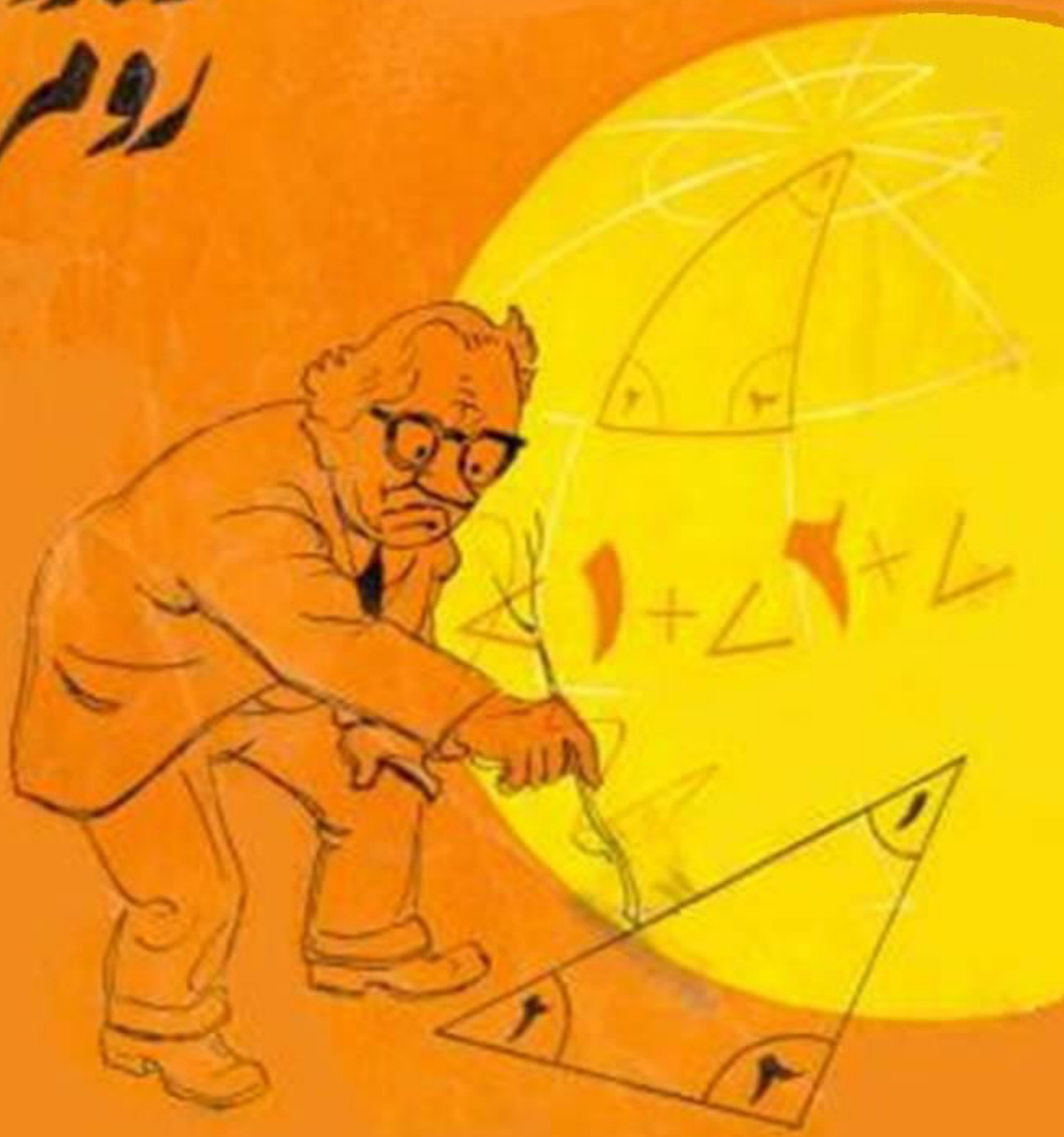
نظریه نسبیت چیست

لئوپولد اینفلد



کتابخانه «به سوی آینده»

بنگاه نشریات «میر»

Л. Д. ЛАНДАУ
Ю. Б. РУМЕР

ЧТО ТАКОЕ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
СОВЕТСКАЯ РОССИЯ
МОСКВА

لاندائو - رومر

نظریهٔ نسبیت

چیست

ترجمه از رامین

بنگاه نشریات "میر"
مسکو

На персидском языке

© حق چاپ محفوظ و مخصوص

بنگاه نشریات «میر» است

۱۹۷۷

پیشگفتار هیئت تحریریه

مؤلفان این کتاب دکتر لاندائو عضو آکادمی علوم اتحاد شوروی متوفی سال ۱۹۶۸ و دکتر رومر استاد فیزیک میباشند.

دکتر لاندائو پژوهشهای متعددی در مباحث گوناگون فیزیک نظری بعمل آورده و به اخذ جوایز نوبل و لنین در رشتهٔ علوم و نیز جایزهٔ دولتی در رشتهٔ فیزیک مفتخر گردیده است.

دکتر رومر به پژوهشهای خود در زمینهٔ فیزیک تشعشعی و پرتوهای کیهانی معروف است.

پیشگفتار

از زمانیکه آلبرت انشتین نظریهٔ نسبیت را بوجود آورد بیش از پنجاه سال میگذرد. این نظریه که زمانی از نظر برخی بازیچهٔ ضد و نقیض عقل بحساب میآمده امروزه یکی از مبانی فیزیک مبدل شده است. امروزه فیزیک بدون نظریهٔ نسبیت تقریباً مانند فیزیک بدون تصور در بارهٔ ملکول‌ها و اتم‌ها غیر ممکن میباشد. حتی مشکل بتوان تمام پدیده‌های گوناگون فیزیکی را، که هرگز نمیشد آنها را بدون استفاده از نظریهٔ نسبیت توجیه نمود، برشمرد. بر مبنای این نظریه دستگاههای بغرنجی مانند شتاب‌دهندهٔ ذرات بنیادی احداث میشود، واکنش‌های هسته‌ای محاسبه میگردد و غیره.

ولی متأسفانه نظریهٔ نسبیت برای هیچکس جز عده معدودی از کارشناسان چندان معلوم نیست. البته این نظریه از رده تئوریهای مشکل است و نباید انتظار داشت که اشخاص غیر متخصص در فیزیک بآسانی بتوانند از دستگاه ریاضی نسبتاً بغرنج آن استفاده کنند.

معهذا گمان میکنیم که مباحث و ایده‌های اصلی نظریهٔ نسبیت را میتوان بشکل ساده و قابل فهمی برای خوانندگان زیاد بیان نمود.

امیداواریم خواننده‌ای که این کتاب مارا می‌خواند باین فکر نیافتد که گویا نظریهٔ نسبیت در جملهٔ «در جهان همه چیز نسبی است» خلاصه میشود. برعکس، نظریهٔ نسبیت مانند هر نظریهٔ صحیح دیگر فیزیک یک مبحث مربوط به حقیقت عینی است که وابسته به میل و خواست و سلیقهٔ فلان یا بهمان افراد نمیباشد. ما با کنار گذاشتن تصورات کهنهٔ مربوط به فضا، زمان و جرم بطور عمیق‌تری وارد این مبحث شده‌ایم که ساختمان حقیقی جهان چگونه است.

مؤلفان

فصل اول

نسبیتی که ما بدان عادت کرده ایم

آیا هر اظهار نظری معنا دارد ؟

واضح استکه نه . حتی اگر کلمات کاملاً بامعنی را برداشته و با آنها کاملاً مطابق اصول دستور زبان یک جمله بسازیم، در اینصورت هم ممکن است جمله کاملاً بی‌معنائی از آب درآید . مثلاً برای جمله « این آب مثلثی شکل است » مشکل بتوان مفهوم و معنائی پیدا کرد .

ولی متأسفانه همه جملات بی‌معنی تا این حد بچشم نمیخورند و چه بسا اظهاراتی که در نظر اول پرمعنا هستند و پس از یک تجزیه و تحلیل کامل بی‌معنا از آب در میآیند .

طرف چپ و راست

خانه در کدام سمت راه قرار دارد ، سمت چپ یا راست ؟ باین سؤال فوراً نمیشود پاسخ داد .

اگر از پل بطرف جنگل برویم خانه در سمت چپ خواهد بود ، و اگر برعکس از جنگل به سمت پل برویم ، آنگاه خانه در سمت راست بنظر می‌آید .

بدیهی استکه ضمن اشاره به سمت چپ یا راست جاده نباید جهتی را که ما از راست و چپ نسبت بآن اشاره میکنیم از نظر دور داشت .

صحبت درباره ساحل راست رودخانه بدین علت مفهوم دارد که جریان آب جهت مسیر رودخانه را نشان میدهد .

و قیاس بر این ما تنها بدین علت میتوانیم اظهار کنیم که اتومبیل در سمت راست حرکت میکند که خود حرکت اتومبیل یکی از سمت‌های جاده را نشان میدهد .

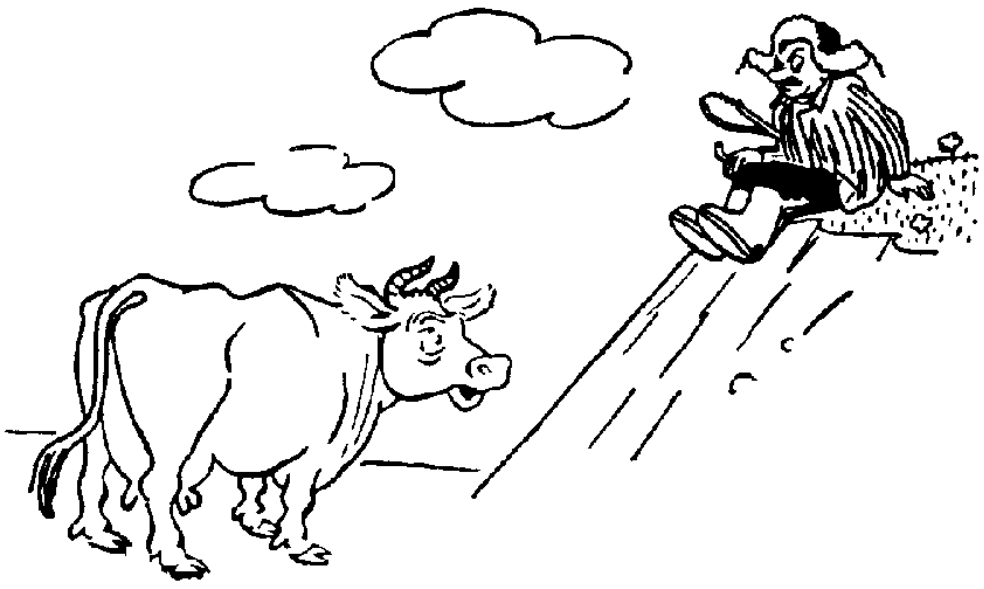
بنا بر این مفاهیم « از راست » و « از چپ » نسبی هستند و تنها هنگامی مشخص میشوند که سمتی که نسبت بدان تعیین میگردند نشان داده شود .

حالا روز است یا شب ؟

این سوءال باین بستگی دارد که کجا بعمل آید. هنگامیکه در مسکو روز است در ولادیوستوک شب میباشد. و هیچگونه اختلافی در این نیست . بطور ساده مفهوم شب و روز نسبی است و پاسخ یک چنین سوءالی که محل آن در روی کره زمین تعیین نشده غیر ممکن میباشد.

کدام یک بزرگتر است ؟

در تصویر بالا چوپان بطور واضح بزرگتر از گاو است و در تصویر پائین گاو از چوپان. در این هم هیچگونه اختلافی نیست. کنه مسئله در این است که این تصاویر از نقاط گوناگون توسط بینندگانی ترسیم شده است که یکی بگاو نزدیکتر ایستاده و دیگری به چوپان. آنچه در تصویر مهم است نه اندازه‌های واقعی اشیاء بلکه زاویه‌ای است که تحت آن ما آنهارا میبینیم . و این اندازه‌های زاویه‌ای اشیاء مسلماً



نسبی است. ذکر اندازه‌های زاویه‌ای اشیاء بدون اشاره به نقطه‌ای از فضا که در آن مشاهده بعمل میاید، بی‌معنا و پوچ است. مثلاً اگر تنها گفته شود که این منار تحت زاویهٔ ٤٥ درجه دیده میشود مثل اینستکه هیچ چیزی گفته نشده باشد. بر عکس، اگر گفته شود که منار از آن نقطه‌ایکه برپاشده تا فاصله ١٥ متری تحت زاویه ٤٥ درجه مرئی است معنی و مفهوم دارد و از چنین اظهاری نتیجه میگردد که بلندی منار برابر با ١٥ متر است.

نسبی مطلق بنظر میرسد

اگر نقطه دید را بفاصله کوتاهی تغییر مکان دهیم، اندازه‌های زاویه‌ای هم بمقدار کوچکی تغییر مییابند. بهمین جهت در ستاره‌شناسی اغلب از اندازه زاویه‌ای استفاده بعمل میاید. در نقشه نجومی فاصله زاویه‌ای بین ستارگان، یعنی زاویه‌ایکه در تحت آن فاصله بین ستاره‌ها از سطح زمین دیده میشود ذکر میگردد.

معلوم استکه بهر کجای زمین برویم و از آن جا به ستارگان بنگریم، همیشه آنهارا در همان فاصله دور از یکدیگر خواهیم دید. و علت آن این استکه ستارگان در چنان فاصله دور خارج از تصور ما هستند که جابجا شدن ما در روی کره زمین از یک نقطه به نقطه دیگر در برابر آن بقدری ناچیز استکه بسهولت میتوان از آن چشم‌پوشی کرد. بهمین علت در این مورد فاصله زاویه‌ای را میتوان بعنوان اندازهٔ مطلق قبول کرد.

اگر گردش زمین بدور خورشید را در نظر بگیریم آنگاه تغییر اندازه‌های زاویه‌ای صرفنظر از اینکه چندان زیاد نیست محسوس خواهد شد. و اگر نقطه دید را به یک ستاره مثلاً به سهیل منتقل نمائیم در اینصورت همه اندازه‌های زاویه‌ای آنچنان تغییر میکند که ستارگانی که در آسمان ما از یکدیگر دورند ممکن است بیکدیگر نزدیک یا برعکس دور بنظر برسند.

معلوم شد که مطلق هم نسبی است

ما اغلب میگوئیم در « بالا »، در « پائین ». این مفاهیم آیا مطلق هستند یا نسبی؟

مردم در زمانهای مختلف باین سؤال پاسخهای گوناگونی داده‌اند. هنگامیکه مردم هنوز در باره کروی بودن زمین تصوری نداشتند و فکر میکردند که مانند کف دست هموار است سمت قائم را یک مفهوم مطلق می‌پنداشتند. در عین حال فرض میشد که در تمام نقاط سطح زمین سمت قائم یکی است و صحبت از « بالا » و « پائین » مطلق کاملاً طبیعی است.

و اما هنگامیکه زمین مدور تشخیص داده شد کاخ مفهوم سمت قائم در مخیله مردم متزلزل گردید.

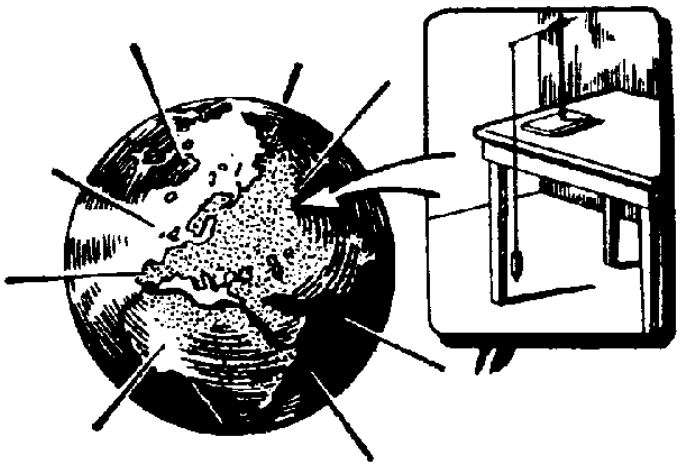
در واقع هم با کروی بودن زمین سمت قائم بطور قابل ملاحظه وابسته بآن نقطه زمین است که از آنجا میگذرد.

در نقاط گوناگون سطح زمین سمت‌های قائم گوناگون خواهند بود. بدلیل اینکه مفهوم « بالا » و « پائین » بدون تعیین نقطه مربوطه در سطح زمین معنی خودرا از دست میدهد این مفهوم از حالت مطلق به حالت نسبی درآمد. درتمام کائنات هیچ سمت قائم واحدی وجود ندارد. بهمین جهت برای هر سمت دلخواه در فضا، ما میتوانیم نقطه‌ای را در روی زمین نشان دهیم، که در آن سمت مذکور قائم خواهد بود.

« عقل سلیم » اعتراض میکند

اکنون مطالب فوق واضح و فاقد هیچگونه شک و تردیدی است. و اتفاقاً تاریخ گواه میدهد که درک مفهوم نسبیت « بالا » و « پائین » برای بشر چندان آسان نبوده است. اگر مردم نتوانند با تجارب روزمره خود نسبیت مفاهیم را درک کنند در آن صورت با کمال میل و رغبت بآن مفاهیم معنی مطلق میدهند. (مانند حالت « از راست » و « از چپ »).

مخالفت و اعتراض مسخره‌آمیزی را که مردم قرون وسطی علیه کروی بودن زمین داشتند بیاد بیاوریم که میگفتند: « پس مردم دیگر وارونه راه خواهند رفت! »



اشتباه یک چنین دلیلی نتیجه عدم اعتراف باصل نسبیت قائم است که از کروی بودن زمین ناشی میگردد.

و اگر باصل نسبیت قائم اعتراف نکرده، و مثلاً سمت قائم در مسکو مطلق حساب شود، آنگاه بدون تردید اهالی زلاند جدید وارونه راه خواهند رفت . و نیاز بیادآوری است که از نظر مردم زلاند جدید، ما هم بنوبه خود وارونه راه میرویم. و در این موضوع هیچ اختلافی نمیتواند باشد، زیرا که سمت قائم در واقع مطلق نبوده و یک مفهوم نسبی است.

خاطرنشان میکنیم تنها هنگامی معنی حقیقی نسبیت قائم را احساس میکنیم، که دو منطقه کاملاً دور از یکدیگر در سطح کره زمین مثلاً مسکو و زلاند جدید را بررسی میکنیم. ولی اگر ما دو نقطه نزدیک بهم، مثلاً دو خانه را در مسکو بررسی کنیم، آنگاه تمام سمت‌های قائم عملاً موازی خواهند بود، یعنی میشود قائم را مطلق حساب کرد.

و تنها وقتی ما با نواحی که از لحاظ وسعت با سطح زمین قابل قیاس میباشند سر و کار داریم، استفاده کردن از قائم مطلق به نتایج ضد و نقیض و مزخرفی منجر میشود.

مثالهائی را که در بالا آوردیم نشان میدهد، بسیاری از مفاهیم و مدرکات که مورد استفاده ما قرار میگیرند نسبی هستند، یعنی تنها در صورتی بخود معنی میگیرند که شرایط مشاهده ذکر شود.

فصل دوم

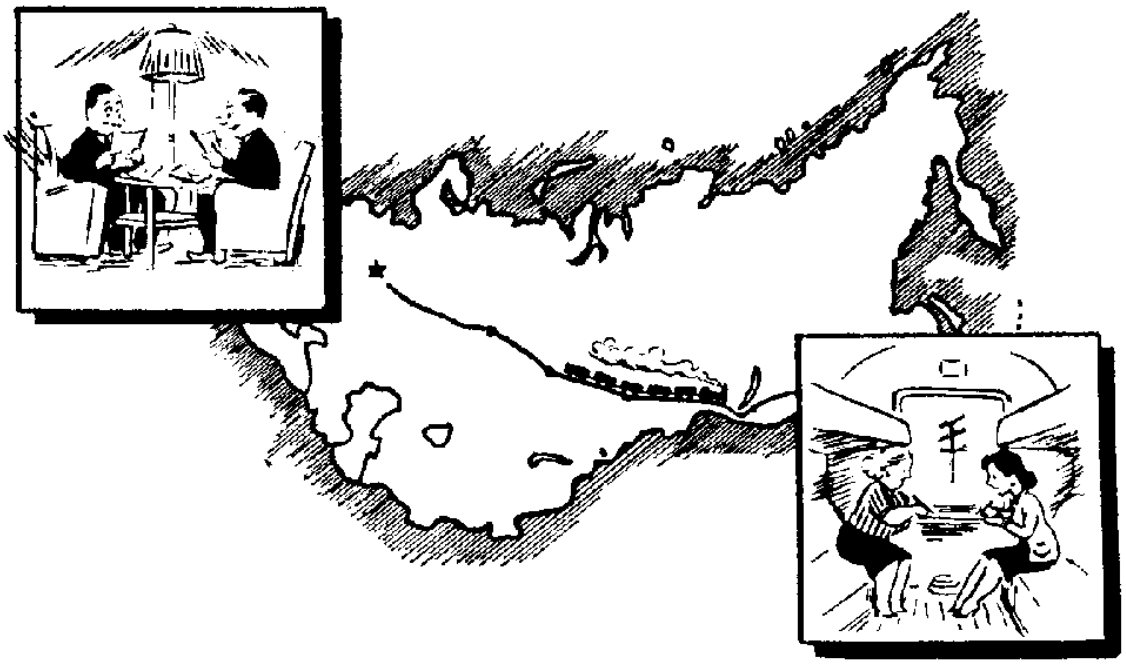
فضا نسبی است

آیا همان محل است یا نه؟

بسیاری اوقات ما میگوئیم که دو حادثه در یک محل اتفاق افتاد و چنان باین موضوع عادت کرده‌ایم که به گفته خود معنی مطلق میدهیم. ولی در حقیقت چنین گفته‌ای هیچ معنی ندارد. مانند اینکه گفته شود حالا ساعت پنج است، ولی در ضمن اشاره نشود در کجا — در مسکو یا شیکاگو.

برای اینکه مطلب را بهتر درک کنیم، فرض میکنیم که دو خانم مسافر باهم قرار گذاشتند که هر روز در یک جای معین واگون قطار سریع‌السیر مسکو — ولادیوستوک باهم ملاقات کنند و از آنجا بشوهرانشان نامه بنویسند. اما بعید است که شوهران با این فرض موافق باشند که زنهایشان در همان نقطه فضا ملاقات می‌کنند. برعکس شوهران برای اینکه ثابت کنند آن نقاط صدها کیلومتر دور از یکدیگر است تمام دلائل را در دست دارند. زیرا که آنها از شهرهای یاروسلاول و پرم، سوردلفسک و تومن، اسسک و خاباروفسک نامه دریافت کرده‌اند.

با این ترتیب این دو حادثه یعنی نامه‌نگاری در روزهای یکم و دوم مسافرت از نظر خانمهای مسافر حادثه‌ای بود که در یک محل رخ داده، ولی از نظر شوهرانشان در فاصله صدها کیلومتر دور از یکدیگر اتفاق افتاده است.



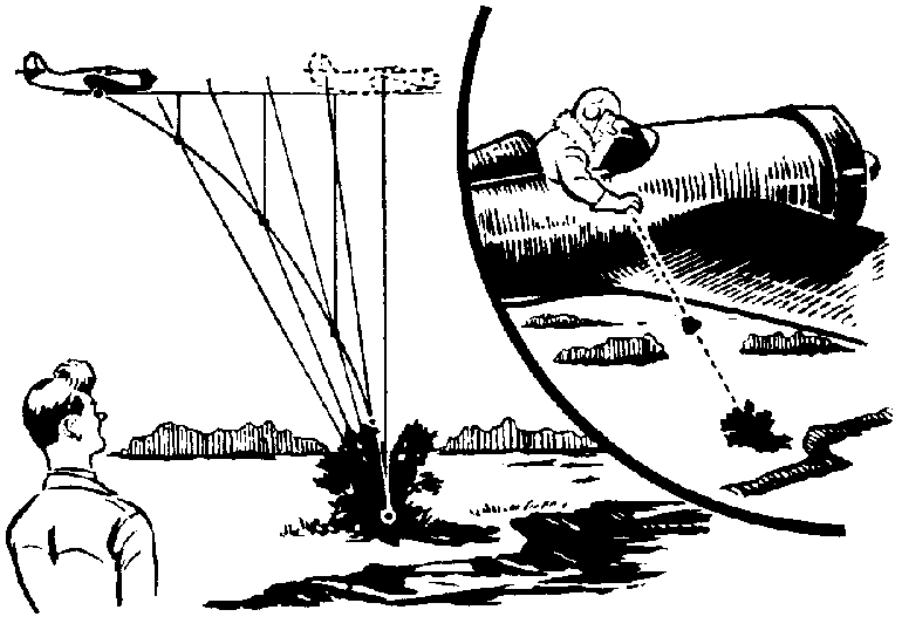
کدامیک درست میگویند، خانمهای مسافر یا شوهرها؟ ما دلیلی در دست نداریم که بگوئیم کدامشان بیشتر درست میگویند. ما بروشنی میبینیم که مفهوم «در همان نقطه فضا» فقط نسبی است.

همین طور هم اگر گفته شود که دو ستاره آسمان برهم منطبق میباشند تنها بخاطر ذکر اینکه مشاهده ستارگان از روی زمین صورت گرفته است معنا دارد. و فقط در صورتی میتوان گفت دو حادثه در فضا برهم منطبق است که به اجسامی اشاره شود که نسبت بآنها محل وقوع این حادثه تعیین میگردد.

بنا بر این مفهوم موقعیت در فضا هم نسبی است. هنگامیکه ما درباره جسمی در فضا سخن میرانیم، همیشه موقعیت آنرا نسبت به اجسام دیگر در نظر داریم. اگر ضمن سؤال درباره مکان یک جسم از ما بخواهند که در پاسخ آن اجسام دیگر را ذکر نکنیم در آنصورت باید تصدیق کرد که چنین سؤالی بی‌معنی است.

در واقع جسم چطور حرکت میکند؟

از آنچه در بالا متذکر شدیم چنین برمیآید که مفهوم تغییر مکان اجسام در فضا نیز نسبی است. اگر بگوئیم که جسمی جابجا شد



بدان معنی است که جسم مذکور موقعیت خود را نسبت باجسام دیگر تغییر داده است.

اگر حرکت جسمی را از آزمایشگاههای گوناگونی که نسبت بیکدیگر حرکت میکند مشاهده کنیم، آنگاه این حرکت هر دفعه طور دیگری بنظر خواهد رسید.

هواپیمائی پرواز میکند و یک سنگ از آن بزمین میافتد. سنگ نسبت به هواپیما بطور عمودی بزمین میافتد و نسبت بزمین یک خط منحنی شلجمی را طی میکند.

پس در حقیقت سنگ چطور حرکت میکند؟

این سوءال بهمان اندازه کم‌معنی است که پرسیده شود ماه در واقع تحت چه زاویه‌ای دیده میشود. در تحت زاویه‌ایکه از خورشید میتوانست مشاهده شود یا تحت زاویه‌ایکه ما آنرا از روی زمین میبینیم؟

شکل هندسی منحنی که جسم بر روی آن جابجا میشود، دارای همان خاصیت نسبی است که عکس یک ساختمان دارا میباشد. همانطور که اگر خانه‌ای را از جلو و عقب عکسبرداری کنیم عکس‌های یکسان بدست نمیآوریم، حرکت جسم را هم اگر از آزمایشگاههای گوناگون تماشا کنیم، منحنی‌های گوناگون از آن دریافت خواهیم کرد.

آیا همه نقطه نظرها یکسان هستند؟

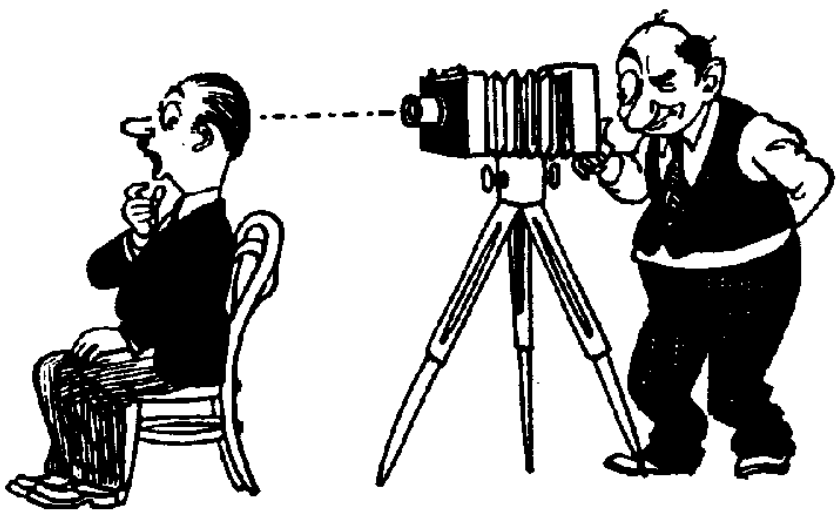
اگر هنگام مشاهده حرکت جسم در فضا منظور ما محدود به مطالعهٔ خط سیر آن یعنی منحنی‌ای که جسم روی آن حرکت میکند، میشد، آنگاه مسئله انتخاب محل مشاهده با در نظر گرفتن سادگی و مناسب بودن نتایج حاصله حل میشد.

یک عکاس ماهر هنگام انتخاب محل مناسب برای عکسبرداری علاوه بر ملاحظات فوق و زیبائی عکس آینده ترکیب آنرا نیز در نظر میگیرد.

و اما هنگام مطالعه تغییر مکان جسم در فضا عوامل بیشتری برای ما جالب است. ما میخواهیم نه تنها خط سیر را بدانیم، بلکه نیز پیش‌بینی کنیم که در چه خط سیری جسم در شرایط معینی حرکت خواهد کرد. و بدیگر سخن میخواهیم قوانین هدایت‌کننده حرکت جسم را بدانیم که آنرا مجبور میسازند بطرز خاص حرکت کند و نه بطرز دیگر.

اگر از این نظر مسئله نسبیت حرکت جسم را بررسی کنیم، آنگاه معلوم خواهد شد که تمام موقعیتها در فضا یکسان نیستند.

اگر ما پیش عکاسی برویم و از او خواهش کنیم از ما عکس برای کارت هویت بگیرد واضح است که میخواهیم از صورتمان عکس بردارد نه از پشت سرمان. همین خواهش است که تعیین میکند عکاس از کدام نقطه فضا باید از ما عکس بگیرد. و هیچ نقطه دیگر از نظر ما جوابگوی شرایط فوق‌الذکر نمیشد.



حالت سکون پیدا شد

در حرکت جسم عوامل خارجی تأثیر میکنند که ما آنها را نیرو مینامیم. مطالعه تأثیر این عوامل میتواند بما امکان دهد که با برخورد کاملاً جدیدی مسئله حرکت را بررسی کنیم.

فرض کنیم جسمی در اختیار داریم که در آن هیچ نیروئی تأثیر نمیکند. وابسته باینکه از کجا ما آنرا می‌بینیم، جسم مزبور باشکال مختلف کم یا بیش عجیب و غریب حرکت خواهد کرد. و اما باید قبول کرد که طبیعی‌ترین موقعیت برای مشاهده‌کننده همان استکه جسم نسبت بآن در حالت سکون باشد.

بدین ترتیب ما اکنون میتوانیم تعریف کاملاً جدیدی برای حالت سکون بیان نمائیم که به تغییر مکان جسم نسبت باجسام دیگر وابسته نباشد. بنا بر این جسمی که در آن هیچ نیروئی از خارج تأثیر نمیکند، در حالت سکون است.

آزمایشگاه ساکن

چطور میشود بحالت سکون جامه عمل پوشاند؟ و چه وقت میتوان اطمینان داشت که در جسم هیچ گونه نیروی خارجی تأثیر نمیکند؟

برای این کار باید جسم مورد نظر خود را از تمام جسم‌هائیکه میتوانند در آن تأثیر برسانند، دورتر ببریم.

از اینگونه اجسام ساکن میتوانیم لااقل در ذهن خود یک آزمایشگاه کامل ترتیب داده و اکنون درباره خواص حرکت هائی که از این آزمایشگاه باصطلاح ساکن مشاهده میگردد سخن برانیم.

اگر خواص حرکتی که در آزمایشگاه دیگری مشاهده میشود با خواص حرکت در آزمایشگاه ساکن متفاوت باشد در آنصورت ما کاملاً حق داریم اظهار نظر کنیم که آزمایشگاه اول متحرک است.

آیا قطار حرکت میکند؟

بعد از آنکه ما معلوم کردیم که حرکت در آزمایشگاه متحرک تابع قوانین متفاوت با قوانین آزمایشگاه ساکن است مفهوم حرکت ظاهراً خصوصیات نسبی خود را از دست داده است. از این ببعد هنگامیکه درباره حرکت سخن میرود، ما باید تنها حرکت سکون نسبی را در نظر داشته و چنین حرکتی را مطلق بنامیم.

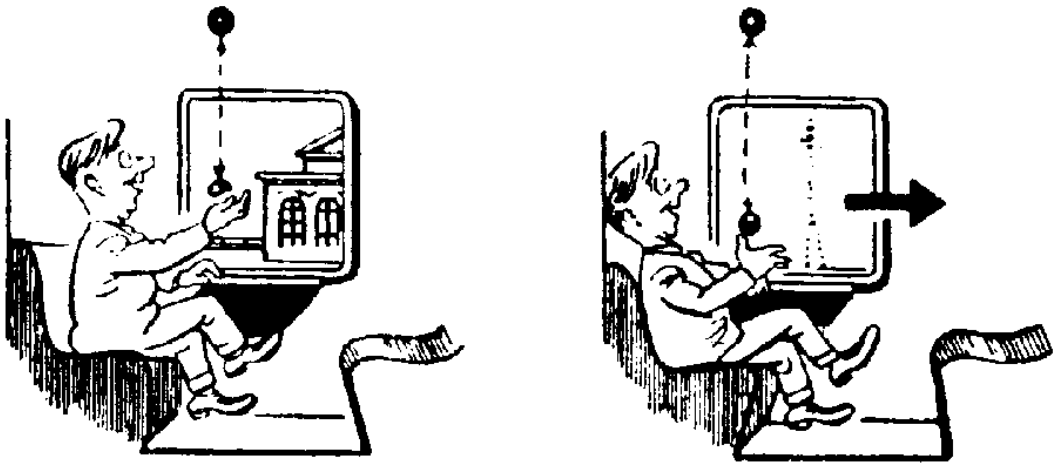
آیا ما در تمام حالت‌های تغییر مکان آزمایشگاه، انحراف از قوانین حرکت اجسام در آزمایشگاه ساکن را مشاهده خواهیم کرد؟

سوار قطاری میشویم که بطور مستقیم حرکت کرده و دارای سرعت ثابت باشد. سپس شروع به مشاهده حرکت اجسام در واگون کرده و آنرا با آنچه که در قطار ثابت بوقوع می‌پیوندد مقایسه میکنیم.

تجربه روزمره نشان میدهد که حرکت اجسام در قطاریکه دارای حرکت مستقیم یکنواخت باشد با قطار ثابت فرقی ندارد. هر کسی میداند در واگون متحرک توپی که بطور عمودی ببالا انداخته شود دوباره بدست ما میافتد و یک خطی شبیه به منحنی که در صفحه ۱۹ تصویر شده ترسیم نمیکند.

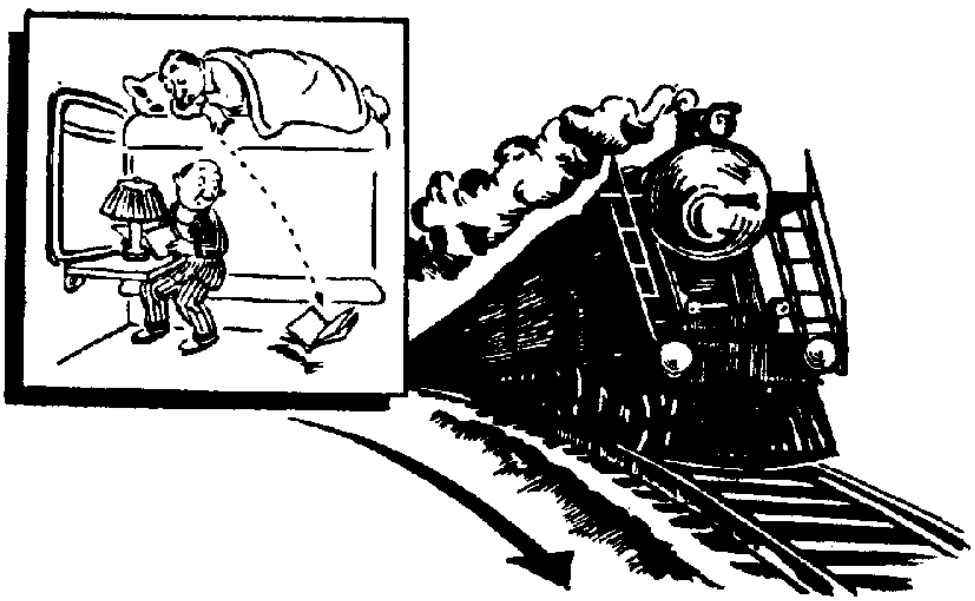
اگر از تکان‌های اجتناب‌ناپذیر حاصله در اثر شرایط فنی صرفنظر شود همه چیز در واگن دارای حرکت یکنواخت مانند قطار ایستاده خواهد بود.

موضوع طور دیگر است اگر واگن حرکت خود را کم یا زیاد کند. در حالت اول، بطرف جلو و در حالت دوم به عقب تکان میخوریم، و بروشنی حس میکنیم که از حالت سکون خارج شدیم.



اگر واگن که یکنواخت حرکت میکند سمت خود را تغییر دهد آنرا هم حس خواهیم نمود. هنگام حرکت در سرپیچ تند بطرف راست، ما بطرف چپ واگن متمایل میشویم و هنگام پیچ به سمت چپ بطرف راست.

با تعمیم این مشاهدات، باین نتیجه میرسیم: مادامکه یک آزمایشگاه نسبت به یک آزمایشگاه ساکن بطور مستقیم یکنواخت حرکت میکند نمیتوان در آن انحرافی از حالت اجسام موجود در آزمایشگاه ساکن پیدا کرد. و بمحض‌اینکه سرعت آزمایشگاه متحرک از نظر مقدار (شتاب یا کندی) یا سمت (سرپیچ) تغییر یابد بلافاصله در وضع اجسام موجود در آن تأثیر میرساند.



سکون قطعاً نابود شد

خاصیت حیرت‌انگیز حرکت مستقیم و یکنواخت آزمایشگاه که در اجسام موجود در آن تأثیر نکند ما را بر آن میدارد که در مورد مفهوم سکون تجدید نظر کنیم. معلوم میشود که حالت سکون و حالت حرکت مستقیم و یکنواخت از همدیگر هیچگونه تفاوتی ندارد. آزمایشگاهی که نسبت بآزمایشگاه ساکن بطور مستقیم و یکنواخت حرکت میکند خودش میتواند ساکن تلقی شود. و این بدان معنا استکه نه تنها یک حالت سکون مطلق وجود دارد، بلکه تعداد حالت‌های گوناگون «سکون» بیشمار است. نه تنها یک آزمایشگاه «ساکن» وجود دارد، بلکه تعداد آزمایشگاههای «ساکن» بیشماری که نسبت بیکدیگر بطور مستقیم و یکنواخت با سرعت‌های گوناگون حرکت میکند هست.

از آنجا که حالت سکون نسبی و غیر مطلق از آب درمیاید ما همیشه مجبوریم نشان دهیم که نسبت بکدام یک از آزمایشگاههای بی‌شماری که بطور مستقیم و یکنواخت حرکت میکنند، حرکت جسم را مشاهده میکنیم.

پس ما، بهرحال نتوانستیم به مفهوم حرکت جنبه مطلق بدهیم، و این سؤال همیشه مطرح خواهد شد که حرکت را نسبت بکدام حالت سکون مشاهده میکنیم؟

با این ترتیب ما به مهم‌ترین قانون طبیعت که معمولا به اصل نسبیت حرکت معروف است پی بردیم.

و آن حاکی بر آن استکه در کلیه آزمایشگاه‌هائی که نسبت بهمدیگر بطور مستقیم و یکنواخت جابجا میشوند، حرکت اجسام طبق قوانین یکسان صورت میگیرد.

قانون اینرسی

از اصل نسبیت حرکت نتیجه میشود: جسمی که در آن هیچگونه نیروی خارجی تأثیر نمیکند میتواند نه تنها در حالت سکون بلکه در حالت حرکت مستقیم و یکنواخت هم باشد. چنین حالتی در علم فیزیک به قانون اینرسی معروف است.

و اما این قانون در زندگی روزمره مثل اینکه روپوشی شده و مستقیماً ظاهر نمیگردد. چون طبق قانون اینرسی جسمی که در حالت

حرکت مستقیم و یکنواخت میباشد حتی بدون تأثیر نیروی خارجی باید حرکت خود را بی‌انتها ادامه دهد، ولی در نتیجه مشاهدات میدانیم جسمی را که بدان نیروئی وارد نکنیم از حرکت می‌ایستد.

حل مسئله در این جا است که در تمام اجسامیکه مشاهده میکنیم بعضی نیروهای خارجی مانند نیروی اصطکاک تأثیر میکند. بنا بر این شرط لازم برای مشاهده قانون اینرسی، یعنی عدم نیروهای خارجی وارده بر جسم فراهم نیست.

و اما با بهبود شرایط تجربی یعنی با کم کردن نیروی اصطکاک میتوان به شرایط ئیده‌آل، که برای مشاهده قانون اینرسی ضروری است نزدیک شد و بدین ترتیب صحت این قانون را همچنین در مورد حرکت‌هائی که در زندگی روزمره مشاهده میشود ثابت کرد.

کشف اصل نسبیت حرکت، یکی از بزرگترین کشفیات بشمار میرود و بدون آن علم فیزیک نمیتوانست پیشرفت و ترقی کند. ما این کشف را مرهون گالیلئو گالیله هستیم که با تهور و بی‌باکی علیه فرمانروائی تعلیمات ارسطو مبنی براینکه فقط نیرو سبب حرکت میشود و عدم آن حرکت را باز میدارد و کلیسای کاتولیکی از این تعلیمات حمایت میکرد، برخاست و با یک سلسله تجارب درخشان عکس موضوع را ثابت کرد و نشان داد که فقط نیروی اصطکاک است که سبب توقف حرکت میگردد و اگر این نیرو نمی‌بود جسمی که یک بار بحرکت درمیآمد میتوانست برای ابد بحرکت خود ادامه دهد.

سرعت هم نسبی است

از اصل نسبیت حرکت نتیجه میشود که اگر هنگام صحبت از حرکت مستقیم و یکنواخت جسم با مقداری سرعت، اشاره نشود که نسبت بکدام یک از آزمایشگاههای ساکن سرعت آن سنجیده شده بهمان اندازه بی معنا است که در باره طول جغرافیائی سخن رود و قبلاً تعیین نگردد که طول مذکور را از کدام نصف النهار باید حساب کرد.

معلوم میشود که سرعت هم مفهومی است نسبی. هر گاه سرعت جسم را نسبت به آزمایشگاههای ساکن متعدد تعیین کنیم، نتایج گوناگون بدست میآوریم. ولی با این همه، هرگونه تغییر سرعت اعم از افزایش و تقلیل، و تغییر سمت آن مفهوم مطلق دارد و هیچگونه وابستگی بآن ندارد که ما در کدام آزمایشگاه ساکن حرکت را مشاهده میکنیم.

فصل سوم

فاجعه نور

نور در یک آن پخش نمیشود

ما از وجود اصل نسبیت حرکت و آزمایشگاههای «ساکن بیشمار اطمینان پیدا کردیم.

در چنین آزمایشگاههائی قوانین حرکت اجسام از یکدیگر متفاوت نیستند. اما یک شکل دیگری از حرکت هست که در نظر اول با اصل مذکور مغایر است و آن انتشار نور است.

نور صرفنظر از اینکه دارای سرعت بسیار زیاد معادل ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است ولی در یک آن منتشر نمیشود.

تصور چنین سرعت فوق‌العاده زیادی مشکل است، زیرا که ما در زندگی روزمره با سرعتهائی سروکار داریم که خیلی کمتر از سرعت نور است. مثلا حتی سرعت موشک فضائی شوروی فقط به ۱۲ کیلومتر در ثانیه میرسد. در میان اجسامیکه ما با آن سروکار داریم تنها زمین استکه هنگام گردش خود بدور خورشید سریع‌تر از همه حرکت میکند. با اینهمه سرعت آن فقط ۳۰ کیلومتر در ثانیه است.

آیا میتوان سرعت نور را تغییر داد؟

سرعت بسیار زیاد انتشار نور چندان حیرت‌انگیز نیست. و آنچه باعث شگفت میباشد این است که این سرعت ثابت و بدون تغییر است.

حرکت مستقیم و یکنواخت میباشد حتی بدون تأثیر نیروی خارجی باید حرکت خود را بی‌انتها ادامه دهد، ولی در نتیجه مشاهدات میدانیم جسمی را که بدان نیروئی وارد نکنیم از حرکت می‌ایستد.

حل مسئله در این جا است که در تمام اجسامیکه مشاهده میکنیم بعضی نیروهای خارجی مانند نیروی اصطکاک تأثیر میکند. بنا بر این شرط لازم برای مشاهده قانون اینرسی، یعنی عدم نیروهای خارجی وارده بر جسم فراهم نیست.

و اما با بهبود شرایط تجربی یعنی با کم کردن نیروی اصطکاک میتوان به شرایط ئیده‌آل، که برای مشاهده قانون اینرسی ضروری است نزدیک شد و بدین ترتیب صحت این قانون را همچنین در مورد حرکت‌هائی که در زندگی روزمره مشاهده میشود ثابت کرد.

کشف اصل نسبیت حرکت، یکی از بزرگترین کشفیات بشمار میرود و بدون آن علم فیزیک نمیتوانست پیشرفت و ترقی کند. ما این کشف را مرهون گالیلئو گالیله هستیم که با تهور و بی‌باکی علیه فرمانروائی تعلیمات ارسطو مبنی براینکه فقط نیرو سبب حرکت میشود و عدم آن حرکت را باز میدارد و کلیسای کاتولیکی از این تعلیمات حمایت میکرد، برخاست و با یک سلسله تجارب درخشان عکس موضوع را ثابت کرد و نشان داد که فقط نیروی اصطکاک است که سبب توقف حرکت میگردد و اگر این نیرو نمی‌بود جسمی که یک بار بحرکت درمیآمد میتوانست برای ابد بحرکت خود ادامه دهد.

سرعت هم نسبی است

از اصل نسبیت حرکت نتیجه میشود که اگر هنگام صحبت از حرکت مستقیم و یکنواخت جسم با مقداری سرعت، اشاره نشود که نسبت بکدام یک از آزمایشگاههای ساکن سرعت آن سنجیده شده بهمان اندازه بی معنا است که در باره طول جغرافیائی سخن رود و قبلاً تعیین نگردد که طول مذکور را از کدام نصف النهار باید حساب کرد.

معلوم میشود که سرعت هم مفهومی است نسبی. هر گاه سرعت جسم را نسبت به آزمایشگاههای ساکن متعدد تعیین کنیم، نتایج گوناگون بدست میآوریم. ولی با این همه، هرگونه تغییر سرعت اعم از افزایش و تقلیل، و تغییر سمت آن مفهوم مطلق دارد و هیچگونه وابستگی بآن ندارد که ما در کدام آزمایشگاه ساکن حرکت را مشاهده میکنیم.

ولی لامپ همچنان روشن است. این تجربه مستقیماً نشان میدهد که صوت فقط در محیط مادی میتواند منتشر شود، در صورتیکه نور در خلأ هم پخش میگردد و این همان فرق کلی و اساسی است میان نور و صوت.

اصل نسبیت حرکت متزلزل بنظر میرسد

سرعت بسیار زیاد و در عین حال محدود نور در خلأ با اصل نسبیت حرکت مغایرت پیدا کرده است.

قطاری را در نظر میگیریم که با سرعت بسیار زیاد ۲٤۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه حرکت کند. فرض میکنیم ما در اولین واگن قطار باشیم و در انتهای قطار یک لامپ روشن شود. ما پیش خود فکر خواهیم کرد، برای اینکه نور از انتها به ابتدای قطار برسد چقدر وقت لازم است. بنظر میرسد که این مقدار وقت با وقتی که برای این کار در قطار ساکن لازم است برابر نیست. راستی نسبت به قطاریکه با سرعت ۲٤۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه حرکت میکند نور بایستی دارای سرعتی (به پیش، موافق جهت حرکت) معادل ٦۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه یعنی تفاوت ٦۰۰۰۰=۲٤۰۰۰۰ — ۳۰۰۰۰۰ باشد. بنظر میرسد که نور در حال تعقیب دیوار واگن اول قطار است که از آن سبقت گرفته است. اکنون اگر لامپ را در راس قطار بگذاریم و مقدار وقت لازم جهت رسیدن نور بآخر قطار را اندازه بگیریم آنگاه بنظر میرسد که سرعت نور در سمت خلاف حرکت قطار بایستی معادل ۳۰۰۰۰۰+۲٤۰۰۰۰=٥٤۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه باشد (نور و واگون آخری قطار به ملاقات یکدیگر میروند).

پس چنین برمیاید که در قطار متحرک نور میبایست بهمه طرف با سرعت‌های گوناگون پخش شود، در صورتیکه در قطار ساکن سرعت نور در هر دو طرف یکسان و ثابت است.

ولی این مسئله در مورد گلوله بکلی طور دیگر خواهد بود. اگر در قطار متحرک خواه موافق حرکت قطار و خواه مخالف آن تیراندازی شود سرعت گلوله نسبت بدیوار واگون همیشه یکسان و برابر با سرعت گلوله‌ای خواهد بود که در قطار ساکن انداخته میشود.

مطلب بر سر اینستکه، سرعت گلوله وابسته بسرعت حرکت تفنگ در قطار است. در صورتیکه سرعت نور همانطور که قبلاً گفتیم با جابجا شدن لامپ تغییری نمیکند.

بنظر میرسد که استدلال ما آشکارا نشان میدهد که انتشار نور با اصل نسبیت حرکت مغایرت فاحشی دارد، زیرا در حالیکه گلوله هم در قطار متحرک و هم در قطار ساکن با سرعت یکسان نسبت بدیوار سیر میکند، نور در قطاریکه سرعتش ۲٤۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است مثل اینکه می‌بایستی به یکطرف با سرعتی ٥ بار کمتر و به طرف دیگر ۱/۸ بار بیشتر از سرعت آن در قطار ساکن منتشر شود.

چنین بنظر میرسد که مطالعه انتشار نور باید بما امکان میداد که برای حرکت قطار سرعت مطلق تعیین کنیم.

آیا چنین امکان هست که بشود با استفاده از پدیده انتشار نور یک مفهوم برای سکون مطلق تعیین کرد؟

آزمایشگاهی را که نور در آن با سرعت یکسان ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه بهمه طرف پخش میشود می‌توانیم ساکن مطلق بنامیم. و در هر آزمایشگاه دیگری که نسبت بآن بطور مستقیم و یکنواخت حرکت میکند، سرعت نور در سمتهای مختلف بایستی گوناگون میبود. در این صورت هیچگونه نسبیت حرکت، نسبیت سرعت و نسبیت سکون که در بالا برقرار کردیم وجود نخواهد داشت.

«اتر جهانی»

درک این موضوع چگونه است؟ سابقاً فیزیک‌دانان با استفاده از تشابهی که بین پدیده انتشار نور و صوت هست یک محیط مخصوص بنام اتر اختیار کردند که نور در آن محیط همانطور منتشر میشد که صوت در هوا. ضمناً چنین فرض میکردند که بسان یک قفس از ترکه‌های نازک که در آب حرکت میکند و آنرا بدنبال خود نمیکشد، همه اجسام نیز هنگام حرکت از طریق اتر آنرا با خود نمیبرند.

اگر قطار ما نسبت بمحیط اتر ساکن باشد در آنصورت نور بهمه طرف با سرعت یکسان منتشر خواهد شد. حرکت قطار نسبت به اتر

بلافاصله بدین صورت ظاهر میگردد که سرعت انتشار نور برای سمت‌های گوناگون متفاوت خواهد بود.

و اما وارد کردن موضوع اتر یعنی محیطی که نوسان آن بشکل نور ظاهر میگردد در این بحث مسائل حیرت‌انگیز بدنبال دارد. در وهله اول خود این فرضیه آشکارا جنبه مصنوعی بخود میگیرد. در واقع خواص هوا را ما نه تنها با مشاهده انتشار صوت در آن بلکه با بکار بردن شیوه‌های بسیار گوناگون تحقیقات فیزیکی و شیمیائی نیز میتوانیم مطالعه کنیم. حال آنکه معلوم نیست که با کدام شیوه مرموز اتر در بیشتر پدیده‌ها شرکت نداشته است. تعیین غلظت و فشار هوا حتی با اندازه‌گیریهای نادقیق امکان‌پذیر است. با وجود کوششهای زیادی که برای تعیین فشار و غلظت اتر بکار رفت چیزی دستگیر نشد.

و یک وضع کاملاً مزخرفی بوجود آمد.

روشن استکه تمام پدیده‌های طبیعت را با بکار بردن مایع مخصوصی که تمام خواص لازم را در بر داشته باشد میتوان «توجیه نمود». اما اختلاف میان نظریه حقیقی یک پدیده و بیان سفسطه‌آمیز و باصطلاح علمی حقایق مخصوصاً در آن است که از نظریه نتایج بمراتب بیشتری

سکون مطلق

ناشی میشود تا از خود واقعیت که مبنای آن است. مثلاً با اینکه پیدایش مفهوم اتم در علم مربوط بمسائل شیمیائی بود ولی تصور در باره اتم‌ها امکان توضیح و پیش‌بینی پدیده‌های بسیار زیادی را داد که کوچکترین ربطی با شیمی ندارند.

براستی که ما درک اتر را میتوانیم با تصوری که یک آدم وحشی از مشاهده کار یک گرامافون پیدا میکرد تشبیه بکنیم که گمان مینمود در آن صندوقچه سحرآمیز یک «روح گرامافون» ویژه‌ای زندانی شده است.

البته این گونه بیان و توضیح اصل موضوع را روشن نمیسازد.

فیزیکدانان قبل از عهد اتر نیز از این قبیل تجارب تلخ داشتند. آنها زمانی بود پدیده احتراق را خاصیت یک مایع ویژه بنام فلوژیستون و پدیده‌های حرارتی را خاصیت مایع دیگری بنام «گرمازا» (تپلورود) میدانستند. براستی که دیدن و پیدا کردن این دو مایع مانند اتر مطلقاً غیر مقدور بوده است.

وضع دشواری بوجود میاید

اصل قضیه در این استکه صادق نبودن اصل نسبیت حرکت در مورد نور حتماً می‌بایست اصل نسبیت حرکت سایر اجسام را نیز باطل میساخت.

در واقع هم هر محیط مادی در برابر حرکت اجسام مقاومت ایجاد میکند. بدین علت جسم متحرک در اتر هم باید با نیروی اصطکاک روبرو میشد. و حرکت آن بتدریج کم شده سرانجام وضع سکون بخود میگرفت. اتفاقاً طبق آمار زمین‌شناسی، زمین میلیاردها سال استکه بدور خورشید میچرخد و کوچکترین ترمزی در حرکت آن در نتیجه اصطکاک احساس نمیشود.

بدین ترتیب هنگامیکه کوشش کردیم رفتار عجیب نور را در قطار متحرک بعلت وجود اتر توجیه کنیم به بن‌بست گیر کردیم. تصور در باره اتر تضاد بین بطلان اصل نسبیت در پدیده نور و رعایت آن در سایر حرکت‌ها را مرتفع نمیسازد.

تجربه باید مسأله را حل کند

با یک چنین تضادی که در بالا دیدیم چکار میشود کرد؟ قبل از اینکه راجع باین موضوع اظهار نظری بکنیم بحالت زیر توجه میکنیم.

تضاد بین انتشار نور و اصل نسبیت حرکت را ما تنها از راه استدلال بدست آوردیم.

دو باره تکرار میکنیم که براستی این استدلال نسبتاً قانع کننده‌ای بود. اما اگر ما صرفاً به بحث و استدلال اکتفا میکردیم شبیه به برخی فیلسوفهای قدیمی میشدیم که کوشش میکردند قوانین طبیعت را از کله خود بیرون بکشند. در این راه حتماً چنین خطری پیش میآید که دنیائی که از این طریق ساخته شده با تمام مزایای خود با دنیای واقعی تقریباً بی شباهت از آب درآید.

دادگاه عالی برای هر نظریه فیزیکی همانا تجربه است. لذا به استدلال در مورد انتشار نور در قطار متحرک اکتفاء نکرده، باید به تجربه‌ای دست بزنیم که عملاً نشانگر چگونگی انتشار نور در آن شرایط باشد.

برگزاری یک چنین تجربه‌ای از آن لحاظ آسانتر استکه خود ما از قرار معلوم روی یک جسم متحرک زندگی میکنیم. زمین هنگام چرخش بدور خورشید بهیچوجه حرکت مستقیم‌الخط نکرده و بهمین علت از نظر هیچ آزمایشگاه ساکنی نمیتواند در حالت سکون دائم باشد.

حتی اگر آزمایشگاهی را که زمین در ماه ژانویه نسبت بان ساکن باشد در نظر بگیریم، نظر باینکه سمت حرکت زمین بدور خورشید تغییر میکند آن آزمایشگاه در ماه ژوئیه بدون تردید در حال حرکت خواهد بود. لذا مطالعه انتشار نور در روی زمین، در حقیقت بمنزله مطالعه انتشار نور در آزمایشگاه متحرک بوده و نظر به شرایط ما، سرعت آن زیاد است یعنی ۳۰ کیلومتر در ثانیه میباشد. (از گردش زمین بدور محور خود که سرعت‌های تقریباً ۵۰۰ متر در ثانیه را بوجود میآورد میشود چشم‌پوشی کرد).

آیا ما حق داریم که کره زمین را بیک قطار متحرک تشبیه کنیم که قبلاً در باره آن صحبت شد و مارا به بن‌بست کشاند؟ زیرا قطار

بطور مستقیم و یکنواخت حرکت میکند و زمین از روی دائره ؟ بله حق داریم. کاملاً بحق میتوان قبول کرد که در ظرف خیلی کمتر از یک ثانیه که برای عبور نور از تمام اسبابهای آزمایشگاهی لازم است، زمین مستقیم و یکنواخت حرکت میکند. و اشتباه و خطا در این مورد بقدری ناچیز است که پیدا کردن آن محال است .

اما هنگامیکه ما زمین را با قطار مقایسه کردیم، طبیعی بنظر میرسد که رفتار نور در روی زمین بایستی همان اندازه عجیب و غریب باشد که رفتار آن در قطار یعنی در سمت‌های مختلف با سرعت‌های گوناگون پخش شود.

اصل نسبیت پیروز میشود

یک چنین تجربه‌ای در سال ۱۸۸۱ توسط مایکلسن یکی از بزرگترین آزمایشگران قرن گذشته بعمل آمد، که سرعت نور را در جهات مختلف نسبت بزمین در نهایت دقت اندازه گرفت. مایکلسن برای اینکه بتواند اختلاف کوچک فرضی سرعتها را اندازه گیری نماید به فنون موشکافانه آزمایشگری متوسل شد و استعداد اختراع گرانه فوق‌العاده زیادی از خود نشان داد. دقت این آزمایش بقدری زیاد بود که میشد اختلاف میان سرعت‌ها را خیلی کوچکتر از آنکه انتظار میرفت پیدا کرد.

تجربه مایکلسن که تا کنون بطور مکرر در شرایط گوناگون بعمل آمده به یک نتیجه کاملاً غیر منتظره منتهی گشت. معلوم شد که انتشار نور در آزمایشگاه متحرک در واقع با نتایج استدلالات ما کاملا مغایرت دارد. بویژه مایکلسن ثابت کرد که نور در روی زمین متحرک در سمت‌های گوناگون با سرعت یکسان پخش میگردد. از این لحاظ انتشار نور شبیه پرواز گلوله صورت میگیرد یعنی بدون وابستگی به حرکت آزمایشگاه و با سرعت یکسان نسبت بدیوارهای آن در تمام سمت‌ها.

با این ترتیب تجربه مایکلسن نشان داد که علیرغم قضاوت ما پدیده انتشار نور با اصل نسبیت حرکت هیچ تضادی نداشته و برعکس با آن کاملاً موافق است. یا بدیگر سخن استدلال ما در صفحه ۲۴ و ۲۵ اشتباه از آب درآمد.

با این ترتیب تجربه ما را از شر تضاد سخت میان قوانین انتشار نور و اصل نسبیت حرکت آزاد کرده است. معلوم شد که این تضاد فقط ظاهری و ناشی از استدلال نادرست ما میباشد و بالاخره این اشتباه بکجا ختم میگردد؟

تقریباً مدت یکربع قرن از سال ۱۸۸۱ تا سال ۱۹۰۵ فیزیکدانان تمام جهان در برابر پاسخ دادن باین سؤال بمغز خود فشار آوردند. ولی تمام توجیهات پیشنهادی ناگزیر منجر به اختلافهای تازه و تازه‌تری میان نظریه و تجربه شد.

اگر در یک قفسه متحرکی که از ترکه‌های نازک بافته شده منبع صوت و بیننده را جایگزین کنیم، آنگاه بیننده باد شدیدی را احساس خواهد کرد. و اگر سرعت صوت را نسبت به قفسه بسنجیم خواهیم دید که این سرعت در جهت حرکت قفسه کمتر از جهت معکوس میباشد. در عین حال، اگر منبع صوت را در واگونی که درها و پنجره‌هایش بسته است بگذاریم و سرعت صوت را اندازه بگیریم، خواهیم دید که چون واگون هوا را با خود میبرد سرعت صوت در آن در تمام جهات یکسان است.

با گذار از موضوع صوت به موضوع نور می‌توانیم برای توجیه نتیجه تجربه مایکلسن بطریق زیر فرض کنیم. برخلاف قفسه ترکه‌ای زمین ضمن حرکت خود در فضا اتر را آرام نگذاشته، برعکس فرض کنیم که اتر را با خود گرفته و یکپارچه با آن حرکت کند، آنگاه نتیجه تجربه مایکلسن کاملاً صورت مفهوم بخود میگیرد.

ولی یک چنین فرضی با تجارب متعدد دیگر اختلاف شدیدی دارد مثلاً با انتشار نور در لوله‌ای که آب در آن جاری است. اگر فرض با خود گرفتن اتر صحت داشت آنگاه با سنجش سرعت نور در جهت جریان آب، ما سرعتی باندازه سرعت نور در آب ساکن باضافه سرعت حرکت آب حاصل میکردیم. در صورتیکه اندازه‌گیری مستقیم، سرعتی کمتر از نتیجه استدلال فوق بدست میدهد.

ما قبلاً درباره این مسأله عجیب سخن گفتیم، که اجسام هنگام عبور از طریق اتر با نیروی اصطکاکی قابل ملاحظه‌ای روبرو نمیشوند. اما اگر

اجسام از طریق اتر نه تنها عبور کنند بلکه مقداری از آن را نیز با خود ببرند اصطکاک باید قابل ملاحظه شود.

با این ترتیب با تمام کوششها برای رهائی از اختلافی که بعد از نتیجه غیرمنتظره تجربه مایکلسن بوجود آمده بود توفیقی حاصل نشد.

حالا نتیجه میگیریم.

تجربه مایکلسن اصل نسبیت حرکت را نه تنها برای اجسام معمولی، بلکه برای پدیده انتشار نور و بطور کلی تمام پدیده‌های طبیعت نیز تأیید میکند.

همانطوریکه قبلاً مشاهده کردیم از اصل نسبیت حرکت مستقیماً اصل نسبیت سرعت نتیجه میگردد مقدار سرعت برای آزمایشگاههای گوناگونی که نسبت بیکدیگر متحرک هستند باید متفاوت باشد. ولی از طرف دیگر سرعت نور که معادل ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است در آزمایشگاههای گوناگون یکسان از آب درمیاید. پس نتیجه میگیریم که سرعت نور نسبی نیست بلکه مطلق است.

فصل چهارم

زمان هم نسبی است

آیا در واقع در این موضوع تضادی هست؟

در نظر اول ممکن است چنین وانمود شود که ما با یک اختلاف و تضاد کاملا منطقی سروکار داریم. ثابت بودن سرعت نور در جهات گوناگون از اصل نسبیت جانبداری میکند، در صورتیکه خود سرعت نور مطلق است.

و اما طرز برخورد انسانهای قرون وسطی را با واقعیت کرویت زمین بیاد میاوریم. از نظر آنها شکل کروی زمین با وجود نیروی جاذبه سخت مغایر بود، زیرا بگمان آنها تمام اجسام میبایستی از زمین «به پائین» بغلطتند. و اما بیقین میدانیم که در این موضوع هیچگونه اختلاف منطقی وجود ندارد و بطور ساده مفهوم بالا و پائین مطلق نیست بلکه نسبی است.

مسأله انتشار نور نیز یک چنین وضعی دارد.

و جستجوی یک تضاد منطقی میان اصل نسبیت حرکت و سرعت مطلق نور کار بیهوده‌ای است. در اینجا تضاد فقط بدین علت بوجود میاید، که ما در این مورد بدون اینکه خودمان متوجه باشیم بعضی فرض‌های دیگر نیز بموضوع بحث وارد کردیم همانطوریکه مردم قرون وسطی امکان کروی بودن زمین را رد کرده و مفاهیم بالا و پائین را مطلق میپنداشتند. یک چنین اعتقاد به بالا و پائین مطلق که برای ما

خنده‌آور است در اثر تجارب کم آنها بوجود آمده بود. زیرا در آن دوران مردم خیلی کم مسافرت میکردند و فقط با قسمت‌های کوچکی از سطح زمین آشنائی داشتند. لابد عین چنین قضیه‌ای برای ما هم اتفاق افتاد، و بنا به محدود بودن تجارب خود گویا یک عامل نسبی بعنوان مطلق قبول کردیم.

پس چه عاملی را؟

از این ببعد برای پیدا کردن اشتباه خود فقط به حقایق تجربی تکیه خواهیم کرد.

سوار قطار میشویم

فرض میکنیم که قطاری بطول ۵۴۰۰۰۰۰ کیلومتر بطور مستقیم و یکنواخت با سرعتی معادل ۲۴۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه حرکت کند.

و در یک لحظه معین یک لامپ در وسط قطار روشن شود. در واگن جلو و عقب قطار درهای اتوماتیک تعبیه شده که بمحض

برخورد نور با آنها باز میشوند. حال ببینیم سرنشینان قطار و آنهائیکه روی سکو ایستاده‌اند چه وضعی را میبینند؟

در پاسخ این سؤال، مطابق با قرار قبلی، فقط به عوامل تجربی تکیه خواهیم کرد.

آنهائیکه در وسط قطار هستند باز شدن درها را در عقب و جلو در آن واحد میبینند. زیرا طبق تجربه مایکلسن نور نسبت به قطار با سرعت یکسان یعنی ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه به تمام جهات پخش میشود. بنا بر این پس از ۹ ثانیه (۹=۳۰۰۰۰۰:۲۷۰۰۰۰۰) نور لامپ همزمان به واگن عقب و جلو قطار میرسد و هر دو در در یکموقع باز میشوند.

پس آنهائیکه روی سکو هستند باز شدن درها را چطور می‌بینند؟ میدانیم که نور نسبت بایستگاه هم با سرعت ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه منتشر میگردد. ولی واگون عقبی به ملاقات با شعاع نور حرکت میکند. بهمین سبب نور پس از ۵ ثانیه ($۵=\frac{۲۷۰۰۰۰۰}{۳۰۰۰۰۰+۲۴۰۰۰۰}$) بآن خواهد رسید. و اما شعاع نور باید خود را به واگون جلوئی برساند، بهمین سبب بعد از ۴۵ ثانیه یعنی $۴۵=\frac{۲۷۰۰۰۰۰}{۳۰۰۰۰۰-۲۴۰۰۰۰}$ نور بآن میرسد.

پس آنهائیکه روی سکو هستند بنظرشان میرسد که درها همزمان باز نمیشود. ابتدا درهای عقب و پس از ۴۰=۵-۴۵ ثانیه درهای جلو باز خواهد شد*.

بدین ترتیب دو حادثه کاملاً مشابه، باز شدن درهای جلو و عقب قطار برای آنهائیکه در قطار نشسته‌اند همزمان بنظر میرسد و برای آنهائیکه روی سکوی ایستگاه هستند با فاصله زمانی معادل ۴۰ ثانیه متعاقب یکدیگر خواهند بود.

---

* در صفحات بعد، این استدلال کمی دقیق تر خواهد شد (به صفحه ۵۳و۵۴ رجوع شود).

آیا در این موضوع تضادی هست؟ و آیا واقعه‌ای که در بالا کشف شد مانند اینکه گفته شود: «طول نهنگ از دم تا سر دو متر و از سر تا دم یک متر است» یک چیز کاملاً بی‌معنا و مزخرفی نیست؟

کوشش میکنیم پی ببریم چرا نتیجه حاصله با اینکه کاملاً با واقعیتهای تجربی مطابقت دارد اینقدر بی معنا بنظر ما میآید.

هر قدر هم بخود فشار بیاوریم نمیتوانیم هیچ تضاد منطقی میان دو پدیده‌ای که برای سرنشینان قطار در یک موقع حادث شد و برای مردم در ایستگاه با فاصله زمانی معادل ٤٠ ثانیه انجام گرفت پیدا کنیم.

تنها چیزی که راجع باین موضوع بخاطر تسلی و دلداری خود میتوانیم بگوئیم آنستکه استنباط ما با عقل سلیم مغایرت دارد. ولی بیاد بیاوریم که عقل مردم قرون وسطی چطور با گردش زمین بدور خورشید مخالفت میکرد. چرا که در حقیقت کلیه تجارب روزمره به مردم قرون وسطی بطور انکارناپذیر نشان میداد که زمین ساکن است و خورشید بدور آن میچرخد و آیا آنهائیکه بنادرست کروی بودن زمین را مضحکانه انکار میکردند مرهون باصطلاح «عقل سلیم» نبودند؟

تصادم عقل سلیم با واقعیت عینی، مانند همان لطیفه معروف درباره یک صاحب فرم مسخره‌ای است که وقتی در باغ وحش چشمش بزرافه افتاد فریاد زد: «این غیر ممکن است».

این باصطلاح عقل سلیم چیز دیگری جز همان تعمیم ساده تصورات و عادات ما که در زندگی روزمره کسب‌شده نمیباشد بلکه سطح معین ادراک است که سطح تجربه را منعکس میکند.

تمام اشکال در درک دو حادثه‌ای که در قطار در یک زمان بوقوع میپیوندد و برای مردم روی سکو غیر همزمان بنظر میرسد شبیه به اشکال همان صاحب فرم است که از دیدن یک زرافه مات و مبهوت شد. مانند آن صاحب فرم که هیچگاه یک چنین حیوانی ندیده ما هم هیچگاه با سرعتی حتی لااقل تا اندازه‌ای نزدیک بسرعت شگفت‌انگیز ۲٤۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه حرکت نکرده‌ایم. جای تعجب نیست که فیزیکدانان هم هنگامیکه با چنین سرعت های باورنکردنی سروکار پیدا

میکنند واقعیتهای کاملا متفاوت را با آنچه ما در زندگی روزمره بدان عادت کرده‌ایم مشاهده میکنند.

نتیجه غیرمنتظره تجربه مایکلسن که فیزیکدانان را در برابر واقعیتهای تازه قرار داد، بر آن داشت که حتی علیرغم باصطلاح عقل سلیم در چنین تصورات عادی و بظاهر معلومی مانند همزمان بودن دو حادثه تجدید نظر کنند.

البته امکان داشت با تکیه به باصطلاح «عقل سلیم» موجودیت پدیده‌های جدید را رد کرد ولی یک چنین برخوردی ما را شبیه صاحب فرم همان داستان میساخت.

زمان به سرنوشت فضا دچار میشود

علم از زد و خورد با باصطلاح عقل سلیم ترس و واهمه ندارد. تنها آنرا عدم توافق تصورات موجود با تجربه تازه بوحشت میاندازد، هرگاه در حقیقت چنین باشد علم تصورات کهنه را بیرحمانه خرد کرده و دانش ما را یک پله بالاتر سوق میدهد.

ما چنین می‌پنداشتیم که دو حادثه همزمان، در هر آزمایشگاه دلخواه همزمان خواهد بود، و اما تجربه بما نتیجهٔ دیگری داد. معلوم شد که این موضوع فقط در صورتی صحت دارد که آزمایشگاهها نسبت بیکدیگر ساکن باشند. هر گاه دو آزمایشگاه نسبت بیکدیگر در حال حرکت باشند و در یکی دو حادثه در آن واحد انجام پذیرد همان دو حادثه در آزمایشگاه دیگر باید غیر همزمان تلقی شود. پس مفهوم همزمان بودن جنبه نسبی بخود میگیرد و فقط با اشاره به چگونگی حرکت آزمایشگاهی که دو حادثه در آن مشاهده میگردد معنی بخود میگیرد.

مثال مربوط به نسبیت اندازه‌های زاویه‌ای را که در صفحه ۱۰ درباره آن صحبت کردیم بیاد بیاوریم. در آنجا مسأله از چه قرار است؟ فرض کنیم که فاصله زاویه‌ای دو ستاره که از روی زمین مشاهده میشوند نظر باینکه هر دو در یک خط مشترک واقع شده‌اند مساوی صفر باشد. اگر این موضوع را مطلق بپنداریم ما هیچگاه با هیچ اختلافی روبرو نخواهیم شد. موضوع طور دیگری جلوه میکند اگر از حدود منظومه شمسی فراتر رفته و از یک نقطه دلخواه فضا آن دو ستاره را مشاهده کنیم. در این صورت فاصلهٔ زاویه‌ای برابر صفر نخواهد بود.

آن حقیقت مسلم برای یک انسان معاصر که دو ستاره منطبق برهم در هنگام مشاهده از روی زمین ممکن است هنگام مشاهده از نقاط دیگر فضا برهم منطبق نباشند برای انسان قرون وسطائی که آسمان را بشکل گنبدی تصور میکرد که ستارگان روی آن ریخته‌اند بی‌معنی و مزخرف بنظر میرسید.

فرض کنیم سؤال شود که آیا، صرفنظر از هرگونه آزمایشگاه، در واقع دو حادثه همزمان است یا نه؟ متأسفانه این سؤال بهمان اندازه بی‌معنی است که بدون تعیین نقطه دید سؤال شود آیا در حقیقت دو ستاره در یک خط راست هستند یا نه؟ اصل قضیه در اینستکه همانطوریکه قرار داشتن دو ستاره در یک خط راست نه تنها وابسته به موقعیت ستارگان مذکور است، بلکه نیز وابسته به نقطه‌ای است که از آنجا ستاره‌ها مشاهده میشوند. همزمان بودن هم نه تنها وابسته به هر دو حادثه، بلکه به آزمانشگاهی هم که از آنجا مشاهدهٔ حادثه‌ها بعمل میاید بستگی دارد.

مادامکه با سرعتهائی که نسبت بسرعت سیر نور ناچیز بودند، سروکار داشتیم نمیتوانستیم نسبیت مفهوم همزمانی را کشف کنیم و تنها با مطالعهٔ حرکتی که سرعتش قابل قیاس با سرعت سیر نور است مجبور شدیم در مورد مفهوم همزمانی تجدید نظر بعمل بیاوریم و قیاس بر این، وقتی مردم بمسافات قابل مقایسه با اندازه زمین بمسافرت پرداختند مجبور شدند در مورد مفهوم بالا و پائین تجدید نظر کنند. البته تا آنزمان تصور درباره همواری زمین نمیتوانست هیچگونه تضادی با تجربه داشته باشد.

در حقیقت هم ما امکان حرکت با سرعتی نزدیک به سرعت سیر نور را نداریم تا بتوانیم آن واقعیتهای عجیب وغریب از نقطه نظر تصورات قدیمی را که تازه ذکر کردیم با تجربه شخصی خود مشاهده کنیم. اما در نتیجه تکنیک معاصر آزمایشگری ما با اطمینان کامل میتوانیم این واقعیتها را در بعضی پدیده‌های فیزیکی کشف کنیم.

خلاصه زمان هم به همان سرنوشتی گرفتار شده است که فضا داشت. کلمه «همزمان» درست مانند کلمه «همانجا» بی‌معنی از آب در آمده است.

فاصله زمانی میان دو حادثه مثل فاصله فضائی بین آنها مستلزم اشاره به آزمایشگاهی است که نسبت بآن تعیین میگردد.

علم پیروز میشود

کشف حقیقت نسبیت زمان بمثابه دگرگونی عمیقی در نظریات بشر درباره طبیعت است. و این امر یکی از بزرگترین پیروزیهای عقل بشر بر آن جمود فکری است که طی قرن‌ها تشکیل یافته بود. آنرا فقط با دگرگونی انقلابی تصورات بشر مربوط به کشف کرویت زمین میتوان مقایسه کرد.

کشف نسبیت زمان در سال ۱۹۰۵ توسط آلبرت انشتین (۱۹۵۵ — ۱۸۸۰) فیزیکدان بزرگ قرن بیستم بعمل آمد. این کشف انشتین را که ۲۵ ساله بود در ردیف نوابغ انسانی قرار داد. و نامش همچون کوپرنیک و نیوتن و دیگر مشعل‌داران علم در خاطره ما جاویدان است.

ولادیمیر ایلیچ لنین آلبرت انشتین را یکی از بزگترین افرادی میداند که در علوم طبیعی دگرگونی ایجاد کرده‌اند.

آموزش نسبیت زمان و نتایج حاصله از آن معمولا نظریه نسبیت نامیده میشود و نباید با اصل نسبیت حرکت اشتباه شود.

سرعت حدی دارد

قبل از جنگ دوم جهانی هواپیماها با سرعت کمتر از سیر صوت پرواز میکردند و اکنون هواپیماهای مافوق صوت نیز ساخته شده است. امواج رادیوئی با سرعت نور منتشر میشود. آیا میشود در برابر خود این وظیفه را قرار داد که یک دستگاه تلگراف «مافوق نور» بسازیم که علائم تلگرافی را با سرعتی بیشتر از سرعت نور رد و بدل کند؟ معلوم میشود که ساختن چنین دستگاهی امکان‌پذیر نیست.

در واقع هم اگر میشد علائم را با سرعت بینهایت فرستاد، آنگاه میتوانستیم در مورد همزمان بودن دو حادثه جواب واحد بدهیم. اگر علامت بینهایت سریع یک حادثه همزمان با علامت حادثه دوم بما میرسید در آن صورت میگفتیم که وقوع آن دو حادثه همزمان است. با این ترتیب همزمانی جنبه مطلق بخود میگرفت و به حرکت آزمایشگاهی که این اظهار نظر بدان مربوط است بستگی نمیداشت.

ولی از آنجائیکه تجربه، مطلق بودن زمان را رد میکند، نتیجه میگیریم که فرستادن علائم در یک آن امکان پذیر نیست. سرعت انتقال از یک نقطه فضا به نقطه دیگر آن نمیتواند بینهایت باشد یا بدیگر سخن نمیتواند از یک میزان محدود که سرعت حد نامیده میشود بیشتر باشد.

و این سرعت حد با سرعت سیر نور یکسان است.

در حقیقت هم، طبق اصل نسبیت حرکت، در تمام آزمایشگاههائی که نسبت بیکدیگر در حال حرکت مستقیم و یکنواخت هستند، قوانین طبیعت باید یکسان باشد. این اظهار نظر نیز که هیچ سرعتی نمیتواند از حد معینی تجاوز کند قانون طبیعت است، و بهمین سبب مقدار سرعت حد در آزمایشگاههای گوناگون باید کاملاً یکسان باشد.

همانطور که میدانیم سرعت نور نیز دارای چنین خاصیتی است.

بدینترتیب، سرعت نور نه تنها بطور ساده سرعت انتشار یک پدیده طبیعت میباشد بلکه مهمترین رل را بمثابه سرعت حد بازی میکند.

کشف موجودیت سرعت حد در جهان بمنزله یکی از بزرگترین مظاهر تفکر انسان و امکانات بشر در زمینه تجربه است.

فیزیکدان قرن گذشته فکرش بدانجاها نمیرسید که در جهان سرعت حد وجود دارد و واقعیت آنرا بتوان ثابت کرد. گذشته از این اگر او ضمن تجارب خود بوجود سرعت حد در طبیعت برمیخورد، نمیتوانست اطمینان داشته باشد که این حد قانون طبیعت است و نه نتیجه محدودیت امکانات تجربه که میتواند در جریان پیشرفت بعدی تکنولوژی برطرف شود.

اصل نسبیت نشان میدهد که وجود سرعت حد در ذات اشیاء نهفته است و امید به اینکه پیشرفت تکنولوژی امکان دستیابی به سرعت مافوق نور را بدهد همان اندازه خنده‌آور است که اگر گمان کنیم فقدان نقطه‌ها در روی کره زمین با فاصله بیش از ۲۰ هزار کیلومتر از یکدیگر قانون جغرافیائی نیست بلکه نتیجه محدودیت معلومات ما است و امیدوار باشیم که با پیشرفت علم جغرافیا بشود در زمین نقاطی پیدا کرد که از این هم فاصله بیشتری با یکدیگر داشته باشند.

سرعت نوز بدین سبب چنین رل استثنائی را در طبیعت بازی میکند که برای هرگونه انتشاری سرعت حد میباشد. نور هنگام سیر خود یا از تمام پدیده‌های دیگر جلو میافتد یا دست کم با آنها همزمان میگردد.

اگر روزی خورشید بدو قسمت مجزا تقسیم میشد و بصورت ستاره دوگانه درمیامد بدون شک در حرکت زمین هم تغییراتی رخ میداد.

فیزیکدان قرن گذشته که از وجود سرعت حد در طبیعت اطلاع نداشت بدون شک گمان میکرد که در حرکت زمین بلافاصله بعد از دوتیکه شدن خورشید، تغییراتی صورت میگرفت. در صورتی که ۸ دقیقه وقت لازم میشد تا نور از خورشید دونصف‌شده به زمین برسد.

ولی در واقع تغییرات در حرکت زمین نیز فقط پس از اینکه ۸ دقیقه از دوتیکه شدن خورشید میگذشت، صورت میگرفت. وتا

این مدت زمین همانطوری حرکت میکرد که خورشید دوتیکه‌نشده بود. و اصولا وقوع هیچگونه حادثه اعم از اینکه در خورشید باشد یا بر آن اتفاق افتد مادامکه ۸ دقیقه سپری نشده باشد، نمیتواند کوچکترین تأثیری در زمین و یا در حرکت آن داشته باشد.

روشن است که سرعت حد انتشار علائم ما را از این امکان محروم نمیسازد که همزمانی دو حادثه را معلوم کنیم. برای این منظور فقط ضرور است که زمان تأخیر علامت، همانطوریکه معمولا عمل میشود بحساب گرفته شود.

و اما چنین شیوه تعیین همزمانی با نسبیت این مفهوم تطابق کامل دارد. در حقیقت هم برای اینکه زمان تأخیر را بحساب بیاوریم باید فاصله مکانهائی را که در آنجا حوادث رخ داده بر سرعت انتشار علائم تقسیم کنیم. از طرف دیگر هنوز ضمن بحث درباره ارسال نامه‌ها از قطار سریع‌السیر مسکو — ولادیووستوک ما دریافتیم که خود مکان در فضا نیز یک مفهوم کاملاً نسبی است.

زودتر و دیرتر

فرض کنیم در قطار ما که دارای لامپ روشن‌شونده است و آنرا از این ببعد قطار انشتین می‌نامیم، دستگاه درهای اتوماتیک خراب شده و مردم در قطار ملتفت شوند که در جلو ۱۵ ثانیه زودتر از در عقبی باز شد. اما آنهائیکه در سکوی ایستگاه قطار ایستاده‌اند میبینند که برعکس، در عقب ۲۵ ثانیه (۲۵=۱۵ — ۴۰) زودتر باز شد. با این ترتیب حادثه‌ایکه برای آزمایشگاهی زودتر اتفاق افتاد ممکن است برای آزمایشگاه دیگری دیرتر اتفاق بیفتد.

و اما فوراً چنین بنظر میرسد که نسبیت مفهوم «زودتر» و «دیرتر» باید برای خود حدی داشته باشد. مثلا بعید است که قبول شود (از نقطه نظر هر آزمایشگاه) که بچه زودتر از تولد مادرش بدنیا آمده باشد.

اگر در سطح خورشید یک لکه پدیدار میشد ستاره‌شناسی که با تلسکوپ خورشید را رصد میکرد پس از ۸ دقیقه این لکه را می‌دید

و هر کاری که از این ببعد انجام میداد، مطلقاً از زمان پیدایش لکه در خورشید دیرتر میبود و از نقطه نظر هر آزمایشگاه دلخواه نیز که از آنجا به لکه خورشید و ستاره‌شناس بنگرند دیرتر خواهد بود. و برعکس تمام آنچه که بر ستاره‌شناس تا ۸ دقیقه قبل از پیدایش لکه در خورشید اتفاق می‌افتاد (بطوریکه علامت نوری این حادثه قبل از پیدایش لکه بخورشید میرسید) مطلقاً زودتر می‌بود.

مثلا اگر ستاره‌شناس در فاصله زمان بین این دو حد عینک می‌زد در آنصورت نسبت زمان پیدایش لکه و عینک زدن ستاره‌شناس بدون شک مطلق نمی‌بود.

ما نسبت به ستاره‌شناس و لکه خورشید طوری میتوانیم حرکت کنیم که وابسته به سرعت و سمت حرکت خود پوشیدن عینک اخترشناس را زودتر یا دیرتر یا همزمان با پیدایش لکه ببینیم.

با این ترتیب اصل نسبیت نشان میدهد که نسبتهای زمانی حادثه‌ها بر سه قسم است: مطلقاً زودتر، مطلقاً دیرتر و «نه زودتر و نه دیرتر» منوط به اینکه این حوادث از کدام آزمایشگاه مشاهده میشود.

فصل پنجم

ساعتها و خطکشها بازی درمیآورند

دوباره سوار قطار میشویم

یک راه‌آهن بسیار درازی در پیش ما است که قطار انشتین روی آن حرکت میکند. دو ایستگاه در فاصله ۸۶٤ ۰۰۰ ۰۰۰ کیلومتر از یکدیگر قرار دارند. برای قطار انشتین که سرعت حرکتش ۲٤۰ ۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است یک ساعت لازم است که این مسافت را طی کند.

در هر دو ایستگاه ساعت گذاشته شده است. در ایستگاه اول مسافری در واگون سوار میشود و قبل از حرکت قطار ساعت خود را با ساعت ایستگاه میزان میکند. پس از رسیدن بایستگاه دیگر مسافر با آشفتگی ملتفت میشود که ساعتش عقب افتاده است. در تعمیرگاه ساعت‌سازی به مسافر اطمینان میدهند که ساعتش کاملاً درست است.

پس علت موضوع چیست؟

برای پی بردن باین امر فرض میکنیم که مسافر شعاع نور چراغ‌قوه را که در کف واگون گذاشته شده بطرف سقف متوجه کند. در سقف واگون یک آئینه گذاشته شده که شعاع نور از آن به لامپ بازتاب میگردد. راه شعاع که مسافر آن را در واگون می‌بیند و در صفحه ٤٦ تصویر شده است در نظر بیننده‌ای که روی سکو ایستاده است طور دیگر جلوه میکند. طی زمانیکه نور از چراغ به آئینه میرسد

خود آئینه در نتیجه حرکت قطار جابجا میگردد و تا وقتیکه نور از آئینه به چراغ برگردد چراغ نیز مانند آئینه به همان فاصله تغییر مکان میدهد.

ما می‌بینیم که نور از نظر بینندگان واقع در سکوی ایستگاه راه کاملاً طولانی‌تری را نسبت به ناظرین توی قطار طی کرد. از طرف دیگر میدانیم که سرعت حرکت نور مطلق است، هم برای سرنشینان قطار و هم برای آنهائیکه در ایستگاه ایستاده‌اند یکی است. پس ما نتیجه میگیریم که فاصله زمان میان تابش و برگشت شعاع نور در ایستگاه نسبت به داخل قطار بیشتر است. حساب کردن این نسبت زمان چندان مشکل نیست.

فرض کنیم که بیننده روی سکو تعیین کرد که فاصله زمان میان رفت و برگشت نور ۱۰ ثانیه بود. در این ۱۰ ثانیه نور فاصله‌ای معادل ۳۰۰۰۰۰۰×۱۰=۳۰۰۰۰۰۰ کیلومتر را طی کرد. از اینجا نتیجه میگردد که پهلوهای BC و AB مثلث متساوی‌الساقین ABC هر یک باندازهٔ ۱۵۰۰۰۰۰ کیلومتر است. بطور واضح درازای ضلع AC برابر است با راهی که قطار در ۱۰ ثانیه طی کرد یعنی ۲۴۰۰۰۰۰×۱۰=۲۴۰۰۰۰۰ کیلومتر.

اکنون بآسانی میتوان ارتفاع واگون را که همانا بلندی BD سه‌گوشه ABC است تعیین کرد.

یادآوری میکنیم که در مثلث قائم‌الزاویه مربع وتر (AB) برابر است با مجموع مربعهای اضلاع (BD و AD). از برابری $AB^2=AD^2+BD^2$ حاصل میکنیم که ارتفاع واگون برابر است با $BD=\sqrt{AB^2-AD^2}=\sqrt{15000000^2-12000000^2}=9000000$ کیلومتر.

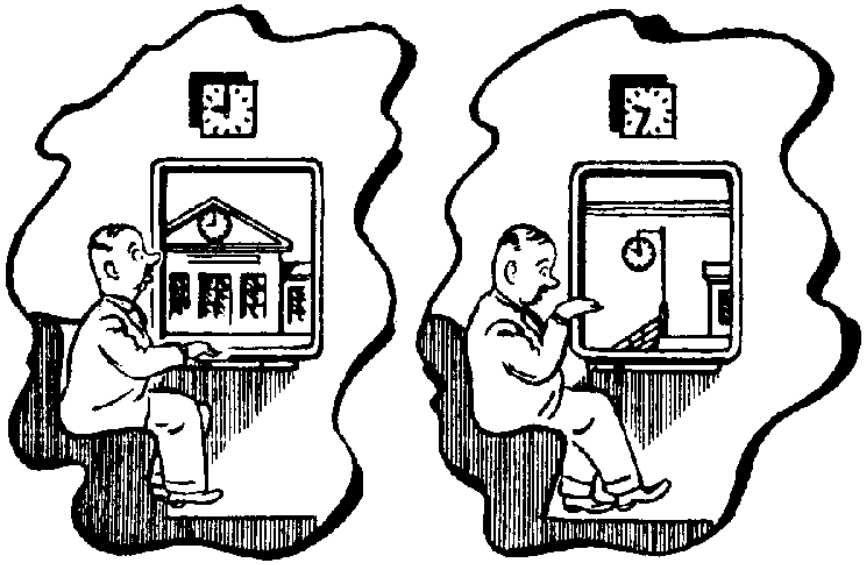
ارتفاع حاصله خیلی بزرگ است ولی باید گفت که در برابر اندازه‌های نجومی قطار انشتین چیز چندان عجیبی نیست.

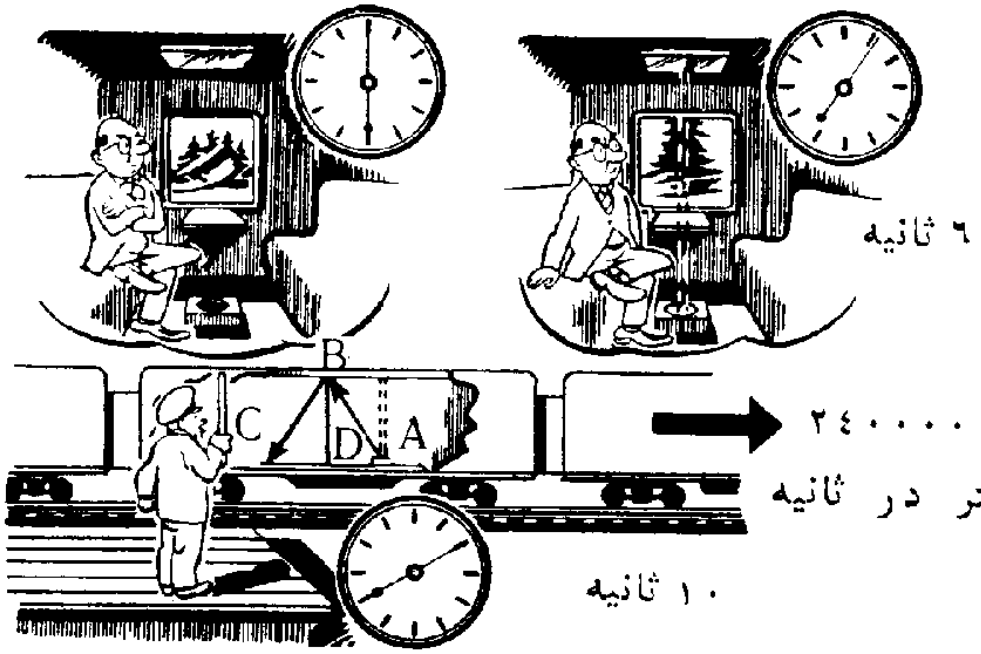
از نظر یک سرنشین قطار راهی را که شعاع نور از کف تا سقف و برعکس طی کرده بطور واضح دو برابر ارتفاع قطار است یعنی ۱۸۰۰۰۰۰ کیلومتر و ۶ ثانیه لازم است تا نور این مسافت را طی کند $(\frac{18000000}{3000000}=6)$

با این ترتیب همان وقتیکه در ایستگاه ۱۰ ثانیه گذشت در قطار فقط ٦ ثانیه گذشت. پس اگر قطار مطابق با ساعت ایستگاهی یک ساعت پس از عزیمت خود برسد در عین حال مطابق با ساعت سرنشین فقط پس از ۳٦ دقیقه یعنی $\frac{٦}{١٠} \times ٦٠ = ٣٦$ خواهد رسید. بدیگر سخن در ظرف یک ساعت، ساعت سرنشین نسبت به ساعت ایستگاه ۲٤ دقیقه عقب افتاده است.

به آسانی میشود دریافت که هر قدر سرعت قطار افزایش یابد همانقدر هم ساعت عقب می‌افتد.

واقعاً هم هر اندازه سرعت قطار به سرعت نور نزدیکتر شود بهمان اندازه هم طول ضلع AD که تصویر راه طی شده قطار است به طول وتر AB که نمایشگر راه طی‌شده نور در همان مدت است نزدیکتر میشود. و مطابق با آن، نسبت ضلع BD به وتر کم میگردد. و اما همین نسبت بمنزله نسبت زمان در قطار و ایستگاه است. با افزایش سرعت قطار تا سرعت حرکت نور میتوانیم بحالتی برسیم که در طی یک ساعت بوقت ایستگاه، در قطار فقط وقت بسیار ناچیزی بگذرد. پس اگر سرعت قطار برابر با ۰/۹۹۹۹ سرعت سیر نور باشد ظرف یک ساعت بوقت ایستگاه، در قطار فقط یک دقیقه وقت خواهد گذشت.





با این ترتیب هر ساعت متحرک نسبت به ساعت ساکن عقب میافتد. آیا یک چنین نتیجه‌ای با اصل نسبیت حرکت که مبداء این بحث بود مغایرت ندارد؟

آیا این بدان معنی نیست که ساعتی که سریعتر از همهٔ ساعت‌های دیگر کار میکند در حالت سکون مطلق میباشد؟

نخیر، زیرا مقایسه ساعت قطار با ساعت ایستگاه‌ها در شرایط کاملاً نامساوی انجام پذیرفت. چونکه سه عدد ساعت بود و نه دو تا! مسافر ساعت خودش را با دو ساعت گوناگون در ایستگاههای مختلف مقایسه کرد. و برعکس اگر در واگون‌های جلو و عقب قطار ساعت آویزان شده بود، آنگاه بیننده در یکی از ایستگاهها با مقایسه کردن ساعت ایستگاهی و ساعت‌های مشهود در پنجره‌های قطار که از نزدیک او رد میشود درمی‌یافت که همانا ساعت ایستگاه است که مرتباً عقب می‌افتد.

پیدا است که در همین مورد که قطار نسبت بایستگاه بطور مستقیم و یکنواخت حرکت میکند، ما حق داریم قطار را ساکن و ایستگاه را متحرک بپنداریم، و تمام قوانین طبیعت در مورد هر دوی آنها باید یکسان باشد.

هر ناظری که نسبت به ساعت خود ساکن باشد می‌بیند که ساعت‌های دیگری که نسبت به ساعت او در حال حرکت است تندتر

کار میکند و هر قدر که سرعت حرکت آن بیشتر باشد همانقدر هم بیشتر جلو می‌افتد.

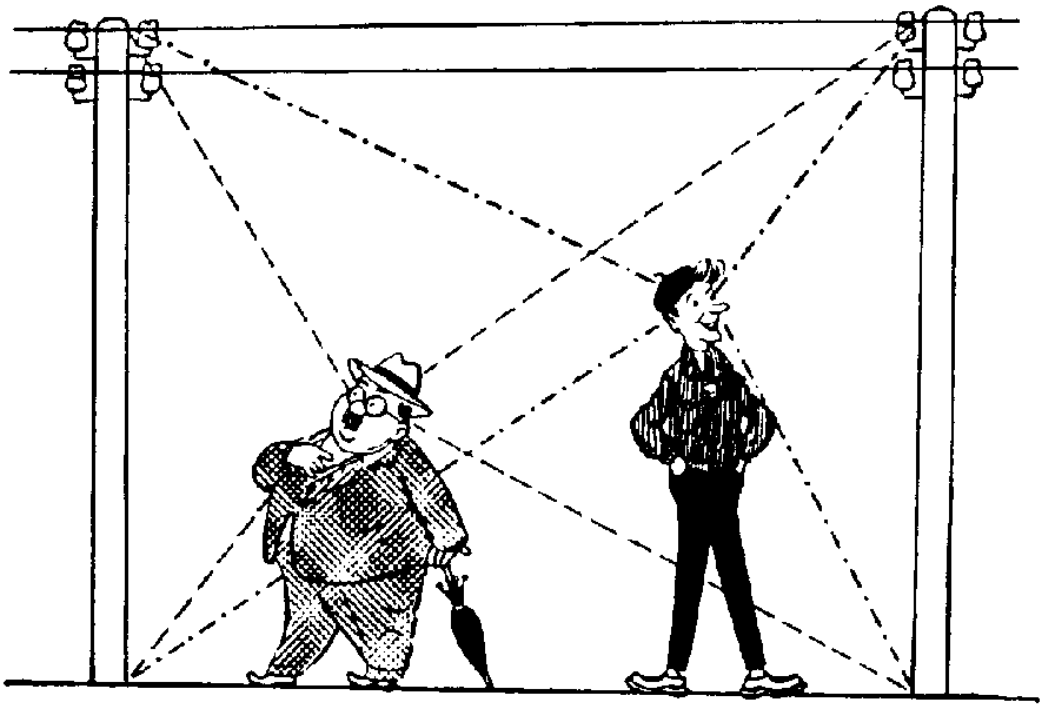
این حالت کاملا شبیه بهمان دو نفر بیننده‌ای استکه کنار دو تیر تلگراف ایستاده هر یک اظهار میکند که زاویه‌ای که تحت آن تیر تلگرافش دیده میشود از زاویه دید تیر دیگر بزرگتر است.

ماشین زمان

حالا فرض میکنیم که قطار انشتین در مسیر مستقیم حرکت نکرده در راه‌آهن کمربندی حرکت کند و پس از گذشت زمان معین دوباره به ایستگاه مبداء برگردد. همانطوریکه بر ما معلوم شد در این حالت نیز مسافر متوجه میشود که ساعتش عقب افتاده و هر قدر قطار سریع‌تر حرکت کند همان قدر ساعتش بیشتر عقب میافتد. با افزایش سرعت حرکت قطار انشتین در راه‌آهن کمربندی میتوان به حالتی رسید که در همان مدتی که از نظر مسافر فقط و فقط یک روز میگذرد، از نظر رئیس ایستگاه راه‌آهن سالها سپری شود. سرنشین ما که بعد از یک روز (مطابق با ساعت خودش!) بقصد خانه به ایستگاه مبداء در راه‌آهن کمربندی برمیگردد، درمیابد که تمام بستگان و دوستانش مدتها است که مرده‌اند.

بر خلاف مسافرت بین دو ایستگاه که مسافر ساعت خودش را با ساعت‌های گوناگون کنترل میکند، هنگام مسافرت در مسیر حلقوی نه سه عدد ساعت بلکه فقط دو عدد ساعت را مقایسه میکند یعنی ساعت قطار و ساعت ایستگاه مبدأ.

آیا در اینجا تضادی با اصل نسبیت حرکت نیست؟ و آیا میتوان مسافر را در حال سکون پنداشت و ایستگاه را با سرعتی مساوی با سرعت قطار انشتین در حال حرکت در مسیر حلقوی دانست؟ در این صورت ما باین نتیجه میرسیدیم که در همان مدتی که برای مردم در ایستگاه یک روز میگذشت، برای سرنشینان قطار سالها سپری میشد. و اما یک چنین استدلالی نادرست است و علتش هم ذیلاً معلوم میشود.



ما برای خود روشن کردیم که فقط جسمی را که هیچگونه نیروئی به آن تأثیر نکند میتوان ساکن پنداشت. درست است که نه تنها یک حالت سکون بلکه تعداد بی‌شمار «حالات سکون» موجود است و بطوریکه میدانیم دو جسم ساکن میتوانند نسبت بهمدیگر حرکت مستقیم و یکنواخت داشته باشند. اما از قرار معلوم بر ساعت قطار انشتین که در راه‌آهن کمربندی شتابان است نیروی گریز از مرکز آشکارا تأثیر کرده و لذا به هیچوجه نمیتوانیم آن ساعت را ساکن حساب کنیم. در این صورت اختلاف میان خواندن ساعت ساکن ایستگاه و ساعت در قطار انشتین مطلق است.

هرگاه دو نفر که ساعت‌هایشان وقت برابر را نشان میدهد از هم جدا شده و پس از مدتی دوباره یکدیگر را ملاقات نمایند، ساعت آنکس وقت بیشتری را نشان میدهد که یا ساکن بود یا بطور مستقیم و یکنواخت حرکت کرد یعنی همان ساعتی که بر آن هیچگونه نیروئی تأثیر نکرد.

مسافرت در راه‌آهن با سرعتی نزدیک بسرعت حرکت نور به ما امکان اصولی میدهد لااقل تا اندازه‌ای به «ماشین زمان» ولز جامهٔ عمل بپوشانیم بطوریکه هنگام پیاده شدن مجدد در ایستگاه مبداء درمیابیم که در زمان آینده هستیم. درست استکه ما میتوانیم با این ماشین

زمان به آینده مسافرت کنیم ولی از امکان برگشت به گذشته محروم هستیم. و وجه تمایز بزرگ آن با ماشین ولز در همین است.

حتی بیهوده است، اگر آرزو شود که در سایه پیشرفت علم در آینده روزی بشود بگذشته مسافرت کرد. و گر نه در این صورت مجبور میشدیم امکان اصولی مزخرف‌ترین حالات را قبول کنیم. در حقیقت هم با مسافرت بگذشته به شخص چنان وضع پیچیده و مزخرفی دست میداد که گویا پدرومادرش هنوز پا بعرصه وجود نگذاشته‌اند.

واما در مسافرت به آینده فقط یک تضاد ظاهری نهفته است.

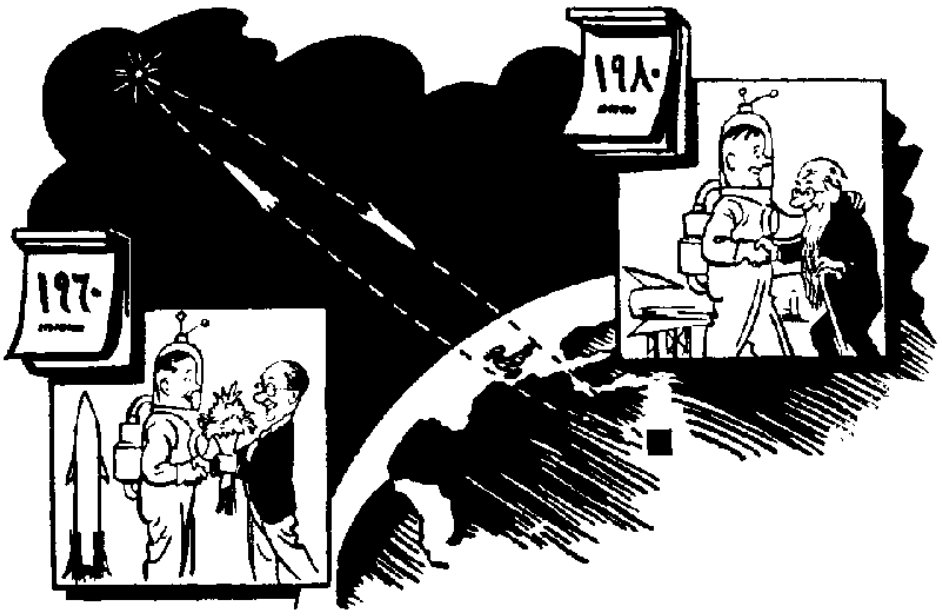
سفری به ستاره

در آسمان ستارگانی هستند که فاصله آنها تا زمین باندازه‌ای است که نور آنرا در چهل سال طی میکند. نظر باینکه ما هم اکنون میدانیم که حرکت با سرعتی مافوق سرعت حرکت نور امکان‌پذیر نیست میتوان چنین نتیجه گرفت که رسیدن باین ستاره در فاصله زمان کمتر از ۴۰ سال غیر مقدور است. اما یک چنین نتیجه‌گیری که در آن تغییر زمان مربوط به حرکت در نظر گرفته نمیشود غلط است.

فرض کنیم که ما با موشک انشتین که سرعتش برابر با ۲۴۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است به ستاره‌ای پرواز میکنیم. از نظر ساکنین زمین ما بعد از ۵۰ سال یعنی $\frac{۳۰۰۰۰۰ \times ۴۰}{۲۴۰۰۰۰} = ۵۰$ به آن ستاره میرسیم.

برای ما که با موشک انشتین در حال پرواز هستیم، مدت پرواز با سرعت مزبور به نسبت $\frac{۱۰}{۶}$ (ده بر شش) کوتاه‌تر شده و در نتیجه نه بعد از ۵۰ سال بلکه پس از ۳۰ سال یعنی $۵۰ \times \frac{۶}{۱۰} = ۳۰$ به ستاره میرسیم.

با افزایش سرعت حرکت موشک انشتین تا نزدیک سرعت نور میتوان برای رسیدن مسافران به ستاره‌ای چنین دور بمقدار دلخواه



وقت لازم را کوتاه کرد. بطور نظری هنگام پرواز با سرعت بسیار زیاد میتوان حتی در ظرف یک دقیقه به ستاره‌ای رفت و از آنجا به زمین برگشت! در عین حال همین مدت یک دقیقه، در زمین ۸۰ سال بطول می‌انجامید.

بنظر میرسد که با یک چنین پروازی امکان تمدید عمر انسان فراهم میگردد، البته فقط از نظر دیگران زیرا که انسان مطابق با زمان «خود» پیر میشود. ولی متأسفانه با مطالعه دقیقتر، چنین دورنمائی خیلی ناچیز از کار درمیآید.

در وهله اول باید گفت که ارگانیسم انسان سازگاری لازم را برای زندگی در شرایط شتاب مداوم و تا اندازه محسوسی متجاوز از شتاب ثقل زمین ندارد. پس برای اینکه به سرعتی نزدیک سرعت حرکت نور برسیم زمان نسبتاً طولانی لازم است. محاسبات نشان میدهد که در مسافرت ۶ ماهه با ازدیاد سرعتی مساوی با شتاب ثقل زمین میتوان فقط به اندازه یک ماه و نیم در وقت صرفه‌جوئی کرد. اگر این مسافرت را تمدید کنیم برد وقت بسرعت افزایش خواهد یافت و با یک سال پرواز با موشک میشود بطور اضافی یک سال و نیم دیگر هم برد کرد و مسافرت ۲ ساله بما ۲۸ سال برد میدهد و طی ۳ سالی که در موشک بسر ببریم بیش از ۳۶۰ سال در زمین میگذرد!

این ارقام نسبتاً امیدبخش بنظر میرسند.

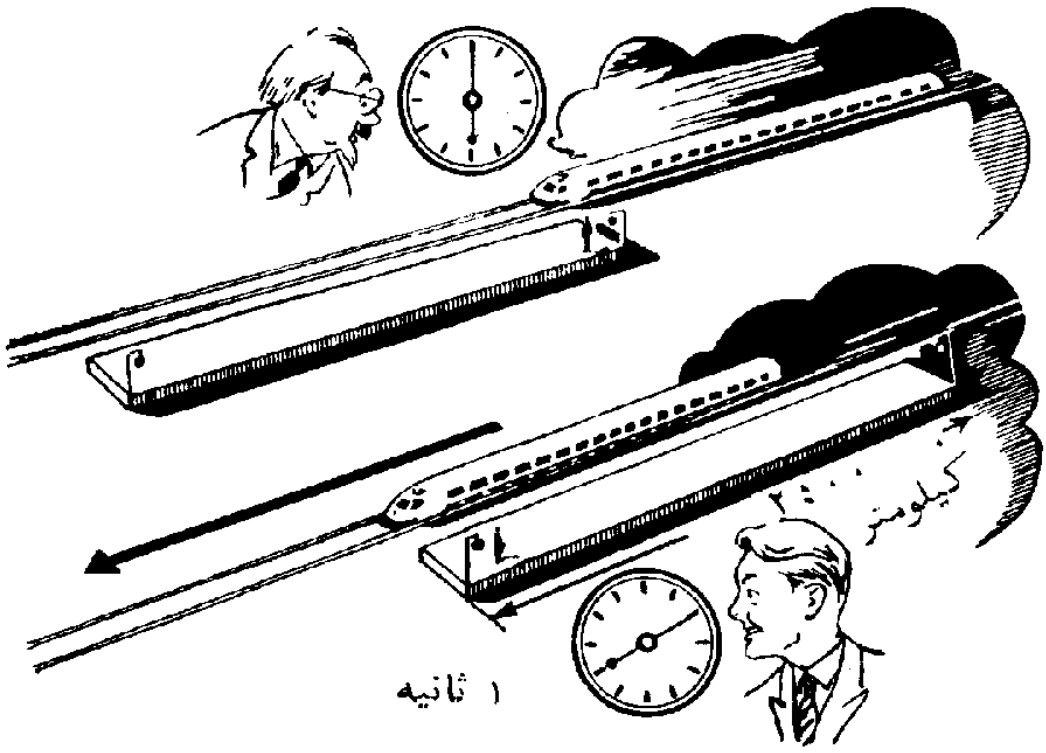
و اما مسأله مصرف انرژی از این بدتر است. انرژی موشک در حال حرکت که وزنش بسیار ناچیز مثلاً یک تن است برای پرواز با سرعت ۲۶۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه (یک چنین سرعتی برای «دو برابر کردن» وقت لازم است یعنی برای اینکه هر سال مسافرت در موشک معادل دو سال زمین باشد) معادل ۲۵۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ کیلووات ساعت است. این مقدار انرژی در ظرف چندین سال در تمام کره زمین تولید میشود.

و اما ما تنها انرژی موشک در حال پرواز را حساب کردیم. و آنمقدار انرژی را که ابتدا باید صرف شود تا سرعت دستگاه پرواز به ۲۶۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه برسد مد نظر نگرفتیم. تازه هم در پایان مسافرت، موشک باید ترمز کند تا بدون خطر امکان فرود بزمین فراهم گردد. برای انجام اینکار چقدر انرژی لازم است؟

حتی ما اگر سوختی را در اختیار داشتیم که جریان گاز خروجی با بزرگترین سرعت ممکن، یعنی سرعت نور، از موتور جت بخارج فوران میزد در آنصورت نیز این انرژی حتی بایستی ۲۰۰ برابر آن مقدار انرژی باشد که در بالا حساب کردیم، یعنی مجبور میشدیم بهمان اندازه انرژی مصرف کنیم که بشر در ظرف چند ۱۰ سال تولید میکنند. در واقع سرعت جریان گاز خروجی موتورهای موشک دهها هزار بار کمتر از سرعت نور است. بنا بر این انرژی لازم برای پروازی که ما در نظر مجسم کردیم خارج از حد تصور است.

اجسام کوتاه میشوند

بطوریکه ما همین الان اطمینان پیدا کردیم زمان دیگر از منار مطلق بودنش بزمین پرت شد و دارای یک مفهوم نسبی است و مستلزم ذکر دقیق آزمایشگاههائی است که اندازه گیری در آنجا به عمل میآید. و حالا توجه خود را معطوف فضا میکنیم. تا قبل از شرح تجربه مایکلسن ما پی بردیم که فضا مفهوم نسبی دارد. با وجود چنین نسبیتی ما برای ابعاد اجسام جنبه مطلق قایل بودیم. یعنی حساب میکردیم که ابعاد از خواص خود جسم است و وابسته باین نیست که



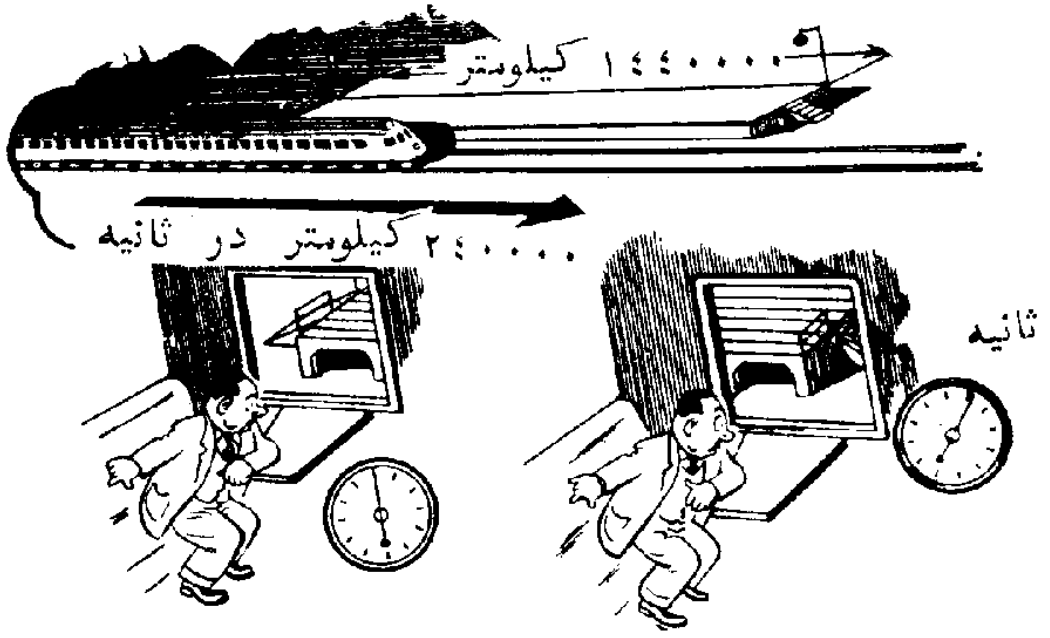
در کدام آزمایشگاه مشاهده بعمل میاید. و اما نظریهٔ نسبیت ما را بر آن میدارد که با این عقیده هم وداع کنیم. این عقیده نیز مانند تصور درباره زمان مطلق فقط نتیجه قضاوت غلط ما میباشد که ناشی از آن است که ما همیشه با سرعت‌هائی سروکار داریم که در مقایسه با سرعت نور بسیار ناچیز هستند.

فرض کنیم که قطار انشتین با سرعت از نزدیک سکوی ایستگاه بطول ۲۴۰۰۰۰۰ کیلومتر رد شود.

آیا مسافران قطار انشتین با یک چنین اظهار نظری موافقت میکنند؟

قطار طول سکو را در ظرف ۱۰ ثانیه ($\frac{۲۴۰۰۰۰۰}{۲۴۰۰۰۰}$=۱۰) مطابق با ساعت ایستگاه طی میکند. ولی مسافران خودشان ساعت دارند، و مطابق با ساعت‌های آنها قطار در مدت کمتری از یک سر به سر دیگر سکو میرسد. همانطور که میدانیم این مدت زمان برابر با ۶ ثانیه است. بنا بر این سرنشینان به حق استنباط میکنند که طول سکو ۲۴۰۰۰۰۰ کیلومتر نبوده بلکه ۲۴۰۰۰۰۰×۶=۱۴۴۰۰۰۰۰ کیلومتر میباشد.

پس می‌بینیم که درازی سکو از نظر آزمایشگاهی که نسبت بآن

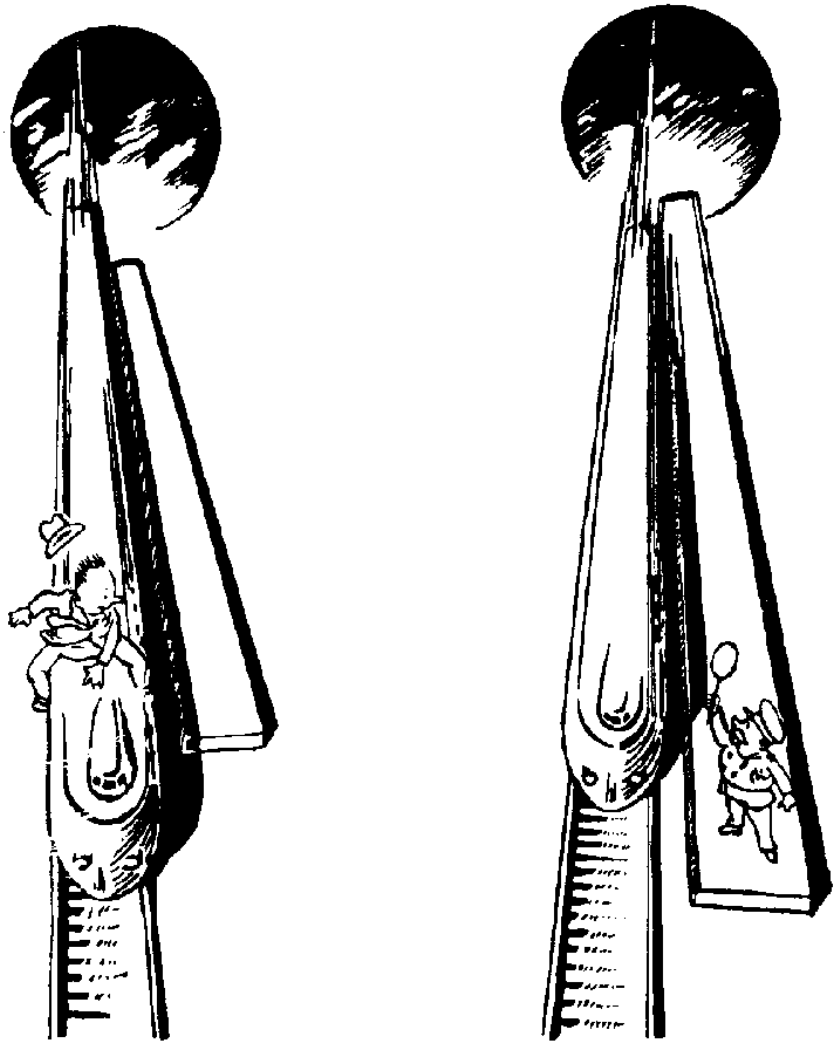


ساکن است بیشتر از آزمایشگاهی است که سکو نسبت بآن در حال حرکت است. اندازه هر جسم در جهت حرکت آن تقلیل میابد.

و اما این تقلیل طول بهیچوجه دال بر مطلق بودن حرکت نیست: کافی است که ما در آزمایشگاهی که نسبت به جسم ساکن است قرار بگیریم تا جسم دوباره درازتر گردد. و مانند همین هم سرنشینان درمیابند که سکو کوتاه‌تر شده ولی مردمی که روی سکو هستند بنظرشان میرسد که قطار انشتین کوتاه‌تر شده است (به نسبت ٦ بر ۱۰).

و این جریان خطای باصره نیست. هر اسباب اندازه‌گیری دلخواهی که بشود با استفاده از آن طول جسم را اندازه گرفت همین نتیجه را خواهد داد.

بمناسبت کشف تقلیل اندازه اجسام ما اکنون باید در بحث پیشین خود (صفحه ٤۳) درباره باز شدن درهای قطار انشتین اصلاح وارد کنیم. درست در همان موقع که ما بعنوان بیننده در سکوی ایستگاه لحظه باز شدن درها را محاسبه میکردیم قبول کردیم که طول قطار متحرک و قطار ساکن یکسان است. در صورتیکه طول قطار برای مردم روی سکو کمتر شد. مطابق با این واقعیت، فاصله زمان واقعی میان باز شدن درها از نظر ساعت ایستگاه در واقع برابر با ٤۰ ثانیه نخواهد بود بلکه برابر فقط $\frac{٦}{۱۰} \times ٤۰ = ۲٤$ ثانیه میباشد.



پیدا است که چنین اصلاحی برای نتیجه‌ایکه قبلاً گرفته بودیم مهم نیست.

تصاویری که در این صفحه کشیده شده نمایشگر قطار انشتین و سکوی ایستگاه از نظر بیننده در قطار و ناظر روی سکو میباشد.

ما میبینیم که در تصویر سمت راست، سکو از قطار درازتر است و در تصویر سمت چپ قطار از سکو.

آیا کدامیک از این تصاویر با واقعیت مطابقت دارد؟

این سؤال هم بهمان اندازه بی‌معنا و پوچ است که سؤال درباره چوپان و گاو در صفحه ۹.

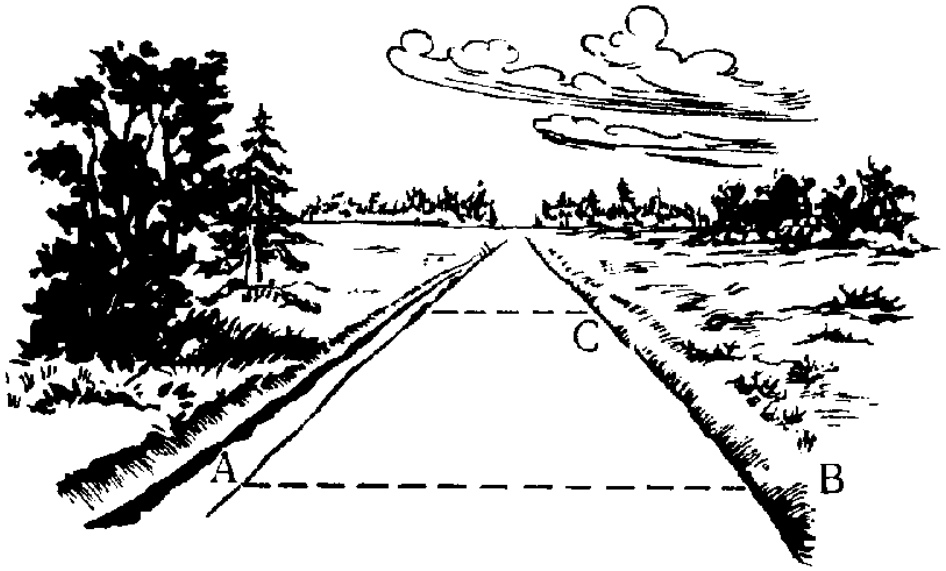
هر دو، تصویر همان یگانه واقعیت عینی است که از نقطه نظرهای گوناگون ترسیم شده است.

اگر یک مسافر با سرعت ٥ کیلومتر در ساعت بطرف سر قطاری که سرعت آن ٥٠ کیلومتر در ساعت است برود نسبت به ریل راه‌آهن چه سرعتی خواهد داشت؟ روشن است که سرعت مسافر نسبت به ریل برابر با ٥٥ کیلومتر در ساعت میباشد یعنی ٥٥=٥+٥٠. این استدلال ما بر اساس قانون ترکیب سرعت‌ها بنا شده و در مورد صحت این قانون هیچ شکی بما دست نمیدهد. در حقیقت هم، قطار در یک ساعت ٥٠ کیلومتر و مسافر در قطار اضافه بر آن، ٥ کیلومتر دیگر طی میکند. و مجموعاً همان ٥٥ کیلومتر میشود که راجع بآن در فوق صحبت کردیم.

واضح استکه وجود سرعت حد در جهان، قابلیت استعمال عمومی قانون ترکیب سرعت‌ها را در مورد سرعت‌های بسیار کم یا بسیار زیاد از قوه اعتبار خارج میسازد. چون اگر مسافر در قطار انشتین مثلاً با سرعت ١٠٠٠٠٠ کیلومتر در ثانیه حرکت کند سرعت آن نسبت به ریل راه‌آهن نمیتواند برابر با = ١٠٠٠٠٠+٢٤٠٠٠٠ ٣٤٠٠٠٠= کیلومتر در ثانیه باشد زیرا که این سرعت از سرعت نور هم متجاوز است و در نتیجه یک چنین سرعتی نمیتواند در طبیعت وجود داشته باشد.

بنا بر این، قانون ترکیب سرعت‌ها که همه‌روزه از آن استفاده میکنیم فقط برای سرعت‌هائیکه نسبت بسرعت حرکت نور بسیار ناچیز هستند صادق است.

خواننده‌ای که مدتها است به تمام ضدونقیض‌های نظریه نسبیت عادت کرده بآسانی درک خواهد کرد که آن استدلال بظاهر واضح که بکمک آن همین الان قانون ترکیب سرعت‌ها را فرمول‌بندی کردیم غیر قابل استعمال است. چون برای این منظور ما مسافاتی را که در ظرف یک ساعت مسافر در قطار و قطار در راه‌آهن طی کرده‌اند باهم جمع کردیم. ولی نظریه نسبیت بما نشان میدهد که این مسافات را نمیشود باهم جمع کرد. این امر همان قدر بی‌معنا میشد که اگر برای حساب کردن مساحت میدانیکه در صفحه ٥٦ تصویر شده درازی قطعه AB و BC را درهم ضرب میکردیم و در ضمن غافل



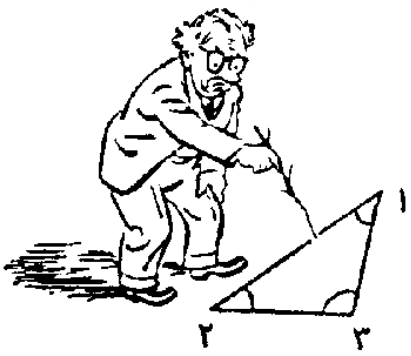
میبودیم از اینکه ضلع BC در اثر دورنمائی تصویر تحریف شده است. گذشته از آن برای تعیین سرعت مسافر نسبت به ایستگاه ما باید راهی را که او بوقت ایستگاه ظرف یک ساعت پیموده تعیین کنیم، در حالیکه برای تعیین سرعت مسافر در قطار ما از وقت قطار استفاده کردیم، همانطور که ما دیگر میدانیم این دو امر اصلاً یکسان نیست.

بنا بر این سرعت‌هائیکه لااقل یکی از آنها قابل قیاس با سرعت نور باشد کاملاً بر خلاف آنچه که ما بدان عادت کرده‌ایم باهم ترکیب میشوند. این ترکیب غیر عادی سرعت‌ها را میتوان در تجربه مثلاً هنگام انتشار نور در آب جاری مشاهده کرد (که قبلاً بدان اشاره کردیم). یک چنین حالتی، که سرعت انتشار نور در آب جاری برابر مجموع سرعت نور در آب ساکن و سرعت حرکت آب نیست، بلکه کمتر از مجموع آنها است نتیجه مستقیم و روشن نظریه نسبیت است.

سرعتهائیکه مقدار یکی از آنها درست باندازه ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه باشد بطور خودویژه‌ای ترکیب میشوند. همانطوریکه میدانیم این سرعت دارای این خاصیت است که بطرز حرکت آزمایشگاههائی که از آنجا مشاهده میشود بستگی نداشته و همیشه ثابت میباشد. بدیگر سخن هرگونه سرعت را اگر با سرعت ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه جمع کنیم، دوباره همان سرعت ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه را بدست میاوریم.

$\angle 1 + \angle 2 + \angle 3 > 180^\circ$

$\angle 1 + \angle 2 + \angle 3 = 180^\circ$



برای اثبات عدم امکان استعمال قاعده معمولی ترکیب سرعت‌ها میتوان تشابهی ساده آورد.

همانطوریکه میدانیم در مثلث مسطح (نگاه کنید بشکل چپ این صفحه) مجموع زوایا برابر با مجموع دو زاویه قائمه است. اما فرض کنیم که مثلثی در سطح کره زمین (شکل راست) رسم شده باشد. در نتیجه کرویت زمین، مجموع زوایای یک چنین مثلثی بیشتر از مجموع دو زاویه قائمه خواهد بود. این اختلاف تنها هنگامی محسوس میشود که اندازه‌های مثلث با اندازه زمین قابل قیاس باشد.

همانطوریکه در اندازه‌گیری مساحت قطعات کوچک زمین میتوان از قواعد هندسه مسطحه استفاده کرد در ترکیب سرعت‌های کم نیز میتوان از قاعده معمولی ترکیب آنها استفاده نمود.

فصل ششم

کار باعث تغییر جرم میشود

جرم

فرض کنیم که میخواهیم یک جسم ساکن را با سرعت معین بحرکت درآوریم. برای این منظور باید بدان نیرو وارد سازیم. آنگاه اگر نیروهای خارجی مانند نیروی اصطکاک در حرکت جسم ممانعت ایجاد نکند، جسم به حرکت درآمده و با سرعت دائم‌التزاید به حرکت خود ادامه خواهد داد. پس از گذشت زمان کافی ما میتوانیم سرعت جسم را بحد لزوم برسانیم. در ضمن درمیابیم که برای دادن سرعت های مطلوب باجسام گوناگون به کمک نیروی معین فواصل زمانی مختلف لازم میشود.

برای رهائی از نیروی اصطکاک فرض کنیم که در فضای کائنات دو کره باندازه مساوی یکی از سرب و دیگری از چوب وجود داشته باشد. ما هر یک از این دو کره را با نیروهای یکسان تا هنگامیکه سرعتشان مثلاً به ۱۰ کیلومتر در ساعت برسد میکشیم.

واضح استکه برای رسیدن باین نتیجه باید طی مدت بیشتری بکره سربی نسبت به کره چوبی نیرو وارد ساخت. در بیان یک چنین حالتی میگویند که کره سربی جرم بیشتری نسبت بکره چوبی دارد. نظر باینکه سرعت هنگام تأثیر نیروی ثابت، متناسب با زمان افزایش میابد، نسبت زمان لازم برای رسیدن به سرعت مفروض از حال سکون، بخود

سرعت، بعنوان میزان جرم تلقی میشود. جرم متناسب با این نسبت است، در حالیکه ضریب تناسب بستگی بآن نیروئی دارد که جسم را به حرکت درمیآورد.

جرم افزایش میابد

جرم یکی از مهمترین خواص هر جسم است. ما عادت کرده‌ایم که همیشه جرم جسم بلاتغییر میماند و از جمله به سرعت آن بستگی ندارد. این امر از اظهار نظر اولیه ما ناشی میگردد که افزایش سرعت هنگام تأثیر نیروی ثابت نسبت مستقیم دارد با مدت تأثیر آن.

یک چنین اظهاری بر اصل معمولی ترکیب سرعت‌ها پایه‌گذاری شده است. اما ما همین الان ثابت کرده‌ایم که این قاعده در تمام موارد قابل استعمال نیست.

برای اینکه مقدار سرعت را در آخر ثانیه دوم تأثیر نیرو حاصل کنیم ما معمولا چطور عمل میکنیم؟ مطابق با قاعده معمولی ترکیب سرعت‌ها سرعتی را که جسم در پایان ثانیه اول داشت با سرعتی که در ثانیه دوم بخود گرفت جمع میکنیم.

اما تا موقعی میشود بدین شکل عمل کرد که مقدار سرعت‌های بدست‌آمده با سرعت نور نزدیک و قابل قیاس شود. در این حالت دیگر نمیشود از قاعده قدیمی استفاده کرد. هنگام ترکیب سرعت‌ها با در نظر گرفتن نظریه نسبیت ما همیشه نتیجه کمتری به دست میآوریم تا با استفاده از قاعده قدیمی ترکیب سرعت‌ها که اکنون دیگر قابل استعمال نیست. و این بدان معنا است که هنگامیکه سرعت مقادیر زیادی بخود میگیرد دیگر متناسب با زمان تأثیر نیرو، افزایش نخواهد یافت بلکه کندتر افزایش میابد. و این خود روشن است زیرا که «سرعت حد» وجود دارد.

هر چه سرعت جسم به سرعت نور نزدیک‌تر شود و ضمناً نیروی وارده ثابت بماند کندتر و کندتر افزایش میابد بطوریکه هیچگاه از سرعت حد تجاوز نخواهد کرد.

تا وقتیکه امکان داشت تصدیق شود که سرعت جسم متناسب با زمان تأثیر نیرو افزایش میابد، میشد قبول کرد که جرم جسم

وابسته به سرعت آن نیست. ولی هنگامیکه سرعت جسم قابل قیاس با سرعت نور میشود، تناسب میان زمان و سرعت جسم از بین رفته و جرم به سرعت بستگی پیدا میکند. نظر باینکه، زمان شتاب بینهایت افزایش میابد و سرعت نمیتواند از مقدار حد تجاوز کند، ما میبینیم که جرم همراه با سرعت **زیاد** میگردد، و وقتیکه سرعت جسم با سرعت سیر نور مساوی میشود، بمقدار بینهایت میرسد.

محاسبه نشان میدهد که جرم جسم هنگام حرکت بهمان نسبت زیاد میگردد، که درازای آن هنگام حرکت کم میگردد. با این ترتیب جرم قطار انشتین که با سرعت ۲٤۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه حرکت میکند نسبت به جرم قطار ساکن $\frac{۱۰}{٦}$ برابر زیادتر است.

کاملاً طبیعی است، مادامکه با سرعت‌های کم نسبت به سرعت نور سروکار داریم، میشود از تغییر جرم چشم‌پوشی کرد درست همانطوریکه ما از وابستگی اندازه‌های جسم به سرعت آن، یا از وابستگی فاصله زمان میان دو حادثه به سرعت‌های حرکت بینندگان آن حادثه‌ها چشم‌پوشی میکنیم.

وابستگی جرم به سرعت را که از نظریه نسبیت سرچشمه میگیرد، میشود بطور مستقیم در تجربه هنگام مشاهده حرکت الکترونهای سریع امتحان کرد.

در شرایط تجربی معاصر، سرعت حرکت الکترون نزدیک بسرعت نور یک چیز معمولی است و نه کمیاب. در دستگاههای تسریع کننده مخصوص الکترونها را با چنان سرعتی بگردش درمیاورند که فقط ۳۰ کیلومتر در ثانیه از سرعت نور کمتر میباشد.

با این ترتیب فیزیک معاصر در چنان وضعی است که میتواند جرم الکترونهای فوق‌العاده سریع را با جرم الکترونهای ساکن مقایسه کند. نتایج تجربی وابستگی جرم به سرعت را که از اصل نسبیت ناشی میگردد تمام و کمال به ثبوت رسانده است.

قیمت یک گرم نور چقدر است؟

مقدار افزایش جرم جسم با کاری که روی آن انجام گردیده ارتباط نزدیک دارد و با مقدار کاریکه جهت به حرکت درآوردن جسم لازم است نسبت مستقیم دارد. در عین حال لزومی ندارد که

کار فقط برای بحرکت درآوردن جسم مصرف شود. هر گونه کاری که روی جسم انجام شود یا هر نوع افزایش انرژی جسم، جرم آنرا زیادتر میکند. بهمین علت، مثلا جرم جسم داغ بیشتر از جرم جسم سرد یا جرم فنر فشرده از جرم فنر آزاد بیشتر است. البته ضریب تناسب میان تغییر جرم و تغییر انرژی بقدری ناچیز است که برای زیادتر کردن جرم جسم بمقدار یک گرم، انرژی برابر با ۲۰ میلیون کیلوات ساعت را باید بآن بخشید.

و بهمین سبب است که تغییر جرم جسم در شرایط معمولی بحد ناچیز است و دقیق‌ترین اندازه‌گیریها در برابر آن ناتوان است. مثلا در اثر گرم گردن یک تن آب از صفر درجه تا نقطه جوش جرم آن تقریباً باندازه پنج ملیونیم گرم زیادتر میشود.

اگر یک تن زغال را در یک کوره کاملا دربسته بسوزانیم، پس از سرد شدن محصول احتراق جرمش باندازه فقط یک سه‌هزارم گرم کمتر از مجموع جرمهای کربن و اکسیژنی است که برای تشکیل آن مصرف شده است. و این جرم، همان مقدار گرمائی است که در مراحل حرارتی از دست رفته است.

اما فیزیک معاصر پدیده‌هائی را میشناسد، که تغییر جرم اجسام در آنها رل محسوسی بازی میکند. این پدیده‌ها هنگام برخورد و تصادم هسته‌های اتم که در نتیجه از یک هسته هسته‌های دیگری پیدا میشود محسوس است. مثلا هنگام برخورد هسته اتم هیدروژن با هسته اتم لیتیوم، که در نتیجه، دو اتم هلیوم حاصل میگردد، جرم باندازه $\frac{۱}{۴۰۰}$ مقدار اولیه تغییر میابد.

ما فوقاً گفتیم که برای ازدیاد جرم جسم باندازه یک گرم باید بآن انرژی برابر با ۲۰ میلیون کیلووات ساعت وارد ساخت. از اینجا نتیجه میشود که هنگام تبدیل یک گرم مخلوط لیتیوم و هیدروژن به هلیوم انرژی حاصله ۴۰۰ برابر کمتر میباشد یعنی $\frac{۲۵۰۰۰۰۰۰}{۴۰۰}=۶۰۰۰۰$ کیلووات ساعت است.

اکنون به این سؤال پاسخ میدهیم: گرانبهاترین ماده موجود در طبیعت کدام است (اگر بوزن حساب شود)؟

قبول شده است که رادیوم پرارزش‌ترین ماده طبیعت بشمار میآید زیرا که یک گرمش مطابق با آمار ادبیات خارجی تا همین چندی پیش تقریباً $\frac{1}{4}$ میلیون روبل ارزش داشت.

اینک ارزش نور را حساب میکنیم.

در لامپ‌های الکتریکی فقط $\frac{1}{20}$ انرژی بصورت نور مرئی حاصل میشود. لذا یک گرم نور معادل ۲۰ برابر مقدار کاری است که مساوی ۲۵ میلیون کیلووات ساعت میباشد یعنی برابر با ۵۰۰ میلیون کیلوات ساعت است. حتی اگر قیمت یک کیلووات ساعت را یک کوپک حساب کنیم، ارزش این مقدار انرژی برابر با ۵۰۰۰۰۰ روبل میشود. بنا بر این ارزش یک گرم نور ۲۰ برابر از یک گرم رادیم گران‌تر است.

نتیجه

با این ترتیب، تجارب دقیق و قانع‌کننده ما را بر آن میدارد که صحت نظریه نسبیت را که پرده از اسرار خواص شگفت‌انگیز دنیای اطراف ما، همان خواصی که هنگام مطالعه ابتدائی یا، اگر دقیق تر بگوئیم، سطحی از نظر محو میشوند برمیدارد قبول و تصدیق کنیم.

ما دیدیم که نظریه نسبیت چه تغییرات عمیقی در مفاهیم و تصورات اصلی که بشر طی قرن‌ها بر اساس تجربه زندگی روزمره بوجود آورده است وارد میسازد.

آیا این بمعنای ورشکستگی کامل تصورات و مفاهیم عادی نیست؟

و آیا بدان معنی نیست که تمام آن فیزیک که تا قبل از پیدایش نظریه نسبیت ایجاد شده بود خط بطلان خورده و مانند گالش کهنه‌ای که روزگاری خدمتش را کرده و اکنون بدرد هیچ کس نمی‌خورد باید بدور انداخته شود؟

اگر کار بدین جا ختم میشد، دیگر انجام تحقیقات علمی بیهوده میبود و هیچگاه نمیشد اطمینان داشت، که در آینده آموزش جدیدی پیدا نشود که کاخ آموزش قدیمی را واژگون بسازد.

و اما مسافری را در نظر مجسم کنیم که نه با قطار انشتین بلکه با یک قطار معمولی مثلا با قطار سریع‌السیر حرکت کرده و از بیم آنکه مبادا ساعتش نسبت بوقت ایستگاه عقب بیافتد بفکر اصلاح بر مبنای نظریه نسبیت افتد. مسلم است که چنین عملی ما را بخنده میانداخت. در واقع گذشته از اینکه این اصلاح قسمت ناچیزی از ثانیه را تشکیل میدهد فقط تأثیر تکانهای قطار در دقیقترین ساعت بمراتب بیشتر از آن اصلاح است.

یک مهندس شیمی که هنگام گرم شدن آب در ثابت بودن جرم آن شک و تردید داشته باشد آشکارا به سرگیجه و حماقت افتاده است. و در عوض، آن دانشمند فیزیک را که ضمن مشاهده تصادم و برخورد هسته‌های اتم تغییرات جرم را هنگام تبدیل هسته‌ای در نظر نگیرد باید بخاطر جهالتش از آزمایشگاه بیرون راند.

طراحان با استفاده از قوانین قدیمی فیزیک موتورهای خود را طرح ریزی کرده و در آینده هم خواهند کرد. زیرا که تأثیر اصلاح مبنی بر نظریه نسبیت در ماشین‌هایشان کمتر از تاثیر یک میکروب است که روی چرخ طیار نشسته باشد. و اما فیزیکدانی که مشغول مشاهده حرکت الکترونهای سریع است موظف است تغییر جرم الکترونها را در اثر تغییر سرعت بحساب آورد.

بدین ترتیب نظریه نسبیت مفاهیم و مدرکات را که توسط علوم قدیمی بوجود آمده است رد نکرده بلکه فقط عمیق‌تر ساخته و حدودی را معین میکند، که در چهارچوب آن میتوان از این مفاهیم قدیمی بدون آنکه نتیجه نادرست بدهد استفاده نمود. تمام قوانین طبیعت که تا قبل از پیدایش نظریه نسبیت توسط فیزیکدانان کشف شده لغو نگردیده منتها حدود استعمال آنها بطور روشن مشخص میشود.

ارتباط میان آن فیزیک که بر مبنای نظریه نسبیت بنا شده یا فیزیک نسبیت با فیزیک قدیمی یا کلاسیک تقریباً مانند ارتباط میان ژئودزی عالی که شکل کروی زمین را در نظر میگیرد و ژئودزی معمولی که از کروی بودن زمین چشم‌پوشی کرده است میباشد. ژئودزی عالی باید نسبیت مفهوم خط قائم را نقطه مبداء قرار دهد و فیزیک نسبیت باید نسبیت ابعاد جسم و فاصله زمان میان دو حادثه

را در نظر داشته باشد، حال آنکه فیزیک کلاسیک کوچکترین درکی از نسبیت نمی‌کند.

همانطوریکه ژئودزی عالی بر مبنای ژئودزی معمولی ریشه و اساس گرفت و پیشرفت کرد همانطور هم فیزیک نسبیت نتیجه پیشرفت و گسترش فیزیک کلاسیک است.

بشرطی که شعاع کره زمین را بی‌نهایت بزرگ فرض کنیم، میتوانیم فرمولهای هندسه کروی یعنی هندسه روی سطح کره را، به فرمولهای هندسه مسطحه یعنی هندسه روی سطح مستوی تبدیل کنیم. در آن صورت زمین دیگر کروی نبوده به یک سطح صاف مبدل گردیده و قائم بر آن مفهوم مطلق بخود میگیرد، و مجموع زوایای داخلی مثلث با مجموع دو زاویه قائم قطعاً برابر خواهد بود.

اگر سرعت نور را بی‌نهایت یعنی انتشار آنرا آنی فرض کنیم میتوانیم در فیزیک نسبی هم تبدیل مشابهی انجام دهیم.

در واقع هم اگر انتشار نور آنی باشد در آنصورت همانطوریکه قبلا دیدیم مفهوم همزمان بودن اعمال و حوادث مطلق خواهد بود. فاصله زمان میان حادثه‌ها و اندازه‌های اجسام بدون اینکه به آزمایشگاهی

که از آن مشاهده بعمل میآید بستگی داشته باشد مفهوم مطلق بخود میگیرد.

در نتیجه، اگر سرعت سیر نور را بی‌نهایت فرض کنیم میتوان عقاید و مدرکات کلاسیک را حفظ کرد.

در عین حال تمام کوشش‌ها برای توام کردن سرعت بی‌نهایت نور با حفظ عقاید و تصورات قدیمی در باره زمان و مکان ما را در موقعیت ناهنجار شخصی قرار میدهد که میداند زمین کروی است ولی اطمینان دارد که خط قایم شهر مسکونیش قایم مطلق است و بخاطر اینکه در فضا پرت نشود نمی‌خواهد از حدود شهر خود پا بیرون نهد.

فهرست مطالب

ص

پشگفتار هیئت تحریریه ۵

پیشگفتار ۶

فصل اول. نسبیتی که ما بدان عادت کرده‌ایم ۷

آیا هر اظهار نظری معنا دارد؟ ۷

طرف چپ و راست ۷

حالا روز است یا شب؟ ۸

کدام‌یک بزرگتر است؟ ۹

نسبی مطلق بنظر میرسد ۱۰

معلوم شد که مطلق هم نسبی است ۱۱

«عقل سلیم» اعتراض میکند ۱۱

فصل دوم. فضا نسبی است ۱۳

آیا همان محل است یا نه؟ ۱۳

در واقع جسم چطور حرکت میکند؟ ۱۴

آیا همه نقطهٔ نظرها یکسان هستند؟ ۱۶

حالت سکون پیدا شد ۱۷

آزمایشگاه ساکن ۱۷

آیا قطار حرکت میکند؟ ۱۸

سکون قطعاً نابود شد ۲۰

قانون اینرسی ۲۰

سرعت هم نسبی است ۲۱

فصل سوم. فاجعه نور ۲۲

نور در یک آن پخش نمیشود ۲۲

آیا میتوان سرعت نور را تغییر داد؟ ۲۲

نور و صوت ۲۳
اصل نسبیت حرکت متزلزل بنظر میرسد ۲٤
«اتر جهانی» ۲۵
وضع دشواری بوجود میآید ۲۷
تجربه باید مسأله را حل کند ۲۸
اصل نسبیت پیروز میشود ۲۹
از چاله درآمدن و بچاه افتادن ۳۰

فصل چهارم. زمان هم نسبی است ۳۲

آیا در واقع در این موضوع تضادی هست؟ ۳۲
سوار قطار میشویم ۳۳
عقل سلیم رسوا شد ۳۵
زمان به سرنوشت فضا دچار میشود ۳٦
علم پیروز میشود ۳۸
سرعت حدی دارد ۳۹
زودتر و دیرتر ٤۱

فصل پنجم. ساعت‌ها و خطکش‌ها بازی درمیآورند ٤۳

دوباره سوار قطار میشویم ٤۳
ساعت‌ها منظماً عقب میافتند ٤۵
ماشین زمان ٤۷
سفری به ستاره ٤۹
اجسام کوتاه میشوند ۵۱
سرعت‌ها بازی درمیآورند ۵۵

فصل ششم. کار باعث تغییر جرم میشود ۵۸

جرم ۵۸
جرم افزایش می‌یابد ۵۹
قیمت یک گرم نور چقدر است؟ ٦۰
نتیجه ٦۲

خوانندگان گرامی

بنگاه نشریات «میر» خواهشمند است نظریات خود را دربارهٔ این کتاب و ترجمه و چاپ آن و نیز سایر نظریات و پیشنهادهای خود را برای ما بفرستید.

بنگاه نشریات «میر» کتاب‌های علمی و برخی کتاب‌های دیگر را به بسیاری از زبانهای جهان، از جمله به زبان فارسی، ترجمه و منتشر میکند. شما میتوانید اطلاعات لازم درباره این کتاب‌ها را از راهنماهای کتابی که همه‌ساله از طرف بنگاه ما انتشار می‌یابد به دست آورید.

خواهشمند است نظریات و پیشنهادهای خود را به نشانیهای زیر بفرستید:

«میر»، پروی ریژسکی ۲،
مسکو، اتحاد شوروی

«مژکنیگا»، گ — ۲۰۰
مسکو، اتحاد شوروی

ادارهٔ بازرگانی خارجی سراسر شوروی «مژدوناروداپا کنیگا».

قابل توجه خوانندگان گرامی!

در سال ۱۹۷۸ بنگاه نشریات «میر» کتاب ب. دمیدویچ «مجموعهٔ مسایل و تمرینات آنالیز ریاضی» را بزبان فارسی چاپ و منتشر خواهد ساخت.

این کتاب متضمن بیش از ۳۰۰۰ مساله و تمرین است. به مهمترین مباحث — تعیین‌حدود، روشهای مشتق‌گیری و انتگرال‌گیری، رسم نمودار توابع، کاربرد انتگرال‌های معین، سری‌ها، حل معادلات دیفرانسیل — توجه خاصی مبذول شده است.

در آغاز هر مبحث مقدمهٔ نظری مختصر و تعاریف و دستورهای اساسی و علاوه بر این نمونه‌های حل انواع اصلی مسایل بررسی شده و برای همهٔ مسایل جواب در آخر کتاب درج شده است.

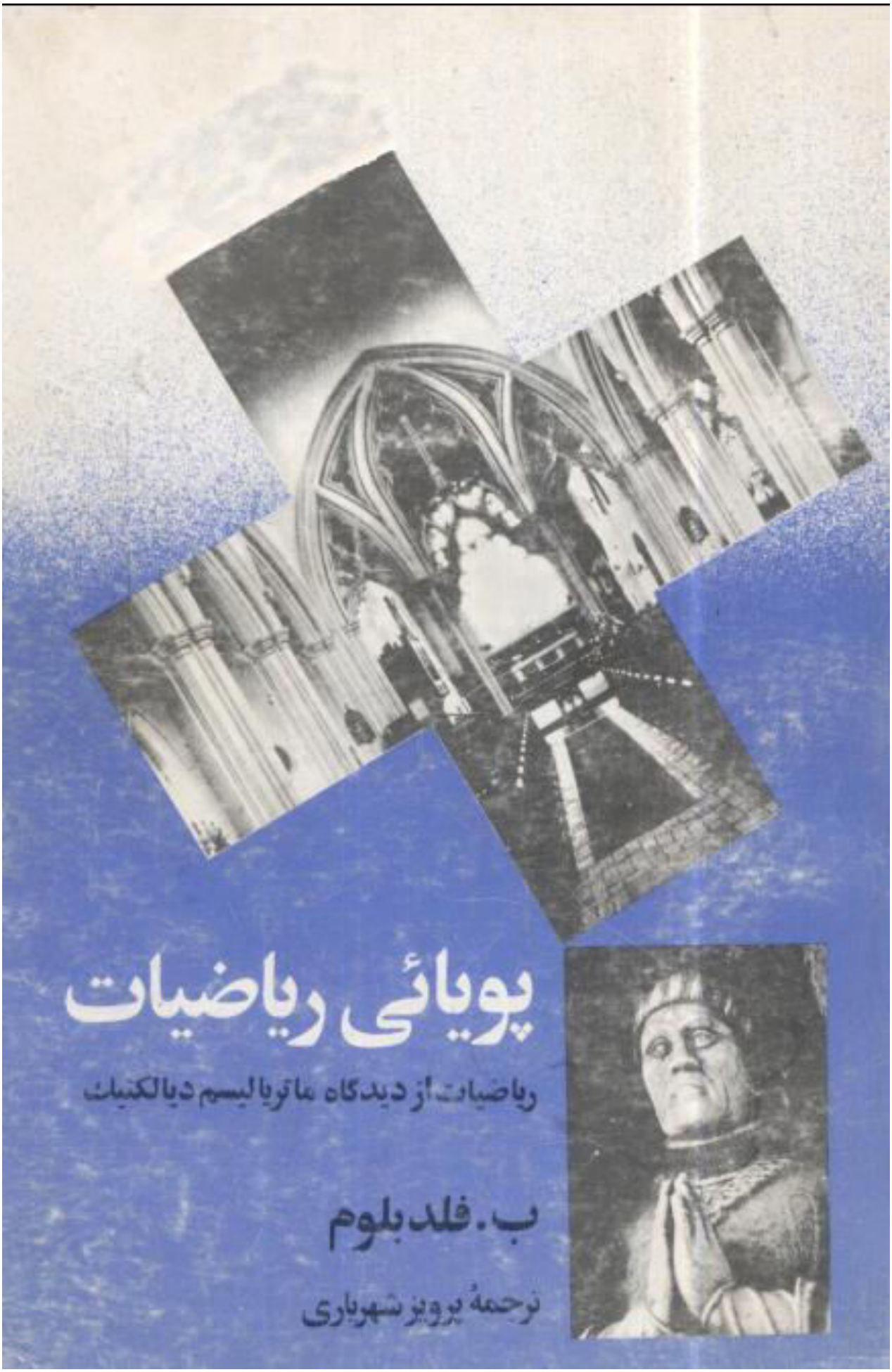
قابل توجه خوانندگان گرامی!

در سال ۱۹۷۸ بنگاه نشریات «میر» کتاب ل. لاندائو و آ. کیتایگورودسکی «فیزیک برای همه» را بزبان فارسی چاپ و منتشر خواهد کرد.

آکادمیسین ل. لاندائو دارندهٔ جوایز لنین و نوبل و جایزهٔ دولتی و آ. کیتایگورودسکی دکتر علوم فیزیک و ریاضی در این کتاب بزبان عامه‌فهم پایه‌های فیزیک عمومی از قبیل فرایندها در گازها و محلول‌ها و در مادهٔ جامد، قوانین حرکت، اصطکاک و نوسانات و صوت را مورد بررسی قرار میدهند. برای فهم مطالب این کتاب فقط آشنائی با پایه‌های جبر دورهٔ دبیرستان کافی میباشد در صورتیکه داشتن معلومات در رشتهٔ فیزیک واجب نیست.

این کتاب برای توده‌های وسیع خوانندگان تدوین شده است.

منتشر شد:


پویائی ریاضیات
ریاضیات از دیدگاه ماتریالیسم دیالکتیک
ب. فلدبلوم
ترجمهٔ پرویز شهریاری

منتشر شد:

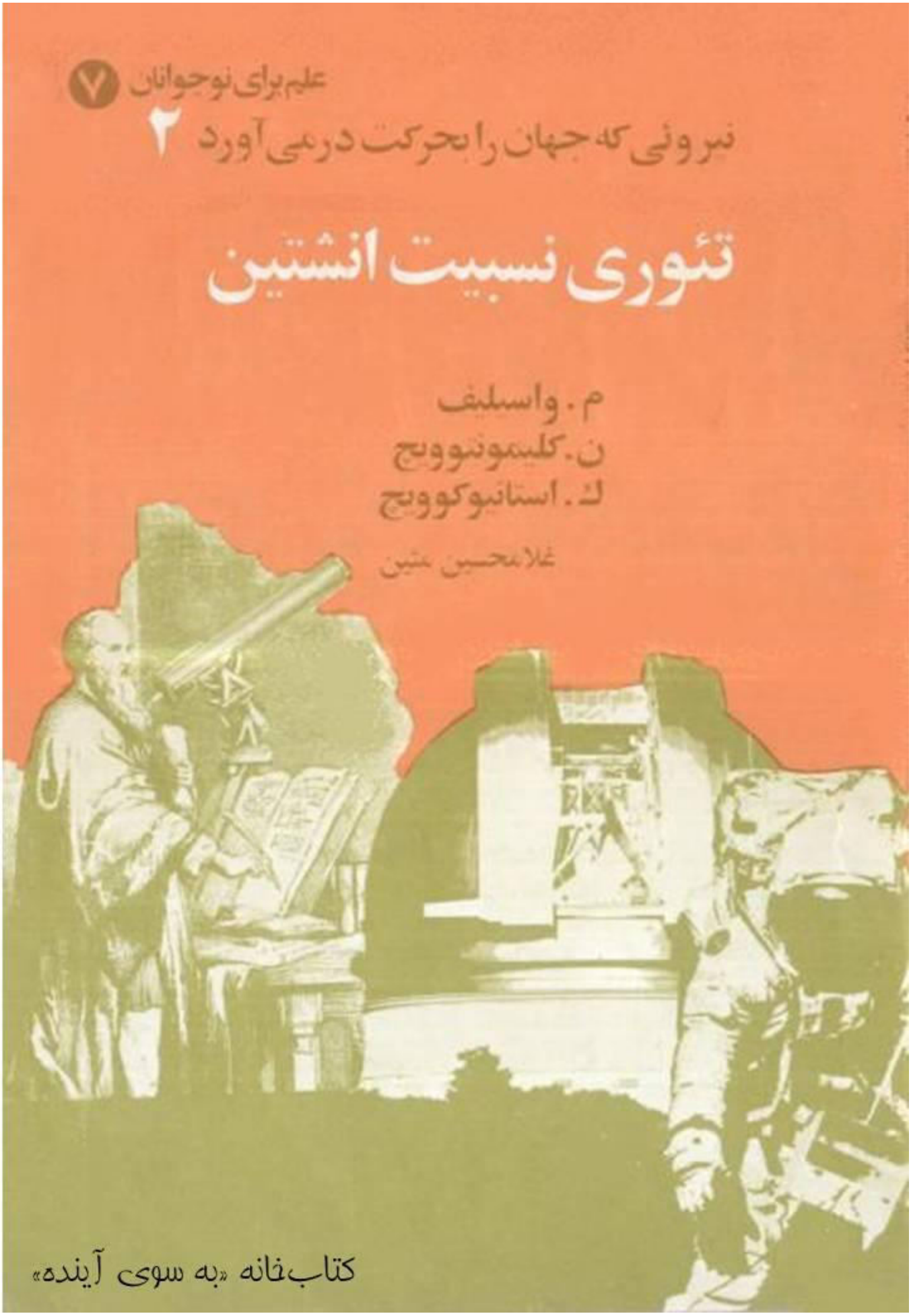
لئوپولد اینفلد

اوارپست گالوا

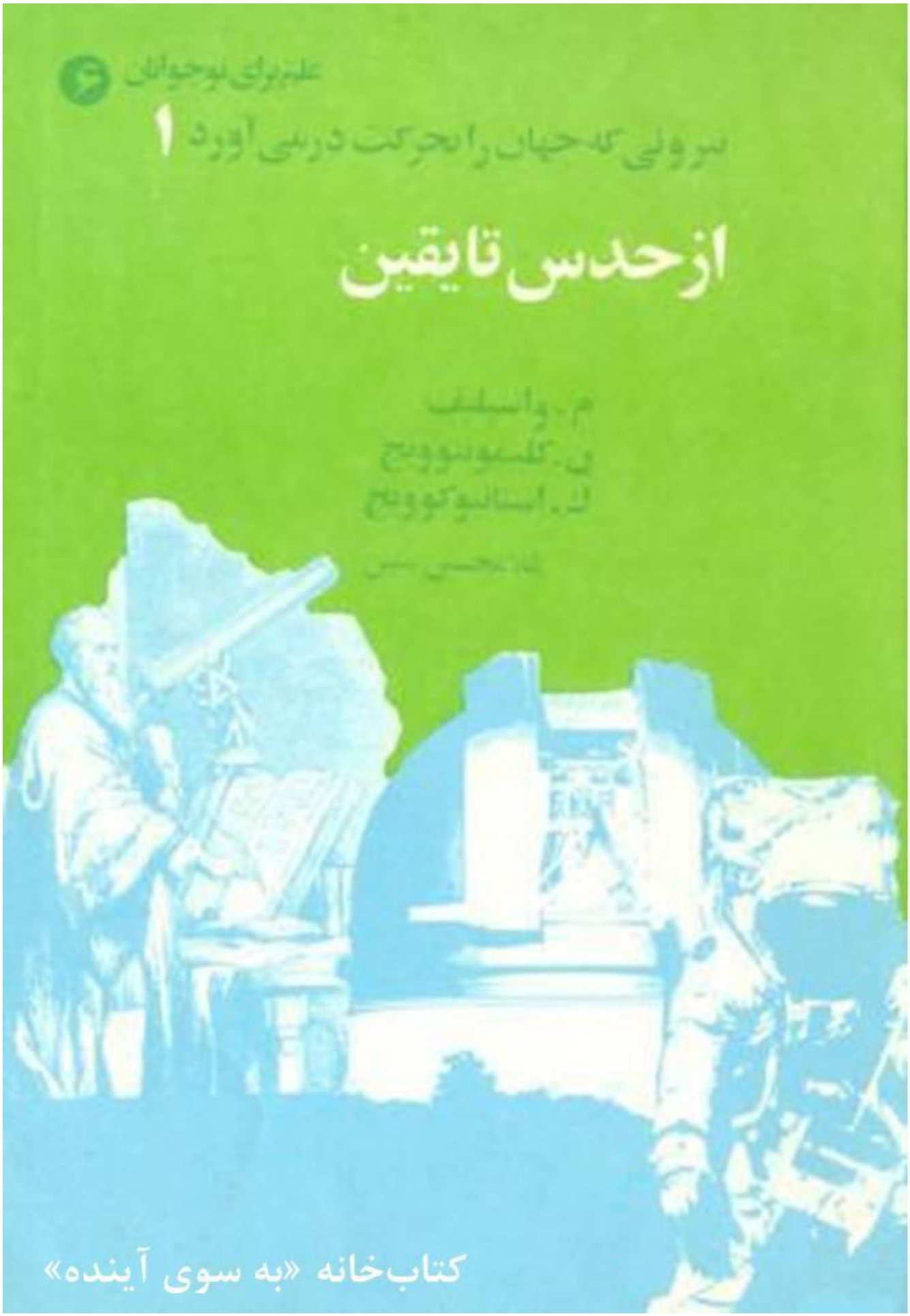
(انقلابی و ریاضیدان فرانسوی)

ترجمهٔ پرویز شهریاری

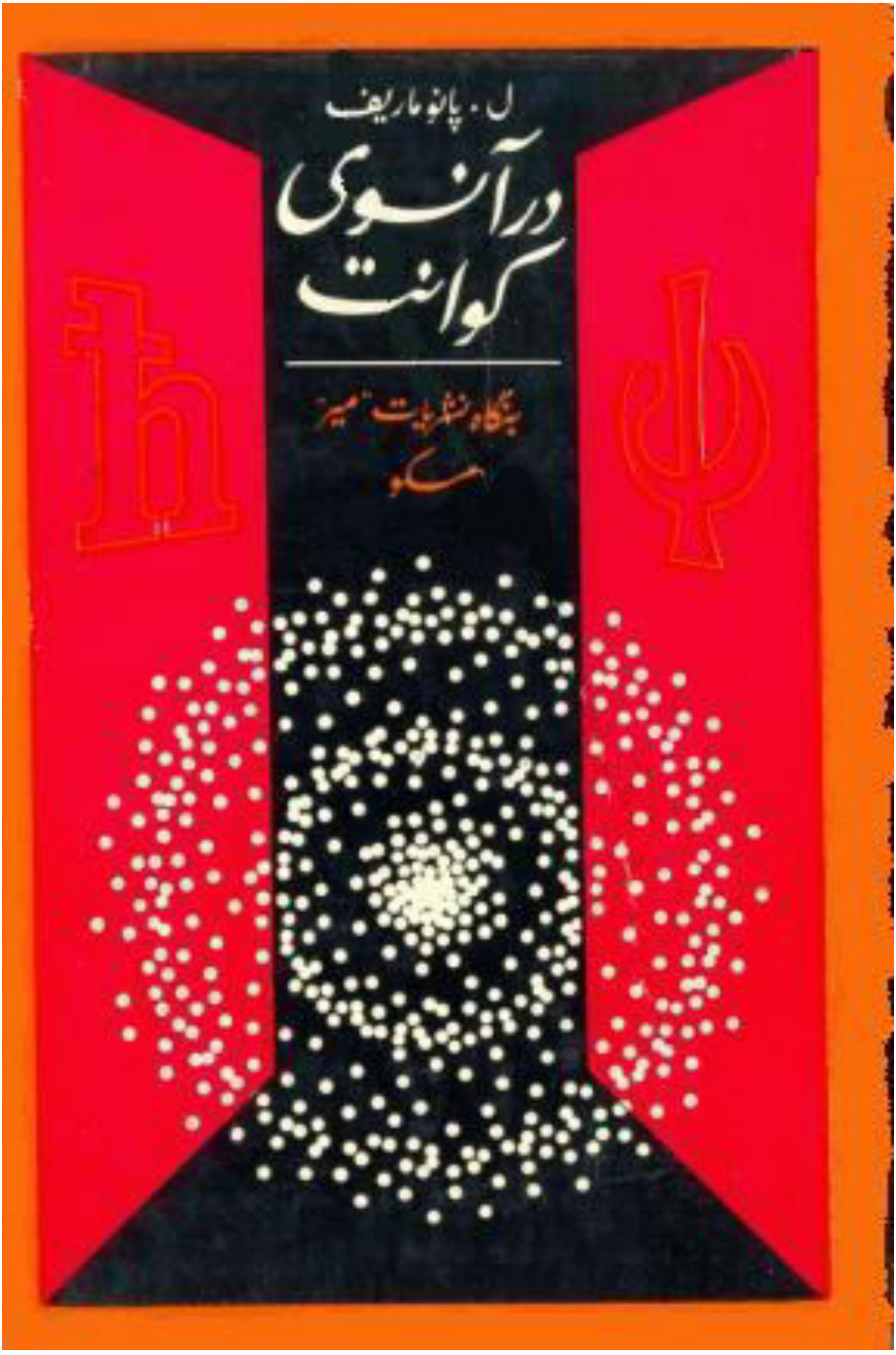
منتشر شد:


علم برای نوجوانان ۷
نیروئی که جهان را بحرکت درمی آورد ۲
تئوری نسبیت انشتین
م. واسیلیف
ن. کلیمونتوویچ
ک. استانیوکوویچ
غلامحسین متین
کتاب‌خانه «به سوی آینده»

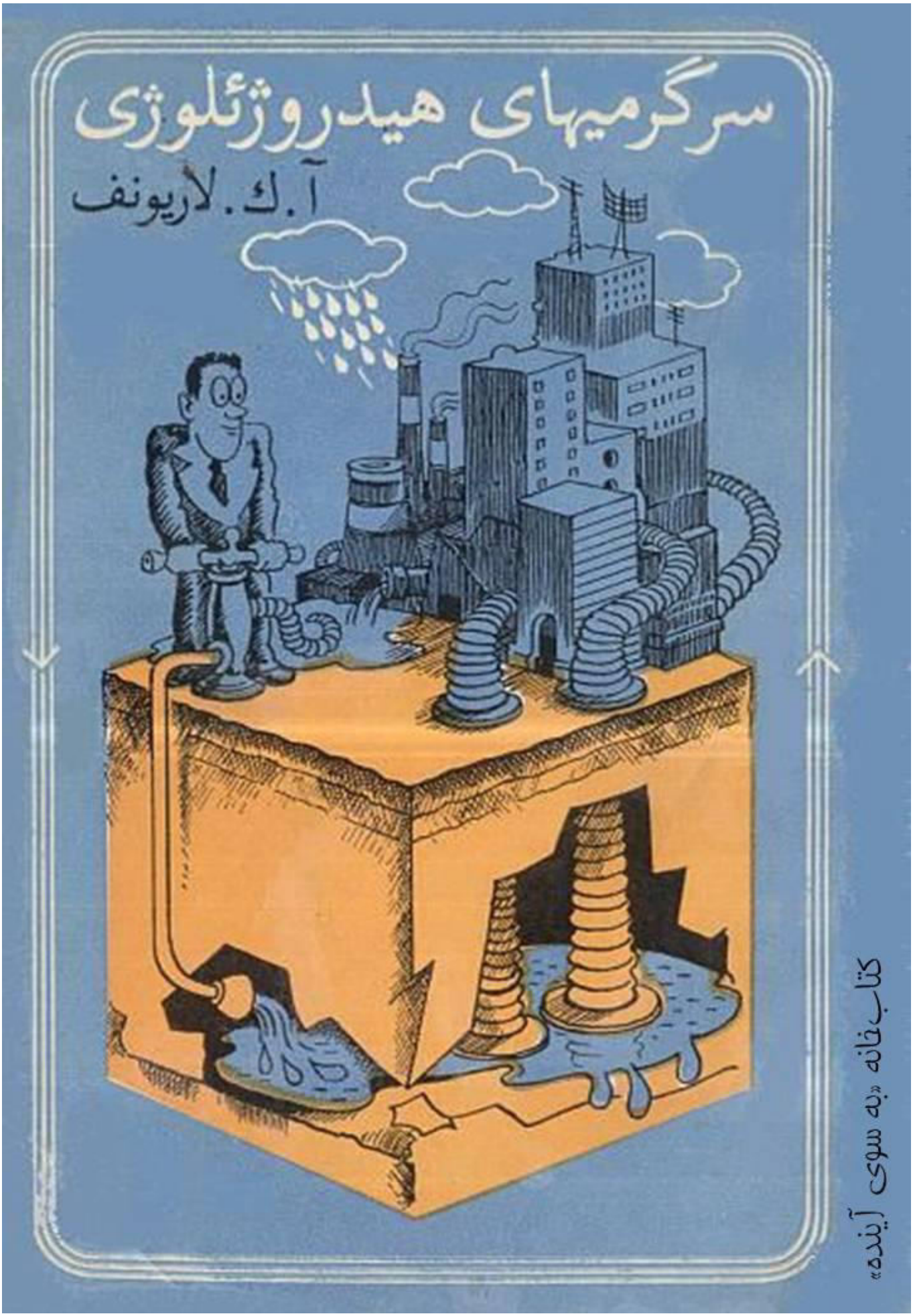
منتشر شد:


علم برای نوجوانان
نیرویی که جهان را بحرکت درمی آورد ۱
از حدس تا یقین
م. واسیلیف
ن. کلیمونتوویچ
ک. استانیوکوویچ
کتاب‌خانه «به سوی آینده»

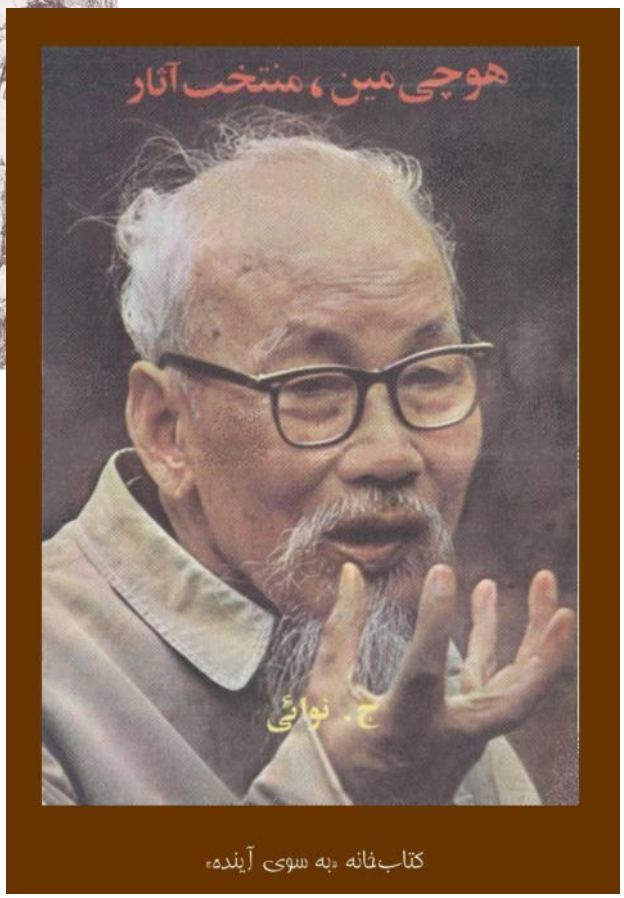
در دستِ انتشار:



در دستِ انتشار:



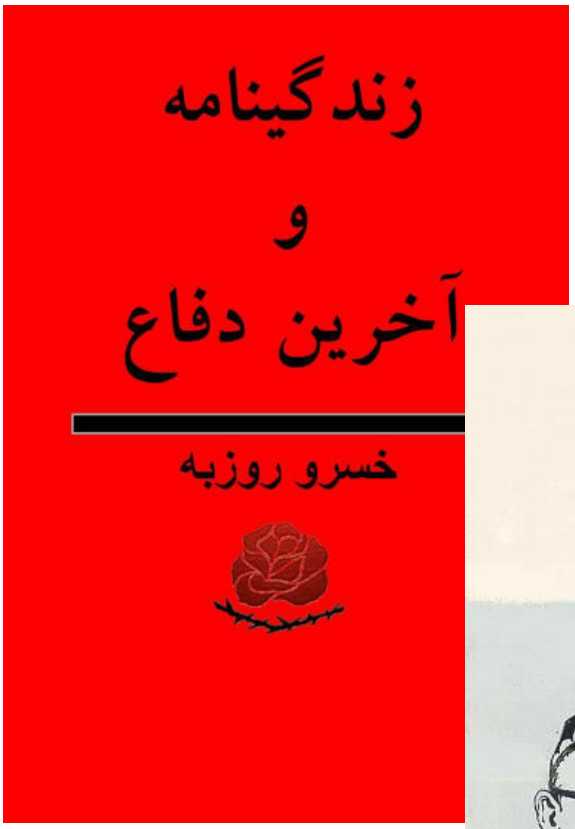
آماده‌ی دریافت:



صدها کتاب و مقاله‌ی برگزیده

از گزیده‌ی نویسندگان و هنرمندانِ مؤلف و مترجم

در کتاب‌خانه «به سوی آینده»



عمادالدین نسیمی و نهضت حروفیه

تقی خمارتو

آثار کارل مارکس، آموزگار انقلابی زحمتکشان،

فرهیختگان و روشنفکران انقلابی با ترجمه‌ی مترجم

بزرگ توده‌ای رفیق شهید محمد پورهرمزان، از

رهبران حزب توده ایران،(تا دهه‌ی شصت، تیرباران

در سال ۱۳۶۷)

در کتاب‌خانه «به سوی آینده»

چو گویی‌که وام خرد توختم

همه هر چه بایستم آموختم

یکی نغز بازی کند روزگار

که بنشاندت پیش آموزگار

(... کار و دانش را به تخت زر بنشانیم ...)

انتشار این سری از کتاب‌ها و مقالاتِ کتاب‌خانه «به‌سوی آینده» به‌افتخار قرار گرفتن قریب‌الوقوع در آستانه‌ی هفتادمین سالگرد آغاز پیکار حزب طراز نوین توده‌ها: **حزب توده ایران**، در راه تحقق حقوق کارگران و زحمتکشان، در راه بهروزی میهن و استقرار آزادی، استقلال و عدالت اجتماعی، تقدیم علاقمندان می گردد.

کتابخانه «به سوی آینده»، (هوادار حزب توده ایران)