فیزیک تاب سواری، جیرل راکر، *دانشمند*، سال ۲۸، شمارهٔ ۷، مهر ۱۳۶۹، ص ۱۰۰-۱۰۷.

مجلهٔ
دانشمند

سال بیست و هشتم ، شماره ۷
مهر ۱۳۶۹ ، شماره پی‌درپی ۳۲۴

مجلهٔ *دانشمند* برای گسترش آگاهیهای خوانندگان در زمینه‌های علم و فن و برانگیختن شوق فعالیت علمی وفنی در آنان منتشر می‌شود . علوم پایه و کاربردی، علوم تندرستی ، تکنولوژی ، علوم اجتماعی ، زمینه‌های پیشرفت علم ، فلسفه و تاریخ علم ، موضوع اصلی مقاله‌های *دانشمند* را تشکیل می دهند. تنظیم مطالب، برمبنای این فرض صورت می‌گیرد که آشنایی خوانندگان با شاخه‌های علمی و فنی مورد بحث ، در حد سالهای آخر دبیرستان و سالهای اول دانشگاه است .

صاحب امتیاز
بنیاد مستضعفان و جانبازان انقلاب اسلامی

سردبیر
علی میرزایی

جانشین سردبیر
توفیق حیدرزاده

طراح و صفحه‌آرا
اسماعیل عباسی

عکاس
مهدی سماکار

مدیر امور اجرایی
فتاح پاک‌نژاد

مدیر امور مالی
سیمندخت میردامادی

ویراستاران: دکتر دلارام آرین (علوم تندرستی و زیست‌شناسی) ، توفیق حیدرزاده (علوم پایه) ، رضا رضایی (تکنولوژی) ، محمد هومن (علوم اجتماعی) .

مشاوران : عبدالحسین آذرنگ ، مهندس محمد باقری ، دکتر محمد تقی بانکی، دکتر محمد بای‌بوردی، دکتر مصطفی پورتقوا ، احمد خواجه نصیر طوسی ، هوشنگ شریف‌زاده ، دکتر منصور شمسا ، دکتر مهرناز شهرآرای ، اکبر قراخانی بهار ، نورالله مرادی ، بایزید مردوخی ، عبدالحسین مصحفی ، مهندس حبیب معروف ، مرتضی ممیز، مهندس حبیب ناظری، دکتر محمد سعید نوری نائینی ، دکتر رجبعلی نیکویی ، دکتر عیسی یاوری .

نشانی: شماره ۲۴، کوچه شهید مهماندوست، خیابان شهید صابونچی (مهناز سابق) ، خیابان شهید بهشتی (عباس‌آباد سابق) ، تهران . کد پستی ۱۵۳۳۶

نشانی پستی : تهران . صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۳۶۴۹

تلفن : ۸۴۱۳۲۳ ، ۸۵۴۷۸۸ ، ۸۵۴۹۶۹

چاپ و صحافی
صبح امروز . تلفن : ۳۱۲۱۲۰

لیتوگرافی (متن)
قاسملو . تلفن : ۳۰۴۲۸۴

لیتوگرافی (جلد)
مجتمع الکترونیک گرافیک (مگاپس)

مجلهٔ *دانشمند* ، اول هر ماه منتشر می‌شود . در هر سال ۴ شماره ویژه‌نامه و تعدادی هم ضمیمه منتشر می‌شود .

© همهٔ حقوق ناشی از نشر مقاله‌ها ، طرحها و عکسها ، متعلق به مجلهٔ *دانشمند* است و تجدید چاپ آنها به هرشکل و در هر جا، مگر با اجازهٔ کتبی *دانشمند* ، ممنوع است . استفاده از بخشهایی از مقاله‌ها در رسانه‌های همگانی ، در صورت ذکر ماخذ کامل ، مانعی ندارد . استفاده از عکسهای اختصاصی *دانشمند* به هر صورت ممنوع است .

کلیه مقاله‌ها ، در صورتی که انتشار آنها تایید شود ، پس از ویرایش کامل به چاپ می‌رسد . مقاله‌ها اعم از اینکه به چاپ برسد یا نرسد، پس داده نمی‌شود . به نویسندگان و مترجمان توصیه می‌شود که پیش از ارسال مقاله‌هایشان ، یک کپی برای خود تهیه کنند و با مدیر امور اجرایی مجله نیز تماس بگیرند . برای *دانشمند* اصل مقاله‌ها و تصاویر را بفرستید ؛ کپی پذیرفته نمی‌شود .

در این شماره می‌خوانید :

سخن سردبیر ۴
از میان نامه‌ها ۵
کتابخانه‌ها ، پاسداران آزادی بیان ۸
تازه‌های علم و تکنولوژی ۱۹

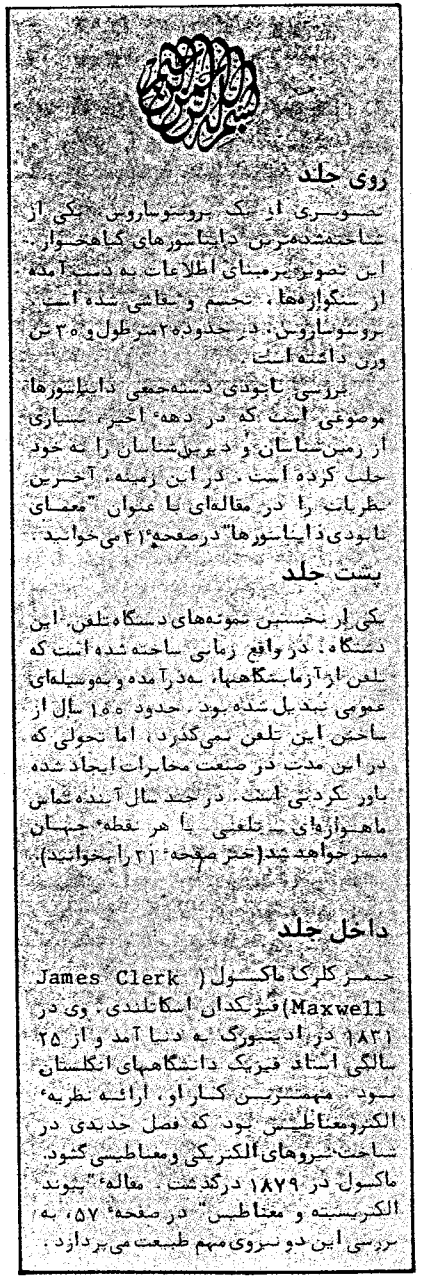
علم و تکنولوژی در ایران
۳میلیون ایرانی از کمبود دیدرنج می‌برند ۱۴
شیمی ، کیمیای صنعت ۱۷
چشمی از آن بالا ، بیابانها را می‌پاید ... ۲۷
گزارش هفتمین کنفرانس فیزیک ایران ۳۳

علوم پایه
معمای نابودی دایناسورها ۴۱
پیوند الکتریسیته و مغناطیس ۵۷
جرم منفی ، ماده‌ای که نیروی دافعه دارد . ۸۴
فیزیک تاب‌سواری ۱۰۰
ماجرای کفن تورین ۱۰۶
آسمان در این ماه ۱۱۶

تکنولوژی
تلسکوپ هابل : ماشین زمان اخترشناسان . ۳۵
جنگندهٔ ناپیدا ۶۳
تکنولوژی شناوری مغناطیسی ۷۴
سیالهای زرنگ ۸۹

علوم تندرستی و زیست‌شناسی
افزایش جمعیت و بحران محیط‌زیست ۴۶
از سرما به سوی جاودانگی ۵۱
چاقی ، مسئله‌ای هورمونی است ۶۷
فاتحان خاک ۸۰
ژنتیک ، پزشکی و اخلاق ۹۵

داستان، سرگرمی، بررسی کتاب و...
استدلالهای معمایی ۱۰۹
هیچ دفاعی وجود ندارد ــ ۳ ..... ۱۱۲
بررسی کتاب ۱۱۸
از میان کتابهای نو ۱۲۲
شطرنج ۱۲۶



روی جلد

تصویری از یک بروتوساروپود، یکی از شناخته‌شده‌ترین دایناسورهای گیاهخوار. این تصویر برمبنای اطلاعات به دست آمده از سنگواره‌ها ، تجسم و نقاشی شده است. بروتوساروپود، در حدود ۲۰ متر طول و ۳۰ تن وزن داشته است.

بررسی نابودی دسته‌جمعی دایناسورها، موضوعی است که در دههٔ اخیر، بسیاری از زمین‌شناسان و دیرین‌شناسان را به خود جلب کرده است . در این زمینه، آخرین نظریات را در مقاله‌ای با عنوان "معمای نابودی دایناسورها" در صفحهٔ ۴۱ می‌خوانید.

پشت جلد

یکی از نخستین نمونه‌های دستگاه تلفن. این دستگاه، در واقع زمانی ساخته شده است که تلفن از آزمایشگاهها، به درآمده و به وسیله‌ای عمومی تبدیل شده بود. حدود ۱۰۰ سال از ساخت این تلفن می‌گذرد ، اما تحولی که در این مدت در صنعت مخابرات ایجاد شده باور کردنی است . در چند سال آینده شاید ماهواره‌های تلفنی ، با هر نقطهٔ جهان مربوط خواهد شد (خبر صفحهٔ ۳۱ را بخوانید).

داخل جلد

جیمز کلرک ماکسول (James Clerk Maxwell) فیزیکدان اسکاتلندی. وی در ۱۸۳۱ در ادینبورگ به دنیا آمد و از ۲۵ سالگی استاد فیزیک دانشگاههای انگلستان بود. مهمترین کار او، ارائه نظریهٔ الکترومغناطیس بود که فصل جدیدی در ساخت نیروهای الکتریکی و مغناطیسی گشود. ماکسول در ۱۸۷۹ درگذشت . مقالهٔ "پیوند الکتریسته و مغناطیس" در صفحهٔ ۵۷، به بررسی این دو نیروی مهم طبیعت می‌پردازد.

نوشتهٔ جیرل واکر
ترجمهٔ گیلاندخت هامونی

فیزیك تاب سواری

تاب‌سواری، بازی پرنشاط بسیار ساده‌ای است، اما اینکه چگونه می‌توان تابی را از حالت سکون به حرکت درآورد، یا سرعت تاب را چگونه می‌توان افزایش داد، تا سال ۱۹۸۶ به طور دقیق بررسی نشده بود

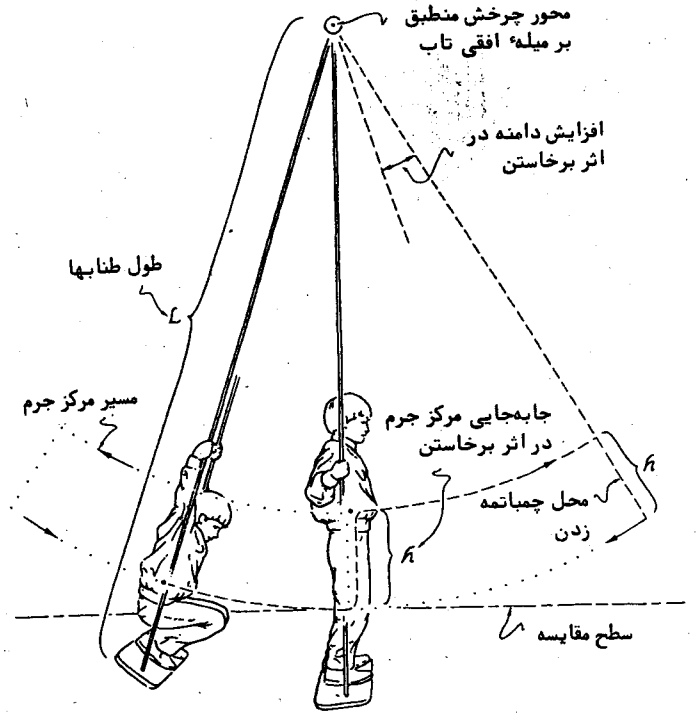
هر کودکی در سن مناسب می‌تواند تاب‌سواری کند و از راه تقلید و تجربه یاد بگیرد که چطور می‌توان تاب را به حرکت درآورد و در حرکت باقی نگاه داشت. اما توضیح اصول علمی نهفته در تاب‌بازی از توانایی کودکان خارج است. چگونه می‌توان بدون پس زدن زمین با پا یا بدون اینکه کسی شخص را هل بدهد، حرکت آونگ‌وار را آغاز کرد؟ در این صورت چگونه می‌توان با نشستن و برخاستن روی تاب، دامنهٔ حرکت (زاویهٔ انحراف ازحالت قائم) تاب را تنظیم کرد؟

گرچه تاب‌بازی از گذشته‌های دور آغاز شده است، تا سال ۱۹۸۶ چندوچون آن از دیدگاه علم مکانیک مورد بررسی چندانی قرار نگرفته بود. در این سال هارلود فالک از کالج سیتی وابسته به دانشگاه نیویورک و ل. تی دانشجوی این دانشگاه، پژوهشی دراین زمینه عرضه کردند. آنان تنها به بررسی حالتی پرداختند که تاب‌سوار قبلا به حرکت درآمده باشد. شاید شما هم در کودکی یاد گرفته باشید که برای افزایش دامنهٔ نوسان باید هماهنگ با حرکت تاب بنشینید و برخیزید. برای این منظور شخص باید هنگام عبور از پایینترین نقطه سر پا بایستد و در دو نقطهٔ اوج "چمباتمه" بزند. اگر تاب به جای طناب یا زنجیر، از میله‌های صلب آویخته شده باشد در صورت تمایل می‌توان دامنهٔ تاب خوردن را تا بالاتر از میله افقی نگهدارندهٔ طناب تاب افزایش داد. درواقع اگر اتصالهای میله مناسب باشد می‌توان تا حرکت در یک دایرهٔ کامل نیز پیش رفت. گاهی بازیگران سیرک چنین کاری می‌کنند.

چرا با نشستن و برخاستن دامنهٔ نوسان تاب زیاد می‌شود؟ تی و فالک روشن کردند که در این مورد عاملهای گوناگونی دخالت دارند ولی مهمتر از همه موضوع انرژی است و اینکه چگونه شخص انرژی را افزایش می‌دهد. اکنون خود را سوار بر تابی تصور کنید که از طناب آویخته شده است؛ از هر گونه اتلاف انرژی ناشی از اصطکاک و مقاومت هوا چشم‌پوشی می‌شود (شکل ۱). فرض کنید وقتی از پشت به بالاترین نقطهٔ حرکت تاب می‌رسید، چمباتمه می‌زنید. در این لحظه انرژی شما یکسره به صورت انرژی پتانسیل (انرژی نهفته) است که به بیشترین ارتفاع مرکز جرم بدنتان از یک سطح مقایسه بستگی دارد. می‌توانیم پایینترین نقطه کمان مسیر مرکز جرمتان را سطح مقایسه بگیریم و فرض می‌کنیم که مرکز جرم شما اکنون دو متر بالاتر از آن است.

در هنگام پایین آمدن، انرژیتان بتدریج به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود و سرعت می‌گیرید. وقتی به پایینترین نقطه می‌رسید، انرژیتان تماما انرژی جنبشی است و سرعتتان به حداکثر می‌رسد. وقتی روی کمان بالا می‌روید، جهت تبدیل انرژی عوض می‌شود: سرعتتان کم می‌شود و نهایتا در بالاترین نقطهٔ کمان، توقفی آنی خواهید داشت.

میزان ارتفاعی که می‌گیرید بستگی دارد به اینکه ضمن تاب خوردن چه کرده باشید. اگر همان حالت چمباتمه را حفظ کرده باشید، حرکت



شکل ۱. تشدید نوسان تاب

رو به بالای شما قرینهٔ آینه‌ای حرکت رو به پایینتان خواهد بود و مرکز جرمتان نهایتا به نقطه‌ای هم ارتفاع با نقطهٔ شروع نوسان به جلو، یعنی به ارتفاع دو متر خواهد رسید. اگر به جای کار در پایینترین نقطه سر پا بلند شوید، تا ارتفاع بیشتری نوسان خواهید کرد.

دو عامل موجب افزایش ارتفاع می‌شود. اولا، وقتی درآغاز نوسان به سوی بالا، سرپا می‌ایستید، مرکز جرمتان در ارتفاع بیشتری قرار می‌گیرد. فرض کنید با این برخاستن، مرکز جرمتان ۰/۵ متر بالاتر می‌رود. همچنین فرض کنید که عمل برخاستن، انرژی جنبشی شما را تغییر نمی‌دهد (بعدا این فرض را بیشتر بررسی خواهیم کرد). مقدار انرژی جنبشی شما در پایینترین نقطه تعیین می‌کند که مرکز جرمتان در ادامهٔ نوسان به جلو چقدر بالا خواهد رفت. چون دو متر پایین آمده‌اید باید انرژی جنبشی لازم را برای دو متر بالا رفتن داشته باشید. باافزوده شدن ۰/۵ متر در نتیجهٔ برخاستن، مرکز جرمتان در بالاترین نقطهٔ مسیر به ارتفاع ۲/۵ متر می‌رسد. موقع رفتن به سوی بالاترین نقطه، سکوی تاب را حول مرکز جرم خود می‌چرخانید، به طوری که آن هم به ارتفاعی بیشتر از قبل می‌رسد.

به این ترتیب، دامنهٔ نوسان بیشتر می‌شود ولی اگر همچنان سرپا بایستید، تا همان ارتفاع ۲/۵ متر به عقب و جلو نوسان خواهید کرد. اگر بخواهید تاب خوردن را تا ارتفاعهای بیشتری شدت دهید، باید هر وقت که به انتهای کمان مسیر می‌رسید به وضعیت چمباتمه درآیید تا بتوانید هنگام عبور از پایینترین نقطه، مجددا سرپا بلند شوید. البته چمباتمه زدن موجب می‌شود که مرکز جرمتان تا حدی پایین بیاید و در انتهای کمان، بخشی از ارتفاع را از دست بدهید. اما میزان این کاهش ارتفاع، با میزان افزایش ارتفاع هنگام برخاستن برابر نیست. علت آن است که هنگام چمباتمه زدن، تاب درحالت

مایل (نسبت به خط قائم) است و مرکز جرم شما نه در امتداد قائم بلکه روی خط شیبداری جابه‌جا می‌شود. هر چه تاب بیشتر ارتفاع بگیرد و با خط قائم‌الزاویهٔ بزرگتری بسازد، کاهش ارتفاع بر اثر نشستن کمتر خواهد بود. اگر بتوانید دامنهٔ نوسان را به ۹۰ در جه برسانید، چمباتمه زدن هیچ کاهشی در ارتفاع مرکز جرمتان ایجاد نمی‌کند.

افزایش دامنهٔ نوسان بر اثر برخاستن در پایینترین نقطه، دلیل دیگری هم دارد که بمراتب فنی‌تر است. با برخاستن، مرکز جرم خود را به سوی محوری که حول آن چرخش می‌کنید انتقال می‌دهید و این کار سبب می‌شود برخلاف آنچه قبلا فرض شد، انرژی جنبشی شما ثابت نماند، بلکه زیادتر شود. شاید این افزایش عجیب به نظر برسد: به طور عادی وقتی چیزی را بالا می‌برید ــ مثلا وقتی با برخاستن بدن خود را بالا می‌برید ــ انرژی جنبشی چیزی را که بالا برده‌اید افزایش نمی‌دهید. در عوض، کار شما در این بالا بردن صرفا موجب افزایش انرژی پتانسیل می‌شود زیرا ارتفاع چیزی را که بالا می‌برید زیاد کرده‌اید.

بالا رفتن در هنگام تاب‌بازی مقولهٔ دیگری است، زیرا در اینجا حرکت روی مسیری دایره شکل انجام می‌شود. برای روشن شدن موضوع، پدیدهٔ دیگری را که ملموستر است در نظر می‌گیریم. وقتی یک اسکیت‌باز روی یخ در یک نقطه با دستهای از هم گشوده به دور خود می‌چرخد و سپس دستهایش را جمع می‌کند، سرعت چرخشی او زیاد می‌شود. این مثال که اغلب در کتابهای درسی ذکر می‌شود، بیانگر اصل مهمی از فیزیک است که تجسم آن چندان ساده نیست: اصل بقای اندازهٔ حرکت زاویه‌ای. این نوع اندازهٔ حرکت، حاصل ضرب سرعت چرخش در عاملی است که گشتاورماند خوانده می‌شود و به مقدار جرم و نحوهٔ توزیع آن نسبت به محور چرخش بستگی دارد. در مورد اسکیت‌باز، گشتاورماند در آغاز به علت گشوده بودن دستها زیاد است، وقتی دستها جمع شوند، مقدار آن کاهش می‌یابد.

اندازهٔ حرکت زاویه‌ای هر جسم تنها وقتی تغییر می‌کند که یک نیرو به نحو خاصی بر آن اثر کند. اگر نیرو شعاعی نباشد (یعنی اگر امتداد فرضی نیرو از محور چرخش نگذرد)، گشتاوری ایجاد می‌کند که اندازهٔ حرکت زاویه‌ای را تغییر می‌دهد. اما اگر نیرو شعاعی باشد، گشتاوری تولید نمی‌کند و اندازهٔ حرکت زاویه‌ای بدون تغییر می‌ماند. وقتی اسکیت‌باز دستهایش را جمع می‌کند، نیروها شعاعی هستندو با این کار اندازهٔ حرکت زاویه‌ای او تغییر نمی‌کند. بنابراین برای جبران کاهش گشتاورماند، سرعت چرخش او زیاد می‌شود.

در این میان، انرژی جنبشی اسکیت‌باز هم که به گشتاورماند و مجذور سرعت چرخش بستگی دارد زیاد می‌شود. اگر چه گشتاورماند کاهش یافته است، تغییر انرژی جنبشی بیشتر تحت تاثیر افزایش سرعت چرخش قرار می‌گیرد. این افزایش انرژی ناشی از کاری است که اسکیت‌باز ضمن جمع کردن دستهایش انجام می‌دهد: درواقع او این کار را علیه نیروی گریز از مرکز انجام می‌دهد. (وجود این نیرو معمولا به عنوان یک فرض کمکی وارد مسئله می‌شود زیرا در اغلب مسائل مربوط به چرخش، فرض‌کردن وجود نیرویی که جسم چرخان را به سمت بیرون می‌کشد، بیشتر از واقعیت امر به حل مسئله کمک می‌کند. باوجود این، به بیان ریاضی می‌توان گفت که اسکیت‌باز علیه یک نیروی گریز از مرکز کار انجام می‌دهد و این کار انرژی جنبشی او را زیاد می‌کند.)

وقتی هم که در عبور تاب از پایینترین نقطه برپا می‌ایستید، همین اصول وارد کار می‌شوند. به پا خاستن موجب کاهش گشتاورماند شما می‌شود زیرا مرکز جرم خود را به سوی محوری که حول آن چرخش می‌کنید (میلهٔ افقی که تاب از آن آویخته شده است) انتقال می‌دهید. نیروهایی که بر شما وارد می‌شوند رو به بالا و نسبت به چرخش در امتداد شعاعی هستند، بنابراین گشتاوری ایجاد نمی‌کنند. چون در حین سرپا بلند شدن، اندازهٔ حرکت زاویه شما نمی‌تواند تغییر کند، برای جبران کاهش گشتاورماند باید سرعتتان حول میله زیاد شود. در نتیجه انرژی جنبشی‌تان هم زیاد می‌شود. این افزایش انرژی ناشی از کاری است که علیه نیروی گریز از مرکز انجام می‌دهید. هیچ یک از این ملاحظات برای چمباتمه زدن در نقطهٔ اوج صادق نیست، زیرا در آنجا سرعت تاب آن‌قدر کند شده که به حالت توقف رسیده است و هیچ گونه نیروی گریز از مرکزی بر شما وارد نمی‌شود.

برای روشن شدن این مطلب که چگونه کار شما علیه نیروی گریز از مرکز، ارتفاع تاب خوردنتان

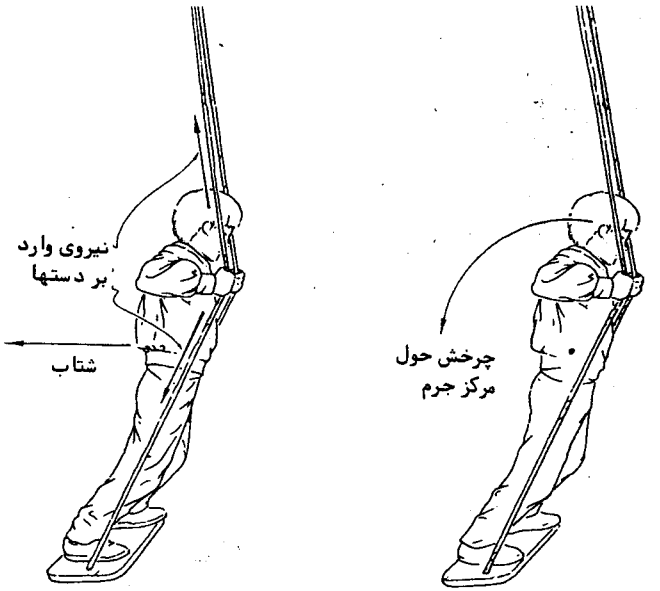
شکل ۲. نتایج حاصل از محکم کشیدن طنابها

را افزایش می‌دهد، فرض کنید که طول طنابها پنج متر است، در ارتفاع دو متری چمباتمه می‌زنید، رو به پایین می‌آیید، سر پا بلند می‌شوید و تا نقطهٔ اوج بالا می‌روید. در این حالت مرکز جرمتان در ارتفاع ۲/۹۷ متر قرار می‌گیرد. این ۰/۴۷ متر اضافی ناشی از کاری است که علیه نیروی گریز از مرکز انجام می‌دهید. وقتی چمباتمه می‌زنید مرکز جرمتان به ارتفاع ۲/۵۲ متر می‌رسد که قدری بیشتر از مقدار قبلی است.

البته منظور این نیست که اندازهٔ حرکت زاویه‌ای‌تان در حین تاب خوردن همواره ثابت می‌ماند، بلکه فقط می‌توان گفت عمل به پا خاستن، آن را تغییر نمی‌دهد. به استثنای لحظه‌ای که در پایینترین نقطهٔ کمان هستید، امتداد فرضی نیروی گرانشی که بر شما وارد می‌شود (وزنتان) هیچ‌گاه از محور چرخش نمی‌گذرد و گشتاور حاصل از آن، مقدار حرکت زاویه‌ای‌تان را به طور پیوسته تغییر می‌دهد. هنگام تاب خوردن رو به بالا، این گشتاور با چرخش شما مخالفت می‌کند و اندازهٔ حرکت زاویه‌ای‌تان را کم می‌کند، تا جایی که در نقطهٔ اوج، اندازهٔ حرکت زاویه‌ای صفر می‌شود. سپس هنگام پایین آمدن، همین گشتاور در شما اندازهٔ حرکت زاویه‌ای فزاینده‌ای ایجاد می‌کند که وقتی به پایینترین نقطه می‌رسید، بیشترین مقدار خود را دارد. یک راه برای توضیح اثر به پا خاستن در پایینترین نقطه، استفاده از مفهوم اندازهٔ حرکت زاویه‌ای است. چون در این نقطه اندازهٔ حرکت زاویه‌ای به حداکثر می‌رسد، کاهش گشتاورماند شما بر اثر به پا خاستن منجر به افزایش سرعت بیشتری در مقایسه با برخاستن در هر نقطهٔ دیگر می‌شود.

اگر تازگیها تاب‌سواری کرده باشید لابد به یاد می‌آورید که در ادامهٔ تاب خوردن رفته‌رفته سر پا بلند شدن دشوارتر می‌شود و افزایش دامنه نوسان در هر بار پیمودن مسیر بیشتر می‌شود. در مراحل اولیه، سر پا بلند شدن آسان است زیرا نیروی گریز از مرکزی که به شما وارد می‌شود به علت کم بودن سرعت عبور از پایینترین نقطه، ناچیز است. از این رو وقتی مرکز جرم خود را بالا می‌برید کار کمی علیه این نیروانجام می‌دهید و افزایش انرژی جنبشی شما اندک خواهد بود. همچنین (به علت کوچک بودن زاویهٔ نوسان) وقتی چمباتمه می‌زنید، کاهش ارتفاع مرکز جرم شما تقریبا به اندازهٔ افزایش آن در هنگام بلند شدن است. چون کار انجام شده کم و کاهش ارتفاع زیاد است، در هر بار پیمودن مسیر، دامنه فقط به مقدار ناچیزی افزایش می‌یابد.

با زیادتر شدن دامنهٔ نوسان، نیروی گریز از مرکز بیشتر می‌شود، زیرا سرعتتان در عبور از پایینترین نقطه زیاد است. در این وضعیت برای سر پا بلند شدن باید بیشتر فشار بیاورید و با این کار انرژی جنبشی خود را بیشتر از پیش افزایش می‌دهید. وقتی هم که می‌نشینید، مرکز جرم خود را کمتر پایین می‌آورید، در نتیجه،



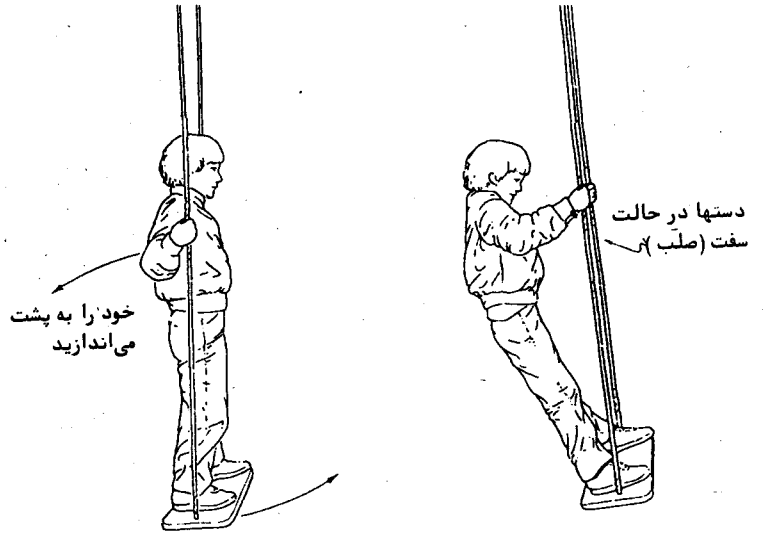
شکل ۳. نتایج حاصل از محکم فشردن طنابها

افزایش دامنه در هر بار پیمودن مسیر بیشتر می‌شود.

این نشستن و برخاستن فقط دامنهٔ تاب‌خوردن را زیاد می‌کند و شما را تا ارتفاع بالاتر می‌برد، اما چگونه می‌توانید بدون پس زدن زمین با پا یا بدون آنکه کسی کمکتان کند از حالت سکون تاب‌خوردن را شروع کنید؟ در سال ۱۹۷۰، برایان ف. گور از دانشکدهٔ دولتی واشینگتن راهی برای این کار یافت. فرض کنید روی تاب ساکنی ایستاده‌اید که از طنابهای سبکی آویزان است. اگر به طور ناگهانی بدن خود را به عقب خم کنید و طنابها را با قوت به طرف خود بکشید می‌توانید آنها را از حالت عمودی به سوی خودتان منحرف کنید (شکل ۲). در این صورت، نیروهایی که طنابها بر دستهایتان وارد می‌کنند کم‌وبیش رو به جلو هستند، بنابراین به شما رو به جلو شتاب می‌دهند. چون طنابها به میلهٔ ثابت و به تختهٔ ثابت وصل هستند، نیروی کششی که به آنها وارد می‌کنید عملا به نیرویی وارد بر میله و نیرویی مخالف با نیروی وزنتان تبدیل می‌شود.

این نیروها گشتاوری هم تولید می‌کنند که شما را حول مرکز جرمتان می‌چرخاند، به‌طوری که بالا تنه‌تان رو به جلو و پایین تنه‌تان (همراه با تختهٔ تاب) رو به عقب کشیده می‌شود. این چرخش با حرکت کلی خودتان و حرکت تاب جمع می‌شود. ناگفته پیداست که این پیچش، بالاتنهٔ شما را نسبت به تختهٔ تاب جلوتر می‌برد. وقتی در این نوسان اولیهٔ کوتاه به بالاترین نقطه می‌رسید می‌توانید چرخش حول مرکز جرم خود را متوقف کنید. برای این کار باید با دستهای خود طوری فشار بیاورید که در امتداد طنابها قرار بگیرید. به این ترتیب عملا می‌توانید طنابها را به جلو هل بدهید که نیروی حاصل از تغییر شکل آنها شما را کم‌وبیش به پشت هل دهد (شکل ۳). در این وضعیت، گشتاور وارد شده از طنابها چرخش اولیه‌تان را خنثی می‌کند و ممکن است باعث شود حول مرکز جرمتان در جهت معکوس بچرخید.

برایان گور نشان داد پس از اولین حرکتی که به تاب دادید می‌توانید با وارد کردن کشش و فشارهای متناوب به طنابها دامنهٔ نوسان را زیاد کنید. این کار را، هم در حالت ایستاده و هم نشسته می‌توان انجام داد. وقتی در حال نوسان به جلو هستید طنابها را به طرف خود بکشید به طوری که بر اثر تغییر شکل طنابها نیرویی رو به جلو بر شما وارد شود. در اوج مسیر، طنابها را به جلو فشار دهید تا چرخش بدنتان حول مرکز جرمتان متوقف شود و خودتان را به عقب برانید. هنگام نوسان به عقب، همچنان



شکل ۴. شروع نوسان در تابی با میله‌های آویز صلب

به طنابها فشار وارد کنید. کمی پیش از آنکه از پشت به نقطهٔ اوج برسید طنابها را بکشید تا چرخش حول مرکز جرمتان متوقف شود و نیرویی به سمت جلو ایجاد کنید. کاری که روی طنابها انجام می‌دهید باعث انرژی دادن به تاب می‌شود.

در سال ۱۹۷۲ جان ت. مک مولان از دانشگاه جدید اولستر ثابت کرد که حتی اگر تابی برخلاف مدل گور که دارای طنابهای انعطاف‌پذیر است، به وسیلهٔ میله‌های صلب آویخته شده باشد، باز هم می‌توان آن را از حالت سکون به حرکت درآورد. برای این کار باید روی تاب بایستید و میله‌ها را با دستهای خم شده بگیرید، خود را به عقب بیندازید تا دستهایتان به حالت کشیده درآید و جلوی افتادنتان را بگیرد. ضمن این افتادن، شما و تاب مثل یک آونگ دوتایی عمل می‌کنید: شما حول تختهٔ تاب می‌چرخید و تخته حول میلهٔ افقی تاب می‌چرخد. وقتی افتادنتان متوقف می‌شود و دستهایتان به حالت صلب درمی‌آید شما و تاب روی هم رفته مثل یک آونگ ساده عمل می‌کنید. انرژی حرکت، ناشی از افتادن اولیه است که در اینجا انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. وقتی نوسان آغاز شد آنگاه می‌توان با بلند شدن و نشستن دامنهٔ نوسان را زیاد کرد.

در سال ۱۹۷۶ موضوع افزایش دامنهٔ نوسان به وسیلهٔ نشستن و برخاستن مجددا به وسیلهٔ استفن ۰ م. کوری از دانشگاه تگزاس (شهر دالاس) بررسی شد. او کشف کرد که آهنگ افزایش انرژی در حین تاب سواری، جنبه‌های شگفت‌انگیز گوناگونی دارد. فرض کنید پس از درآمدن به وضعیت نشسته، می‌خواهید یک بار سراسر کمان مسیر را بپیمایید. همچنین فرض کنید که در این لحظه، E_0 انرژی شما h، میزان تغییر ارتفاع مرکز جرمتان در به پا خاستن و L طول طنابها باشد. وقتی دوباره در انتهای دیگر کمان مسیر می‌نشینید، انرژی شما تقریبا $E_0(1+3h/L)$ است. پس از یک نوسان کامل (به جلو و عقب) انرژی‌تان تقریبا $E_0(1+3h/L)^2$ و پس از n نوسان کامل انرژی‌تان حدودا $E_0(1+3h/L)^{2n}$ خواهد شد. چنانچه h بسیار کوچکتر از L باشد انرژی را می‌توان به صورت $E_0(6nh/L)$ بیان کرد که نشان دهندهٔ رشد نهایی انرژی نسبت به تعداد نوسانهاست.

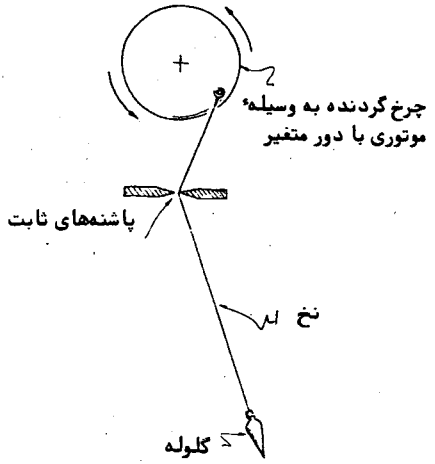
اگر دامنهٔ نوسان کوچک باشد، زمان T لازم برای یک نوسان کامل، مقدار ثابتی است که تنها به شتاب گرانی و طول آونگ متشکل از تاب و تاب‌سوار بستگی دارد. فرض کنید به طریقی با انرژی E_0 شروع به تاب خوردن کرده‌اید و طی مدت زمان t نوسان خود را شدت می‌دهید. تعداد نوسانهایی که می‌کنید t/T است و در این صورت انرژی شما به $E_0[6(t/T)h/L]$ می‌رسد که نشان می‌دهد انرژی نسبت به زمان هم به طور نمایی رشد می‌کند.

کوری در پی‌جویی خود به دو نتیجهٔ عجیب

توجه کرد. نخست آنکه آهنگ افزایش انرژی در تاب‌سواری به جرم یا وزن شخص بستگی ندارد. بعلاوه، افراد قد بلند نسبت به افراد کوتاه قد این برتری را دارند که مقدار h برایشان زیادتر است، ولی تفاوت وزنشان تاثیر خاصی ندارد. نتیجهٔ دوم عجیبتر است. رابطه‌ای که به دست آوردیم حاکی از آن است که اگر انرژی اولیه صفر باشد بعد از تعداد زیادی نشستن و برخاستن به نحوی که قبلا ذکر شد، انرژیتان همچنان صفر خواهد بود که طبعا معقول به نظر می‌رسد. اما آیا اصلا امکان دارد که انرژی اولیه واقعا صفر باشد؟ جواب منفی است، زیرا تاب‌سواری در محیطی انجام می‌شود که آکنده از مولکولهای هواست که حرکت گرمایی دارند و بی‌درپی به شخص اصابت می‌کنند و انرژی اولیه‌ای پدید می‌آورند. همین انرژی ناچیز می‌تواند به نوسان قابل توجهی در تاب سواری منجر شود، اما برای رسیدن به نتیجهٔ محسوس، حدود چهار دقیقه نشستن و برخاستن لازم است.

کوری بحث را باز هم ادامه داد. فرض کنید به طریقی بتوانید در محیطی با دمای صفر مطلق به سر برید به‌طوری که مولکولهای هوا نتوانند برای شروع تاب خوردن کمکتان کنند. آیا در این صورت امکان افزایش دامنهٔ نوسان تاب با برخاستن و نشستن منتفی می‌شود؟ باز هم پاسخ منفی است، زیرا یکی از اصول مکانیک کوانتومی ناممکن بودن انرژی صفر است. حتی در دمای صفر مطلق، تاب و تاب‌سوار مقداری (ولو اندک) انرژی دارند که با تقویت همان می‌توان نوسان را تشدید کرد. در این حالت برای رسیدن به نتیجهٔ محسوس حدود شش دقیقه وقت لازم است. موضوع تاب سواری در دمای صفر مطلق خیالی بیش نیست اما از لحاظ نظری این افزایش انرژی امکانپذیر است.

در سال ۱۹۸۴ خوان ر. سان مارتین از دانشگاه پلی‌تکنیک مادرید متوجه شد که کیفیت مکانیکی تشدید نوسان به وسیلهٔ برخاستن و نشستن را می‌توان به حرکت چشمگیر مجری مربوط دانست که طی ۷۰۰ سال گذشته در کلیسای جامع سانتیاگوی کومپوستلا واقع در شمال شرقی اسپانیا برای برگزاری آیینهای مذهبی آویخته شده است. این مجمر که به‌اندازهٔ انسان لاغری وزن دارد به وسیلهٔ طناب کلفتی از دو تیرک چوبی واقع در ارتفاع ۲۰ متری آویخته شده است. طناب



شکل ۵. تقویت کنندهٔ پارامتری زیگمان

از روی تیرکها رد شده و سر دیگرش به طرف گروهی از مردان که در کف سالن آن را کنترل می‌کنند پایین آمده است.

پس از آنکه مجمر برای شروع نوسان هل داده شد، مردانی که سر دیگر طناب را در دست دارند با کشیدن متناوب آن موجب تشدید نوسان آونگ می‌شوند. وقتی مجمر از پایینترین نقطهٔ کمان مسیرش می‌گذرد، آنها طناب را با شدت می‌کشند به طوری که طول آونگ تقریبا سه مترکمتر می‌شود. وقتی مجمر به بالاترین نقطهٔ مسیرش می‌رسد طناب را از حالت کشیدگی رها می‌کنند تا طولش زیاد شود و به مقدار اولیه برسد.

شیوهٔ تشدید نوسانی که در اینجا به کار می‌رود شبیه همان تشدید نوسان به وسیلهٔ برخاستن و نشستن روی تاب است. این مردها در حین کوتاه کردن طول آونگ، انرژی نوسان را زیاد می‌کنند و علیه نیروی گریز از مرکزی که به مجمر وارد می‌شود نیروی کششی وارد می‌کنند. بعد از ۱۷ بار کشیدن که حدود ۸۰ ثانیه طول می‌کشد، مجمر تقریبا به اندازهٔ ۹۰ درجه نوسان می‌کند و تا یک متری سقف کلیسا بالا می‌رود. عبور سریع آن از پایینترین بخش کمان، زغال و بخورهای موجود در مجمر را بشدت باد می‌زند و منظره‌ای دیدنی پدید می‌آورد.

وقتی حرکت آونگ در هر نوسان کامل دوبار