آیا قانون اول نیوتن در حرکت، حالت خاصی از قانون دوم است؟

مهدی شیرزاد
کارشناس ارشد فیزیک

چکیده

در یک نگاه غیردقیق چنین به‌نظر می‌رسد، که می‌توان قانون اول نیوتن در حرکت را از قانون دوم نتیجه گرفت: گویی که قانون اول حالت خاصی از قانون دوم است. این پندار، حتی در بعضی متون نسبتاً معتبر بین‌المللی هم دیده می‌شود.

در این نوشتار خواهیم دید، بیان رایج قانون اول نیوتن در حرکت، مبتنی بر بدفهمی است. در واقع بدون بیان درست قانون اول، صورت‌بندی قانون دوم هم دچار اشکال خواهد شد. قانون اول، در واقع آزمونی برای تشخیص: «چارچوب لخت» است و این آزمون در اصل مبتنی بر تعریف دقیق نیرو است: اینکه ما دقیقاً چه چیزی را نیرو تلقی می‌کنیم.

کلیدواژه‌ها: قانون اول نیوتن در حرکت، قانون دوم نیوتن در حرکت، چارچوب لخت، نیروهای حقیقی، نیروهای مجازی

تاریخ علم: تاریخ بدعت‌ها

نظریه‌های بنیادین علمی معمولاً از یک نوآوری آغاز می‌شود و به یک تعصب ختم می‌گردد. در فیزیک، معمولاً نتایج نظری و دستاوردهای عملیِ نظریه‌ها چندان شگرف است که سبب عدم توجه دقیق به مبادی و مبانی پایه‌ای نظریه‌ها می‌شود. بعضی سؤالات فیزیک در مرز بین فیزیک، ریاضی محض و فلسفه قرار گرفته‌اند. نه دقیقاً داخل در حوزهٔ فیزیک هستند که در کلاس‌های رسمی فیزیک به آن‌ها پرداخته شود و نه آن‌قدر فلسفی هستند که در مباحث رسمی فلسفی یا فلسفه علم بتوان آن‌ها را مورد بررسی قرار داد.

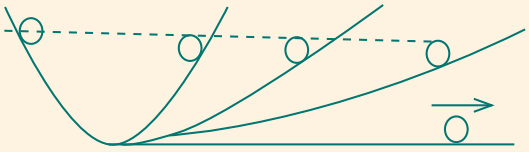
ارسطو می‌گفت هر متحرک در هر لحظه به محرکی خارجی احتیاج دارد وگرنه خواهد ایستاد. از نظر او تیری که در هوا پرتاب می‌شود، در هر لحظه‌ها هوا را از جلو به‌عقب می‌راند و همین هوای عقب رانده شده سبب می‌شود که تیر به جلو رانده شود، تا آنجا که مقاومت هوا بر نیروی پیکان غلبه کند و آن را از حرکت باز دارد.

از نظر ارسطو، حرکت در خلأ امری محال است چون باعث می‌شود، تندی متحرک بی‌نهایت شود. در واقع مدل حرکت برای ارسطو ارابه‌ای بود که با اسب‌ها کشیده می‌شود؛ یعنی هرجا اسب‌ها از کشیدن باز می‌ایستند، ارابه نیز بی‌حرکت می‌ماند.

گالیله، دکارت و نیوتن سه نابغهٔ بزرگ پس از رنسانس بودند که هر یک در بنای دانش مکانیک و فاصله گرفتن از ایده‌های کهن ارسطویی، سهم به‌سزایی برعهده گرفتند. آزمایش سطح شیب‌دار گالیله یکی از اولین کارهای تجربی او بود که اصل لختی یا اینرسی از آن متولد شد.

در این آزمایش، دو سطح شیب‌دار متصل به هم که هر دو با افق زاویه‌های مساوی ساخته‌اند قرار دارد.

از نقطه‌ای در بالای یکی از دو سطح، گلوله‌ای رها می‌شود. این گلوله با سرعتی که کسب می‌کند، روی سطح مقابل به اندازهٔ ارتفاعی که از آن پایین آمده است بالا خواهد رفت. حال اگر زاویهٔ سطح دوم به تدریج کاهش یابد، برای آنکه گلوله به ارتفاع اولیه برسد باید مسافت بیشتری را روی این سطح طی کند. گالیله با این آزمایش به این نتیجه رسید که اگر سطح دوم کاملاً افقی شود، می‌توان فرض کرد که گلوله پس از شروع حرکت، روی صفحهٔ افقی تا بی‌نهایت پیش خواهد رفت؛ چون هیچگاه به ارتفاع اولیه نخواهد رسید. البته او در این آزمایش فرض را بر این گذاشت که گلوله و صفحه نسبت به هم اصطکاکی ندارند و مقاومت هوا هم وجود ندارد.



لَختی: اصل، قانون یا تعریف؟

نیوتن در کتاب مشهور خود *اصول ریاضی فلسفهٔ طبیعی* همهٔ مباحث کتاب را بر سه اصل (آکسیوم) و هشت تعریف بنا می‌کند. اولین اصل همان است که امروزه به‌نام قانون اول نیوتن در حرکت معروف است و با این عبارت بیان می‌شود: هر جسم به حالت سکون و یا حرکت یکنواخت خود بر خطی راست، ادامه خواهد داد مگر آنکه به‌واسطهٔ نیرویی که بر آن وارد آید، حالت خود را عوض کند.

دقت کنید که در بیان بالا، منظور از «تغییر حالت» همان «تغییر سرعت» است، و می‌دانیم که هر نوع تغییر سرعتی (چه تغییر در تندی و چه تغییر در جهت حرکت) مستلزم شتاب است که به نیرویی خارجی نیاز دارد. تمایل اجسام به حفظ حالت موجودشان، غالباً با نسبت دادن خاصیتی به جسم به‌نام لَختی یا اینرسی، توضیح داده می‌شود.

آیا قانون اول نیوتن حالت خاصی از قانون دوم نیوتن است؟

در اینجا ما قانون اول نیوتن در حرکت را به N_1 و قانون دوم را با N_2 نمایش می‌دهیم. در میان فیزیکدانان این نظر شایع است که N_1 را حالت خاصی از N_2 تلقی می‌کنند. در واقع آن‌ها N_1 را متعلق به استاتیک (شتاب صفر) و N_2 را متعلق به دینامیک (شتاب ناصفر) می‌انگارند. ولی این صحیح نیست. این پندار نادرست حتی در بعضی کتاب‌های مقدماتی فیزیک هم دیده می‌شود. به متن زیر از کتاب معتبر Essential university physics توجه کنید:

Newton,s Second Law Includes The First Law as the Special Case $\vec{F}_{net} = \vec{0}$. In this Case, Equation $\vec{F}_{net} = m\vec{a}$ gives $\vec{a} = \vec{0}$. So on object's velocity doesn't change[1]

اکنون به متن زیر نیز از کتاب «فیزیک»، هالیدی ـ رزنیک ـ کرین» (ویراست پنجم) توجه نمایید:

نظریه‌های بنیادین علمی معمولا از یک نوآوری آغاز می‌شود و به یک تعصب ختم می‌گردد. در فیزیک، معمولا نتایج نظری و دستاوردهای عملی نظریه‌ها چندان شگرف است که سبب عدم توجه دقیق به مبادی و مبانی پایه‌ای نظریه‌ها می‌شود

Note that the First Law of motion appears to be Contained in the Second Law as a Special Case, for if $\sum \vec{F} = 0$ then $\vec{a} = 0$ In other words, if the resultant Force on a body is zero, the acceleration of the body is zero and the body moues with Constant velocity, as stated by the first Law. However, The First Law Has an independent and important role in defining inertial reference frome.without that definition, we would not be able to choose the fromes of reference in which to apply the Second Law. We Therefore need both Laws for a Complete systems of mechanics[۲].

اگر این نوشته را به دقت بررسی کنیم می‌بینیم که بیان اول نادرست و بیان دوم درست است.

منطق درست، فیزیک غلط:

شما بر پایهٔ قانون دوم نیوتن و بر پایهٔ یک استنتاج بدیهی منطقی می‌توانید بنویسید:

$$\vec{F}_{net} = 0 \Leftrightarrow \vec{a} = 0$$

دقت کنید که گزارهٔ بالا در یک گزارهٔ دو شرطی است و می‌توان آن را به‌صورت زیر بیان کرد:«شتاب جسم صفر است اگر و تنها اگر نیروی خالص وارد به آن جسم صفر باشد.»

ادعا می‌شود که بیان بالا همان قانون اول نیوتن است و در نتیجه قانون اول از قانون دوم قابل استنتاج است. ولی این درست نیست. گرچه استنتاج بالا، ایراد منطقی ندارد ولی اساساً قانون اول (N_1) گزاره‌ای شرطی (یا دو شرطی) نیست. قانون اول، به بیان دقیق کلمه، تعریف‌کنندهٔ یک چارچوب لخت است. بیان درست N_1 چنین است:

«اگر $f_{net} = 0$ و $\vec{v} = 0$ ؛ آنگاه شما در یک چارچوب لخت حضور دارید.»

نیروی حقیقی ـ نیروی مَجازی

البته می‌توان خیلی هم سخت نگرفت. ما می‌توانیم N_1 را تعریف‌کنندهٔ دستگاه لخت ندانیم. در این صورت می‌توان با معرفی نیروهای مَجازی در هر حالت، N_1 را حالت خاصی از N_2 تلقی کرد. در واقع اگر $-m\vec{a}$ و هر نوع نیروی وابسته به سینماتیک چارچوب را (مثل نیروی گریز ازمرکز) نیرو تلقی کنیم، آنگاه می‌توانیم N_1 را در N_2 مندرج بدانیم. ولی واقعاً چرا $m\vec{a}$ را نیرو تلقی نکنیم و خود را درگیر تعریف چارچوب لَخت کنیم؟ این پرسش خوبی است و در واقع اساسی‌ترین پرسش است. اول توجه کنید که گزارهٔ دو شرطی استنتاج شده از قانون دوم به‌صورت زیر بود: «شتاب صفر است اگر و تنها اگر نیروی خالص صفر باشد.»

گزارهٔ بالا می‌تواند صادق باشد بی‌آنکه شما در چارچوب لخت حضور داشته باشید.

اگر خوب دقت کنید، قانون N_1 ، آزمونی برای تشخیص چارچوب لَخت است. این آزمون واقعاً مبتنی بر تعریف دقیق نیرو است؛ با این توضیح که باید بدانیم دقیقاً چه چیزی را نیرو تلقی می‌کنیم؟ در حیطهٔ فیزیک کلاسیک، نیرو برهم‌کنشی دو جسم است که در نهایت به یکی از این چهار نیروی بنیادین طبیعت تحویل گردد:

- نیروی گرانشی
- نیروی هسته‌ای قوی
- نیروی الکترومغناطیسی
- نیروی هسته‌ای ضعیف

هر نیرویی (یا هر احساس نیرویی) که ناشی از برهم‌کنش دو جسم نباشد، هر چند که ما آن را به‌عنوان نیرو تلقی کنیم، مثل $-m\vec{a}$ ، نیروی گریز از مرکز، نیروی کوریولیس و ... درکاتالوگ نیروهای حقیقی داخل نمی‌شوند. در واقع قانون اول از آن حیث مهم است که فهرست نیروهای حقیقی در قانون دوم را مشخص می‌کند.

«اگر شما یک به یک همهٔ نیروهای حقیقی را تست کرده و با نبود آن‌ها، شتاب جسم را صفر اندازه بگیرید، آنگاه شما در یک چارچوب لخت هستید.»

حالا شما مجاز هستید قانون دوم را تنها و تنها با داخل کردن نیروهای حقیقی به‌کار ببرید.

اگر در چارچوب لَخت نباشید، دو حالت زیر امکان دارد:

۱. وجود شتاب علیرغم اینکه نیروها به ظاهر متوازن هستند .

۲. حرکت یکنواخت راست ـ خط، علیرغم اینکه نیروها به ظاهر متوازن نیستند.

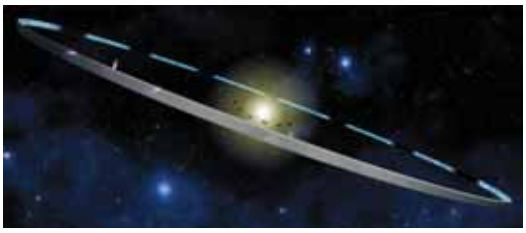
دقت کنید، وقتی در چارچوب لَخت هستید، هم برای دینامیک و هم برای استاتیک، فقط باید نیروهای حقیقی (یعنی فهرستی از نیروها که در نهایت به چهار نیروی بنیادین طبیعت ختم می‌شوند) داخل گردد. به‌علاوه توجه کنید که هم استاتیک و هم دینامیک هر دو مربوط به «قانون دوم نیوتن» هستند و ربطی به قانون اول نیوتن ندارند. در واقع قانون اول، امکانی فراهم می‌آورد که مادر قانون دوم (چه شتاب وجود داشته باشد و چه وجود نداشته باشد.) تنها نیروهای حقیقی را داخل کنیم. اگر شما در چارچوب لَخت نباشید، هنگام به‌کار بردن قانون N_2، علاوه بر نیروهای حقیقی به نیروهای مجازی هم نیاز دارید. این نیروها ناشی از برهم‌کنش یک جسم دیگر نیستند. دقت کنید که همهٔ چارچوب‌های لَخت، در نیروهای حقیقی توافق دارند ولی هر چارچوب نالَخت (شتاب‌دار خطی، شتاب دار دورانی، شتاب‌دار نوسانی یا ترکیبی از این‌ها) دارای نیروی مجازی خاص خود می‌باشد: (مثل نیروی مجازی $-m\vec{a}$ ، نیروی گریز از مرکز، نیروی کوریولیس و ...) تا بتواند قانون دوم نیوتن را به درستی اعمال کند. البته گاهی از سرناچاری و یا به دلایل کاربردی می‌توان برای اِعمال قوانین نیوتن

آزمایش سطح شیب‌دار گالیله یکی از اولین کارهای تجربی او بود که اصل لختی یا اینرسی از آن متولد شد

برای چارچوب متصل به کرهٔ زمین، اثراتِ فالَختی آن را با معرفی نیروهای گریز از مرکز، نیروی عرفی دورانی و نیروی کوریولیس کنسل کرد و چنان وانمودکرد که گویی در چارچوب لخت هستیم. این کار البته تمهیدی مهندسی است و با هدف غایی فیزیک که همانا یکپارچه نمودن نیروهای طبیعت است مغایرت دارد.

یک مثال: دو شخص A_1 و A_2 را در نظر بگیرید. A_1 جعبه‌ای را بر روی سطح زمین قرار می‌دهد و این جعبه هیچ شتابی ندارد. او نیروها را در چارچوب متصل به جعبه بررسی می‌کند. نیروی گرانش که مربوط به کرهٔ زمین است (و نیرویی بلند بُرد است) جعبه را به پایین می‌کشد و نیروی عمودی واکنش سطح، جعبه را به بالا هُل می‌دهد. این دو نیرو باید یکدیگر را خنثی کنند چون از دید A_1 شتابی وجود ندارد. دقت کنید که A_1 التفات چندانی به چارچوب لَخت و نالَخت ندارد و مسئله را صرفاً از دید مهندسی آنالیز می‌کند. در واقع او، همین‌که شتاب را صفر می‌بیند از دید مهندسی آنالیز می‌کند. در واقع او، همین‌که شتاب را صفر می‌بیند، انتظار دارد که نیروهای وارد بر جسم را هم متوازن اندازه بگیرد. ولی چه بسا او اصلاً در چارچوب لخت نباشد و چه بسا یکی از نیروها (مثلاً نیروی گرانش) اصلاً نیرویی حقیقی نباشد، بلکه به واسطهٔ حضور او در یک چارچوب نالخت به‌صورت نیرو حس می‌شود.

حالا فرض کنید A_1 بی‌آنکه خود بداند. بر روی یک دنیای خیلی بزرگ حلقه‌ای چرخان زندگی می‌کند. ساکنین این حلقهٔ چرخان خودشان نمی‌دانند در حال چرخش هستند و فکر می‌کنند دنیا دور آن‌ها می‌چرخند. برای ناظر A_2 که یک ناظر لخت است و خارج دنیای حلقه‌ای قرار دارد، به جعبه فقط یک نیروی حقیقی وارد می‌شود: یعنی همان نیروی واکنش عمودی سطح، همین نیرو، در واقع نیروی مرکزگرایی می‌شود که سبب شتاب جعبه به‌سوی مرکز دوران می‌گردد و جعبه را به حرکت دایره‌ای الزام می‌کند.



به علاوه تمام ناظرهای لخت دیگر هم با A_2 هم عقیده هستند. در واقع از دید A_2، مسئله جعبه بر روی حلقهٔ دوار یک مسئله دینامیک است نه یک مسئله استاتیک. از آن طرف برای A_1 که قانون N_1 را حالت خاصی از قانون N_2 می‌پندارد، نیروهای وارد بر جعبه، دو نیرو هستند و وضعیت برای او یک وضعیت تعادلی است و این مسئله را استاتیک می‌داند نه دینامیک. شاید از دیدگاه مهندسی، این تفاوت دیدگاه چندان مهم نباشد ولی از دید تحلیل فیزیکی، این نوع تحلیل دارای اشکالات مبنایی و کاربردی است.

اشکال مبنایی تحلیل ناظر A_1 این است که او یک نیروی مجازی (نیروی گریز از مرکز) را در واقع یک نیروی حقیقی گرانشی تلقی کرده است. در واقع مسئله استاتیک برای او به قیمت معرفی یک نیروی ناموجود تمام شده است. شاید این خیلی مهم نباشد ولی واقعاً این کار او، کاتالوگ نیروها را شلوغ می‌کند: نیروهایی که در نهایت به نیروهای بنیادین طبیعت ختم نمی‌شوند.

اما به یک مشکل کاربردی توجه کنید. فرض کنید ساکنان این دنیای حلقه‌ای چرخنده، بخواهند سفینه‌ای را به بیرون پرتاب کنند. آن‌ها در کمال شگفتی متوجه می‌شوند که با هر سرعتی (هر چقدر هم زیاد باشد) راکت نمی‌تواند از سیارهٔ آن‌ها با شوت مستقیم خارج شود. در واقع هرگاه که راکت را پرتاب می‌کنند، متوجه می‌شوند که این راکت به طرفی خم شده و مجدداً به سطح سیاره برخورد خواهد کرد. در واقع ناظر A_1 چاره‌ای ندارد که یک نیروی خاص برای نوع حرکت راکت، «فقط» وقتی که راکت پرتاب می‌شود معرفی کند. این نیرو، در واقع به هیچ نیروی حقیقی (وابسته به چهار نیروی بنیادین طبیعت) ملحق نمی‌شود. در این حالت، به این نیروی کذایی برای توصیف رفتار حرکت راکت پرتاب شده از دید ناظر A_1، «نیروی کوریولیس» می‌گویند. خب چرا تعصب بورزیم و این نیروی جدید را به فهرست نیروها، اضافه نکنیم؟ اضافه کردن این نیرو، به سیاههٔ نیروها دو ایراد دارد:

ë اولاً ⇐ این نیرو حاصل بر هم کنش راکت با هیچ جسمِ دیگری نیست.

ثانیاً ⇐ هر چارچوب نا لَخت دیگر، نیروی مجازی خاص خود را دارد و هر نیروی مجازی فقط داخل همان چارچوب نالَخت معتبر است و خارج آن محلی از اعراب ندارد. این رهیافت با دیدگاه خاص روش‌شناختی وحدت نیروها در تعارض است.

در مقابل، همهٔ ناظران لَخت، بیرون این دنیای حلقه، چرخان، توصیف واحدی برای نوع حرکت راکت دارند. به محض اینکه راکت سطح حلقه را ترک می‌کند دیگر هیچ نیرویی به آن وارد نمی‌شود و در امتداد خط مستقیم ادامهٔ حرکت خواهد داد. در این مدت حلقهٔ دایره‌ای هم کمی می‌چرخد و در نتیجه راکت به نقطه مقابل (که البته قبلاً کمی در طرف چپ راکت بود) برخورد می‌کند.

به نکته جالبی توجه کنید! مسئله تعادلی جعبه از دید A_1 یک مسئله استاتیک بود ولی از دید ناظر لخت A_2 یک مسئله دینامیک شد. در مقابل پرواز راکت از دید A_1 (با معرفی یک نیروی مجازی) یک مسئله دینامیک شد حال آنکه از دید ناظر لخت A_2 یک مسئله استاتیک است.

دقت کنید، وقتی در چارچوب لَخت هستید، هم برای دینامیک و هم برای استاتیک، فقط باید نیروهای حقیقی (یعنی فهرستی از نیروها که در نهایت به چهار نیروی بنیادین طبیعت ختم می‌شوند.)

پی‌نوشت‌ها

1. Essential - University - physics: Richard wolfson. Third Edition - p.73.
2. Krane - PhysicsHaliday - Sed - p. 43, 48.