محمد حسینی فرد

فیزیک در شهربازی

برج سقوط

این تصویری از یک برج سقوط است. شما به سرعت به ارتفاع یک ساختمان ۲۹ طبقه بالا برده می‌شوید و در آن بالا وقتی که پایین را نگاه می‌کنید، می‌توانید تصور کنید که روی لبهٔ یک آسمان خراش نشسته‌اید.

و ناگهان... ترمز دستگاه به‌یکباره آزاد می‌شود شما و صندلی که روی آن نشسته‌اید، سقوط می‌کنید. درست یک ثانیه یا کمی بیشتر از این‌که شما فکر کنید با زمین برخورد سختی خواهید کرد، صندلی به آرامی متوقف می‌شود. چهرهٔ افراد قبل و بعد از سوار شدن بسیار دیدنی است. همگی بعد از سقوط رنگ پریده‌اند. اجازهٔ تصویربرداری از چهرهٔ این افراد داده نشد.

بگذریم، ارتفاع ۲۹ طبقه‌ای این برج حدوداً معادل ۲۹۰ فوت یا ۸۸ متر است. با وجود این، به‌خاطر سازوکار سقوط و امنیت سرنشینان، شما کمتر از ۸۸ متر سقوط می‌کنید. در آخرین لحظات سقوط، صندلی چندین بار بالا و پایین می‌روند تا در نهایت به آرامی متوقف شود (مانند توپی که از ارتفاعی رها شود).

سقوط آزاد شما وقتی در این دستگاه هستید حدود ۳ ثانیه طول می‌کشد. از معادلهٔ زیر برای محاسبهٔ سقوط سرنشینان در این سقوط آزاد استفاده می‌کنیم:

$$d = v_i \times t + ۰/۵g \times t^۲$$

که در این معادله، d ارتفاع سقوط، v سرعت اولیه (در این‌جا برابر صفر) و g شتاب گرانشی زمین معادل ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه است. پس معادله به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$d = ۰/۵g \times t^۲$$

حال ببینیم در ۳ ثانیه صندلی چه‌قدر سقوط می‌کند.

$$d = ۰/۵ \times ۹/۸ \times ۳^۲$$
$$= ۴۴/۱m$$

شما در آن ۳ ثانیه ۴۴/۱ متر سقوط می‌کنید که گرچه از ۸۸ متر کمتر است، ولی یک تجربهٔ سقوط آزاد واقعی‌است؛ مخصوصاً وقتی چشمانتان را باز نگه دارید؛ البته اگر جرئت این کار را داشته باشید.

چرخ و فلک

حتماً تا به حال چرخ و فلک سوار شده‌اید یا حداقل یکی از آن‌ها را دیده‌اید. در مقایسه با دیگر وسایل شهربازی، حرکت سریعی ندارد. به‌منظور تحلیل فیزیکی حرکت این دستگاه باید از معادلات حرکت دایره‌ای استفاده کنید. ما در این‌جا قصد انجام همین کار را داریم. در این چرخ و فلک نمونه، شعاع چرخش ۷ متر است. به آرامی می‌چرخد و تقریباً ۲ ثانیه طول می‌کشد که واگن اول به محل قبلی واگن دوم برسد. بنابراین چرخ و فلک در هر ۲ ثانیه ۲۶ درجه می‌چرخد. سرعت چرخش آن معادل ۱۳ درجه در هر ثانیه است. مشکلی در این طرز بیان کردن سرعت نیست. اما از آن‌جا که با واحد متر بر ثانیه آشناتریم، این‌جا نیز از همین واحد استفاده می‌کنیم.

سؤال این است که سرنشینان هر کدام از واگن‌های چرخ و فلک در هر ثانیه چند متر جابه‌جا می‌شوند؟ برای پاسخ به این سؤال نام‌گذاری‌های زیر را انجام می‌دهیم: فاصلهٔ واگن‌ها از هم را کمان a می‌نامیم. این فاصله‌ای است که به محاسبهٔ آن نیاز داریم. زاویهٔ مرکزی یا مقابل هر دو واگن مجاور را x می‌نامیم. چرخ و فلک زمانی یک دور کامل می‌زند که ۳۶۰ درجه بچرخد. یعنی سرنشینان هر واگن یک‌بار محیط چرخ و فلک را دور بزنند. نسبت طول هر کمان (فاصلهٔ دو واگن مجاور) به محیط چرخ و فلک برابر است با نسبت زاویهٔ مرکزی (زاویهٔ بین دو واگن مجاور) به ۳۶۰ درجه.

$$\frac{a}{2\pi r}=\frac{x}{360^\circ}$$

گفته بودیم که شعاع چرخش (شعاع چرخ و فلک) ۷ متر و زاویهٔ مرکزی x برابر با ۲۶ درجه است. بنابراین:

$$\frac{a}{2\times 3/14\times 7}=\frac{26}{360} \qquad a=\frac{43/96\times 26}{360}$$

$$a=3/17$$

مقدار $a=3/17$ فاصلهٔ بین دو واگن مجاور است که در هر دو ثانیه طی می‌شود. پس سرعت چرخ و فلک برحسب متر بر ثانیه برابر است با: ۱/۵۸۵ یا تقریباً ۱/۶ متر بر ثانیه.

ترن هوایی

نیروی گرانش شما را به سمت زمین می‌کشد و در نتیجه، شما در مسیرهای غیرافقی تحت تأثیر شتاب گرانشی زمین قرار می‌گیرید. مقدار شتاب گرانشی زمین ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه است. یعنی سرعت سقوط شما در هر ثانیه ۹/۸ متر بر ثانیه زیاد می‌شود. قطارهای هوایی طوری طراحی شده‌اند که شما با شتابی کمتر از شتاب سقوط آزاد (۹/۸ متر بر مجذور ثانیه) سقوط کنید تا صدمه نبینید. هنگامی که قطار در بالاترین نقطه است، توسط نیروی گرانشی زمین به سمت پایین کشیده می‌شود. هرچه مسیر حرکت عمودی‌تر باشد، شتاب سقوط به ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه نزدیک‌تر است.

مهندسان شتاب قطار را با طراحی شیب‌های متفاوت مسیر تنظیم می‌کنند. در واقع، زاویهٔ شیب مسیر تعیین می‌کند که قطار چه شتابی داشته باشد. شما می‌توانید شتاب قطار را با محاسباتی ساده به دست آورید.

در این تصویر شما دو مقدار برای شتاب می‌بینید. اگر شما مستقیم به سمت زمین سقوط کنید، به‌خاطر گرانش شتابی معادل ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه خواهید داشت. در حالی‌که شیب مسیر باعث می‌شود شتاب شما کمتر از این مقدار باشد. در این نوع قطارها، زاویهٔ شیب حدود ۵۵ درجه است که شتابی حدود ۸ متر بر مجذور ثانیه به شما می‌دهد. اتفاقاً طول مسیر شیب هم طوری طراحی شده که سرعت قطار در پایین‌ترین نقطهٔ شیب هم سرعتی مطمئنه داشته باشد؛ بدون ایجاد هیچ‌گونه آسیبی برای شما که در قطار نشسته‌اید. محاسبات شتاب ترن هوایی را با هم بررسی می‌کنیم:

به زاویهٔ ۵۵ درجه در پایین شیب نگاه کنید. بردار شتاب ۹/۸ متر بر مجذور ثانیه و به سمت پایین (مرکز زمین) ترسیم شده است. ما می‌خواهیم مؤلفه x را که در این‌جا شتاب قطار روی شیب است، پیدا کنیم. برای حل مسئله به زاویه‌ای در مثلث کوچک احتیاج داریم. زاویهٔ پایین در مثلث کوچک براساس قوانین تشابه دو مثلث ۵۵ درجه است (زاویه‌های a و b برابرند و هر دو مثلث یک زاویهٔ ۹۰ درجه دارند. پس زاویهٔ سوم آن‌ها هم برابرند). بنابراین:

$$\sin 55=\frac{x}{9/8}$$

که در نهایت داریم: $x=8m/s^2$

که همان شتاب قطار روی مسیر شیب‌دار خود است.