



چگونه به سگم از  
نسبت می گویم؟



چگونه  
به سگم از  
نسبت  
می گویم؟



چاد اورزل  
ترجمه‌ی جمیل آریایی

زئشلات ماریار

- سرخشناسه : اورزل، چاد، ۱۹۶۸ م. Orzel, Chad  
عنوان و نام پدیدآور : چرا با سگم از نسبیّت می‌گوییم؟ : مقدمه‌ای بر فیزیک کوانتوم/ چاد اورزل ؛  
ترجمه‌ی جمیل آریایی
- مشخصات نشر : تهران: مازیار ، ۱۴۰۰.  
مشخصات ظاهری : ۳۶۸ ص: مصور، جدول ، نمودار.  
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۹۶۰۰۴-۱-۲
- وضعیت فهرست‌نویسی : فیبا  
یادداشت : عنوان اصلی: How to teach relativity to your dog, 2012
- موضوع : نسبیّت(فیزیک) -- به زبان ساده  
موضوع : فیزیک -- شوخی‌ها و بذله‌گویی‌ها  
موضوع : Physics -- Humor  
موضوع : فیزیک -- شوخی‌ها و بذله‌گویی‌ها  
موضوع : Physics -- Humor  
موضوع : relativity (Physics) -- Popular works  
موضوع : کوانتوم -- شوخی‌ها و بذله‌گویی‌ها  
موضوع : Quantum theory -- Humor
- شناسه افزوده : آریایی، جمیل، ۱۳۳۰ - مترجم  
رده‌بندی کنگره : QC۲۴/۱۷۲/۵  
رده‌بندی دیویی : ۶۲۹/۴۵۵  
شماره کتابشناسی ملی : ۵۱۱۱۰۴۷

www.mazyarpub.ir  
mazyarpub@yahoo.com

## مقالات مازیار

ثبت علامت تجاری: ۳۵۳۴۲۴

مقابل دانشگاه تهران، ساختمان ۱۲۹۶ (ظروفچی) طبقه اول، واحد ۴، تلفن ۶۶۴۶۲۴۲۱

چگونه به سگم از نسبیّت می‌گوییم؟

چاد اورزل

ترجمه‌ی جمیل آریایی

صفحه‌آرایی مرواک.

چاپ اول ۱۴۰۰

شمارگان ۱۲۰۰

لیتوگرافی، چاپ و صحافی طیف‌نگار

شابک ۹۷۸-۶۲۲-۹۶۰۰۴-۱-۲

# فهرست مطالب



۷

مقدمه

## فصل اول

حرکت نسبی سگ: توصیف حرکت ۱۳

## فصل دوم

اثبات‌های غلط و آزمایش‌های شکست‌خورده: ریشه‌های تاریخی

نسبیت ۳۹

## فصل سوم

وقتی که خرگوش‌ها را تعقیب می‌کنی، زمان دیر می‌گذرد:

اتساع زمان نسبیتی ۶۱

## فصل چهارم

عزیزم، من خرگوش‌ها را کوتاه می‌کنم: انقباض طول ۸۷

## فصل پنجم

بازه‌ها و نمودارها: مقدمه‌ای بر فضا-زمان ۱۰۷

## فصل ششم

۲۹۹,۷۹۲,۴۵۸ متر بر ثانیه نه تنها ایده‌ی خوبی است، بلکه قانون

است: سرعت، تکانه، نیرو، و سرعت نور ۱۴۵

## فصل هفتم

هر سگی همیشه در حال حرکت است:  $E = mc^2$  ۱۷۵

## فصل هشتم

جستجوی بوزون ژامبون:  $E = mc^2$  و ذرات بنیادی ۱۹۵

## فصل نهم

۲۱۹ در گنج‌های جادویی، همه چیز نسبی است: اصل هم‌ارزی

## فصل دهم

۲۵۵ تاباندن جهان هستی: نسبییت عام و سیاه‌چاله‌ها

## فصل یازدهم

۲۹۱ هر چیزی فرار می‌کند: نسبییت عام و جهان در حال انبساط

## فصل دوازدهم

۳۲۳ نظریه‌ی وحدت یافته‌ی همه‌چیز: وحدت نیروها

۳۴۵ قدردانی‌ها

۳۴۷ فرهنگ اصطلاحات

۳۶۱ برای مطالعه‌ی بیشتر

۳۶۵ نمایه

## مقدمه



بار دیگر سرماست و فصل سرما خوردگی، و میان امروز که در دانشگاه درس می‌دهم و آن زمان که در خانه تاتی تاتی راه می‌رفتم، هر ویروسی را که در اطراف باشد می‌گیرم. سر میز اتاق نشیمن نشسته‌ام و برگه‌های امتحانی را تصحیح می‌کنم که ناگهان به سرفه می‌افتم. سرفه‌ام که تمام می‌شود، آب می‌خورم و می‌بینم صدای تق تق می‌آید. برمی‌گردم و به سگم امی نگاه می‌کنم که روی کف اتاق در کنار مبل دراز کشیده و دُم‌اش را به زمین می‌کوبد و زبان‌اش را از گوشه دهان‌اش بیرون آورده که یعنی می‌خندد.

«آره، بخند پشمالو. این کجاش خنده‌داره؟»

امی می‌گوید، «معذرت می‌خواهم، وقتی که سرفه می‌کردی، انگار داشتی این صدا را درمی‌آوردی.» امی دو بار پارس می‌کند که کم و بیش مثل صدای سرفه است. «در دنیای ما سگ‌ها، این صدا خنده‌داره.»

«واقعاً؟ معنی‌اش چیه؟»

«خُب، معنی‌اش ... ام ... ببین، تا سگ نباشی، معنی این جوک را نمی‌فهمی.»  
«پس بهتره که سرم به کار خودم باشه.» برمی‌گردم و به تصحیح برگه‌های امتحانی ادامه می‌دهم.

«سر فرصت به این موضوع فکر خواهم کرد تا ببینم به چه نتیجه‌ای می‌رسم، اما ترجمه کردن جوک کار ساده‌ای نیست.»

بدون این که سرم را بلند کنم، می‌گویم، «ترجمه کردن هر چیزی مشکل است.»  
«واقعاً؟ درباره‌ی ترجمه چی میدونی؟»

«خُب، کاری است که من برای امرار معاش می‌کنم.»

«تو فیزیکدان هستی، دیپلمات که نیستی.»

خودکارم را روی میز می گذارم و می گویم، «من استاد فیزیک هستم. غیر از فیزیک، به دیگران هم فیزیک درس می دهم.»  
«به سگها هم فیزیک درس می دی؟!»

«آره، به سگها هم فیزیک درس می دهم. اگر بخواهی فیزیک درس بدهی، ترجمه هم باید بکنی. فیزیک به زبان ریاضیاتی بیان می شود، لیکن بیشتر مردم زبان ریاضیات را نمی دانند. بنابراین در تدریس فیزیک سعی می کنیم راهی پیدا کنیم که بشود ایده های فیزیکی نهفته در دل معادلات ریاضیاتی را به مفاهیم زبان و تجزیه ی روزمره ترجمه کرد.»

«پس شماها از تشابهها و این جور چیزها استفاده می کنید؟»

«آری، این هم بخشی از کارهایی است که من می کنم. وقت زیادی را هم صرف می کنم تا ببینم که مردم از شیوه ی کار جهان هستی چه پیش پندارهایی دارند. گاهی درک شهودی ما از رفتار اشیای روزمره با آنچه فیزیک می گوید خیلی فرق دارد و از این رو نخستین کاری که باید در تدریس بکنیم این است که چنین پیش پندارها را از بین ببریم و همه چیز را اساساً از نو شروع کنیم.»  
در حالی که امی از خود و گونه ی سگها راضی به نظر می رسید، پاسخ می دهد، «اگر تنها به سگها درس بدهی، این مشکل را نخواهی داشت.»  
(نه؟)

«نه خیر. چون من نمی دانم که اشیاء چگونه کار می کنند. صحبت از فیزیک که می شود، من مرخص مرخص ام.»

«موضوع را به آنجاها نمی کشانم، اما دست کم پیش پندارهای تو با پیش پندارهای بیشتر انسانها فرق دارد. منظورم این است که فکر کردن به فیزیک از دیدگاه یک سگ می تواند کار مفیدی باشد، یعنی آنگاه که با ذهن باز و از زاویه ای دیگر به مسئله نگاه می کنی، گاهی بینشی به دست می آوری که از طریق پندارهای نادرستی که داری، به آن نمی رسی.»

«بنابراین، فکرش را که می کنی، می بینی اگر به من فیزیک درسی بدی، به تو کمک می کنه که بتوانی بهتر به انسانها فیزیک درس بدی.»

«آره، همین طوره.»



امی دوان دوان به سوی من می‌آید و در حالی که امیدوار به نظر می‌رسید، می‌نشیند. «یعنی می‌خواهی بگویی که این هم جزئی از شغل توست؟»  
 «منظورت را از این حرف می‌فهمم، پس بگذار به تو بگویم که تصحیح این برگه‌های امتحانی هم جزئی از کارهایی است که من باید بکنم. باید فردا نمرات را اعلام کنم و از این رو در این لحظه مهم‌ترین کاری است که باید انجام دهم.»  
 «اوه.» امی کمی بادش می‌خوابد.

«حالا، فردا تعطیلات ما نیز شروع می‌شود، پس وقت خواهیم داشت که اگر خواسته باشی می‌توانم درباره‌ی فیزیک با تو حرف بزنم.»  
 «ترجیح می‌دم، در حالی این کار را بکنی که مرا به پیاده‌روی‌های طولانی می‌بری!»

«حتماً، این کار را می‌کنم. حالا بگذار من تصحیح این برگه‌ها را تمام کنم و تو هم فکر کن و ببین که چه بخش‌هایی از فیزیک را دوست داری یاد بگیری، باشه؟»  
 «باشه!» امی به طرف کتابخانه می‌دود و من هم به کار تصحیح برگه‌ها ادامه می‌دهم. برگه بعدی را که برمی‌دارم، می‌شنوم که امی می‌گوید، «می‌شه که من بفهمم این آقای اینشتین راجع به چی حرف می‌زنه ...»



از بیشتر انسان‌ها، یا همه‌ی سگ‌ها، بخواهی که در ذهن‌شان تصویری از یک دانشمند را بکشند، به احتمال زیاد تصویری که در ذهن‌شان می‌کشند، چیزی شبیه به تصویری نمادین از آلبرت اینشتین خواهد بود — موی سپیدی که به هر سو نشانه رفته، لباس‌های چروک، چه بسا لهجی آلمانی و افکاری پریشان. چنین تصویری از دانشمندان، کمی ناعادلانه است<sup>۱</sup> — دانشمندان بزرگ به هر اندازه، شکل، نژاد، جنسیت، و ملیت می‌توانند باشند (هر چند گونه‌های دیگر هنوز این ویژگی‌ها را ندارند) — لیکن این چهره‌ی اینشتین است که بیشتر اذهان مردم عادی را اشغال می‌کند و تصویری همگان‌پسند از نوعی دانشمند است. حتی حالا که پنجاه سال از درگذشت او می‌گذرد، در یکی از

۱. چنین تصویری درخور اینشتین نیز نیست که وقتی اثر انقلابی‌اش را منتشر کرد، هنوز کمتر از سی سال داشت. تصاویر آن روزهای اینشتین، او را مردی خوش‌تیپ و جوانی خوش‌لباس نشان می‌دهند. موی پریشان و لباس‌های گل و گشاد، صحبت خیلی سال‌ها بعد هستند.

نظرسنجی‌هایی که از مردم خواسته شده بود دانشمند معاصر محبوب‌شان را نام ببرند، اینشتین دوم شد.<sup>۱</sup>

از مردم یا سگ‌ها که پرسشی چرا اینشتین دانشمند محبوبی بود، خواهند گفت، به خاطر معادله‌ی  $E = mc^2$  و یا امکان دارد بگویند به خاطر «نظریه‌ی نسبیت». حال اگر از مردم پرسشی که معنی این معادله یا این عبارت چیست، بیشترشان خواهند گفت که نمی‌دانند، چه برسد به سگ‌ها. چنین وضعی تأسف‌آور است، چون نظریه‌ی نسبیت اینشتین یکی از ارکان فیزیک مدرن است. نسبیت، همراه با مکانیک کوانتومی، نگرش دانشمندان به جهان هستی را به کل دگرگون کرد. مسائلی را که فیزیک کلاسیک نمی‌تواند حل کند، نسبیت حل می‌کند و مسائل تازه‌ای را مطرح می‌کند که فیزیکدان‌ها را تا صد سال آینده به خود مشغول می‌کند.

متأسفانه، آن جنبه‌هایی از نسبیت که در فیزیک مهم هستند، برای کسانی که فیزیکدان نیستند فوق‌العاده هولناک است. مواردی که نسبیت به آن‌ها می‌پردازد، با تجربه‌ی روزمره‌ای که ما از جهان هستی داریم، به کل بیگانه‌اند — اشیایی که با سرعتی هزاران برابر بیشتر از سرعت اشیای ساخته‌ی دست انسان‌ها حرکت می‌کنند، یعنی اشیای اخترشناختی که جرم‌های فوق‌العاده بزرگی دارند و در فضاهای کوچکی جا گرفته‌اند — و پیشگویی‌های آن با همه‌ی انتظارات عادی ما ناسازگارند. نسبیت به ما می‌گوید که کمیت‌هایی که بنیادی به نظر می‌رسند — بازه‌های فضایی و بازه‌های زمانی — از ناظری به ناظر دیگر فرق می‌کنند. آهنگ تیک‌های ساعتی که در حال حرکت باشد، با آهنگ تیک‌های ساعتی که ساکن است، فرق دارد. آهنگ تیک‌های ساعتی که در نزدیکی جسم سنگینی قرار داشته باشد، با آهنگ تیک‌های ساعتی که از این جسم سنگین دورتر باشد، فرق دارد. خود فضا در حضور جرم، دستخوش کشیدگی می‌شود و از این‌رو طول مسیر میان دو نقطه بستگی به این دارد که در این مسیر چه چیزهایی قرار داشته باشند. این‌ها همه از جمله پیشگویی‌های نظریه نسبیت هستند. این پیشگویی‌ها بی‌برو برگرد درست هستند چون در طول یک قرن پس از این که اینشتین

۱. ۶۵ درصد از کسانی که در این نظرسنجی شرکت کردند، از هیچ دانشمندی نام نبرده بودند. مقام نخست را استیون هاکنینگ، نویسنده‌ی کتاب تاریخچه‌ی مختصر زمان به خود اختصاص داد.

برای نخستین بار در سال ۱۹۰۵ نظریه‌ی نسبیت را عرضه کرد، بارها و بارها با آزمایش‌های گوناگون به تأیید رسیده‌اند. جهانی که ما در آن زندگی می‌کنیم، عجیب‌تر از آن جهانی است که از درک شهودی روزمره ما انتظار می‌رود. برای این که چنین جهانی را به طور کامل درک کنیم، باید پندارهای مان از جهان را بسط دهیم تا شامل پیشگویی‌های شهودستیز نظریه‌ی نسبیت شوند.

انجام چنین وظیفه‌ای دشوار است، لیکن راه ساده‌تر آن این است که مثل سگ فکر کنیم. همان‌طور که صاحب هر سگ می‌داند، سگ‌ها جهان را جور دیگری می‌بینند — البته نه این که هیچ پیش‌پنداری نسبت به آن ندارند، بلکه پیش‌پندارهای آن‌ها با پیش‌پندارهای ما انسان‌ها فرق دارد، آن هم اغلب به گونه‌ای که درک فیزیک را آسان‌تر می‌کند. از دیدگاه سگ‌ها، هر لحظه باید وقت نهار باشد، بنابراین این ایده که آهنگ تیک ساعت‌ها از دیدگاه ناظرین در حال حرکت یا ناظرینی که در مکان‌های مختلفی هستند، متفاوت است، مفهومی است که به سادگی می‌توان آن را پذیرفت.

اگر یاد بگیریم که مثل سگ‌ها فکر کنیم، یعنی جهان را منبع بی‌پایانی از سرگشتگی‌ها و شگفتی‌ها ببنداریم، فیزیک مدرن هولناک به نظر نخواهد رسید. اگر از دیدگاه سگ‌ها به فیزیک نگاه کنیم، خواهیم توانست مقداری از انتظارات مان را در رابطه با این که چیزها چگونه باید کار کنند کنار بگذاریم تا بتوانیم جهان ناآشنا و شگفت‌انگیز نسبیتی را پذیرا باشیم. این کتاب بازتولید سلسله گفتگوهایی است که من درباره‌ی نسبیت خاص و نسبیت عام با سگم داشتم. در پی هر یک از گفتگوها، بحث جامع‌تری از فیزیک مربوط به آن می‌آید تا به خوانندگان علاقه‌مند کمک کند. بعضی از این عناوین در میان فرهنگ گسترده‌تری، شهرتی به هم زده، یا دست‌کم بدنامی به باور آورده‌اند، از جمله معادله‌ی معروف اینشتین  $E=mc^2$  (فصل ۷) یا ایده‌ی سیاهچاله‌ها (فصل ۱۰)؛ دیگر عناوین برای کسانی ناآشناست، چون ادغام فضا و زمان (فصل ۵) یا اثرهای گرانش بر زمان (فصل ۹)، اما برای درک مدرنی از فیزیک بسیار ضروری است. درباره‌ی آزمایش‌ها و مشاهدات زیادی صحبت خواهیم کرد که تأیید می‌کنند جهان هستی جای عجیب و باشکوهی است.

قادر نخواهیم بود در فضای کم این کتاب، همه‌ی آنچه را درباره‌ی نسبیت جالب است، پوشش دهیم — نسل‌هایی از دانشمندان وقت‌شان را صرف نسبیت کرده‌اند،

بی آن که توانسته باشند همه‌ی شگفتی‌های آن را کشف کنند — اما امیدواریم که همین مقدار، مقدمه‌ای باشد تا به انسان‌ها و سگ‌سانانی که این کتاب را می‌خوانند، معنی و اهمیت نسبت را بشناساند. از آن پس اگر سگ مزاحمی از شما خواست که توضیح دهید چرا اینشتین معروف است، پاسخ مناسبی برای او داشته باشید.



«مرا فراموش نکن!»

«فراموش نمی‌کنم. چرا فکر می‌کنی که فراموش می‌کنم؟»

«خُب، البته تو به گفتگوهای آغاز فصل‌ها اشاره کردی. لیکن نگفتی که در وسط فصل‌ها هم من مواظب تو خواهم بود. اگر مطلبی را جا انداختی یا بدون این که توضیح داده باشی از آن گذشتی، آن وقت به تو تذکر می‌دهم که آن را درست کنی.»

«منظورت کاری است که حالا داری می‌کنی؟»

«آره، اوه، صبر کن — آیا قراره این حرف‌ها هم تو کتاب بیاد؟»

«بله.»

«خُب، پس آن‌ها اطلاع دارند که ما چکار می‌کنیم. اما این را نیز باید بدانند که من مواظب تو خواهم بود، چون من سگ نگهبان خوبی هستم.»

«فکر می‌کنم منظورت را قبلاً رسانده باشی.»

«باید بگویم که من واقعاً دوست‌داشتنی هم هستم و راه‌پیمایی‌های طولانی و تیمار کردن‌ها، دنبال خرگوش کردن‌ها، و ژامبون‌ها را دوست دارم. خیلی از ژامبون خوشم می‌آید. هم‌چنین، از پنیر و کره‌ی بادام‌زمینی.»

«این حرف‌های تو مناسبتی با موضوع ندارند.»

«خُب، ببین شاید مردم خواستند با پست برای من هدیه بفرستند. چون می‌دوننی که من سگ خوب فیزیک هستم و از این حرف‌ها. یادت باشه که آدرس منو در کتاب بنویسی. باشه؟ تا خوانندگان بتوانند برای من هدیه بفرستند.»

«فکر کنم این حرف‌ها از سرت هم زیاد باشه.»

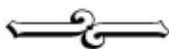
«اوه، باشه. تو هم که حال‌گیری می‌کنی.»

«حالا، لطفاً می‌توانیم بحث‌های فیزیک را آغاز کنیم؟»

«باشه حتماً. از موضوعی در فیزیک به من بگو — آمادگی همه چیز را دارم!»

## فصل ۱

### حرکت نسبی سگ: توصیف حرکت



در خیابان رانندگی می‌کنم و ناگهان سنجابی مثل تیری که از کمان در رفته باشد در جاده جلوم سبز می‌شود. امی که در صندلی پشت نشسته، می‌گوید، «بزنش! سنجاب را بزَن، سنجاب را بزَن، بزَن سنجاب را!»

«می‌شه بشینی و ساکت باشی؟» در خانه کارگر داریم و من امی را همراه خودم به دانشگاه می‌برم تا مزاحم کارگرها نباشد.

سنجاب به سوی دیگر جاده می‌شتابد و از درخت بالا می‌رود تا در امنیت بماند. امی می‌گوید «آو. و. وو. پسر، تو می‌تونستی اونو بگیری. این اتوموبیل از سنجاب احمق سریع‌تر است.»

«شاید، اما من کلاس دارم. وقت ندارم که مثل دیوانه‌ها با این اتوموبیل ویراژ بدم و سنجاب‌ها را دنبال کنم.»

«نه، نه تو وقت زیادی داری. وقتی که تند بری، زمان کُند می‌شه.»

در آئینه پشت سرم را نگاه کردم. امی روی صندلی ایستاده بود و در حالی که دُمش را تکان می‌داد، از خودراضی به نظر می‌رسید.

«آه، خدای من. نگو که شروع کرده‌ای و داری نسبت می‌خونی.»

«باشه، نمی‌گم.» مدتی سکوت می‌کند و آنگاه می‌گوید، «می‌خوام به تو بگم

که نسبت خیلی عالی‌ه. من می‌تونم زمان را کُند کنم!»

فکر می‌کنم که بحث ما به جایی نرسه. به چراغ راهنمایی می‌رسیم و می‌ایستم.

«یه چیزی را من متوجه نمی‌شم ...»

آهی کشیدم و گفتم، «خُب، حالا چی را می خوای من توضیح بدم؟»  
«این دیگه چه اسمیه که براش گذاشته اند؟»

«چی را چه اسمیه که براش گذاشته اند؟»

«چرا نسبت را گفته اند، نسبت؟ چیزی بهتر از این نبود، مثلاً، دینامیک  
کُندکننده‌ی زمان تعقیب‌کننده‌ی سنجاب؟»

«خُب، مبتدی‌ها، فیزیکدان‌ها چندان اهمیتی به سنجاب‌ها نمی دهند. مهم‌تر از  
آن این که نام نسبت از یکی از بنیادی‌ترین عناصر این نظریه گرفته شده است و  
آن ایده‌ی حرکت نسبی است که تنها چیزی است که اهمیت دارد. ما چارچوب  
مرجع مطلق‌ی نداریم که حرکت هر چیزی در جهان را نسبت به آن بسنجیم.»  
چراغ سبز می شود و من دوباره راه می افتم.

«آره، اما این کار احمقانه‌ای است. البته که چارچوب مرجع ثابتی وجود  
دارد.»

«واقعاً؟ اون چیه؟»

«خُب، احمق، اون خون‌هی ماست. و حیاط، با آن درخت بلوط بزرگاش. و  
درخت دیگرش. و درخت دیگر، دیگر. و —»

«باشه، باشه، فهمیدم.»

«خونه جائیه که من اسبابم را گذاشته‌ام!»

«آره، باشه. اما خونه فقط به نظر می‌رسه که چارچوب مرجع ثابتی باشه.  
منظورم اینه که روی زمینه، درسته؟ و زمین دوران می‌کنه.»

«فکر کنم که همین‌طوره...»

«و زمین دور خورشید هم می‌گرده، که دلیل اینه که ما فصل‌ها را داریم. چیزی  
که تو از آن به عنوان چارچوب ثابت استفاده می‌کنی مدام در حال حرکت، و تنها  
کاری که می‌کنی اینه که داری حرکات را نسبت به آن می‌سنجی.»

«باشه، اما من می‌فهمم که کی ایستاده‌ام و کی حرکت می‌کنم.»

«چطوری؟»

«خُب، وقتی که حرکت می‌کنم از کنار چیزها می‌گذرم، آن‌ها را بو می‌کشم،  
و دنبال خرگوش‌ها و سنجاب می‌دوم. وقتی که حرکت نکنم، سر جای خودم  
می‌نشینم.»

فصل ۱: حرکت نسبی سگ: ... ۱۵

«این‌ها درست، اما چگونه متوجه فرق میان موردی می‌شوی که در آن تو حرکت می‌کنی و موردی که تو ساکنی و همه چیز دیگر در جهت مخالف حرکت می‌کند؟»

«خُب، این ابلهانه است.» به چراغ قرمز دیگری برخورد می‌کنیم و من دوباره می‌ایستم.

«به هر حال، می‌توانم بگویم که من در حال حرکت هستم، چون پاهایم حرکت می‌کنند.»

«باشه، اما مثل حالا که در ماشین نشسته‌ایم، چی می‌گی؟»

«منظورت چیه؟»

«خُب، حالا ما ساکن نشسته‌ایم، اما وقتی که دوباره حرکت کنیم ...»

چراغ به موقع سبز می‌شود. من کمی شتاب می‌گیرم، آنگاه با تندی ثابت می‌رانم. «چطور می‌تونی بگی که ما داریم حرکت می‌کنیم، در حالی که می‌بینیم بقیه‌ی دنیا دارند از کنار ما عبور می‌کنند؟»

«اممم ... موتور داره کار می‌کنه.»

«آره، اما ما می‌تونستیم روی تردمیل باشیم و آنچه در چشم‌اندازمان بود از کنارمان می‌گذشت. کل این سفر می‌توانست توهمی شیطانی باشد.»

«ای نگران شده بود. «من این توهمات شیطانی را دوست ندارم.»

«خونسرد باش، این فقط نوعی فرضیه است.» ای اندکی آرام می‌گیرد.

«بگذریم، جواب اینه که هیچ آزمایشی در فیزیک نیست که با انجام دادن آن بتوانیم تمایز میان سکون و حرکت با سرعت ثابت را بگوییم که ما هم اینک داریم. تو می‌تونی شتاب را این جور تعیین کنی» — پایم را روی گاز می‌گذارم و سرعت می‌گیرم — «اما وقتی که با سرعت ثابت حرکت می‌کنی، همه‌ی قوانین فیزیک دقیقاً همان‌هایی هستند که وقتی ساکنی.»

«پس چه جور می‌فهمی که داری حرکت می‌کنی؟»

«نمی‌توانی بفهمی. تنها چیزی که می‌توانی بگویی این است که داری نسبت

به چیزی حرکت می‌کنی — به این دلیل که این نظریه را نسبت می‌گویند.»  
در آئینه نگاه می‌کنم و ای می‌بینم که به فکر فرو رفته است. ای می‌گوید،

«پس تنها چیزی که می‌توانیم اندازه‌گیری کنیم، سرعت نسبی است؟»

«دقیقاً.»

«مثل سرعت نسبی تو نسبت به اون ماشین که چراغاش روشنه؟»

به پشت سرمان نگاه می‌کنم و می‌بینم که ماشین پلیس از کنار جاده دارد راه می‌افتد و چراغ‌های چشمک‌زنش را روشن کرده است. پائین را که نگاه می‌کنم، می‌بینم پایم هم چنان روی گاز است. «آشغال! خُب، شاید دنبال کس دیگه‌ایه ...» ماشین پلیس به پشت سر ماشین من می‌رسد. امی با خوشحالی می‌گوید، «فکر نکنم. می‌خواد تو را بگیره.»

کنار می‌کشم. در حالی که ماشین را خاموش می‌کنم می‌گویم، «ببین، همه‌اش تقصیر توئه.»

امی به طرف پنجره برمی‌گردد و با ناز و ادا دُمش را تکان می‌دهد تا شاید افسر پلیس خواسته باشد برای او خوراکی پرت کند، «آره؟ این حرف‌ها را به پلیس بگو.»



نظریه‌ی نسبیت اینشتین یکی از ارکان فیزیک مدرن است و می‌طلبد که در مفاهیم معمولی فضا و زمان، بازنگری اساسی شود. معروف‌ترین پیشگویی‌های آن — هم‌ارزی جرم و انرژی، کُند شدن زمان برای ناظرینی که سریع حرکت می‌کنند، خمیدگی فضا در نزدیکی سیاهچاله‌ها — تخیل همگانی را برانگیخته و به داستان‌های علمی تخیلی راه یافته است.

نسبیت عجیب و غریب است و دقیقاً از این بابت هیجان‌انگیز است که با درک شهودی معمولی ما ناسازگاری دارد — ما در زندگی روزمره، آثار آن را نمی‌بینیم. آثار نسبیت فقط وقتی بروز می‌کنند که یا با اجسام فوق‌العاده کوچکی سروکار داشته باشیم که سریع حرکت می‌کنند، مثل ذرات زیراتمی که در شتاب‌دهنده‌های ذرات با یکدیگر برخورد می‌کنند، یا اجسام فوق‌العاده بزرگ و سنگین، مثل سیاهچاله‌ها و خوشه‌های کهکشانی. حال شاید جای بسی شگفتی باشد که ما برای درک نسبیت، از حرکت معمولی اجسام روزمره‌ای چون سگ‌ها و اتوموبیل‌ها شروع می‌کنیم.



## هر کجا که روی، آسمان همین رنگ است:

### توصیف حرکت

در حالی که ما واژه‌ی «نسبیت» را بیشتر به آلبرت اینشتین نسبت می‌دهیم، ایده‌ی اصلی آن به پیشینیانی در گذشته‌های دور برمی‌گردد. خود اینشتین در کتاب معروف‌اش با عنوان نسبیت: نظریه‌ی خاص و عام<sup>۱</sup>، این مفهوم را از آن گالیئو گالیلئی (۱۶۴۲-۱۵۶۴) و سر آیزاک نیوتون (۱۷۲۷-۱۶۴۳) می‌داند که در حدود سه قرن قبل از این که او به دنیا بیاید می‌زیسته‌اند.

ایده‌ی اصلی نسبیت این است که قوانین فیزیک باید از دیدگاه همه‌ی ناظرین یکسان باشند. خواه در حال حرکت باشید، خواه ساکن، فیزیک باید یکسان کار کند، یعنی اگر اجسام را هل بدهیم، باید شتاب بگیرند، انرژی و تکانه باید پایسته بمانند، و الی‌آخر. این است عقل سلیم — اگر قوانین فیزیک برای سگ‌های در حال دویدن و سگ‌هایی که ساکن نشسته‌اند، یکسان نبود، نمی‌توانستیم جهان اطراف‌مان را درک کنیم یا حرکت اجسامی چون گلوله‌های جهنده و خوراکی‌هایی را که پرت می‌کنیم، پیشگویی کنیم. از آنجا که سگ‌ها، بی‌آن‌که دانش عمیقی از فیزیک داشته باشند می‌توانند مسیر حرکت توپ‌های تنیس را دنبال کنند و خوراکی‌ها را در هوا بقاپند، باید نسخه‌ی ساده‌ای از نسبیت برقرار باشد.

البته، فیزیکدان‌های انسانی عبارت «بین چطوری توپ تنیس را می‌گیرم» را به عنوان اثبات نمی‌پذیرند، و از این‌رو باید وقتی که می‌گوییم اجسام در حال حرکت هستند، منظورمان را دقیق‌تر بیان کنیم. آن دسته از ایده‌های اساسی که اینشتین را به تدوین نظریه‌ی نسبیت رساندند، از تعاریف کاملاً دقیق حرکت آغاز می‌شوند. حال، با دنبال کردن این روند، باید معلوم کنیم که فیزیکدان‌ها چگونه حرکت اجسام را توصیف می‌کنند.

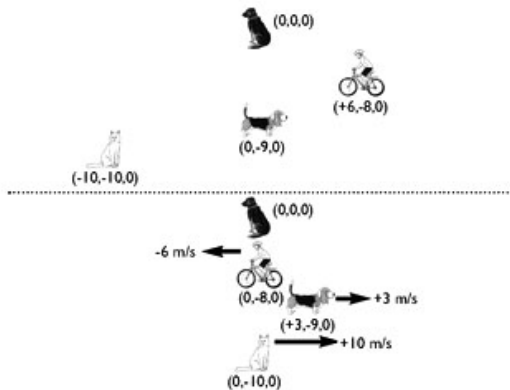
امی، فیزیکدان سگ‌سان، که در اتاق نشیمن‌اش مشغول تماشای دنیای بیرون است، می‌تواند مکان‌های اجسام در حال حرکت را تعیین کند مثل وینثورپ،

---

۱. این کتاب برای نخستین‌بار در سال ۱۹۲۰ به زبان آلمانی منتشر شد. از این کتاب چند ترجمه به زبان انگلیسی موجود است؛ نسخه‌ای که من دارم از مجموعه‌ی کلاسیک‌های انتشارات پنگوئن به سال ۲۰۰۶ است.

## ۱۸ چگونه به سگم از نسبت می گویم؟

سگ شکاری که دارد در خیابان راه می رود، یا پسر بچه ای که دوچرخه سواری می کند، با اندازه گیری فاصله ی جسم مورد نظر از جایی که او در کنار پنجره ایستاده است. برای مثال، در لحظه ی مفروضی، ممکن است وینتورپ در ۹ متری (m) جنوب او باشد. پسر بچه ی دوچرخه سوار ممکن است در ۸ m به طرف جنوب و ۶ m به طرف شرق او باشد. امی می تواند حرکت موجوداتی را که در خیابان می بیند با گزارش مکان های آن ها در هر لحظه ی مفروضی، اندازه گیری کند، کمی صبر کند و آنگاه به مکان های تازه ی آن ها نگاه کرده و این دو را با هم مقایسه کند (شکل ۱.۱). اگر پسر بچه ی دوچرخه سوار در عرض یک ثانیه از مکان ۸ m به طرف جنوب و ۶ m به طرف شرق او به مکان جدید ۸ m به طرف جنوب او جابه جا شود، فیزیکدان سگ سان ما خواهد گفت که سرعت این پسر بچه ۶ متر بر ثانیه (m/s) به طرف غرب است.<sup>۱</sup> اگر وینتورپ از مکان ۹ m به طرف جنوب، به مکان جدید ۹ m به طرف جنوب و ۳ m به طرف شرق جابه جا شود، سرعت اش ۳ m/s به طرف شرق خواهد بود.



شکل ۱.۱

اگر خواسته باشیم به نسبت فکر کنیم، نیاز داریم که بیرسیم این اجسام از دیدگاه ناظرین دیگر چگونه به نظر می رسند — برای مثال، سگ زرد پدر و مادر من، بادی، که در ماشین نشسته و این ماشین با تندی مثلاً ۱۰ m/s به سمت

۱. مهم است که علاوه بر تندی، جهت حرکت را نیز گزارش کنیم.

شرق می‌رود. بادی، می‌تواند حرکت موجودات مختلف را با گزارش فواصل آن‌ها از جایی که در ماشین نشسته است، اندازه‌گیری کند.

«ول کن، پسر. دیگه نمی‌خواد حرف‌ها را اینجا بکشونی.»  
«منظورت چیه؟»

«می‌خوای بگی که سگ‌ها موجودات خودخواهی هستند و همیشه مکان‌ها را نسبت به خودشان اندازه‌گیری می‌کنن. سگ‌ها این طوری نیستن و من قبول ندارم.»

«اما دنیا بر این جور چیزها می‌چرخه. اگر بخوای نسبت را بفهمی، باید مکان‌ها و سرعت‌هایی را در نظر بگیری که ناظر در حال حرکتی اندازه‌گیری می‌کند.»

«شاید این‌طور باشه، اما سگ‌ها این کارها را نمی‌کنن. ما همیشه مکان‌ها را نسبت به جاهای ساکن، مثل خانه‌های مان، اندازه می‌گیریم.»

«ببین، برای این که این توضیح درست از آب در بیاد، من به ناظر در حال حرکتی نیاز دارم. در غیر این صورت، این کتاب بی‌معنی می‌شه.»

«تو می‌تونی ناظر در حال حرکتی داشته باشی، اما اون نباید سگ باشه.»  
«باشه. اگه گربه باشه چی؟»

«گربه باشه ایرادی نداره، چون گربه‌ها خیلی خودخواه‌اند.»

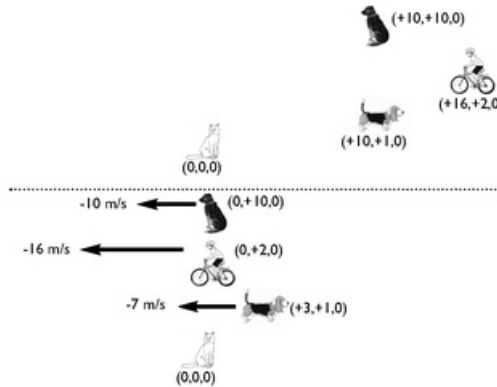


در نسبیت، نیاز داریم که بپرسیم این اجسام از دیدگاه ناظر دیگر چگونه به نظر می‌رسند، برای مثال، ناظری مثل گربه‌ی خواهر من، نرو، که در ماشینی نشسته که با سرعت  $10 \text{ m/s}$  به سمت شرق در حرکت است. این گربه‌ی خودخواه حرکت موجودات دیگر را با اندازه‌گیری مکان‌های آن‌ها از جایی که او در ماشین نشسته است، گزارش می‌کند. از دیدگاه نرو، او کاملاً ساکن است و بقیه‌ی دنیا از کنار او می‌گذرد (شکل ۲.۱). از دیدگاه نرو، سگی که پشت پنجره پارس می‌کند و همین خانه‌ی سگ، درختان باغچه‌ی خانه، و هر آنچه در دنیا هست، جملگی با سرعت  $10 \text{ m/s}$  به طرف غرب حرکت می‌کنند.

از دیدگاه نرو که داخل ماشین به سوی شرق در حرکت است، پسر بچه‌ی سوار بر دوچرخه که نسبت به سگ ساکن با سرعت  $6 \text{ m/s}$  به سوی غرب

۲۰ چگونه به سگم از نسبت می گویم؟

حرکت می‌کرد، با تندی بیشتری حرکت می‌کند. اگر این پسر بچه در لحظه‌ی مفروضی در مکان  $20\text{ m}$  به طرف شرق بود، یک ثانیه بعد، این فاصله کمتر شده و به  $4\text{ m}$  می‌رسد، یعنی پسر بچه به اندازه  $6\text{ m}$  به طرف غرب رکاب زده است، حال آن که جاده و همه‌ی چیزهای دیگر،  $10\text{ m}$  به طرف غرب حرکت کرده‌اند. حالا سرعت پسر بچه‌ی دوچرخه‌سوار  $16\text{ m/s}$  به طرف غرب، یعنی مجموع تندی ماشین و تندی دوچرخه، است.



شکل ۲.۱

در رابطه با وینتورپ، سگی که رو به شرق می‌رفت، امی از پشت پنجره و نرو در ماشین نه تنها درباره‌ی تندی، بلکه درباره‌ی جهت حرکت‌اش نیز اختلاف نظر دارند. در بازه‌ی زمانی یک ثانیه‌ای بین اندازه‌گیری‌ها، وینتورپ  $3\text{ m}$  به شرق حرکت کرده است، اما جاده‌ای که روی آن حرکت می‌کرده  $10\text{ m}$  به طرف غرب حرکت کرده است (از دیدگاه نرو) و از این رو فاصله میان این دو در واقع کاهش یافته است. از دیدگاه نرو که در ماشین سوار است، وینتورپ به جای این که با سرعت  $3\text{ m/s}$  بر ثانیه راهی شرق باشد که امی از پشت پنجره اندازه گرفته بود، با سرعت  $7\text{ m/s}$  روانه‌ی غرب است.



«من این نسخه را بهتر می‌پسندم. گربه‌ها خیلی کودن هستند.»

«اما نرو درست حساب کرده است، دست‌کم به لحاظ ریاضیاتی.»