درک مفهوم تکانه‌زاویه‌ای به‌کمک مترفنری نجاران

جان دبلیو جیوت جونیور، گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی ایالتی کالیفرنیا، آمریکا
مترجم: سیدمهدی میرفتحی، دانشجوی دکتری فیزیک دانشگاه مازندران

کلیدواژه‌ها: تکانه زاویه‌ای، غلتش، گشتاور، اصطکاک

اشاره

من و نوهٔ ۷ ساله‌ام بن در حیاط خلوت خانه دریافتیم که متر فنری نجارها می‌تواند برای مشاهده پایستگی تکانه زاویه‌ای یک دستگاه غیرمنزوی مورد استفاده قرار گیرد. برای آنچه در این مقاله مورد بحث قرار گرفته است من از متر شکل ۱ استفاده کردم. هنگامی که متر کشیده و سپس رها می‌شود، ساختار فنری باعث جمع شدن آن در بدنه‌اش می‌گردد. در نتیجه جمع شدن نوار متر، تکانه زاویه‌ای سازوکار فنری موجود در آن به‌هنگام واکنش نوار افزایش خواهد یافت. نتیجه این افزایش تکانه زاویه‌ای را می‌توان با دو آزمایش مشاهده کرد.

آزمایش ۱ همان‌گونه که در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است، شامل قرار دادن لبه پشتی دستگاه روی زمین و کشیدن نوار متر به‌صورت عمودی رو به بالاست. تمام دستگاه شامل نوار متر، بدنه و ساختار فنری را به عنوان دستگاه در نظر می‌گیریم. پیش از رها شدن نوار کشیده شده، تکانه زاویه‌ای دستگاه صفر است. با رعایت احتیاط و دور نگه‌داشتن دست‌ها، صورت و انگشتان از این دستگاه، نوار کشیده شده را رها کنید. نوار به سمت پایین حرکت می‌کند و به‌واسطه ساختار فنری دستگاه به درون آن کشیده می‌شود و بدنهٔ دستگاه ثابت باقی می‌ماند. با پایین آمدن نوار تکانه زاویه‌ای فنر چرخان این دستگاه افزایش می‌یابد (در شکل ۱ چرخش در جهت ساعتگرد است). اگر دستگاه منزوی بود، حرکت ساختار فنری سبب می‌شد تا برای صفر شدن تکانه زاویه‌ای کل دستگاه، بدنه دستگاه در جهت پاد ساعتگرد بچرخد. به هر حال این دستگاه *غیرمنزوی* است و یعنی گشتاور ناشی از نیروی عمودی تکیه‌گاه (سطح) مانع از چرخش بدنه می‌شود و تکانهٔ زاویه‌ای دستگاه افزایش می‌یابد. وقتی نوار فنر کاملاً جمع شد، از حرکت بازمی‌ایستد و چرخش ساختار فنری درون بدنه نیز متوقف می‌شود. اکنون چه بر سر تکانه زاویه‌ای دستگاه آمده است که درست تا پیش از توقف حرکت آن وجود داشت، نمی‌تواند که نابود شود! به محض توقف ناگهانی نوار و ساختار فنری، تکانه زاویه‌ای دستگاه با وارون شدن آن روی سطح یا غلتش ساعتگرد خود را نشان می‌دهد و پایسته می‌ماند. در تصویر ۲ نمایی از وارون شدن متر نشان داده شده است. برای نشان دادن اینکه حرکت بدنه همیشه در یک جهت است از شاگردان خود بخواهید این آزمایش را چند

بار تکرار کنند. بدنه متر چند بار می‌غلتد یا وارون می‌شود؟ آیا این عدد همیشه ثابت است؟

برای انجام آزمایش دوم به مشـارکت یک شاگرد یا یک همکار نیاز دارید. متر نواری را مطابق شکل۳ از یک پهلو روی زمین قرار دهید و نوار را به‌صورت افقی بکشـید. یکی از افراد بدنه دستگاه و دیگری انتهای آزاد نوار را ثابت نگه می‌دارند و هر دو همزمان آن‌ها را رها کنند.

اگر متر روی سطح ناهمواری همچون سیمان باشد، بدنه دستگاه هنگام کشیده شـدن نوار به درون آن ثابت می‌ماند. گشـتاور ناشـی از اصطکاک بین بدنه و سـطح ناهموارِ برای جلوگیری از چرخیدن بدنه کافی است. وقتی نور کاملا جمع شـد و از حرکت باز ایستاد، تمام دسـتگاه چند بار در جهت ساعتگرد یعنی درست در همان جهتی می‌چرخد که سازوکار فنر پیش از توقف چرخشش داشت. (شکل۳)

اکنون از شـاگردان بخواهید تغییر پارامترهای درگیر در این آزمایش را بررسـی کنند. به‌عنوان مثال، آزمایش دوم را روی سـطحی نرم مانند ورقه‌ای شیشـه انجام دهند. کاهش گشـتاور اصطکاکی چه تأثیری بر روی چرخش بدنه خواهد داشـت؟ سـعی کنید آزمایش دومِ را با قـرار دادن متر روی پهلوی دیگرش تکرار کنید. معمولاً یک طرف این مترها دارای گیرهٔ نگهدارنده اسـت در حالی که طرف دیگر مانند آنچه در تصویر ۱ مشاهده می‌شـود، فقط دارای برچسب است. رابطهٔ چرخش نهایی دستگاه با طرفی که روی سطح قرار می‌گیرد، چگونه است؟

همین‌طـور از شـاگردان بخواهید ایـن آزمایش‌ها را به روش‌هـای مختلف تحلیل کنند. از رهیافتـی کلی به انرژی اسـتفاده کنید و معادله انرژی این دسـتگاه را برای چند بازهٔ زمانی بنویسـید: مانند وقتی که دسـت شـما متر را بیرون می‌کشـد، هنگامی که سـاختارِ فنری آن را بـه د اخل بدنه می‌کشد و هنگامی که نوار کاملاً در بدنه متر جمع شده است. پایستگی تکانه را نیز در نظر بگیرید. در آزمایش دوم، هنگامی که نوار دارد بدنه می‌شـود، بدنه به‌ویژه روی سطح شیشه‌ای، به عقب سر می‌خورد (یعنی در شکل ۳ به سمت شما خواهد آمد). از شاگردان بخواهید آن را توجیه کنند.

شکل۱. متر فنری از پشت روی زمین قرار گرفته و نوار آن به سمت بالا کشیده است.

شکل۲. تصویر ویدئویی آزمایش اول که وارون شدن و چرخش متر به سمت راست موقعیتی که در شکل۱ قرار داشت را نشان می‌دهد.

شکل۳. متر از یک پهلو بر روی زمین قرار گرفته است و ساختار فنری آن را به درون بدنه می‌کشد. وقتی نوار کاملا به درون بدنه کشیده شود، چه اتفاقی خواهد افتاد؟

پی‌نوشت‌ها

۱. اگـر تـصویـر ویدئویـی از آزمایـش تهیـه کنیـد، می‌توانید شـاهد چرخـش ناچیز پادسـاعتگرد بدنـه در شـکل۱ درسـت پیش از کشـیده شـدن کامل نـوار بـه درون بدنـه باشـید. با شـاگردان در مـورد چگونگـی ارتباط ایـن حرکت بـا کاهش لختـی دورانی قسـمت کشیده شـده نوار حول محـور قسـمت فنـری بازگردانـنـده متـر بحث کنید.

۲. مشـابه آنچـه در آزمایـش نخسـت رخ می‌دهـد در اینجـا (شـکل۳) نیز شاهد چرخـش آرام پادسـاعتگرد بدنـه درسـت پیش از کشیده شدن کامل نوار به درون بدنه فنر خواهیم بود.

منبع

Phys. Teach. 46, 210-217, (april 2008)