

چارچوبهای نالخت و شبه نیرو:

در بررسی مکانیک کلاسیک تا اینجا فرض کردیم که اندازه‌گیری و مشاهده در یک چارچوب مرجع لخت انجام می‌شود؛ یعنی در یکی از چارچوبهای مرجعی که با قانون اول نیوتن تعریف می‌شوند، چارچوبهایی که در آنها اگر محیطی نباشد که به جسم مورد نظر نیرو وارد کند ($\sum F = 0$)، این جسم شتاب نمی‌گیرد ($a = 0$). انتخاب چارچوب مرجع همیشه با خودمان است؛ یعنی اگر فقط چارچوبهای لخت را هم بکار ببریم، هیچ محدودیتی روی پدیده‌های طبیعی که می‌شود با مکانیک کلاسیک بررسی کرد نمی‌گذاریم.

با وجود این، در مواردی که مناسب بدانیم، می‌توانیم مکانیک کلاسیک را از دید ناظرهای چارچوبهای نالخت هم بکار ببریم، یعنی از دید چارچوبهای متصل به جسمی که، از دید چارچوبهای لخت، شتابدار است. چارچوبهای متصل به یک اتومبیل شتابدار یا چرخ و فلک چرخان، نمونه‌هایی از چارچوب نالخت هستند.

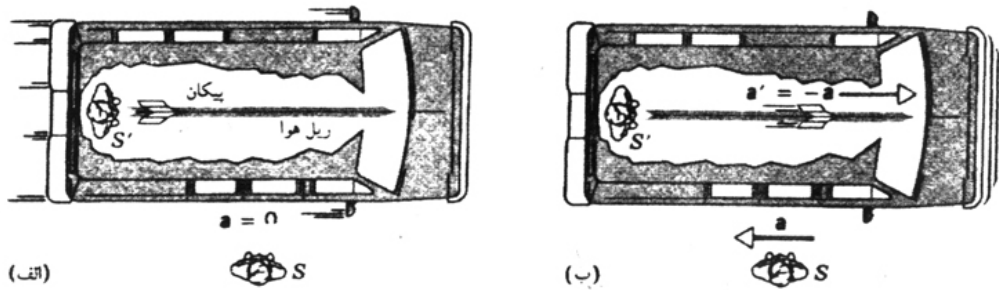
برای بکار بردن مکانیک کلاسیک در چارچوبهای نالخت باید نیروهای دیگری به نام شبه نیرو (یا نیروی لختی) وارد کنیم. شبه نیروها را، بر خلاف نیروهایی که تاکنون دیده‌ایم، نمی‌توان به اجسام خاصی در محیط جسم مورد نظر نسبت داد و به علاوه، اگر جسم را از دید چارچوبهای لخت بررسی کنیم، شبه نیروها ناپدید می‌شوند. شبه نیرو صرفاً ابزاری است که به کمک آن می‌شود مکانیک کلاسیک را، به روشهای معمول، برای بررسی رویدادها از دید چارچوبهای مرجع نالخت بکار برد.

مثلاً، ناظر S' را در نظر بگیرید که در کامیونی که با سرعت ثابت حرکت می‌کند نشسته است. در این کامیون یک ریل هوایی دراز هست که "لغزک" ای به جرم $0/25kg$ ، بی‌اصطکاک، روی آن قرار گرفته است (شکل A الف). راننده ترمز می‌کند و سرعت کامیون به تدریج کم می‌شود. ناظر S بر زمین، شتاب ثابت کامیون را $-2/8m/s^2$ می‌سنجد. بنابراین، ناظر S' که در کامیون است، هنگام ترمز، در یک چارچوب مرجع ناختم است. S' مشاهده می‌کند که لغزک با شتاب $+2/8m/s^2$ به طرف جلو حرکت می‌کند. هر یک از دو ناظر، چگونه با استفاده از قانون دوم نیوتن، حرکت جسم لغزنده را توضیح می‌دهد؟

برای ناظر زمینی S ، که در یک چارچوب مرجع ناختم است، تحلیل مسئله سر راست است. لغزک، که پیش از ترمز با سرعت ثابت به جلو میرفته است، الان هم دارد همین کار را می‌کند. از دید S ، لغزک شتاب ندارد و هیچ نیروی افقی لازم نیست که بر آن اثر کند. اما S' مشاهده می‌کند که لغزک شتاب می‌گیرد و هیچ جسمی هم در محیط این جسم نمی‌یابد که نیروی مولد این شتاب را بر آن وارد کند. S' ، برای اینکه بتواند قانون دوم نیوتن را بکار برد، باید فرض کند که شبه نیرویی بر لغزک اثر می‌کند. از دید S' ، نیروی F' باید برابر با ma' باشد، که در آن $a' = (-a)$ شتاب لغزک از دید S' است. اندازه این شبه نیرو برابر است با

$$F' = ma' = (0/25kg)(2/8m/s^2) = 0/70N$$





شکل A (الف) ناظر زمینی S مشاهده می‌کند که ناظر S' در کامیون با سرعت ثابت حرکت می‌کند. هر دو ناظر در چارچوبهای مرجع لخت هستند. (ب) از دید ناظر S ، کامیون با شتاب ثابت a ترمز می‌کند. ناظر S' ، که اکنون در یک چارچوب مرجع نالخت است، مشاهده می‌کند که لغزک با شتاب ثابت $a' = -a$ روی ریل هوا به جلو می‌رود. ناظر S' این حرکت را با شبه نیرو توضیح می‌دهد.

و جهت آن همان جهت a' است، یعنی به طرف جلوی کامیون. این نیرو که از دید S' خیلی واقعی است، از دید ناظر زمینی S وجود ندارد؛ چون S برای توضیح حرکت لغزک اصلاً نیازی به چنین نیرویی ندارد. یکی از نمودهای اینک شبه نیرو غیر نیوتنی است، این است که این نیرو قانون سوم نیوتن را نقض می‌کند. به مصداق قانون سوم نیوتن، S' باید نیروی عکس‌العملی پیدا کند که از لغزک بر جسمی دیگر وارد می‌شود. چنین نیروی عکس‌العملی نمی‌توان یافت؛ بنابراین، قانون سوم نیوتن نقض می‌شود. شبه نیروها برای کسانی که تحت تأثیر این نیروها قرار می‌گیرند، کاملاً واقعی هستند. تصور کنید در اتومبیلی نشسته‌اید که سر یک پیچ به چپ می‌پیچد. از دید ناظر زمینی، اتومبیل شتاب مرکزگرا دارد و بنابراین، یک چارچوب نالخت است. اگر صندلیهای اتومبیل مثلاً از جنس وینیل و کم اصطکاک باشد، شما به طرف راست خواهید لغزید. از دید ناظر زمینی، که در یک چارچوب لخت است، این حرکت کاملاً طبیعی است: بدن شما فقط می‌خواهد از قانون اول نیوتن تبعیت کند و روی خط راست جلو برود؛ در واقع این اتومبیل است که زیر بدن شما به طرف چپ می‌لغزد. اما شما، در چارچوب نالخت اتومبیل،

ناچارید حرکت لغزشیتان را ناشی از شبه نیرویی بدانید که شما را به طرف راست هل می دهد. این نوع

شبه نیرو را نیروی مرکزگریز می نامند، یعنی نیرویی که در جهت دور شدن از مرکز عمل می کند.

اگر سوار چرخ و فلک باشید هم در یک چارچوب شتابدار و در نتیجه نالخت، واقع شده اید. در

این چارچوب (چرخ و فلک چرخان در صفحه افقی)، به نظر می رسد که اجسام در اثر نیروی مرکزگریز،

می خواهند به طرف خارج، یعنی در جهت دور شدن از محور دوران حرکت کنند. توپی که در دست

شماست، از دید شما در حالت تعادل است؛ نیروی رو به "بیرون" (مرکزگریز) با نیروی رو به "درون"

(مرکزگرا) که دست شما به توپ وارد می کند خنثی می شود. از دید ناظر زمینی، که در چارچوب مرجع

لخت است، توپ روی دایره حرکت می کند و در اثر نیروی مرکزگرایی که شما توسط دستتان بر آن وارد

می کنید، شتابی به سوی مرکز دارد. برای ناظر زمینی، نیروی مرکزگریزی وجود ندارد، زیرا توپ در حالت

تعادل نیست و در امتداد شعاع به طرف مرکز دایره شتاب دارد.

بعضی ابزارهای عملی براساس شبه نیروها کار می کنند. دستگاه سانتریفوژ را در نظر بگیرید، که

یکی از مفیدترین وسایل آزمایشگاه است. اگر مخلوطی از مواد را روی دایره ای به سرعت بچرخانیم،

نیروی مرکزگریز mv^2/r وارد بر مواد پر جرمتر بیشتر خواهد بود. پس این مواد از محور دوران بیشتر

فاصله می گیرند. به این ترتیب، سانتریفوژ با استفاده از شبه نیرو، مواد را برحسب جرمشان از هم جدا

می کند، درست همانطور که طیفسنج جرمی اتمها را به کمک نیروی الکترومغناطیسی، برحسب جرم، از

هم جدا می کند.

یکی دیگر از انواع شبه نیرو، نیروی کوریولیس است. روی یک صفحه افقی چرخان، توپی را با

سرعت ثابت در راستای شعاع به طرف مرکز صفحه چرخان می غلتانید. در لحظه ای که توپ را در

شعاع r رها می‌کنید، سرعت مماسی آن همان سرعت نقطه‌ای است که در فاصله r از مرکز حرکت دایره‌ای دارند (درست به اندازه سرعت مماسی خودتان). این توپ هر قدر که به مرکز نزدیکتر می‌شود، سرعت مماسی کمتری برای حفظ حرکت دایره‌ای با همان محیط اطرافش لازم دارد. اما چون راهی برای کاهش سرعت مماسی نیست (فرض کرده‌ایم که اصطکاک بین توپ و کف چرخ و فلک کم است)، توپ قدری از خط رنگی نشانه حرکت دورانی یکنواخت (امتداد اولیه غلتش) جلو می‌افتد. یعنی شما در چارچوب مرجع نالخت دوار خودتان باید فرض کنید که یک نیروی جانبی - نیروی کوریولیس - باعث می‌شود که توپ، با نزدیکتر شدن به مرکز دایره، از خط دورتر شود. اما از دید ناظر زمینی در چارچوب لخت، نیروی کوریولیس وجود ندارد: توپ با سرعت ثابت روی خطی راست حرکت می‌کند و این سرعت ثابت را مؤلفه‌های سرعت توپ در لحظه رها شدن (از دست شما) تعیین می‌کنند.



مرکز کم فشاری بر زمین چرخان. با جریان یافتن هوا به طرف مرکز، ناظر نالخت در نیمکره شمالی می‌بیند که هوا در جهت پادساعتگرد می‌چرخد. گردباد (عکس سمت راست) چنین مرکز کم فشاری است.

شاید آشناترین مثال از آثار نیروی کوریولیس، حرکت جو حول مراکز کم فشار یا پر فشار باشد.

شکل B نمودار یک مرکز کم فشار را در نیمکره شمالی نشان می‌دهد. چون فشار هوا در این مرکز از

اطراف کمتر است، هوا از همه جهتها به طرف مرکز حرکت می‌کند. چون زمین می‌چرخد (و بنابراین، چارچوب نالخت است) پدیده‌ای شبیه به توپ و چرخ و فلک بالا بوجود می‌آید: هوایی که از جنوب به طرف مرکز می‌آید، کمی از خط فرضی ثابت، نسبت به زمین چرخان، جلو می‌افتد و هوایی که از شمال می‌آید (مانند توپی که به طرف محیط چرخ و فلک در حرکت باشد) کمی از این خط عقب می‌ماند. نتیجه کلی این است که هوا در جهت پادساعتگرد حول مرکز کم فشار می‌چرخد. به این ترتیب، اثر کوریولیس است که باد را در پدیده‌های گردبادی به چرخش در می‌آورد. در نیمکره جنوبی، جهت این اثر معکوس می‌شود. در حرکت گلوله توپهای بلند برد، لازم است که اثر کوریولیس ناشی از چرخش زمین به حساب آورده شود. برای گلوله‌ای نوعی به برد $10km$ ، پدیده کوریولیس می‌تواند انحرافی به اندازه $20m$ بوجود بیاورد. تصحیحات لازم برای از بین بردن این انحرافات، در برنامه‌های کامپیوتری که برای کنترل نشانه روی سلاحهای بلند برد بکار می‌رود گنجانده شده است. اما گاهی هم اشتباه پیش می‌آید. مثلاً در یکی از نبردهای جنگ جهانی اول در نزدیکی جزایر فالکلند، چنین اشتباهی برای ناوگان بریتانیا اتفاق افتاد. دستورالعملهای آتش برای نیمکره شمالی نوشته شده بود، اما جزایر فالکلند در نیمکره جنوبی است و تصحیحات کوریولیس باید برعکس باشد. گلوله‌های بریتانیاییها به حدود $100m$ آن طرفتر از هدف اصابت می‌کردند، زیرا تصحیح کوریولیس در خلاف جهتی که باید انجام شده بود!

با توجه به آنچه گفته شد، در حل مسائل مکانیک دو راه پیش رو داریم: (1) یک چارچوب لخت انتخاب کنیم و فقط نیروهای "حقیقی" را در نظر بگیریم، یعنی نیروهایی را که می‌شود به اجسام معینی در محیط نسبت داد، یا (2) یک چارچوب نالخت انتخاب کنیم و علاوه بر نیروهای "حقیقی" شبه نیروهایی مناسب را هم در نظر بگیریم. ما معمولاً روش اول را بکار می‌بریم، اما گاهی هم روش دوم را

انتخاب می‌کنیم؛ دو روش کاملاً هم‌ارزند و انتخاب بستگی به این دارد که در هر مورد کدام یک ساده‌تر یا مناسبتر است.

شبکه رشد = شبکه ملی مدارس ایران



Olympiad.roshd.ir