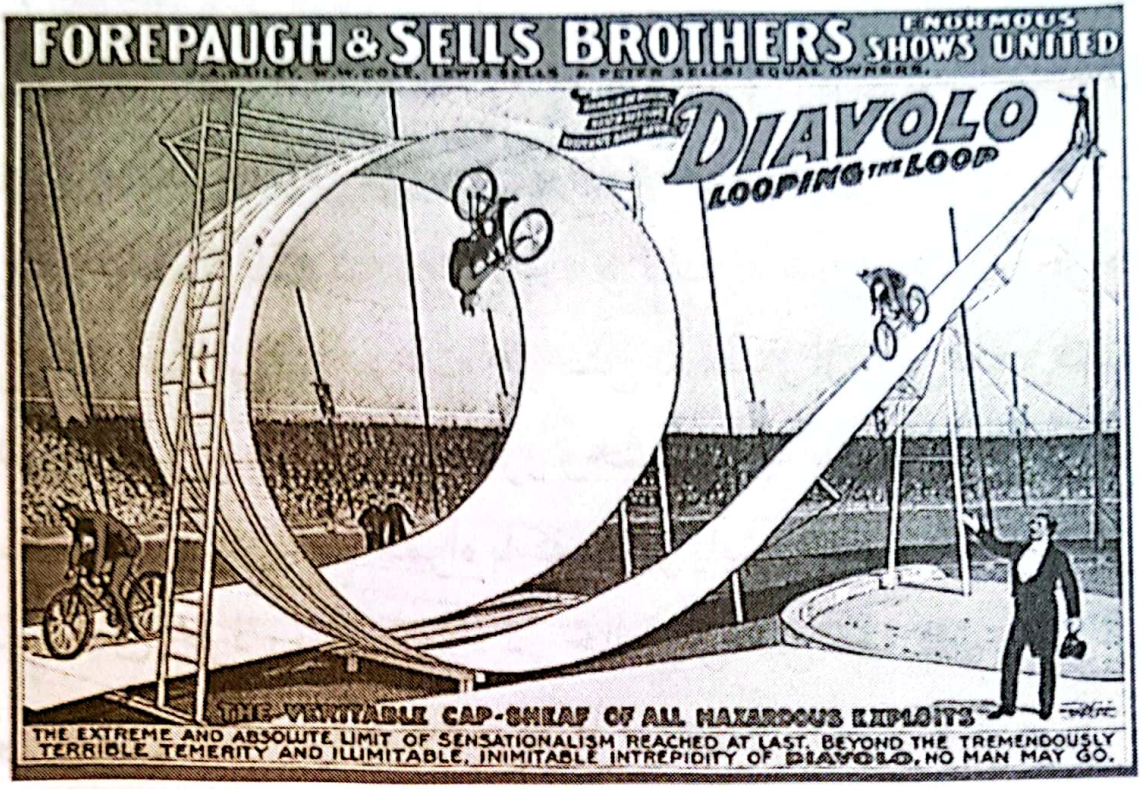
مسئلهٔ نمونه ۶-۷

در سال ۱۹۰۱، آلو دیاوُلوُ در اجرای سیرکی با دوچرخه‌سواری در مسیر حلقه در حلقه «عملیات بی‌باکانه‌ای» را به نمایش گذاشت (شکل ۶-۱۰الف). با فرض آن‌که حلقهٔ مسیر دایره‌ای به شعاع $R = ۲٫۷\,\mathrm{m}$ باشد، حداقل سرعتی که دیاوُلوُ در بالاترین نقطهٔ مسیر می‌بایستی داشته باشد تا تماس با مسیر حفظ شود چقدر است؟

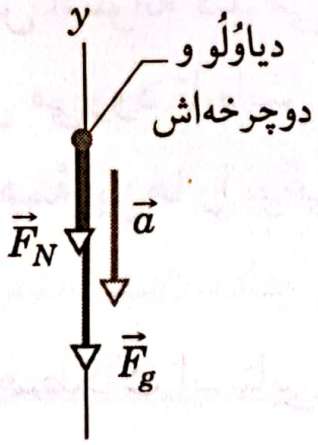
نکته

می‌توان دیاوُلوُ و دوچرخه‌اش را همچون ذره‌ای منفرد، و

صفر را نشان خواهد داد زیرا هم ایگور و هم ترازو در حالت سقوط آزاد خواهند بود، و درنتیجه پاهای وی هیچ فشاری بر ترازو وارد نخواهند کرد.



(الف)



(ب)

شکل ۶-۱۰ (الف) آگهی تبلیغاتی در زمان برگزاری سیرک، و (ب) نمودار جسم آزاد برای دوچرخه و دوچرخه‌سوار در بالاترین نقطهٔ مسیر.

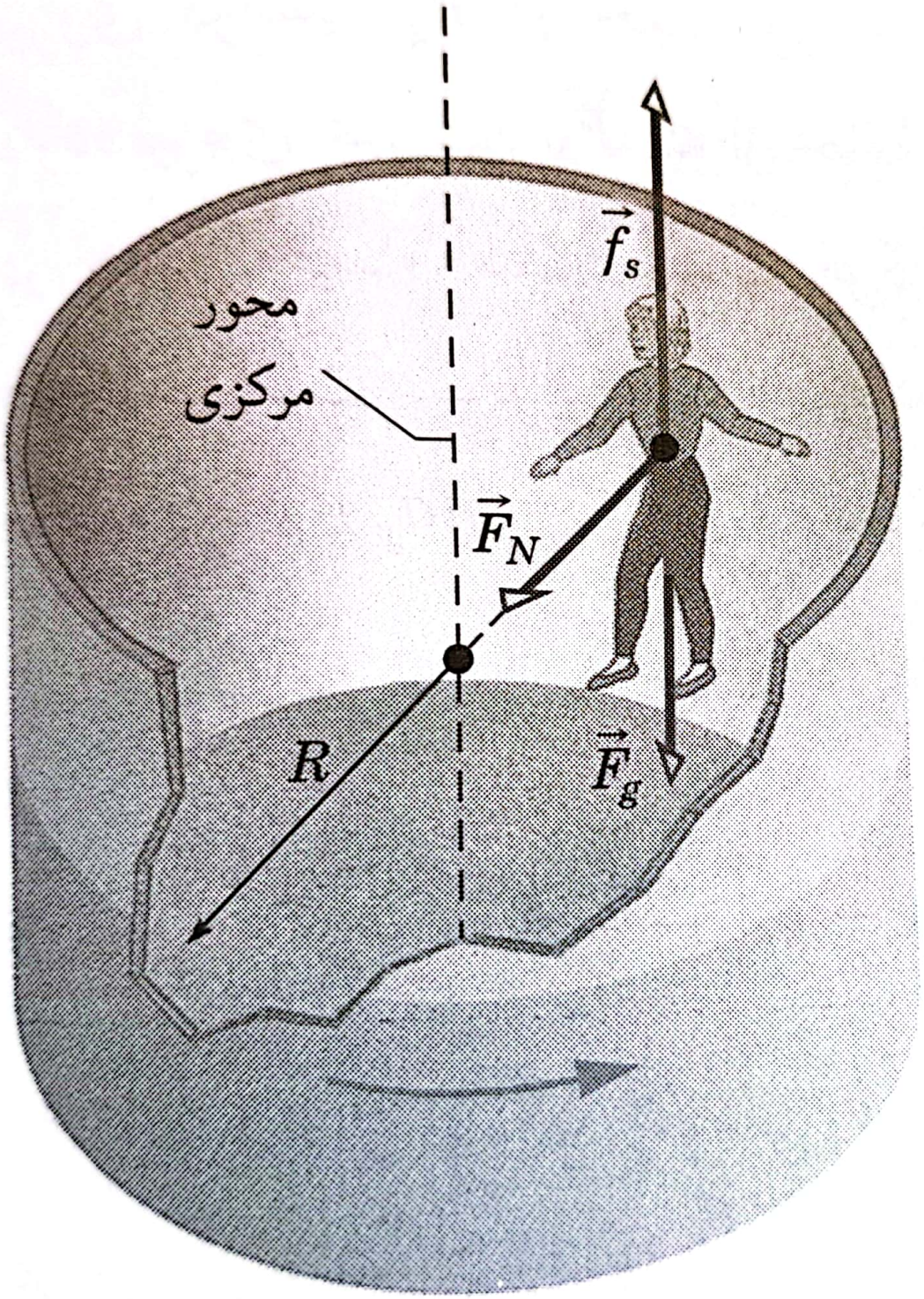
حتی بعضی سوارشوندگان با تجربهٔ قطار هوایی هم وقتی به فکر سوار شدن به این «چرخانه» می‌افتند، رنگ‌شان را می‌بازند. این چرخانه، در اساس، استوانهٔ توخالی بزرگی است که با سرعت زیاد حول محور مرکزی‌اش چرخانده می‌شود (شکل ۶-۱۱). سوارشونده، پیش از شروع چرخش، از دری که در سطح جانبی استوانه قرار دارد وارد می‌شود و در حالی که پشت خود را به دیوارهٔ کرباس‌پوش تکیه داده است، روی کف استوانه می‌ایستد. در بسته می‌شود، و با شروع چرخش استوانه، شخص سوارشده و دیواره و کف به همراه هم به چرخش درمی‌آیند. هنگامی که سرعت چرخش به مقدار از پیش‌تعیین‌شده‌ای رسید، کف زیر پا به‌ناگهان و به‌طرز وحشتناکی به پایین کشیده می‌شود. ولی، شخص سوار شده همراه با کف زیر پایش سقوط نمی‌کند بل‌که در سر جای خود روی دیوارهٔ در حال چرخش نگه داشته می‌شود؛ گویی عاملی ناپیدا (به‌گونه‌ای که تا حدی غیردوستانه است) تمام بدنش را به دیواره می‌فشارد. مدتی بعد، کف اتاقک به زیر پای شخص برگردانده می‌شود، چرخش استوانه کُند می‌شود، و شخص هم چند سانتی‌متری به طرف پایین می‌رود تا پایش روی کف اتاقک محکم شود. (بعضی از اشخاص همهٔ این‌ها را نوعی سرگرمی و تفریح تلقی می‌کنند.)

فرض کنید ضریب اصطکاک ایستایی μ_s بین لباس شخص و کرباس دیواره برابر ۰٫۴۰ و شعاع استوانه هم $R = ۲٫۱\,\mathrm{m}$ است.

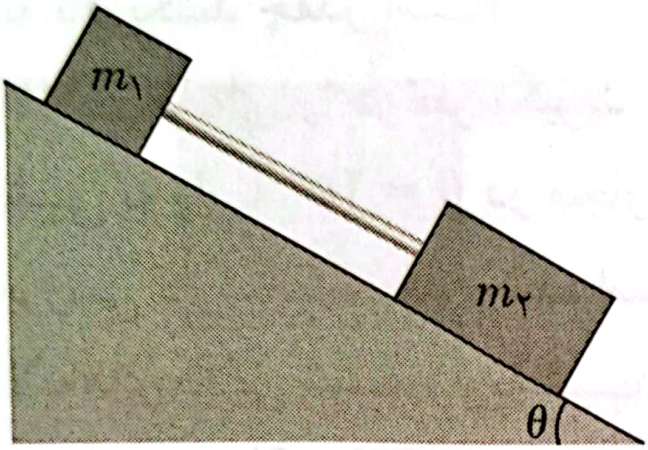
(الف) هنگامی کف اتافک به طرف پایین سقوط می‌کند، برای جلوگیری از سقوط شخص سوارشده، حداقل سرعت v استوانه و شخص چقدر باید باشد؟

نکته‌ها

۱. نیروی گرانشی $\vec{F}_g$ وارد بر شخص در جهت فرو لغزاندن او از دیواره است، اما وی به این دلیل لغزانده نمی‌شود که نیروی اصطکاکی از دیواره درجهت رو به بالا بر او وارد می‌شود (شکل ۶-۱۱).



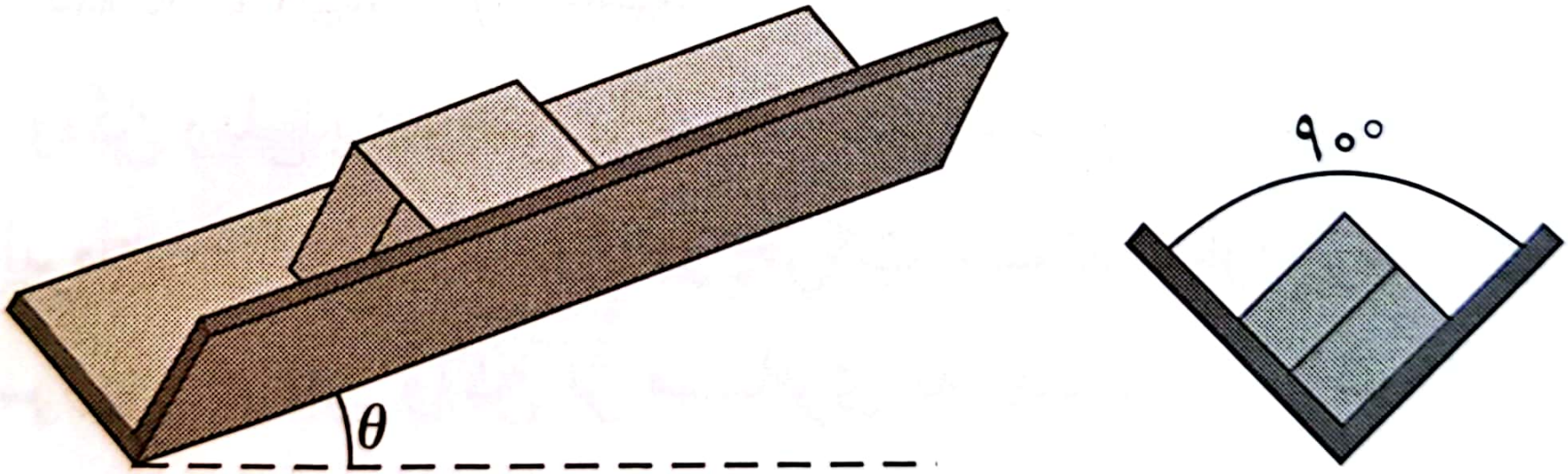
شکل ۶-۱۱ استوانهٔ چرخان در شهر بازی که در آن نیروهای وارد بر شخص سوارشده نشان داده شده‌اند. نیروی مرکزگرا در این‌جا همان نیروی عمودی $\vec{F}_N$ است که دیواره در جهت رو به داخل بر شخص وارد می‌کند.



شکل ۶-۵۲ مسئلهٔ ۶۸.

۶۸ در شکل ۶-۵۲، یک جعبهٔ کوچک به جرم $m_1 = 1{,}65\ \mathrm{kg}$ و جعبه‌ای بزرگ‌تر به جرم $m_2 = 3{,}30\ \mathrm{kg}$ در حالی در سطح شیبدار به طرف پایین می‌لغزند که با میله‌ای بدون جرم به موازات سطح با یکدیگر اتصال دارند. زاویهٔ شیب برابر $\theta = 30{,}0^\circ$ است. ضریب‌های اصطکاک جنبشی بین جعبهٔ کوچک‌تر و سطح برابر $\mu_1 = 0{,}226$، و جعبهٔ بزرگ‌تر با سطح $\mu_2 = 0{,}113$ است. (الف) نیروی کشش موجود در میله را به‌دست آورید. (ب) مقدار شتاب حرکت جعبه‌ها را تعیین کنید. (ج) اگر جعبه‌های بزرگ‌تر و کوچک‌تر به‌ترتیب معکوس (بزرگ‌تر در بالا و کوچک‌تر در پایین) در حرکت می‌بودند، در پاسخ‌های (الف) و (ب) چه تغییری پدید می‌آمد؟

۶۹ در شکل ۶-۵۳، صندوقی را نشان داده‌ایم که در یک ناودانی راستگوشه که یال آن زاویهٔ θ با افق می‌سازد، به طرف پایین می‌لغزد. ضریب اصطکاک جنبشی بین صندوق و ناودانی μ_k است. شتاب حرکت صندوق را برحسب μ_k، θ، و g به‌دست آورید.



شکل ۶-۵۳ مسئلهٔ ۶۹.