

آشنایی با نسبیت خاص

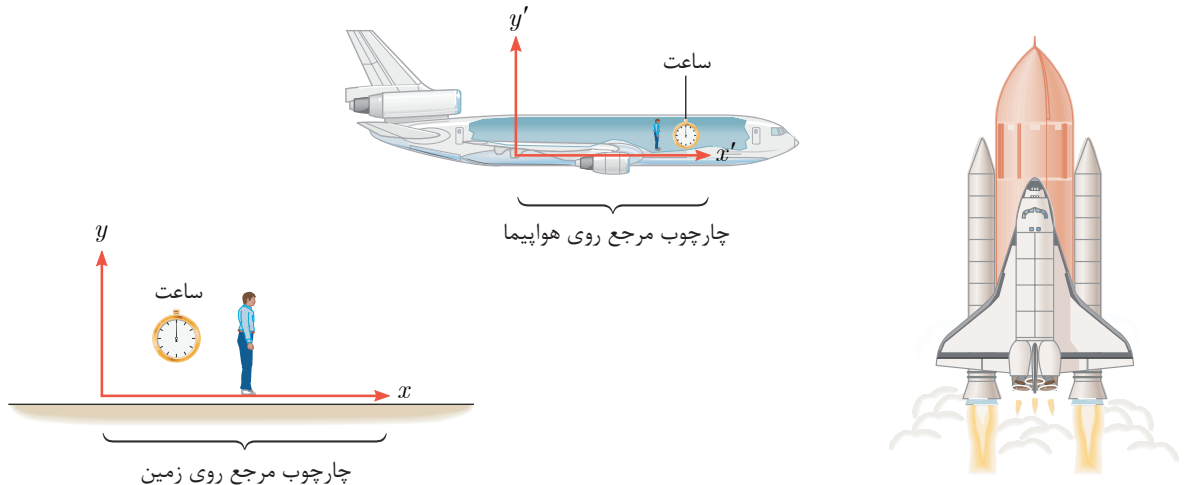


این پژوهشگران در حال اتصال یک سامانه مکان‌یابی جهانی (GPS) به یک فیل در اکوادور هستند. این سامانه به پژوهشگران امکان می‌دهد تا حرکت‌های فیل را ردیابی کنند زیرا فناوری GPS می‌تواند مکان اجسام را با دقت قابل ملاحظه‌ای روی زمین پیدا کند. بخشی از دقت این سامانه به این دلیل حاصل می‌شود که GPS بر اساس نظریه نسبیت خاص اینشتین کار می‌کند.

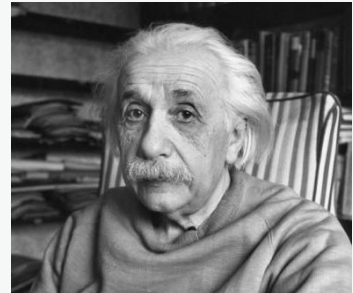
۱. رویدادها و چارچوب‌های مرجع لغت

در نظریه نسبیت خاص، رویداد، نظیر پرتاب شاتل فضایی در شکل ۱، یک **اتفاق** فیزیکی است که در مکان و زمان معینی رخ می‌دهد. در این شکل دو ناظر بلند شدن شاتل را نگاه می‌کنند، یکی روی زمین ایستاده است و یکی درون هواپیمایی است که با تندی ثابت نسبت به زمین در پرواز است. برای ثبت این رویداد، هر ناظر از **چارچوب مرجعی** استفاده می‌کند که شامل محورهای x ، y و z (به نام دستگاه مختصات) و یک ساعت است. دستگاه‌های مختصات در جایی قرار می‌گیرند که رویداد رخ می‌دهد و ساعت‌ها زمان وقوع رویداد را در آن دستگاه مشخص می‌کنند.

شکل ۱ با استفاده از چارچوب مرجع روی زمین ناظری که روی زمین ایستاده است مکان و زمان رویداد را ثبت می‌کند (برخاستن شاتل فضایی). به همین ترتیب ناظر درون هواپیما برای توصیف رویداد از چارچوب مرجع مربوط به هواپیما استفاده می‌کند.



○ خوب است بدانیم!



نسبیت خاص، به توصیف انرژی، حرکت ماده و تابش در نبود جاذبه گرانشی می‌پردازد. نسبیت خاص امروزی را آلبرت اینشتین در ۱۹۰۵ منتشر کرد. صفت خاص در نسبیت خاص، آن‌را از نسبیت عام متمایز می‌کند. نسبیت عام حرکت اجسام و نور را در حضور اجسام گرانش‌دار توصیف می‌کند. هم نسبیت خاص و هم نسبیت عام، نظریه‌هایی به اصطلاح کلاسیک‌اند. آن‌ها به پدیده‌های مولکولی یا اتمی (که با مکانیک کوانتومی توصیف می‌شوند) نمی‌پردازند.

واژه نسبیت، اصطلاحی گمراه‌کننده است، به طوری که اینشتین سال‌ها از به کار بردن آن اجتناب می‌کرد. نسبیت فضا و زمان نکته اصلی نیست. هم نسبیت خاص و هم نسبیت عام، بر اساس این اصل بنیادی‌اند که قانون‌های طبیعت مستقل از دیدگاه ناظرند.

در نسبیت، دیدگاه ناظر را چارچوب مرجع می‌گویند. به طور غیر دقیق، هر



هر ناظر نسبت به چارچوب مرجع خودش ساکن است. ولی، ناظر روی زمین و ناظر درون هواپیما (هم‌چنین چارچوب‌های مربوط به آن‌ها) نسبت به یکدیگر در حرکت‌اند.

نظریه نسبیت خاص نوع «خاصی» چارچوب مرجع به نام چارچوب مرجع لخت را مورد بحث قرار می‌دهد. چارچوب مرجع لخت چارچوبی است که در آن قانون لختی یا همان قانون اول نیوتون معتبر است. یعنی، اگر نیروی خالص وارد شده به جسمی صفر باشد، جسم یا در حال سکون باقی می‌ماند یا با سرعت ثابت حرکت می‌کند. به عبارت دیگر، شتاب چنین جسمی وقتی در چارچوب مرجع لخت اندازه‌گیری شود برابر با صفر است. چارچوب‌های مرجع در حال چرخش یا انواع دیگر چارچوب‌های مرجع، لخت نیستند. چارچوب مرجع واقع روی زمین در شکل ۱ کاملاً یک چارچوب لخت نیست زیرا با چرخش زمین به دور محورش و همچنین به دور خورشید شتاب مرکزگرایی دارد، ولی در بیشتر وضعیت‌ها اثرهای این شتاب ناچیز است و می‌توان آن‌ها را نادیده گرفت. به همان میزان که چارچوب مرجع واقع روی زمین چارچوب لخت است؛ چارچوب مرجع مربوط به هواپیما نیز لخت است زیرا هواپیما با سرعت ثابت نسبت به زمین حرکت می‌کند. در بخش بعد به دلیل اهمیت چارچوب‌های لخت در نسبیت می‌پردازیم.

۲. اصول موضوع نسبیت خاص

اینشتین نظریه نسبیت خاص خود را بر دو فرض اساسی یا اصل‌های موضوع درباره رفتار طبیعت بنا نهاد.

اصول موضوع نسبیت خاص

۱- اصل موضوع نسبیت. قانون‌های فیزیک در هر چارچوب مرجع لخت یکسان هستند.

۲- اصل موضوع تندی نور. تندی نور در خلأ، که در هر چارچوب مرجع لخت اندازه‌گیری شود، همواره دارای مقدار یکسان است، صرف‌نظر از این که چشمه نور و ناظر با چه تندی‌ای نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند.



چارچوب مرجع یک جایگاه موضعی (مثلاً یک فضاپیما، یک هواپیما، یک خودرو، یا اتاق یک آزمایشگاه) است که حرکت نسبت به آن سنجیده می‌شود، و برای این کار از ساعت‌ها و خط‌کش‌هایی که نسبت به آن جایگاه ساکن‌اند، استفاده می‌شود. نسبیت خاص به چارچوب‌هایی از این هم خاص‌تر محدود می‌شود: به چارچوب‌های مرجع لخت. این چارچوب‌هایی هستند که اجسام آزاد نسبت به آن‌ها ساکن می‌مانند یا حرکتی یکنواخت روی خط راست دارند. در هر چارچوب لخت، اجسام آزاد در فضا شناور می‌مانند. این همان چیزی است که مثلاً یک فضاانورد در فضاپیمایی با موتور خاموش می‌بیند. در نسبیت خاص، رویدادها از دید چارچوب‌های مرجع لخت (فضاپیمایی با موتورهای خاموش) با هم مقایسه می‌شوند. این چارچوب‌ها با سرعت ثابت نسبت به هم حرکت می‌کنند.

www.

□ تجسم نسبیت خاص

پذیرش اصل موضوع نسبیت، چندان دشوار نیست. مثلاً در شکل ۱، هر ناظر با استفاده از چارچوب مرجع لخت خود می‌تواند روی حرکت شاتل فضایی اندازه‌گیری‌هایی انجام دهد. اصل موضوع نسبیت مدعی است که هر دو ناظر در می‌یابند که اطلاعات آن‌ها با قانون‌های حرکت نیوتون سازگار است. به همین ترتیب هر دو ناظر در می‌یابند که رفتار سامانه‌های الکترونیکی در شاتل فضایی با قانون‌های الکترومغناطیس توصیف می‌شوند. بنابر اصل موضوع نسبیت، **هر چارچوب مرجع لخت برای بیان قانون‌های فیزیک به خوبی هر چارچوب مرجع لخت دیگری است.** تا جایی که به چارچوب‌های مرجع لخت مربوط است، طبیعت به دلخواه عمل نمی‌کند.

از آنجا که قانون‌های فیزیک در تمام چارچوب‌های مرجع لخت یکسان است، تجربه‌ای وجود ندارد که بتواند میان چارچوب لخت در حال سکون و چارچوبی که با سرعت ثابت در حرکت است تمایز قائل شود. وقتی شما در شکل ۱ در هواپیما نشسته‌اید، مثلاً درست همانقدر می‌توانید بگویید که شما ساکن هستید و زمین در حال حرکت است یا برعکس. امکان ندارد چارچوب مرجع لخت خاصی را در نظر بگیرید که در «سکون مطلق» باشد. در نتیجه صحبت از «سرعت مطلق» یک جسم بی‌معناست - یعنی سرعت نسبت به چارچوب مرجعی اندازه‌گیری شده که در «سکون مطلق» است. در نتیجه، زمین نسبت به خورشید حرکت می‌کند که خودش نسبت به مرکز کهکشان ما در حرکت است. و کهکشان نسبت به کهکشان‌های دیگر حرکت می‌کند و نظایر آن. بنابر نظریه نسبیت خاص اینشتین فقط سرعت نسبی بین اجسام، نه سرعت‌های مطلق آن‌ها، قابل اندازه‌گیری و از نظر فیزیکی بامعناست.

در حالی که اصل موضوع نسبیت معقول به نظر می‌رسد، اصل موضوع تندی نور با عقل سلیم سر مخالفت دارد. مثلاً شکل ۲ نشان می‌دهد که شخصی در کف وانتی ایستاده است و با تندی ثابت 15 m/s نسبت به زمین حرکت می‌کند. حال فرض کنید که شما روی زمین ایستاده‌اید و شخص درون وانت چراغ قوه‌ای را به سمت شما روشن کرده است. شخص درون وانت تندی نور را برابر c مشاهده می‌کند. شما تندی نور را چقدر اندازه می‌گیرید؟ شما ممکن است حدس بزنید که تندی